

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR CAPILARIDADE NA
PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTOS DE MUDAS CITRICAS
NA FASE DE SEMENTEIRA**

CONAN AYADE SALVADOR

CAMPINAS

JANEIRO DE 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR CAPILARIDADE NA
PRODUÇÃO DE PORTA-ENXERTOS DE MUDAS CITRICAS
NA FASE DE SEMENTEIRA**

Dissertação de Mestrado submetida
à banca examinadora para a
obtenção do título de Mestre em
Engenharia Agrícola, na Área de
Concentração em Água e Solo.

CONAN AYADE SALVADOR

Orientador: Prof. Dr. Roberto Testezlaf

CAMPINAS

JANEIRO DE 2010

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

Sa38s Salvador, Conan Ayade
Sistema de irrigação por capilaridade na produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira / Conan Ayade Salvador. --Campinas, SP: [s.n.], 2010.

Orientador: Roberto Testezlaf.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Frutas cítricas - Cultivo. 2. Citrus - Irrigação. 3. Engenharia de irrigação. 4. Estufas - Uso - Agricultura. 5. Viveiros de mudas. I. Testezlaf, Roberto. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Irrigation system by capillary action in the citrus rootstocks production in seedings stage

Palavras-chave em Inglês: Citrus fruit cultivation, Irrigation citrus, Irrigation engineering, Greenhouse use agriculture, Nursey stock

Área de concentração: Água e Solo

Titulação: Mestre em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Daniel Fonseca de Carvalho, Edson Eiji Matsura

Data da defesa: 21/01/2010

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Conan Ayade Salvador**, aprovada pela Comissão Julgadora em 21 de janeiro de 2010, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.



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



**Prof. Dr. Daniel Fonseca de Carvalho – Membro Titular
UFRRJ**



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

“O conhecimento assemelha-se a uma bola; quanto maior o conteúdo, tanto maior o contato com o desconhecido”.

Otto Rothe, 1945.

*Aos meus queridos pais e irmãos,
por terem sido o alicerce e a razão
de tudo.*

DEDICO

*A Deus, por sua presença
constante em minha vida.*

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, pela oportunidade oferecida;

Ao meu Orientador, Professor Dr. Roberto Testezlaf, por assumir literalmente o papel da orientação, não só nos ensinando sobre pesquisa científica, mas nos dando exemplo de vida, por seu caráter, profissionalismo, e amizade. Obrigado por sua orientação segura e competente e acima de tudo pelos votos de confiança depositados em mim ao longo destes anos;

A toda a minha família, que tanto amo, pelas vezes que vós fostes força, vós fostes paciência, vós fostes acalanto, neste momento, eu gostaria que vós vibrásseis comigo, não porque eu venci, mas porque juntos vencemos mais um desafio em nossas vidas;

Aos professores da Pós-Graduação da FEAGRI, em especial, os da área de concentração em Água e Solo: Professor Dr. Edson Eiji Matsura, Professor Dr. José Euclides Stipp Paterniani, Professor Dr. Zigomar Menezes de Souza e Professora Dra. Mara de Andrade Marinho Weil, pela dedicação e transferência de conhecimento;

Ao Professor do IAC, Flávio Bussmeyer Arruda, pela brilhante disciplina ATP 012 – Manejo da Água para Irrigação, e por ser muitas vezes mais amigo do que professor;

Aos técnicos laboratoriais, Gelson, Túlio, Giovani, Rosa Helena, Agmon, Domitila, Célia e Júnior, pela doação e amizade adquirida ao longo desses anos;

Aos funcionários da FEAGRI, José Maria, Rosangela, Dona Terezinha, pelo apoio e dedicação ao trabalho;

Aos queridos amigos da pós-graduação: Adriana Ribeiro, Adriana Yuri, Lie, Carolina Sánchez, Franciana, Vânia, Carlos Henrique, Carmel, Moraes, Monalisa, Marcio Mesquita,

Douglas, Camilo, Carlos Barreto, Márcio Roque, Aline, Rojane, Laura, Anderson, Tânia, Camila, Karol, Danielle, Samuel, Michelle Rodrigues, Michele Carvalho, Poliana, Sabrina, Rívia, Mara, Franciane, Ronny, Gustavo, Gilka, Fernando, Anna, Alice, Cíntia, Rhuanito, Honorato, e todos os outros que convivi intensamente por todo esse tempo. Vocês são amigos para toda a vida...;

Aos amigos da graduação da FEAGRI, Gabi, Marina, Jamile, João, Douglas, e toda a turma da disciplina FA 676 – Hidráulica Geral, do segundo semestre de 2008, pelo respeito, confiança e amizade;

Aos meus amigos-irmãos de república, Marcelo e Nelson, pela paciência, companheirismo e incentivo, além de tornaram a minha morada em Campinas muito tranqüila;

Aos amigos, Wanderley, Cristina, Rute, Éryka, Lidiane, João, Abel, Vinícius Altoé, Adilson, Sandro, Marinaldo, Vinícius Barros, Suelen, Hellen, Carolina Calegario, Carolina Dornelas, Itaynara, Fabiana Dias, José Antônio, Maruzanete, Márcio Magalhães, Vinícius Sampaio, e tantos outros da UFRRJ, vocês estão sempre no meu coração;

Aos queridos professores da UFRRJ, responsáveis pela minha formação profissional. Em especial, a Professora Dra. Clarice de Oliveira e ao Professor Dr. Daniel Fonseca de Carvalho, pela orientação e iniciação na vida acadêmica;

À Capes, pela concessão de bolsa e ao CNPq pelo financiamento do projeto de pesquisa, que possibilitaram melhores condições para a realização deste trabalho;

A Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, pela acolhida, profissionalismo, apoio e amizade.

*A todos,
Muito Obrigado!*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo geral	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Estado da arte da citricultura no Estado de São Paulo	5
3.2. Tecnologia de produção de mudas	12
3.3. Sistema de irrigação por capilaridade.....	24
3.4. Salinização em ambiente protegido	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1. Local	30
4.2. Caracterização do perfil tecnológico da irrigação empregada por produtores certificados de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, no estado de São Paulo.....	30
4.3. Avaliação do desempenho da irrigação/fertirrigação na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira em viveiristas comerciais.	31
4.4. Concepção e construção do equipamento de irrigação por capilaridade.....	39
4.5. Caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade.....	44
4.6. Simulação da operação do protótipo em escala comercial	55
4.7. Análise Estatística	56
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
5.1. Caracterização do perfil tecnológico da irrigação empregada por produtores certificados de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, no Estado de São Paulo	57
5.2. Avaliação do desempenho da fertirrigação na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira em viveiristas comerciais.....	59
5.3. Caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade.....	68
5.4. Simulação da operação do protótipo em escala comercial	82
6. CONCLUSÕES	85
7. RECOMENDAÇÕES.....	87
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
APÊNDICES	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Nível adequado das características físico-químicas de substratos utilizados.....	19
Tabela 2. Valores das lâminas médias aplicadas, perdas diretamente e perdas por percolação, obtidas após a avaliação da irrigação em cinco propriedades produtora de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, no estado de São Paulo.....	60
Tabela 3. Densidade úmida e densidade seca média do substrato de casca de pinus, sem compactação e com compactação, empregado na caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade.....	69
Tabela 4. Tempo de enchimento da bandeja menor para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.....	70
Tabela 5. Tempo de enchimento da bandeja maior para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.....	71
Tabela 6. Volume de enchimento da bandeja menor para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.....	72
Tabela 7. Volume de enchimento da bandeja maior para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.....	72
Tabela 8. Valores dos coeficientes de forma (k) e cinético (x), e do coeficiente de determinação para as equações de vazão ($L h^{-1}$) versus pressão (kPa), obtidas para os diferentes ensaios das bandejas de irrigação por capilaridade.....	76
Tabela 9. Altura de subsidência média do substrato (cm) por tubete de produção, durante a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas menores.....	78
Tabela 10. Altura de subsidência média do substrato (cm) por tubete de produção, durante a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas maiores.....	78
Tabela 11. Perda média de substrato (g) por tubete de produção, durante a realização das irrigações nas bandejas menores.....	79
Tabela 12. Perda média de substrato (g) por tubete de produção, durante a realização das irrigações, nas bandejas maiores.....	79
Tabela 13. Volume médio de água aplicada e perdida, diretamente ou por percolação (drenado), por irrigação, para o equipamento de irrigação por capilaridade, de maior dimensão, na produção de um lote de 54 porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira.....	82

Tabela 14. Volume médio de água aplicada e perdida, diretamente ou por percolação, durante todo o ciclo de produção ¹ dos porta-enxertos de 54 porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira, para o equipamento de irrigação por capilaridade de maior dimensão.	83
Tabela 15. Condutividade elétrica média, mínima e máxima, para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.	103
Tabela 16. Volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação, por irrigação, pelo método de irrigação por aspersão aplicada manualmente, para 108 porta-enxerto de mudas cítricas na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.	104
Tabela 17. Volume drenado da badeja menor para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.	105
Tabela 18. Volume drenado da badeja maior para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.	105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de produção de mudas que seguem as diretrizes da portaria CDA-05.....	8
Figura 2. Armazenamento de água ao longo de um perfil de solo sobre um lençol freático raso na profundidade (d), representada pela área hachurada.	27
Figura 3. Detalhe da determinação da vazão pelo método volumétrico em visita técnica a propriedade produtora de mudas cítricas.....	33
Figura 4. Detalhe da seleção da parcela experimental e das áreas amostrais na bancada de produção.	34
Figura 5. Detalhe do procedimento para avaliação das perdas: (a), fixação de sacos plásticos nos tubetes presentes na área amostral, (b), fixação de bandejas de isopor abaixo da área amostral.	34
Figura 6. Detalhe da coleta de amostras em uma área amostral, durante a operação de fertirrigação.	35
Figura 7. Vista isométrica em 3D do protótipo 1.	41
Figura 8. Detalhes do protótipo 2, bandeja menor, com a câmara de água em resina acrílica e estrutura de suporte ao tubete em PVC. Vista lateral (a) e vista superior (b).	43
Figura 9. Detalhes do protótipo 2, bandeja maior, com a câmara de água em resina acrílica e estrutura de suporte ao tubete em PVC. Vista lateral (a) e vista superior (b).	43
Figura 10. Detalhes do protótipo 3, bandeja maior, com a câmara de água em chapa de alumínio e estrutura de suporte ao tubete em PVC. Vista lateral (a) e vista superior (b).	44
Figura 11: Esquema do módulo experimental.....	46
Figura 12. Detalhe dos suportes e do sistema de drenagem da bandeja de irrigação por capilaridade.....	47
Figura 13. Ensaio hidráulico das bandejas de irrigação por capilaridade sem a presença dos tubetes com substrato. Bandeja menor (a) e Bandeja maior (b).....	48
Figura 14. Operação de drenagem da bandeja de irrigação por capilaridade após finalização do processo de enchimento (a). E procedimento de pesagem do reservatório mais o volume drenado (b).....	49
Figura 15. Ensaio hidráulico das bandejas de irrigação por capilaridade com a presença dos tubetes com substrato. Bandeja menor (a) e bandeja maior (b).....	50

Figura 16. Arranjo utilizado para determinação da densidade do substrato.....	51
Figura 17. Tubete preenchido com substrato de casca de pinus utilizado na caracterização hidráulica de bandejas de irrigação por capilaridade.....	53
Figura 18. Estrutura montada para o preenchido manual dos tubetes com substrato de casca de pinus.	53
Figura 19. Pontos de monitoramento na bandeja de irrigação por capilaridade para levantamento do armazenamento de água e subsidência do substrato.	55
Figura 20. Distribuição percentual dos viveiristas por área dos viveiros (m ²).....	57
Figura 21. Distribuição percentual dos viveiristas por quantidade de mudas produzidas anualmente.....	57
Figura 22. Detalhe dos sistemas de irrigação por aspersão com aplicação manual da água: aplicação por chuveiro (a) e aplicação por tubo perfurado (b).....	58
Figura 23. Distribuição percentual dos viveiristas por substrato utilizado.	59
Figura 24. Distribuição percentual dos viveiristas pelo método de monitoramento da irrigação.	59
Figura 25. Eficiência de irrigação obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, para as propriedades avaliadas.	62
Figura 26. Detalhe da aplicação excessiva de água/solução na operação de irrigação/fertirrigação em viveiro produtor de porta-enxerto de mudas cítricas.	63
Figura 27. Perda de água (L) para um lote de 100 mudas, obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, para as avaliações realizadas.	64
Figura 28. Condutividade elétrica da solução perdida diretamente na fertirrigação, obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira para as propriedades visitadas.	65
Figura 29. Detalhe da faixa salina aderida a parede externa da parte basal dos tubetes de produção.	66
Figura 30. Condutividade elétrica da solução perdida por percolação na fertirrigação, obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, para as propriedades visitadas.	67

Figura 31. Curvas características de vazão versus pressão para as bandejas maiores e menores de irrigação por capilaridade, obtidos nos ensaios sem e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, para o diâmetro interno de entrada de água de 0,004 m.	73
Figura 32. Curvas características de vazão versus pressão para as bandejas maiores e menores de irrigação por capilaridade, obtidos nos ensaios sem e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, para o diâmetro interno de entrada de água de 0,007 m.	74
Figura 33. Perda de substrato após drenagem das bandejas de irrigação por capilaridade, durante a realização dos ensaios hidráulicos.	80
Figura 34. Armazenamento médio de água no substrato, após a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas.	81

RESUMO

O manejo hídrico-nutricional das plântulas na produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase sementeira, realizado por sistemas de aspersão operados manualmente, apresenta o problema ambiental do descarte da água ou solução residual proveniente da fertirrigação. O rejeito hídrico do sistema de produção tem como destino o próprio solo e pode, desta forma, atingir lençóis freáticos e contaminar os recursos hídricos da bacia hidrográfica onde está localizada a propriedade. Buscando uma solução para essa problemática, o presente projeto teve como objetivo desenvolver um equipamento de irrigação que aplique água por capilaridade para ser empregado na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira e que possibilitasse o uso racional dos recursos hídricos nesse setor. Inicialmente, realizou-se um diagnóstico das características tecnológicas da irrigação utilizada pelos viveiristas, por meio do preenchimento de um questionário. Em uma segunda etapa do trabalho, avaliou-se o desempenho da irrigação empregada pelos produtores de mudas, estimando a eficiência da irrigação e as perdas de água e de sais, utilizando uma metodologia desenvolvida especificamente para esse objetivo. Com os resultados das etapas anteriores, foram desenvolvidas propostas de equipamentos, seguido da construção de protótipos e testes preliminares. Executou-se a caracterização hidráulica do protótipo escolhido, com e sem a presença de tubetes preenchidos com substratos, com a determinação das curvas características de vazão versus pressão para três pressões de serviço (10 kPa, 15 kPa e 20 kPa) e estimando-se o tempo e volume de enchimento. Monitorou-se, nos ensaios com substrato, a subsidência e perda de substrato e o armazenamento de água, entre as quatro aplicações de água. Por fim, realizou-se a simulação da operação deste equipamento em campo. Os resultados da pesquisa confirmaram que o produtor de porta-enxertos de mudas cítricas característico do estado de São Paulo, no ano de 2007, tinha uma área de produção entre 1001 m² a 3000 m²; produzia até 80.000 mudas anualmente; utilizava casca de pinus como substratos; empregava chuveiros ou tubos perfurados como sistemas de irrigação juntamente com fertirrigação, não utilizando técnicas para o manejo da irrigação. As avaliações de desempenho da irrigação na produção de porta-enxerto de mudas cítricas na fase de sementeira confirmaram que esta atividade é realizada sem controle efetivo da lâmina aplicada gerando baixas eficiências de irrigação, com perdas significativas de água e fertilizantes. O equipamento desenvolvido demonstrou

potencialidades no aprimoramento do manejo e na automação do processo, se mostrando uma alternativa tecnológica viável para esse sistema de produção.

Palavras-chaves: equipamento de irrigação; citricultura; ascensão capilar.

ABSTRACT

The water and nutrition management in the production of citrus rootstocks in the seedling phase performed by sprinkler systems, manually operated, presents the environmental outcome of water or residual solution disposal from the fertigation. The generated wastewater is generally discarded directly in the soil with the risk to reach the groundwater and contaminate the watershed water resources where the property is located. Looking for a feasible technical alternative to solving this problem, this research aimed to develop an irrigation system that applied water by capillary action to be employed in the production of citrus rootstocks in the seedling stage that would allow the appropriate water resources use in this sector. Initially, it was carried on the assessment of the characteristics of irrigation used by citrus nurseries growers by fill in a feedback form. In the second stage of the study it was evaluated the irrigation system performance used by producers, estimating the efficiency of irrigation and water and salt losses, using a field methodology developed specifically for this purpose. With the results of the previous steps, it was developed and design equipment proposals, followed by construction of prototypes with preliminary testing. Afterwards, the chosen prototype was hydraulically characterized with the determination of the flow rate and pressure relationship for three operating pressures (10 kPa, 15 kPa and 20 kPa), estimating the time and filling volume of the equipment. The substrate subsidence and material loss were monitored during the hydraulic trails, estimating the substrate water storage in the four water applications. Finally, a field simulation of the equipment was performed to compare with the conventional irrigation. The survey results confirmed that the producer of citrus rootstocks characteristic of the state of Sao Paulo in 2007, had a production area from 1001 m² to 3000 m², producing up to 80,000 seedlings annually, used pine husk as substrates; employed showers or perforated pipes and irrigation with fertigation, not using techniques for irrigation. Performance appraisals of irrigation in the production of citrus rootstocks in the seedlings stage confirmed that the irrigation activity in the citrus rootstock production during the seedling phase is performed without effective control of the applied depth, generating low irrigation efficiencies with significant losses of water and fertilizers. The developed capillarity equipment, despite showing a low performance, has shown potential to improve the

management and automation of the process, proving to be a viable alternative technology for this production system.

Keywords: irrigation equipment; citrus crop; capillarity rise.

1. INTRODUÇÃO

Principal produtor citrícola brasileiro, o Estado de São Paulo tem nessa atividade a terceira de maior expressão do seu cenário econômico agropecuário, estando apenas atrás da indústria sucroalcooleira e da bovinocultura de corte. O estado produziu cerca de 18,7 milhões de toneladas de laranja na safra de 2007/2008, representando 78,65% da produção nacional (IBGE, 2009). Adicionalmente foi responsável por 97% das exportações brasileiras de suco de laranja congelado concentrado (SLCC), movimentando US\$ 3,2 bilhões, sendo o maior núcleo dinâmico do complexo citrícola brasileiro (IEA, 2008).

A aptidão estadual para a citricultura pode ser explicada por um conjunto de fatores, dentre eles: as condições edafoclimáticas adequadas para o desenvolvimento e frutificação dos pomares; a presença dos principais centros de ensino e de pesquisa do país, garantindo o aprimoramento técnico e científico, além do fornecimento de mão-de-obra qualificada; a forte organização dos produtores em fundações e associações e o apoio de organizações públicas federais e estaduais. Mesmo com esses aspectos positivos, o sistema produtivo citrícola ainda enfrenta alguns entraves tecnológicos, que necessitam estudos e aprimoramentos a fim de possibilitar a minimização de custos, e com isso elevar ainda mais a rentabilidade do setor.

A maior densidade de plantio, aliado ao crescimento da citricultura e a renovação dos pomares, revelam elevada demanda para a produção de mudas. O atendimento a esse mercado cria condições para produção indiscriminada de mudas que pode provocar a disseminação de doenças que atacam os parques citrícolas, levando a redução da produtividade e da qualidade final do produto processado ou *in natura*, aumentando a aplicação de agroquímicos, a dizimação de plantas infectadas e, conseqüentemente, a redução da renda dos produtores.

A Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA) do Estado de São Paulo, considerando a importância econômica da cultura do citros e o papel fundamental da utilização de mudas sadias para a formação de pomares, além da necessidade de aprimoramento do setor do agronegócio de mudas e da implantação de medidas para conter a disseminação de pragas, estabeleceu normas para a produção de mudas cítricas por meio da Portaria CDA-5 de 03 de fevereiro de 2005. O atendimento obrigatório às exigências estabelecidas por esta portaria vem garantindo a produção de mudas certificadas em ambientes protegidos dentro dos limites estaduais, além de ser um dos fatores que favorecem a qualidade fitossanitária em campo.

Dentre as normas de produção de mudas estabelecidas por esta portaria estão: o uso de substrato e da água destinada à irrigação livre de microorganismos fitopatogênicos; bancadas para a produção de mudas suspensas com o solo coberto com britas; acesso ao interior da estufa condicionado à passagem por pedilúvios e desinfecção das mãos, entre outras. No entanto, essa portaria não apresenta normas ou especificações que demonstrem preocupações com o impacto ambiental provocado pelas técnicas de manejo hídrico e nutricional empregadas na fertirrigação, durante o processo produtivo das mudas. Considerando que essa produção, por acontecer em ambientes protegidos, é irrigada obrigatoriamente por um período de 10 a 15 meses, existe o potencial para ocorrer impacto ambiental significativo.

Na sementeira, primeira etapa de produção na qual é produzida os porta-enxertos de mudas cítricas, as plântulas estão inseridas dentro de tubetes, o que torna a problemática ambiental mais evidente, visto que, a irrigação é realizada com maior frequência, de forma manual e sem qualquer manejo das aplicações de água. Atualmente, nesta fase da produção, o sistema de irrigação adotado pela maior parte dos produtores é a irrigação por aspersão manual realizada por chuveiros ou tubos perfurados, devido ao custo de implantação e manutenção inferiores quando comparado à irrigação por microaspersão empregada por uma minoria. Por não utilizar nenhuma técnica de manejo da irrigação, essa prática caracteriza-se pela aplicação de volumes excessivos de água que, após saturar o substrato dentro do tubete, produz um volume lixiviado que pode acarretar sérios impactos ambientais. A água residuária resultante do emprego desta técnica, muitas vezes veicula fertilizantes solúveis e defensivos agrícolas, que são descartados no solo, potencializando a contaminação e salinização do perfil do solo e do lençol freático, além do desperdício de água, de nutrientes e de energia elétrica.

Como a disponibilidade hídrica tornou-se uma recente preocupação nacional e mundial, tendo em vista que nos últimos vinte anos o consumo de água dobrou, a agricultura irrigada passou a ser o foco dos pesquisadores objetivando o uso racional deste insumo. HESPANHOL (2004) estimou que até 2010 cerca de 50% de toda água utilizada no estado de São Paulo será destinada à irrigação. Adicionalmente, a agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água, sendo esta última bastante prejudicada pelo uso intensivo das atividades agrícolas e agroindustriais, fazendo com que as águas superficiais nos cinturões verdes dos grandes centros urbanos apresentem muitas vezes contaminação por organismos patogênicos. Desse modo, um grande desafio atual é a ampliação da produtividade

concomitantemente com o uso eficiente da água e a manutenção da qualidade da água nos mananciais, devido preocupações ecológicas e razões de ordem econômicas. Assim, a busca por inovações técnicas que contribuam para otimizar a prática da irrigação utilizadas na produção de mudas na fase de tubete, é necessária e relevante.

A seleção do sistema de irrigação mais adequado para a produção de mudas na fase de tubete deve levar em conta as condições existentes para um desenvolvimento vegetativo ideal. Com isso, o estudo da aplicação da irrigação por ascensão capilar como alternativa tecnológica passa a ser relevante, pois a aplicação de água é feita diretamente no substrato sem o umedecimento da parte aérea das mudas, evitando a propagação de doenças, reduzindo o consumo de água e dos demais insumos de produção, além de permitir a posterior automação do sistema. A utilização de um sistema de irrigação mais adequado permitirá a redução dos riscos do empreendimento, proporcionando melhorias na produtividade e na qualidade ambiental do processo produtivo.

Diante do exposto, o emprego de sistemas de irrigação que aplique água por meio do princípio da capilaridade, proporcionado pela diferença de potencial hídrico no substrato, torna-se uma alternativa factível para a resolução de tal problemática, pois favorece o uso eficiente da água, de fertilizantes, de defensivos agrícolas e de energia elétrica, além de evitar impactos ambientais significativos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Contribuir para o desenvolvimento de um equipamento de irrigação a ser aplicado na produção de porta-enxerto de mudas cítricas na fase de sementeira, que utilize o princípio de capilaridade e, que possa colaborar para o uso racional dos recursos hídricos.

2.2. Objetivos específicos

- Identificar e caracterizar os sistemas de irrigação utilizados nos viveiros de produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira, do estado de São Paulo;
- Avaliar o desempenho da irrigação por aspersão aplicada manualmente e empregada na produção de porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira;
- Idealizar, desenvolver, construir e caracterizar hidráulicamente um equipamento de irrigação que utilize o princípio de capilaridade;
- Simular o desempenho do equipamento proposto quando utilizado em escala comercial de produção.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Estado da arte da citricultura no Estado de São Paulo

3.1.1. Caracterização do mercado atual

A citricultura ocupa posição importante no agronegócio brasileiro, movimentando mais de três bilhões de dólares por ano. Segundo levantamento realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2008), a área de produção citrícola corresponde a 940 mil ha, sendo cultivadas 250 milhões de plantas e gerando cerca de 500 mil empregos diretos. Adicionalmente, o país se consolidou desde a década de 80 como maior produtor mundial de suco de laranja (TAVARES, 1988; AMARO, 1989). Dentre os produtos citrícolas, se produz anualmente 18,3 milhões de toneladas de laranja, 1,2 milhão de toneladas de tangerina e 1 milhão de toneladas de limas ácidas e de limão (AGRIANUAL, 2008). Contudo, esta produção está distribuída de forma desigual entre os estados brasileiros. Apenas quatro estados produziram 91,38% da produção total estimada em 458 milhões de caixas de 40,8 kg, no ano de 2008, a saber: São Paulo (14.688.000 t), Bahia (1.021.115 t), Sergipe (772.070 t) e Minas Gerais (583.645 t) (IBGE, 2009). O estado de São Paulo participou com 78,7% da produção e foi responsável por 97% das exportações brasileiras de suco de laranja concentrado congelado (FCOJ), movimentando 3,2 bilhões de dólares, comprovando a relevância da citricultura paulista no âmbito do agronegócio nacional e estadual (IEA, 2008).

O foco principal da citricultura paulista é a produção de suco destinado ao mercado externo, e representa 59% da produção mundial (NEVES & JANK, 2006). Segundo BOTEON & NEVES (2005) os fatores que possibilitaram a eficiência e liderança da citricultura paulista foram custo de produção competitivo, pesquisa de ponta, produto de excelente qualidade e ainda uma logística muito eficiente de distribuição.

Os Estados Unidos, segundo maior produtor mundial e principal concorrente brasileiro, sofreu uma grande queda na produção de citros após a intensa temporada de furacões na Florida (2004/05), fazendo com que os preços aumentassem mais de 40% no respectivo ano. Estes acontecimentos provocaram forte impacto na participação dos Estados Unidos na produção mundial, sofrendo uma queda de 25% para 20% do total produzido (BOTEON & BRAGA, 2007). Entretanto, este mercado corresponde a somente 15% do valor

total exportado brasileiro de suco de laranja, sendo o segundo mercado comprador de suco brasileiro, perdendo para a União Européia, maior importador do produto brasileiro, com cerca de dois terços das nossas exportações (NEVES & JANK, 2006).

A Ásia, em especial a China, é um mercado bastante atrativo para o suco brasileiro, devido ao elevado crescimento econômico, com taxas acima da média mundial. Segundo projeções realizadas por WORSLEY (2004), dentro de uma a duas décadas o mercado chinês poderá consumir cerca de 400 mil toneladas de suco concentrado, o que representa quase metade do que hoje se envia à União Européia.

Assim, as conjecturas atuais mostram a necessidade de uma franca expansão da citricultura brasileira – sobretudo da paulista – a fim de manter o status de liderança devendo parte da área de produção ser renovada anualmente mediante a substituição de plantas doentes e improdutivas, e ampliada pela formação de novos pomares, o que gera uma elevada demanda por mudas, que são à base da atividade citrícola.

3.1.2. A demanda por mudas e o sistema de produção de mudas cítricas

A muda é o insumo de maior importância na formação dos pomares cítricos, pois o volume de produção do pomar, a qualidade dos frutos e a longevidade das árvores dependem diretamente da escolha da muda implantada. O retorno financeiro proporcionado pelo pomar será tanto maior quanto maior for à qualidade genética e sanitária das mudas levadas a campo. Segundo TEÓFILO SOBRINHO (1991), a importância da qualidade da muda está no fato de que o potencial máximo de produtividade e de qualidade dos frutos será conhecido de 6 a 8 anos após o plantio, e a longevidade do pomar só será determinada em um intervalo de tempo ainda maior.

O crescimento da citricultura, juntamente com a renovação anual de 6% dos talhões, aliado ao aumento da densidade populacional por talhão, de 200 para 400 plantas, respectivamente nos biênios 1988/89 e 2000/01, ocorridas por mudanças nas técnicas produtivas (GUILARDI et al., 2002), revelam uma elevada demanda para a produção de mudas. Outro indicativo do aumento da demanda por mudas é a ampliação da área em produção, que para a produção de laranja no ano agrícola 2007/08 foi de 6,4% em relação ao ano anterior (2006/07) (IEA, 2009). Atrelado ao aumento da demanda, pode ser observado o aumento do rigor fitossanitário no processo produtivo.

Uma série de novas e de reincidentes doenças foram registradas nos pomares paulistas, entre o final da década de 80 e o início do século XXI, como por exemplo, a clorose variegada do citros (CVC), cancro cítrico, morte súbita dos citros (MSC) e huanglongbing (HLB), com conseqüente aumento dos custos de produção e queda na produtividade (NEVES & LOPES, 2005). Um dos fatores apontados como causadores dessa disseminação de doenças foi o sistema de produção de mudas a céu aberto (CARVALHO et al., 2005). Sabendo que a principal forma de evitar a contaminação de mudas é a produção em viveiros telados, desde 1999 a Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo vem editando normas legais para a produção de mudas cítricas, e segundo o Fundo de Defesa da Citricultura – FUNDECITRUS (2004), com o surgimento da morte súbita dos citros o rigor das medidas aumentou. Assim, objetivando-se proporcionar ao setor citrícola o fornecimento de material propagativo isento de patógenos, além de maior controle sobre a origem genética do material propagado, adotou-se a partir de 1 de janeiro de 2003 a produção e comercialização obrigatórias de mudas e porta-enxertos cítricos em ambientes protegidos dentro do estado de São Paulo. Atualmente, a Portaria CDA-5, de 03 de fevereiro de 2005, regulamenta a produção de mudas cítricas a nível estadual. Dentre as novas diretrizes, pode-se salientar as seguintes exigências:

- O viveiro deve estar distante pelo menos 20 m de qualquer planta cítrica, além de ser necessária a instalação de quebra-vento e cerca-viva a 20 m do local;
- Uso obrigatório de tela de malha com abertura de, no máximo, 0,87 mm x 0,30 mm, nos viveiros e nos caminhões transportadores das mudas;
- Devem ser construídas muretas de 40 cm, com a finalidade de barrar possíveis enxurradas;
- As bancadas para a produção de mudas devem ser suspensas a pelo menos 30 cm do solo;
- O solo deve ser coberto com concreto ou com pedra britada, sendo a última com uma camada de 5 cm;
- Os substratos utilizados no sistema produtivo devem ser desinfetados e livres de microorganismos fitopatogênicos;

- As borbulhas utilizadas devem respeitar as mesmas condições de produção protegida, sendo que todo o material propagativo deve ser de borbulheiras registradas;
- As sementes para a produção de porta-enxerto devem ser submetidas a um tratamento térmico com temperatura de 52 °C, durante 10 minutos;
- A água utilizada na irrigação deve ser preferencialmente de poço semi-artesiano. Caso não seja possível, a água deve ser tratada com cloro, sendo realizada uma cloração de 10 g para cada 1000 L de água;
- A entrada na estufa é condicionada a passagem por um pedilúvio, para a desinfecção dos calçados, contendo amônia quaternária e cobre. Além de ser realizada, anteriormente, a desinfecção das mãos, com digluconato de clorhexidina.

A Figura 1 ilustra uma propriedade que segue as diretrizes regulamentadas pela portaria CDA-05.



Figura 1. Sistema de produção de mudas que seguem as diretrizes da portaria CDA-05.
Fonte: Fundecitrus (2007).

A sistemática de produção de mudas em ambientes protegidos necessita de um maior investimento inicial, quando comparado à produção em ambientes abertos (TEÓFILO SOBRINHO, 1991). No entanto, mesmo aumentando o preço unitário da muda, a melhor qualidade final no campo compensa o investimento inicial (VIVECITRUS, 2002).

Inspeções realizadas nos viveiros do estado de São Paulo, em agosto de 2009, mostraram um total de 540 viveiros, sendo que destes, 32 estavam desativados. Com relação aos viveiros que estavam em atividade, todos eram telados e seguiam as normas estabelecidas. A produção no total dos viveiros inspecionados foi de 16.883.920 mudas, 8.509.567 cavalinhos e 36.089 m² de sementeiras (FUNDECITRUS, 2009).

A produção de mudas cítricas em ambientes protegidos deu início a uma nova citricultura, com melhor eficiência nas etapas de produção, maior produtividade e melhor controle de problemas fitossanitários, uma vez que a muda com certificação sanitária tem viabilizado a produção de citros até mesmo em regiões severamente atacadas por doenças. Segundo STAMATO JÚNIOR (2007), a eficiência desse sistema de produção é alta quando comparada aos sistemas a céu aberto, sobretudo no que se refere ao tempo de produção da muda, que a céu aberto se dá em torno de 360 dias após o transplante do porta-enxerto, enquanto em ambiente protegido se dá em torno de 240 dias após o transplante do porta-enxerto.

Entretanto, verifica-se que a atual legislação que regulamenta a produção de mudas não aborda medidas de proteção ambiental do local onde se encontra o sistema produtivo. Visto que, não estabelece o destino que deve ser empregado à solução residuária da atividade de fertirrigação, sendo esta descartada diretamente no solo (GERVÁSIO, 2003; ALMEIDA, 2003). Tal fato poderá acarretar o aumento da salinidade do solo, e conseqüentemente, alterar suas propriedades físico-químicas (LEVY et al., 1998).

Se o atual manejo hídrico e nutricional for mantido, sem o estabelecimento de medidas de controle ou medidas de remediação dos íons salinizantes, poderá ocorrer a contaminação do lençol freático (TOSHIAKI et al., 2004). Uma vez contaminadas, as águas subterrâneas demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para a sua recuperação, o que somente será atingido após vários anos (CETESB, 2008). Assim, torna-se essencial à tomada de medidas preventivas, tanto de caráter legal quanto na busca por um sistema produtivo sustentável.

3.1.3. Aspectos Fitosanitários

O desenvolvimento de doenças na produção de mudas ocorre mediante a interação entre patógeno (tais como fungos, bactérias, vírus e nematóides), hospedeiro e ambiente, interferindo nos processos fisiológicos da planta e acarretando perdas econômicas ao produtor (SILVEIRA et al., 2001). Segundo GRIGOLETTI JÚNIOR et al. (2001), estudando estratégias de manejo de doenças em viveiros florestais, devido às características físicas, mesmo os viveiros mais tecnificados reúnem uma série de condições ambientais associadas à fisiologia do hospedeiro que favorecem o aparecimento e proliferação de patógenos.

A cultura dos citros está sujeita a um grande número de doenças das quais mais de cinquenta são atribuídas a fungos. Dentre elas cita-se a gomose de *Phytophthora* (*Phytophthora spp.*), a podridão floral (*Colletotrichum acutatum*), a verrugose (*Elsinoe spp.*), a melanose (*Diaporthe citri*), a rubelose (*Corticium salmonicolor*), a mancha graxa (*Mycosphaerella citri*) e a mancha preta ou pinta preta (*Guignardia citricarpa*) (FEICHTENBERGER, 1998). Dentre as bacterioses que se tem no Brasil, três são extremamente graves, o cancro cítrico (*Xanthomonas axonopodis*), a clorose variegada dos citros (*Xylella fastidiosa*) e huanglongbing (HLB). Tratando-se das pragas, as mais comuns são: ácaro de ferrugem, bichão furão, cigarrinhas, minerador dos citros, mosca negra dos citros, mosca das frutas e ortézia (FUNDECITRUS, 2009).

Segundo o CEPEA (2007), em um estudo sobre as incertezas que diminuem a percepção do produtor sobre a rentabilidade do negócio no mercado de citros, a maior incidência de pragas e doenças nos pomares aumenta consideravelmente os custos de produção, além de limitar o crescimento dos parques citrícolas e criar a necessidade de um melhor gerenciamento dos estoques de plantas e da viabilidade econômica do pomar. Segundo o mesmo autor, as quatro doenças que causam, atualmente, maiores impactos neste setor são, respectivamente: o Cancro Cítrico, a Clorose Variegada dos Citros, a Morte Súbita e o *greening*.

Utilizar mudas sadias é o primeiro passo para a formação de um parque citrícola sadio e produtivo no futuro. Com a produção de mudas seguindo as normas da portaria CDA-5 evita-se a obtenção e comercialização de mudas contaminadas, que constitui-se na principal forma de disseminação de doenças a longas distâncias, podendo atingir cidades, estados e países até então livres de determinada doença (FUNDECITRUS, 2008). Segundo FEICHTENBERGER (1998), a ocorrência de gomose em plantios novos é muito elevada devido à utilização de mudas produzidas em viveiros contaminados por *Phytophthora spp.* FOCESATO (2005) afirma que moléstias e pragas, em especial a exocorte, a leprose, a larva mineradora dos citros, o cancro cítrico e mesmo a clorose variegada dos citros, são disseminados por meio das mudas comercializadas.

Durante a fase de sementeira, muitas vezes o aparecimento de doenças está ligado ao manejo hídrico inadequado associado à ocupação excessiva de mudas por unidade de área e ao sombreamento excessivo, como também foi observado pela EMBRAPA (2003) na produção

de mudas de eucalipto. O manejo inadequado da irrigação neste período aumenta a possibilidade de ataque de doenças principalmente por fungos, como é o caso do *damping off* e da Gomose de *Phytophthora*. A aplicação de água em excesso com uma drenagem deficiente no substrato pode causar ainda a podridão de raízes. Outros fatores que também devem ser observados são as características biológicas do substrato e da água utilizada na atividade de irrigação.

Segundo ROSSETTI (1991), o *damping off* ocorre durante a fase de sementeira da muda e vários fungos podem ser agentes causais, como por exemplo: *Rhizoctonia solani*; *Pythium aphanidermatum* e outras espécies de *Pythium*, *Phytophthora citrophthora* e *P. nicotianae* var. *parasítica*. Quando o ataque se dá em fase de pré-emergência, após a semeadura, o embrião não chega a germinar causando falhas na sementeira. Quando o ataque acontece pós-emergência, as mudinhas apresentam lesões no colo, que provocarão seu murchamento. Como forma de controle de tal doença emprega-se o tratamento das sementes submetendo-as a 51-52 °C por 10 minutos, como previsto pela legislação.

A Gomose de *Phytophthora* como o *damping off* também é causada por fungos do gênero *Phytophthora*, sendo o primeiro provocado principalmente pelas espécies *P. citrophthora* e *P. nicotianae* var. *parasítica*. Em São Paulo, *P. parasítica* é a principal responsável pela doença, sendo encontrada em mais de 95% dos pomares e viveiros contaminados (FEICHTENBERGER, 1998). Estes fungos são a grande preocupação durante a produção de mudas, visto que os mesmos podem viver no solo ou em substratos, além de, em condições favoráveis, frutificarem liberando os zoósporos, ou esporos móveis, que nadam nos filmes d'água entre as partículas de solo ou substratos, e atacam os tecidos das plantas (ROSSETTI, 1991). Dentre as medidas de controle dessa doença pode-se citar: a produção de mudas dentro dos parâmetros legais, como a suspensão das bancadas de produção a pelo menos 30 cm do solo, a cobertura do solo com uma camada de 5 cm de pedra britada, a desinfecção do substrato e a cloração da água de irrigação; a produção de variedades menos suscetíveis; a boa aeração da parte basal da muda; entre outros.

Tendo em vista que a água utilizada na atividade de irrigação pode servir de elo entre patógeno-hospedeiro, deve-se ter o cuidado de usá-la limpa e isenta de nematóides, *Phytophthora* spp., e outros propágulos de patógenos comprovadamente nocivos ao citros. O tratamento da água com cloro, como previsto nas normas de produção de mudas cítricas,

promove a inativação dos zoósporos de *Phytophthora*, que são os principais propágulos responsáveis pela disseminação desse fungo nos viveiros de citros (FEICHTENBERGER, 1998).

GRIGOLETTI JÚNIOR et al. (2001) citam que irrigações mais frequentes e com menor volume de água aplicado evitam o acúmulo e a permanência de água livre por mais tempo na superfície foliar e no substrato, favorecendo um ambiente sadio em viveiros florestais. Dessa forma deve-se aplicar água de maneira racional, na quantidade e no tempo correto, e se possível dirigida somente para a superfície dos substratos, evitando-se molhar a parte aérea da plantas. WENDLING & GATTO (2002) citam que a irrigação por ascensão capilar é visto como um método interessante, uma vez que apresenta a vantagem de umedecer apenas o substrato, reduzindo as chances de ocorrência de moléstias na parte aérea das mudas, além de menor consumo de água.

Com relação às pragas que podem atacar as mudas de citros durante o período que se encontram nos tubetes, a portaria CDA-05 estabelece a obrigatoriedade da produção e do transporte de mudas em ambientes telados, com tela de malha com abertura de, no máximo, 0,87 mm x 0,30 mm, nos viveiros e nos caminhões transportadores das mudas. Essa ação impede a entrada de afídeos, como por exemplo, o pulgão preto, provável vetor da morte súbita dos citros (MSC), e de outros insetos vetores de agentes etiológicos, como a cigarrinha, vetor da CVC, e o psilídeo, vetor do HLB.

Outra praga que merece atenção especial nesse sistema de produção são os nematóides, que são parasitos de raízes, pois ao penetrar nas mesmas para se alimentarem e reproduzirem, provocam lesões que facilitam a entrada de outros microorganismos. Dentre os agentes disseminadores tem-se principalmente o homem, o solo, o substrato e a água de irrigação e proveniente de enxurradas geradas após precipitações pluviométricas (LORDELLO & LORDELLO, 1991). Assim, mais uma vez verifica-se a importância da desinfecção de todos os agentes envolvidos na produção de mudas, além da necessidade de ser construídas muretas de 40 cm nos viveiros, com a finalidade de barrar possíveis enxurradas, como já está previsto na legislação.

3.2. Tecnologia de produção de mudas

3.2.1. Fases da produção de mudas cítricas

A produção de mudas cítricas em ambientes protegidos pode ser dividida em duas fases principais: a fase de sementeira, que representa o intervalo de semeadura ao transplantio; e a fase de viveiro, que abrange as etapas de transplantio até a enxertia, e de enxertia até pós-enxertia. Após a passagem da muda por todo este ciclo de produção estará pronta para a comercialização e o plantio.

A semeadura é realizada com a utilização de sementes originárias de plantas matrizes registradas pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, mantida em um campo de produção próprio e seguindo manejo nutricional e fitossanitário adequado (FUNDECITRUS, 2004). Após serem retiradas de frutos no exato momento de maturação fisiológica, as sementes selecionadas são tratadas termicamente (52°C por 10 minutos) para eliminar a possibilidade de transmissão de fungos do gênero *Phitophthora*, causador da gomose e de outros patógenos. Emprega-se de duas a três sementes por tubete, procedendo-se, posteriormente, à seleção e o desbaste das plantas atípicas e de pequeno desenvolvimento, conhecidas como “planta macho”, “híbridos” ou “zigóticos”. A profundidade de semeadura varia de acordo com o tamanho da semente: 2,5 cm de profundidade para sementes maiores e 1,5 cm para as menores. A emergência das plântulas varia de 15 a 45 dias e pode ser mais homogenia com a retirada do tegumento e com o plantio de sementes mais uniformes em tamanho (CARVALHO et al., 2005).

Após o desenvolvimento da plântula até atingir uma altura de cerca de 15 a 25 cm, por volta de 3 a 5 meses de semeadura, dependendo da variedade e condições de cultivo, realiza-se o transplantio dos porta-enxertos ou “cavalinhos”, para os recipientes onde será completada a formação e desenvolvimento da muda (EMBRAPA, 2005; CARVALHO et al., 2005). Após a fase de sementeira, os recipientes utilizados devem possuir as dimensões mínimas de 10 cm de diâmetro por 30 cm de altura. O transplantio sem promover lesões no sistema radicular, proporciona o crescimento contínuo do porta-enxerto, e dentro de 3 a 4 meses poderá receber a borbulha da variedade-copa.

Com cerca de 5 a 10 mm de caule pode-se proceder à enxertia nos porta-enxertos, sendo esta realizada pelo método de “T” normal ou “T” invertido (ZANETTI, 2005). O enxerto deve ser feito entre 10-20 cm acima do colo da planta. Após a brotação da borbulha enxertada executa-se a decapitação do porta-enxerto acima do local enxertado, por ocasião da

retirada do fitilho, no período de 20 dias após a enxertia. A borbulha é a técnica mais utilizada no mundo para a propagação de citros, e consiste na justaposição de uma única gema sobre um porta-enxerto enraizado. As borbulhas utilizadas devem ser procedentes de instituições reconhecidas e registradas pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento. As brotações devem ser conduzidas com o auxílio de um sistema de haste única, e após atingirem uma altura de, no mínimo, 30 cm para as tangerinas e 40 cm para as laranjas e demais cultivares, a partir do colo da planta, realiza-se a poda de formação, conforme estabelecido pela legislação.

De acordo com as inspeções de pós-semeadura, pós-transplântio, pós-enxertia e de liberação, as mudas poderão ser comercializadas. Posteriormente a realização da enxertia, obtem-se a muda palito, o que pode durar aproximadamente quatro meses (ALMEIDA, 2003).

3.2.2. Recipientes

A produção de mudas tornou-se mais otimizada, a partir da década de 80, com o surgimento de recipientes em forma de tubetes plásticos. Dentre as principais vantagens que essa tecnologia trouxe está a facilidade de manuseio em decorrência da redução de tamanho do recipiente, o que causou uma diminuição na quantidade de substrato utilizado por muda produzida, e um aumento da produção anual de mudas por área de viveiros (GRUBER, 2006). Além disso, ao atingirem a parte inferior do recipiente, o sistema radicular da muda sofre uma poda natural, não sendo necessária a poda das raízes, o que induz o desenvolvimento de uma pivotante ramificada com um número maior de raízes secundárias axiais (MARCHI, 2002).

Na produção de mudas em recipientes, observam-se algumas vantagens, tais como: maior controle sobre a incidência de patógenos e conseqüente melhor sanidade, menor tempo na obtenção de mudas, maior volume de radículas, maior sobrevivência no plantio com menor número de regas no pós-plantio, maior controle nutricional e hídrico, maior produção de mudas por unidade de área e seleção apurada dos porta-enxertos (PLATT & OPITZ, 1973). Por isso, mudas provenientes de viveiros telados tendem a ser mais produtivas no campo (FERRAREZI et al., 2007).

Os tubetes são recipientes de plástico rígidos que podem apresentar dimensões variadas, com capacidades volumétricas entre 50 e 500 cm³ (KÄMPF, 2000). Possuem forma cônica e devem apresentar, no seu interior, estrias no sentido longitudinal para proporcionar melhor direcionamento das raízes no sentido vertical, impedindo o enovelamento ou o

crescimento em forma de espiral dentro do tubete (GUIMARÃES et al., 1998). A conformação do sistema radicular das mudas é de suma importância, tendo em vista que o crescimento em espiral das raízes pode continuar após o plantio, provocando baixa estabilidade das futuras árvores (SCHIMIDT-VOGT, 1984).

A capacidade do recipiente é um fator preponderante para se determinar o crescimento das mudas e porta-enxertos e com isso indicar a viabilidade técnico-econômica do empreendimento, uma vez que, está diretamente relacionada com a disponibilidade de água e nutrientes fornecidos a planta, além de interferir na acomodação e desenvolvimento adequado do sistema radicular das mudas (GIRARDI et al., 2001).

Contudo, o uso de tubetes proporcionou o aparecimento de dois problemas relacionados ao suprimento hídrico: por ser um reservatório pequeno para o armazenamento de água; e, a elevada retenção de água pelo substrato, afetando a drenagem (FONTENO, 1993). Conseqüentemente, o sistema radicular das mudas pode apresentar dificuldades no seu desenvolvimento devido à baixa capacidade de aeração. Como relatado por STAMATO JÚNIOR (2007), a absorção de água e nutrientes não pode ocorrer sem a presença do ar, o que torna relevante o conhecimento das propriedades físicas e químicas do substrato utilizado no sistema de produção (SALVADOR, 2000).

Diversas pesquisas estudaram as diferentes combinações entre a altura e o diâmetro dos recipientes de produção de mudas em geral, buscando-se avaliar a interferência das várias dimensões dos tubetes na estrutura e arquitetura do sistema radicular. Segundo GOMES et al. (1996), estudando espécies florestais, a altura das embalagens plásticas foi mais importante para o desenvolvimento vegetal das mudas do que o diâmetro, o que resultou na redução da área ocupada pelo recipiente no viveiro e, conseqüentemente, reduzindo o custo de produção. A altura do recipiente pode influenciar a taxa de ar/água, pois determina a altura da coluna de água presente no substrato (STAMATO JÚNIOR, 2007).

ALFENAS et al. (2004), afirmam que entre as várias formas apresentadas de recipientes para a produção de mudas de eucalipto, dentre elas o saco plástico, as bandejas de isopor e os tubetes de polietileno de alta densidade, este último em forma de tronco de pirâmide, facilita a remoção da muda durante a operação de plantio e permitem uma melhor drenagem, e desse modo provocando o menor dano possível ao sistema radicular.

Também já foi demonstrado por diversos autores que mudas de diferentes espécies quando produzidas em recipientes com maiores volumes apresentam maior vigor e melhor qualidade (GODOY JÚNIOR, 1965; SANTOS et al., 2000; SILVA et al., 2003; FAVARIN et al., 2005). Entretanto, MELO (1999) avaliando o efeito do tamanho dos tubetes no desenvolvimento de mudas de cafeeiro, verificou que os tubetes com capacidade volumétrica de 50 mL permitem a produção de mudas com desenvolvimento semelhante ao daquelas produzidas em tubetes com capacidade de 120 mL.

3.2.3. Substratos

Os substratos são definidos como meio físico sólido, distinto do solo, natural, residual, mineral ou orgânico, onde se desenvolve o sistema radicular das plantas que crescem em um recipiente com volume delimitado (BALLESTER-OLMOS, 1992). Este insumo de produção é composto de uma fase sólida formada por partículas minerais ou orgânicas, uma fase líquida formada pela água, e uma fase gasosa (WENDLING & GATTO, 2002). A fase sólida é responsável pela manutenção e estabilidade mecânica das raízes; a fase líquida disponibiliza água e nutrientes; e a fase gasosa realiza o transporte de oxigênio e gás carbônico entre as raízes e a atmosfera. Segundo ANSORENA MINER (1994), a existência de um equilíbrio entre as quantidades de ar, água e nutrientes minerais é uma característica que o meio de cultivo deve possuir.

Os substratos podem ser constituídos por diferentes matérias-primas de origem mineral, orgânica ou sintética. Podem também ser formados por um único material ou mistura. Os materiais orgânicos normalmente usados são: a turfa, casca de árvores picadas e compostadas, e fibras vegetais. As principais substâncias minerais são vermiculita, perlita, espuma fenólica e lã de rocha (ABREU et al., 2002). Como não existe substrato que apresente todas as características ideais para o desenvolvimento de mudas, normalmente são adicionados outros componentes, em forma de mistura, de modo a melhorar suas características físicas e químicas (WENDLING & GATTO, 2002).

FILGUEIRA (2000) descreve que a utilização de vermiculita expandida é bastante vantajosa, visto que este mineral micáceo pode absorver a quantidade de água proporcional até cinco vezes seu próprio volume. Outras características favoráveis ao uso deste mineral são os teores elevados de K e Mg disponíveis, a elevada capacidade de troca catiônica e, portanto, a

boa retenção de nutrientes. A utilização da vermiculita deve seguir uma porcentagem na base de 30 a 40% em relação ao volume da mistura dos demais materiais na elaboração do substrato.

A utilização do solo mineral como componente de substrato não é recomendado, e está proibido de ser usado segundo o Artigo 5º da portaria CDA-05. Dentre as diversas razões pode-se ressaltar a distribuição não uniforme do tamanho das partículas e, conseqüentemente, tamanho de poros reduzidos, o peso elevado, baixa drenagem, propriedades químicas variáveis, disseminação de doenças, insetos e sementes de ervas daninhas. Além disto, solos podem também conter altos níveis de sais e de resíduos tóxicos (CABRERA, 1996).

De acordo com a portaria CDA-05, os substratos devem ser isentos de organismos fitopatogênicos, de sementes e de plantas daninhas, apresentando propriedades físicas e balanço nutricional adequado. Substratos com essas características facilitam a retirada de mudas em ponto de transplante (FIGUEIRA, 2000).

Segundo MINAMI (1995), o substrato é o componente mais sensível e complexo do sistema de produção de mudas, pois qualquer variação na sua composição pode alterar a qualidade final, desde a não germinação da semente até o desenvolvimento irregular da muda. Além disso, JESUS et al. (1987) afirmam que o substrato exerce influência marcante na arquitetura do sistema radicular, principalmente pela sua capacidade de aeração, que será definida pela textura e estrutura que compõem o substrato.

Conforme GOMES & SILVA (2004), o substrato ideal deve apresentar homogeneidade em sua composição, baixa densidade, alta porosidade, alta capacidade de absorção e retenção de água, capacidade de troca catiônica elevada, boa agregação das partículas nas raízes, isenção de pragas, patógenos e sementes indesejáveis, ser de fácil manipulação independente das condições climáticas, ser abundante e economicamente viável. De acordo com VERDONCK (1983), um substrato para ser considerado ideal, deve apresentar as seguintes características físicas: porosidade total inferior a 85% de seu volume, 20% a 30% de espaço de aeração, 20% a 30 % de água facilmente disponível e 4% a 10% de água de reserva.

Para avaliar a qualidade de um substrato não basta conhecer as propriedades gerais de seus principais componentes, é importante determiná-las por meio de análises laboratoriais rotineiras (determinação de propriedades físicas e químicas) para controle da qualidade. Estas

análises não devem ser realizadas apenas depois do aparecimento de problemas no cultivo (FERMINO, 2002).

As principais características físicas que devem ser analisadas nos substratos são: a densidade, a porosidade total, espaço de aeração e a capacidade de retenção. Vários autores afirmam que as características físicas de um substrato apresentam maior relevância que as características químicas, visto que os teores de nutrientes, o pH e a condutividade elétrica podem ser alterados por intermédio do manejo da irrigação e fertirrigação (FERMINO, 2002; GERVÁSIO, 2003), de adubações de base e de cobertura (GONÇALVES & POGGIANI, 1996).

WHITE & MASTALERZ (1966), estabeleceram o conceito de capacidade do recipiente ou “container” (CC), definindo como a quantidade de água remanescente no substrato após a drenagem e, imediatamente, antes da evaporação. É importante ressaltar que a natureza do substrato, e o tamanho e formato do recipiente influem no valor do (CC).

FERMINO (2002) cita que os substratos, em geral, apresentam uma porosidade maior quando comparado ao solo. A porosidade total em um substrato pode ser determinada pela curva de retenção de água, correspondendo à umidade volumétrica em 0,0 MPa de potencial matricial, sendo este o momento em que se alcança a saturação (VERDONCK, 1983). A densidade, como mostra FONTENO (1993), influencia as demais características físicas do substrato, pois possui um efeito leve sobre a porosidade total, moderado sobre a capacidade dos recipientes, e elevado sobre a água facilmente disponível.

Nos substratos agrícolas a aeração é mais relevante do que a capacidade de retenção de água, pois o teor de água pode ser alterado pela atividade de irrigação. A distribuição e uniformidade dos poros são determinadas pela distribuição e tamanho das partículas, pois existe uma relação direta entre o tamanho das partículas e o tamanho dos poros. A presença de poros de vários tamanhos garante conteúdos apropriados de ar e de água (MILNER, 2001).

As características químicas mais relevantes em substratos são o pH, a condutividade elétrica, os teores disponíveis dos elementos N (nitrato e amoniacal), P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fé, Mn, Zn, Na, e Cl, e dos seguintes elementos tóxicos: Pb, Cd, Ni e Cr. (ABREU et al., 2002). O conhecimento da fertilidade do substrato utilizado é importante, uma vez que com a sua determinação pode-se prever antecipadamente a necessidade de se realizar a complementação com fertilizantes.

GONÇALVES & POGGIANI (1996) apresentam a Tabela 1 com os níveis adequados das características físico-químicas de substratos utilizados na produção de mudas florestais, que podem ser utilizados como apoio para definição das mesmas características de substratos empregados na produção de mudas de outras culturas, como citros e café.

Tabela 1. Nível adequado das características físico-químicas de substratos utilizados na produção de mudas florestais.

Característica	Valor	Característica	Valor
“Densidade Global” (g cm ⁻³)	0,45 - 0,55	pH em CaCl ₂ (0,01M)	5,5 – 6,5
Porosidade Total (%)	75 - 85	P resina (mg.dm ⁻³)	400 - 800
Macroporosidade	35 - 45	K trocável (μmol _c .dm ⁻³)	30 - 100
Microporosidade	45 - 55	Ca trocável (μmol _c .dm ⁻³)	100 - 200
Relação C/N Total	8 – 12/1	Mg trocável (μmol _c .dm ⁻³)	50 - 100
Capacidade Máx. de retenção de água (ml.50 cm ⁻³)	20 - 30	CTC efetiva (μmol _c .dm ⁻³)	>200

A alta frequência de irrigação aliada ao pequeno volume de substrato provoca uma elevada taxa de lixiviação de nutrientes, especialmente de nitrogênio, o que dificulta a manutenção a níveis adequados dos nutrientes. Portanto, as quantidades de nutrientes encontradas nos substratos são insuficientes para um bom desenvolvimento da muda, e dessa forma torna-se necessário fazer fertilizações complementares, seja por fertirrigação ou adubação (STAMATO JÚNIOR, 2007). GRACIANO et al. (1995) relatam que não são recomendáveis substratos excessivamente ricos em nutrientes, devido ao teor de sais solúveis que podem prejudicar o crescimento das plantas.

No Brasil, o substrato mais utilizado é composto por casca de pinus moída, composta e enriquecida com nutrientes, contendo em torno de 10% de espaço de ar, 30% de água facilmente disponível e capacidade de container (CC) de 60% do volume (MILNER, 2002).

3.2.4. Irrigação

A irrigação é considerada fator essencial à dinâmica de viveiros e merece atenção especial tendo em vista que, a produção de mudas em recipientes plásticos é um sistema único de produção. O cultivo das mudas em substratos apresentam volume espacial limitado para o

desenvolvimento radicular, além de pequena quantidade de água armazenada e nutrientes disponíveis. Dessa forma, a irrigação e a adubação são ferramentas fundamentais para a obtenção de mudas com boas características para o plantio, e que devem ser manejadas apropriadamente para obtenção de resultados satisfatórios na qualidade final das plantas.

Partindo-se da premissa que o suprimento adequado de água é capaz de gerar incrementos na produção agrícola, é possível afirmar que a adoção de sistemas de irrigação dimensionados corretamente, aliado ao manejo apropriado pode proporcionar melhor qualidade às mudas, redução de lixiviação de nutrientes, promover maior potencial germinativo e gerar homogeneidade no desenvolvimento das mudas (GRUBER, 2006).

Dentre os sistemas normalmente utilizados na atividade da irrigação na produção de mudas cítricas, pode-se citar: irrigação manual, aspersão sobre-copa e gotejamento. Os dois primeiros possuem características desfavoráveis como o molhamento da parte aérea das plantas, possibilitando o aparecimento de doenças e o desperdício de água. Estima-se que cerca de 50% a 75% da água aplicada, por meio da irrigação sobre-copa caia fora dos recipientes (JESUS et al. 1987; SMAJSTRLA et al., 1988). O gotejamento proporciona o uso mais eficiente da água, no entanto, possui maior custo de implantação, operação e manutenção.

De acordo com WENDLING & GATTO (2002), a irrigação por ascensão capilar é vista como um método com potencial para ser aplicado na produção de mudas, uma vez que possui a vantagem de umedecer somente o substrato, reduzindo as perspectivas de ocorrência de doenças na parte aérea das mudas, além de menor consumo de água, agroquímicos e energia elétrica.

Na produção de mudas cítricas, o fato de 92% dos viveiros utilizar a irrigação manual na fase de sementeira (ALMEIDA, 2003), revela uma problemática encontrada nesta fase da produção de mudas, devido motivos já expostos anteriormente. A justificativa pelo uso majoritário da irrigação manual, que é realizada por meio de chuveiros ou tubos perfurados, deve-se ao custo de implantação e manutenção ser inferior quando comparado à irrigação por microaspersão, e também pela facilidade de aquisição e operação. A irrigação por chuveiros ou tubos perfurados caracteriza-se por utilizarem lâminas inadequadas de água devido à metodologia empírica de aplicação.

Como as diretrizes de produção de mudas cítricas no estado de São Paulo, regulamentadas pela portaria CDA-05, não abordam as técnicas de manejo hídrico e nutricional a serem empregadas, nem mecanismos de destino da água residuária da atividade de irrigação, cerca de 83% dos viveiros do estado destinam a água ou a solução residual diretamente no solo, o que pode acarretar sérios impactos ambientais e custos econômicos elevados (ALMEIDA, 2003).

Na estimativa do desempenho da irrigação pode-se utilizar três metodologias: a quantidade de água que se mantém retida no substrato imediatamente após a irrigação, a quantidade de água colocada dentro do recipiente de cultivo em relação à quantidade que cai entre os recipientes de cultivo e a uniformidade de distribuição da aplicação. É importante ressaltar que a uniformidade de aplicação é bastante variável, pois a água é distribuída de forma irregular nas bancadas e algumas partes recebem maior quantidade de água que outras, sendo esta dependente do manejo empregado (MILNER, 2001).

A eficiência da aplicação é obtida por meio do balanço do volume de água armazenada na zona radicular e o volume aplicado na irrigação. Esse balanço sempre será menor que 1,00, pois durante ou após a atividade de irrigação ocorrem perdas no processo de aplicação e drenagem (STAMATO JÚNIOR, 2007). A busca por melhorias na eficiência de aplicação pode proporcionar reduções nas quantidades de água, agroquímicos e energia consumida e melhorar a absorção de nutrientes e o controle de doenças, exigindo que os centros produtores monitorem este parâmetro e otimizem o seu valor (SMAJSTRLA et al., 1988).

Outra medida de eficiência que também é utilizada na irrigação de mudas é a eficiência de interceptação (EI), que é uma medida teórica da água capturada pelo container durante uma irrigação sobre-copa, excluindo a quantidade de água que é perdida diretamente através da bancada que circunda o container. É obtida pela relação entre a área do topo do container e a área representativa da bancada que é ocupada por um container, sendo expressa em valores percentuais. A água que passa diretamente sobre a bancada, ou desperdiçada, é calculada como $(100 - EI)$, sendo também expressa em porcentagem. A densidade de plantio e a arquitetura da planta influenciam a interceptação da água aplicada (STAMATO JÚNIOR, 2007). No entanto, nem toda água interceptada permanece dentro do container, pois irrigação em excesso acarreta perdas por lixiviação (ZINATI, 2000).

A medida do excesso de água aplicada durante a irrigação é denominada fração de drenagem (FD) (SMAJSTRLA et al., 1988; MILNER, 2001). Trata-se da relação entre quantidade de água drenada pelo diâmetro basal do recipiente de cultivo e a quantidade de água aplicada no recipiente, sendo expressa em porcentagem. Este parâmetro auxilia no manejo adequado da irrigação e, conseqüentemente, reduz as perdas de nutrientes, água e energia. Quando se obtêm valores de fração de drenagem inferior a 5% deve-se ter cuidado, visto que pode ocorrer aumento dos sais solúveis no substrato, o que pode provocar injúrias no sistema radicular. Por outro lado, valores de fração de drenagem situados entre 10% e 15% são considerados seguros para o desenvolvimento da planta. Recomendam-se irrigações com FD ao redor de 20%, ao longo do tempo, com o objetivo de controlar os níveis de sais no substrato, e da mesma forma, quando a concentração de nutrientes é baixa utiliza-se FD mais baixos aliados a concentrações menores de fertilizantes, a fim de evitar o acúmulo de sais no substrato (ZINATI, 2000). Alguns fatores podem alterar a fração de drenagem, como propriedades físicas do substrato, o estágio de desenvolvimento da planta e a quantidade de água aplicada. Segundo STAMATO JÚNIOR (2007), recomenda-se em viveiros de mudas cítricas, uma FD de 10-20%. Dessa forma, para a realização da irrigação deve utilizar um incremento 10 a 20% da água necessária para atender a demanda da planta. MILNER (2001) afirma que esta prática é comum em Israel e outros países, visto que representa um método simples e rápido de manejo de irrigação e controle de salinidade em substratos.

O uso de informações sobre a condutividade elétrica (EC) obtida da solução drenada pelo diâmetro basal dos containeres pode ser aproveitado como um indicativo da qualidade da irrigação processada. GRACIANO et al. (1995) relatam que, por exemplo, se a solução drenada apresentar níveis de EC superior a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$ indica a existência de um excesso de sais que deverão ser lixiviados, nos próximos dias, para reduzir o teor de sais solúveis, enquanto que uma solução drenada com níveis de EC na faixa de $0,2$ a $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, indica que menos água para lixiviação será necessária nos próximos dias, devido ao excesso de irrigação arrastando os nutrientes.

Inversamente aos cultivos em solo, o manejo hídrico em recipientes preenchidos com substrato, possui algumas peculiaridades como a maior frequência de irrigação, devido ao pequeno volume dos tubetes, além da importância relativa dos fenômenos de advecção (GERVÁSIO, 2003). Na irrigação dos canteiros destinados à semeadura e a fase de

sementeira, período em que as mudas encontram-se em tubetes, a irrigação deve ser mais freqüente do que para as mudas já desenvolvidas, devido ao esgotamento rápido da água disponível as plantas.

O manejo hídrico necessita de observações regulares de diferentes variáveis para garantir níveis ótimos de produção, exigindo a avaliação individualizada do conjunto espécie x estágio de desenvolvimento x condições climáticas x sistema de irrigação x manejo x qualidade do recurso hídrico (CESP, 2000).

Os métodos de manejo da irrigação, que ajuda estabelecer o quando e o quanto irrigar, é uma ferramenta indispensável em qualquer sistema de produção irrigado e não poderia ser diferente na produção de mudas cítricas. STAMATO JÚNIOR (2007) denomina o manejo da irrigação como um “Programa de Irrigação” e cita um exemplo bastante simples de monitoramento da irrigação, o método do peso específico ou de referência. Para se determinar o peso de referência deve-se checar o peso do recipiente, com o substrato e a planta, na capacidade máxima de retenção de água e posteriormente a checagem do peso momentos antes da irrigação. Assim, irriga-se a quantidade necessária para se atingir a capacidade máxima de retenção de água, previamente estipulada. Este método permite a determinação do consumo de água pela planta, ao longo do dia, no próprio local de coleta, necessitando apenas de balança de precisão (MILNER, 2001). Outra possibilidade para o manejo da irrigação é o uso de tensiômetros sensíveis, especialmente fabricados para uso a baixas tensões, que monitoram o teor de água presente nos substratos.

SILVA (2003) cita que, na maioria dos viveiros, o manejo é praticado de forma empírica, onde apenas o exame visual das plantas determina o momento e a condução da irrigação. Concordando com o autor acima, WENDLING & GATTO (2002) afirmam que perdas incalculáveis na produção e na qualidade das mudas podem ser resultados de um mau planejamento e fornecimento de água para as plantas. A irrigação em excesso apresenta uma série de desvantagens as processo produtivo de mudas, e dentre eles pode-se citar: a redução da aeração, susceptibilidade a ocorrência de doenças, lixiviação de nutrientes e defensivos agrícolas solúveis, deixar as mudas tenras e pouco resistentes à seca, e, consumo desnecessário de energia e água, o que acarreta altos custos ao sistema produtivo.

Grande parte dos produtores de mudas no estado de São Paulo utiliza o método de checagem visual, associado ao uso do tato, para determinar o momento adequado para a

irrigação. A verificação pelo tato é realizada pelo toque na abertura existente na parte basal do recipiente de produção. Além disso, observa-se a turgidez das folhas como sintoma visual para se determinar o intervalo entre irrigações. Entretanto, este monitoramento pode causar estresse hídrico intensos capazes de provocar danos irreversíveis ao desenvolvimento adequado da planta.

3.3. Sistema de irrigação por capilaridade

3.3.1. Princípio da capilaridade

Segundo KLAR (1984) a água presente no solo está sujeita à diversos campos de forças, resultantes da atração da matriz do solo pela água (Ψ_m), da presença de solutos (Ψ_o), da carga hidrostática (Ψ_h), da pressão externa dos gases (Ψ_p), da gravidade (Ψ_g) e de outros de menor importância. Assim, o potencial da água (Ψ) pode ser expresso pela seguinte equação:

$$\Psi = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p + \Psi_g + \dots \quad (\text{Equação 1})$$

As diferenças de gradiente dos potenciais hidráulicos (matricial, de pressão e gravitacional) da água entre dois pontos levam a uma movimentação, onde a mesma flui do ponto de potencial mais elevado para outro de potencial mais baixo, na tendência natural de toda a matéria atingir o equilíbrio energético no seu universo. Assim, a água poderá realizar tanto o movimento descendente, denominado percolação, como o movimento ascendente, denominado ascensão capilar. A ascensão capilar pode ocorrer devido à capilaridade, que é derivada da ação da tensão superficial na interface ar-água, que desenvolve interfaces curvas nas proximidades das partículas. Essa característica tornou-se possível à aplicação deste princípio físico na técnica da irrigação.

A dinâmica da água no solo apresenta características físicas diferenciadas quando comparada à dinâmica da mesma no substrato. No entanto, é possível verificar semelhanças em alguns princípios físicos, pois segundo FERMINO (2002), a capilaridade é fortemente influenciada pela microporosidade, que nos substratos está presente tanto entre as pequenas partículas (MILNER, 2002) como pelos poros internos que compõe aos agregados deste

material. Assim podemos verificar que a atuação da força capilar também é indispensável na capacidade de retenção da água, tanto em substratos como no solo.

A evapotranspiração é responsável pela redução do potencial matricial da água do solo próximo à superfície, promovendo a ascensão da água das camadas com maior potencial matricial de água no solo. Segundo MILLAR (1988), o fluxo ascendente e a evapotranspiração (ET) estão diretamente relacionadas, e que existe entre as mesmas um balanço expresso pela equação abaixo:

$$ET = \text{Fluxo capilar} \quad (\text{Equação 2})$$

Assim, observa-se que a capilaridade é maximizada pelo regime permanente, caracterizado pela manutenção da umidade no meio poroso com a variação do tempo, passando a obedecer a equação de Darcy para fluxo não saturado no sentido vertical.

$$q = K \cdot \left(\frac{dH}{dZ} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

em que: q = densidade de fluxo (taxa de ascensão capilar) (LT^{-1});

K = condutividade hidráulica (condutividade capilar) (LT^{-1});

dH = carga atuante (potencial matricial) (L);

dZ = distancia entre os pontos (L).

Contudo, a lei de Darcy possui algumas limitações e passa a não ser valida para todas as condições de fluxo em um meio poroso. De acordo com KLAR (1984), a equação de Darcy se aplica onde não haja variação da condutividade, no gradiente hidráulico (relação dH/dZ), e onde o fluxo seja laminar, visto que a linearidade deste versus o gradiente hidráulico desaparece em altas velocidades. Em regimes que o fluxo é turbulento as perdas de energia provocam a redução do gradiente de potencial hidráulico, tornando-o menos efetivo.

MILLAR (1988) revela que, como as condições vegetais e atmosféricas são muito variáveis ao longo do tempo, o mesmo ocorre com a evapotranspiração. Dessa forma, têm-se diferenças no fluxo capilar, que são mostradas pela relação entre a distância entre os pontos

(Z) em que será realizado o movimento da água, e o potencial mátrico (dH). Conforme a equação abaixo:

$$Z = \int \frac{dH}{1 + \frac{q}{K}} \quad (\text{Equação 4})$$

Entretanto, esta equação pode ou não considerar todas as variáveis que compõe os fatores físicos do meio de crescimento radicular. WEERTS et al. (2000), afirma que a elevação capilar também é influenciada pelo fator geométrico das partículas do solo (F_g), que pode ser indiretamente obtida pela condutividade não saturada do solo ($K_{soil}(\theta_w)$) e pela condutividade da franja capilar ($K_{cap}(\theta_w)$), seguindo a equação:

$$F_g = \frac{K_{soil}(\theta_w)}{K_{cap}(\theta_w)} \quad (\text{Equação 5})$$

Em substratos o tamanho das partículas assume fundamental importância na capacidade de retenção de água, pois, quando este apresenta constituintes de menor diâmetro o poder tamponante do meio poroso torna-se maior, com maior quantidade de água adsorvida pelas partículas (FERNANDES E CORÁ, 2004). Esta afirmação pode ser explicada pelo fato de quanto menor o diâmetro das partículas constituintes do sistema, maior será a superfície específica, conferindo maior capacidade de interação com o meio e, conseqüentemente, maior poder de adsorção.

NACHABE et al. (2004) caracterizaram o máximo de água retida em um perfil de solo (SWSC – soil water storage capacity) sobre o lençol freático, que pode ser expresso pela Equação 6 e pela Figura 2.

$$SWSC = \int_0^d (\theta_s - \theta(z)).dz \quad (\text{Equação 6})$$

em que: θ_g = retenção qualquer de água no solo;

θ_s = água armazenada sobre condição saturada;

$\theta(z)$ = capacidade de armazenamento de água no solo;

h_A = altura da camada de ar contida no solo;
 z = elevação sobre o lençol freático.

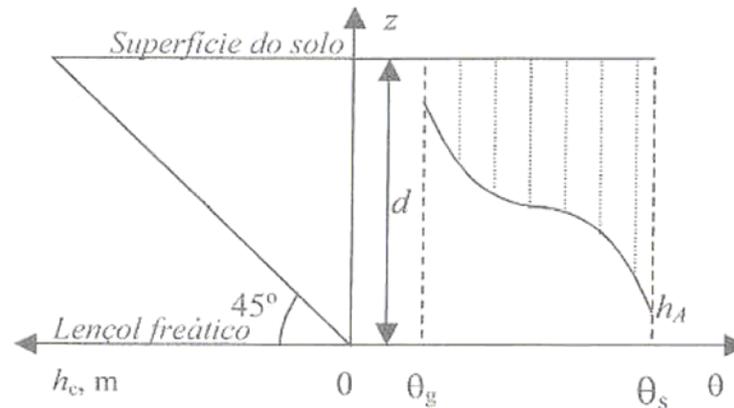


Figura 2. Armazenamento de água ao longo de um perfil de solo sobre um lençol freático raso na profundidade (d), representada pela área hachurada.

Interpretando a Figura 2, verifica-se que a quantidade total de água armazenada no perfil será maior quanto mais próximo estiver da superfície de saturação (lençol freático), sendo que o oposto também é verdadeiro.

Outro parâmetro que deve ser considerado é a temperatura, visto que a mesma interfere na pressão capilar dos poros. Este fato provoca a redução da força capilar existente entre os poros, afetando a curva de retenção na mesma medida em que aumenta o ângulo de contato entre as partículas do meio poroso (BACHMANN et al., 2002).

Em solos arenosos, por possuírem partículas com diâmetros maiores, o que lhes confere menor superfície específica e por isso menor interação com o meio, a elevação capilar torna-se mais difícil. Além disso, os solos arenosos em geral possuem menor capacidade de retenção de água quando comparado com os solos argilosos. Segundo NACHABE et al. (2004), para solos arenosos é fundamental a presença de bolhas de ar no meio poroso saturado, visto que estas servem como mecanismo físico para a elevação da água por capilaridade, elevando o nível de saturação.

Mesmo sendo conhecido há muito tempo, o princípio da capilaridade, existem poucas referências sobre o uso desta técnica na atividade de irrigação. Além disso, não encontra-se referências nacionais do emprego da capilaridade em equipamentos de irrigação, em especial para a produção de mudas em ambientes protegidos, sendo necessários estudos teórico-prático mais profundos para a aplicação desta técnica na irrigação.

3.3.2. Aspectos relevantes da irrigação por capilaridade

Dentre as principais características do sistema de irrigação por capilaridade, pode-se citar a manutenção de maiores níveis de água retida no substrato (GENEVE et al., 2004). Segundo esses autores, este sistema permite o uso racional da água e de agroquímicos, o que pode ser explicado pela ausência da lixiviação destes elementos devido à percolação.

Uma das limitações para o uso do princípio de capilaridade é demonstrada em estudos realizados na produção de plantas envasadas, que revelou valores mais elevados da condutividade elétrica nas camadas superiores do substrato (RICHARDS & REED, 2004). Estes resultados podem ser explicados por não haver constantes lavagens do material propagativo.

O caráter ambiental deste método torna a sua utilização de grande relevância para a produção de mudas em tubetes, visto que segundo MILLION et al. (1999) este método reduz a dispersão de contaminantes químicos durante a produção vegetal. Este fato atende as necessidades encontradas na produção de mudas, onde a água residuária oriunda da irrigação e/ou fertirrigação é descartada diretamente no solo, contendo uma gama de elementos químicos que promovem a contaminação e salinização deste recurso. Como na maioria dos viveiros produtores de citros a captação de água é realizada em poços semi-artesianos, esta é uma problemática relevante, uma vez que pode acarretar a salinização do lençol freático.

Segundo UVA et al. (2001), o sistema de irrigação por capilaridade tipo flood demonstrou melhor empregabilidade para culturas de maior valor econômico, além dos sistemas móveis e/ou pontuais apresentarem maiores vantagens quanto ao custo de mão-de-obra. Entretanto, o alto custo de aquisição do sistema de irrigação por capilaridade aliado a informações errôneas transmitidas aos produtores, faz com que este método de irrigação seja menos difundido.

3.4. Salinização em ambiente protegido

A presença de sais na água usada para irrigação quanto por deficiência na drenagem da área pode levar a salinização do solo. Segundo HU & SCHMIDHALTER (2005) aproximadamente 50% das terras irrigadas no mundo, atualmente, que tem uma produtividade superior a duas vezes a das terras sem irrigação e pode produzir 1/3 da comida do mundo, são

afetadas pela salinização. Segundo esses autores, tanto a seca quanto à salinidade perturbam o balanceamento dos nutrientes minerais, pelos seus efeitos na disponibilidade, transporte e partição nas plantas.

LAZOF & BERNSTEIN (1999) relatam que o aumento da salinidade diminui o potencial osmótico da solução do solo e dificulta a absorção de água pelas raízes, ao mesmo tempo em que íons Na^+ e Cl^- se acumulam nas folhas e afetam os processos fisiológicos da planta, diminuindo o crescimento vegetal e reduzindo a produtividade. A salinidade induz deficiências ou desequilíbrios devido à competição de nutrientes como K^+ , Ca^{2+} , e NO_3^- com os íons tóxicos Na^+ e Cl^- . Os nutrientes minerais desempenham um papel vital determinando a resistência das plantas a seca ou salinidade. Ambos possuem um efeito semelhante no déficit de água para crescimento, e isso implica diretamente na absorção de K^+ , importante para manter o turgor da planta sob qualquer tensão.

Os efeitos da salinidade não ocorrem somente em solos, mas também em sistemas de crescimento que simulam solos, como se observa em culturas cultivadas em recipientes com substratos (LONGUENESE & LEONARDI, 1994). Em ambiente protegido, o uso intensivo de uma pequena área, aliado ao excesso de fertilização, a ausência de chuvas, e a ausência de drenagem adequada contribuem para o maior risco de salinização do solo (BLANCO et al., 2002).

SILVA et al., (1999) afirmam que as causas mais freqüentes do processo de salinização do solo sob os ambientes telados, no estado de São Paulo, deve-se a utilização de águas de baixa qualidade provindas de poços, a adição de sais fertilizantes com índices salinos e quantidades superiores às requeridas para a nutrição das plantas, sendo a última a causa mais recorrente. Adicionalmente, MILNER (2002) informa que o cultivo em substratos tem como importante desvantagem à baixa capacidade tampão, significando baixa tolerância a erros nas atividades de irrigação e fertirrigação.

Na produção de mudas cítricas no estado de São Paulo, o fato de 92% dos viveiros utilizam a irrigação manual na fase de sementeira, caracterizada por utilizarem lâminas de água superestimadas, devido à metodologia empírica de aplicação, adicionada ao fato de cerca 83% dos viveiros destinam a água ou a solução residual no solo, verifica-se a potencialidade de salinização de solo e do lençol freático (ALMEIDA, 2003). Dessa maneira torna-se relevante o estudo do risco a salinidade do solo gerado por este setor produtivo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Buscando contribuir para o desenvolvimento e estudo de um equipamento de irrigação que utilize o princípio de capilaridade a ser aplicado na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase sementeira, dividiu-se o trabalho em três pontos principais: levantamento do perfil tecnológico desse setor de produção agrícola com relação à irrigação utilizada, avaliação de campo do desempenho da irrigação/fertirrigação praticada por viveiristas e idealização, desenvolvimento, construção e caracterização hidráulica de um equipamento de irrigação por capilaridade com simulação da sua operação.

4.1. Local

Os ensaios realizados no presente trabalho foram procedidos nos Laboratórios de Hidráulica e Irrigação, Saneamento e Solos, da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), localizada no município de Campinas, estado de São Paulo, latitude 22 30` S e longitude 47 30` W, altitude de 625 m acima do nível do mar.

4.2. Caracterização do perfil tecnológico da irrigação empregada por produtores certificados de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, no estado de São Paulo

A falta de informações técnicas sobre o atual perfil tecnológico da irrigação realizada pelos 540 produtores certificados de mudas cítricas do estado de São Paulo, com capacidade produtiva instalada de 24 milhões de mudas por ano (FUNDECITRUS, 2008), dificulta o desenvolvimento de ações científicas que contribuam com o crescimento do setor, além de impossibilitar a identificação dos pontos que necessitem aprimoramento técnico-científico. Dessa forma, objetivou-se mapear e diagnosticar as técnicas de produção utilizadas nos viveiros relacionadas principalmente com a irrigação.

A partir do cadastro dos produtores estaduais de mudas cítricas, disponível na página da internet da Coordenadoria de Defesa Agropecuária (CDA), realizou-se a identificação dos

viveiros certificados do Estado de São Paulo. Esse cadastro estadual disponibiliza as seguintes informações de cada viveirista: nome do responsável, endereço da propriedade, telefone e o Escritório de Defesa Agropecuário no qual a propriedade encontra-se cadastrada.

Preliminarmente, realizou-se uma visita técnica a empresa Citrograf sediada no município de Rio Claro, SP, com o intuito de se familiarizar e identificar os principais componentes do processo de produção de mudas cítricas a serem levantados em um questionário a ser aplicado em outros viveiros. Essa empresa foi selecionada devido à sua representatividade no mercado de mudas e pela sua participação significativa na produção estadual. Por meio dessa visita, FERNANDES & TESTEZLAF (2007) desenvolveu um questionário, conforme pode ser verificado no Apêndice 1, que inclui os seguintes pontos: identificação da propriedade, caracterização da produção, sistema de irrigação utilizado, manejo da irrigação, caracterização da fonte de água e do método de cultivo.

Após essa etapa, foram feitas entrevistas-testes a produtores de mudas, objetivando identificar a viabilidade de aplicação do questionário elaborado e a sua eficiência na obtenção das informações a que se destinava. Na elaboração das questões presentes no questionário buscou-se uma formulação simples e clara de perguntas, para o fácil entendimento dos entrevistados, além de evitar possíveis questões que pudessem deixar os produtores constrangidos.

Selecionaram-se, por sorteio, duzentos viveiristas para participarem das entrevistas, utilizando-se uma função de geração de números aleatórios, correspondentes aos números de registros dos viveiristas cadastrados no estado. A aplicação dos questionários foi realizada por intermédio de ligações telefônicas juntos aos produtores responsáveis, no período de janeiro e fevereiro de 2007. Os dados obtidos na pesquisa foram analisados utilizando-se planilha eletrônica, com a construção de gráficos das características levantadas.

4.3. Avaliação do desempenho da irrigação/fertirrigação na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira em viveiristas comerciais.

4.3.1. Identificação e caracterização do viveirista

Com o objetivo de proceder à avaliação do uso da água e fertilizantes pela irrigação empregada pelos viveiristas comerciais, no processo de produção de porta-enxerto de mudas

cítricas, realizou-se uma avaliação *in loco* dos parâmetros de desempenho da irrigação. Após a definição da metodologia de avaliação, procederam-se cinco visitas técnicas a propriedades localizadas no estado de São Paulo, que estavam regularmente cadastradas na Coordenadoria de Defesa Agropecuária, sendo estas avaliações realizadas no período de janeiro a julho de 2008.

No processo de seleção das propriedades agrícolas que seriam visitadas utilizaram-se os seguintes critérios, que até aquele momento eram predominantes no Estado: o emprego de sistemas de irrigação por aspersão com aplicação manual da água, ou seja, por chuveiros ou tubos perfurados (ALMEIDA, 2003; SALVADOR et al., 2008); propriedades que produziam porta-enxerto de Limão Cravo (*Citrus limonia Osbeck*) (POMPEU JUNIOR, 2001); e as que utilizavam substrato de casca de pinus (MILNER, 2002; SALVADOR et al., 2008). Adicionalmente, procurou-se selecionar propriedades com diferentes níveis tecnológicos no sistema produtivo, procurando dar maior representatividade aos resultados obtidos.

O agendamento das visitas foi realizado por meio de ligações telefônicas aos responsáveis pelas propriedades, tendo como parâmetro condicionante à realização em dias que fosse executada a fertirrigação, e assim, possibilitar o estudo do uso de fertilizantes destes produtores. Salienta-se ainda, que as propriedades visitadas utilizavam tubetes plásticos rígidos com dimensões idênticas, ou seja, 0,125 m de comprimento, com diâmetro superior externo de 0,035 m, volume interno de 55 cm³ e apresentando 6 estrias longitudinais internas.

Para caracterizar o perfil dos produtores irrigantes visitados, aplicou-se em cada propriedade visitada, o questionário desenvolvido por FERNANDES & TESTEZLAF (2007), buscando observar e caracterizar, principalmente, os aspectos ligados ao manejo hídrico-nutricional das propriedades avaliadas, e possibilitar a compreensão de como a técnica da irrigação e a fertirrigação estava sendo realizada por cada produtor.

4.3.2. Avaliação do desempenho de irrigação

Devido às diferenças vegetativas no sistema de produção de porta-enxertos, na fase sementeira, separou-se a avaliação do desempenho da irrigação em quatro estádios de desenvolvimento, sendo eles, com as suas respectivas durações médias: germinação (20 dias), desenvolvimento inicial (25 dias), intermediário (25 dias), final (25 dias). Essas etapas de crescimento foram escolhidas buscando detectar a influência do desenvolvimento vegetativo

da parte aérea da planta na dispersão da água e/ou solução aplicada nas atividades de irrigação ou fertirrigação.

O processo de avaliação do desempenho de irrigação iniciou-se com a determinação da vazão aplicada pelo equipamento de distribuição de água utilizada na propriedade. Devido à simplicidade de execução e precisão dos resultados, optou-se por utilizar o método volumétrico (BERNARDO et al., 2005). Este método consistiu em coletar a água oriunda dos bocais dos mecanismos de distribuição em um recipiente graduado, por um determinado intervalo de tempo adotado, conforme pode ser observado na Figura 3, realizando-se três repetições por determinação. Dessa forma, conhecendo-se o volume coletado e com intervalo de tempo cronometrado, obteve-se a vazão do equipamento de irrigação avaliado.



Figura 3. Detalhe da determinação da vazão pelo método volumétrico em visita técnica a propriedade produtora de mudas cítricas.

Para avaliação do desempenho da irrigação é necessária a quantificação de todas as perdas que ocorrem no evento de aplicação de água. Dessa forma, desenvolveu-se uma metodologia para coletar a solução aplicada que não atingia a superfície dos substratos no interior dos tubetes, e também toda a solução percolada, ou seja, aquela que passava pelo interior do tubete sem ser armazenado pelo substrato. Para essas determinações, selecionou-se, para cada bancada de produção por estágio de desenvolvimento da cultura, uma parcela experimental com área aproximada de 3 m², em que as plântulas localizadas nesta área possuísem características de desenvolvimento semelhantes. Em cada parcela eram definidas, de forma inteiramente casualizada, três áreas amostrais com 0,04 m², contendo 49 tubetes cada uma (Figura 4).

Em todos os tubetes de cada área amostral dentro da parcela, era aderido um saco plástico (0,24 m x 0,05 m) na sua parte inferior para a coleta do excedente de solução

percolada através do recipiente (Figura 5a). Adicionalmente, em cada área amostral, instalou-se na parte abaixo da bancada uma bandeja de isopor (0,18 m x 0,23 m), para a coleta da solução perdida que passava pelos interstícios dos tubetes durante a fertirrigação (Figura 5b). Devido às exigências legais relacionadas às questões fitossanitárias da produção, todo material utilizado em cada visita era totalmente descartado após as coletas, não sendo reutilizado em outras avaliações.

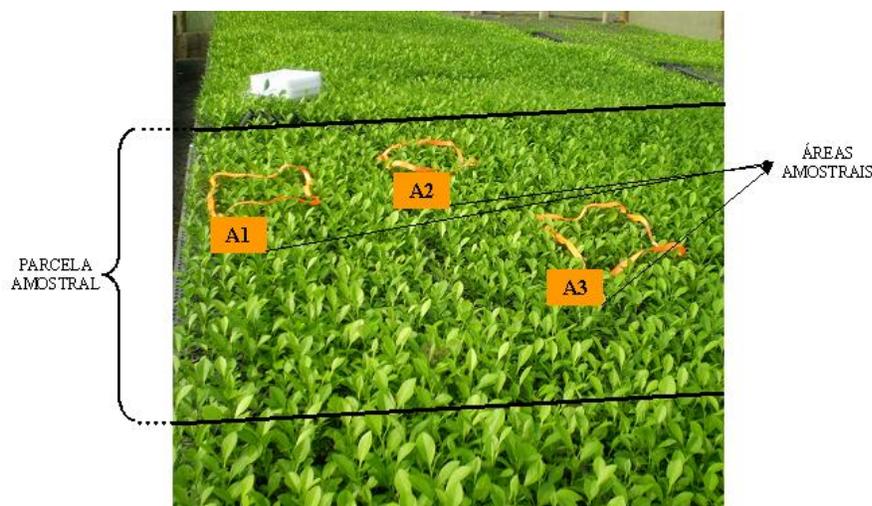


Figura 4. Detalhe da seleção da parcela experimental e das áreas amostrais na bancada de produção.

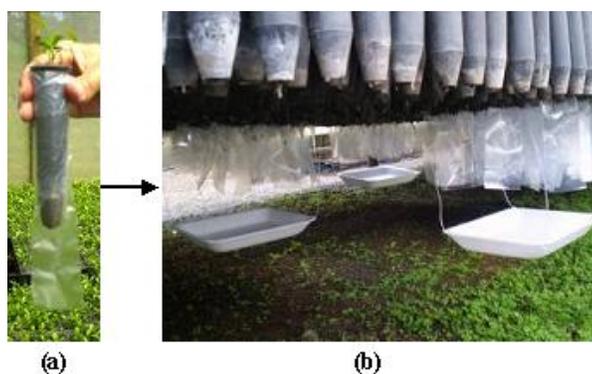


Figura 5. Detalhe do procedimento para avaliação das perdas: (a), fixação de sacos plásticos nos tubetes presentes na área amostral, (b), fixação de bandejas de isopor abaixo da área amostral.

Após a montagem de toda a estrutura para a realização do ensaio experimental, procedia-se a fertirrigação da bancada onde estava localizada a parcela amostral por um dos

funcionários da propriedade responsável por este serviço, da forma habitual que a operação era realizada cotidianamente, sendo cronometrado o tempo de aplicação da solução na parcela estudada. Após o término da aplicação da solução, esperava-se um intervalo de 30 minutos para que a solução aplicada em excesso percolasse através do substrato e fosse recolhida pelos sacos plásticos. As amostras eram então identificadas e armazenadas em caixa com isolamento térmico, preenchida com gelo, para que não ocorresse alteração em suas propriedades químicas, e transportadas para o laboratório para posterior análise.

Obteve-se a definição do tempo de drenagem após a realização de ensaios preliminares, onde observou-se que era necessário aproximadamente 15 minutos para cessar a atividade de percolação nos tubetes após a realização da fertirrigação. Dessa forma, dobrou-se o tempo encontrado para garantir que toda solução aplicada em excesso fosse coletada pelo saco plástico.

A operação de fertirrigação pelo método de irrigação por chuveiro em uma das propriedades visitadas está ilustrada na Figura 6, onde está evidenciada a etapa de coleta de amostras com a geração da solução perdida diretamente, recolhida pela bandeja, e também por percolação, coletada pelos sacos plásticos.



Figura 6. Detalhe da coleta de amostras em uma área amostral, durante a operação de fertirrigação.

Após a aplicação da metodologia de avaliação, o desempenho de irrigação era avaliado analisando-se os valores dos parâmetros de eficiência de irrigação e perdas de água, para cada etapa do estágio de desenvolvimento dos porta-enxertos na fase de sementeira. Para se determinar a perda de solução empregou-se a equação abaixo:

$$P = \frac{L_{perd}}{L_{ap}} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Sendo:

P = perda total de solução (%);

L_{perd} = lâmina total perdida (mm);

L_{ap} = lâmina média aplicada (mm).

Por sua vez, a lâmina perdida foi determinada pela equação 8:

$$L_{perd} = \left(\frac{\bar{V}_{perd\ direto}}{A_{bandeja}} + \frac{\bar{V}_{perd\ percolação}}{A_{T\ tubetes}} \right) \quad (\text{Equação 8})$$

Sendo:

L_{perd} = lâmina perdida (mm);

$\bar{V}_{perd\ direto}$ = volume médio perdido diretamente, obtido pela média dos volumes coletados nas bandejas instaladas abaixo das três áreas amostrais (L);

$\bar{V}_{perd\ percolação}$ = volume médio perdido por percolação, obtido pela média dos volumes totais coletados nos sacos plásticos aderidos aos tubetes da área amostral, para as três áreas amostrais (L);

$A_{bandeja}$ = área da bandeja fixada abaixo das áreas amostrais (perda direta) (m^2);

$A_{T\ tubetes}$ = área do diâmetro superior do tubete, multiplicado pelo número de tubetes presentes na área amostral (perda por percolação) (m^2);

A lâmina aplicada foi determinada pela equação 9:

$$L_{ap} = \frac{V_{ap}}{A_{parcela}} \quad (\text{Equação 9})$$

Sendo:

L_{ap} = lâmina média aplicada (mm);

V_{ap} = volume aplicado, obtido pela multiplicação da vazão do sistema e o tempo de irrigação (L);

$A_{parcela}$ = área da parcela amostral (m^2).

Com o objetivo de minimizar os erros de determinação dos volumes de solução coletados, realizou-se a quantificação das amostras em massa (g), utilizando uma balança analítica com quatro casas decimais, que foi, posteriormente, transformada em volume (m^3). Como as amostras recolhidas no campo apresentaram a massa de água mais a massa do saco plástico, foi subtraído o valor médio da massa do saco do valor obtido nas amostras. Para isso, procedeu-se a pesagem de uma amostra de 30 sacos plásticos e, assim, obteve-se o valor médio dos mesmos. Adicionalmente determinou-se do coeficiente de variação (CV) para verificar se a variabilidade existente no valor da massa dos sacos plásticos era reduzida.

O valor da eficiência da irrigação para cada estágio de crescimento foi determinado pela equação 10.

$$EI = 100 - P \quad (\text{Equação 10})$$

Sendo:

EI = eficiência de irrigação (%);

P = perdas totais de água (%).

Para extrapolar os valores obtidos nessa análise para o total de mudas produzidas no estado de São Paulo, se definiu o parâmetro de perda de água média por 100 plantas, calculada para cada estágio por irrigação, pela equação:

$$P_{i_{100}} = \left(\frac{\overline{P}_i}{Np} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 11})$$

Sendo:

$P_{i_{100}}$ = perda de água para 100 plantas em cada estágio por irrigação (L);

\overline{P}_i = perda média de água do estágio, calculado pela média das perdas obtidas nas visitas (L);

Np = número de plantas contido na área amostral (49 plantas);

100 = número de plantas estudado.

As perdas de água totais para 100 porta-enxertos durante cada estágio na fase de sementeira foram obtidas multiplicando-se o valor encontrado pela equação 11, pelo número de irrigações realizadas durante o respectivo estágio. Dessa forma, foi possível estimar a perda de água total de um lote de 100 plantas para toda a fase de sementeira aplicando-se a somatória das perdas em cada estágio estudado. Baseado na produção mensal de porta-enxertos de mudas cítricas de agosto de 2009 no estado de São Paulo, estimou-se o impacto da atividade sobre os recursos hídricos, considerando que o total de porta-enxertos produzidos no estado estivesse localizada nessa região geográfica.

4.3.3. Estimativa das perdas de sais

Para a estimativa das quantidades de sais presentes na solução aplicada e nas amostras coletadas de soluções salinas perdidas diretamente e por percolação foram medidas as condutividades elétricas (CE) por meio de um condutivímetro da marca Digimed, modelo DM-31, utilizando a metodologia proposta pela Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998).

As amostras de solução coletadas, tanto para os volumes perdidos diretamente quanto por percolação, foram separadas e divididas, para cada área amostral, em três amostras compostas. Assim, obtiveram-se três repetições nas leituras de condutividade e, com isso, calculou-se o valor médio da respectiva área para cada tipo de perda. No entanto, quando o volume total percolado em uma determinada área amostral apresentou valores baixos, todas as

amostras coletadas da mesma área amostral foram convertidas a uma única amostra composta. Também foram coletadas amostras da solução aplicada na fertirrigação para a determinação da condutividade elétrica e, comparar, posteriormente, com os valores obtidos na solução drenada pelo meio propagativo.

A determinação da quantidade de sais presentes em cada amostra foi realizada a partir da relação recomendada pela FAO (1992) onde 1dS m^{-1} da condutividade elétrica na solução significa a presença de 700mg L^{-1} de sais. A partir dos resultados do valor médio da concentração de sais em cada amostra e das quantidades médias de água perdida diretamente e por percolação por porta-enxerto, realizada com os resultados obtidos no item anterior, determinou-se a quantidade média de sais perdida diretamente e por percolação, por porta-enxerto e para cada estágio avaliado na fase de sementeira. Posteriormente, procedeu-se a somatória da quantidade média de sais perdida diretamente e por percolação, por porta-enxerto, em todos os estágios avaliados, determinando-se a perda média de sais durante toda a fase de sementeira por porta-enxerto. Considerando a produção mensal de porta-enxertos de mudas cítricas de agosto de 2009 no estado de São Paulo, estimou-se o descarte total de sais nas estufas em produção, para o respectivo mês.

4.4. Concepção e construção do equipamento de irrigação por capilaridade

4.4.1. Fundamentação prática do projeto

Após serem conhecidas as condições operacionais específicas da irrigação utilizada pelos produtores de porta-enxerto de mudas cítricas e a determinação da eficiência da atividade, pode-se definir em quais pontos o novo sistema de irrigação, baseado no princípio de capilaridade, deveria contribuir para o aprimoramento tecnológico nesta atividade. Dessa forma, estabeleceram-se os princípios que fundamentaram a busca de soluções para os problemas recorrentes na irrigação convencional que o sistema proposto deveria resolver.

Foram propostos e avaliados possíveis arranjos do sistema de irrigação dentro do conceito de irrigação por capilaridade. Tendo em vista que a atual sistemática de produção de porta-enxerto de mudas cítricas no estado de São Paulo é realizada em bancadas de produção, sendo os tubetes de produção apoiados em telas metálicas ou bandejas plásticas rígidas, idealizou-se a concepção do equipamento em módulos constituídos de bandejas de irrigação.

Dessa forma, com a conexão desses módulos portáteis ou bandejas de irrigação por meio das linhas de distribuição para abastecimento de água e/ou solução, seria possível montar bancadas de produção da maneira desejada pelo produtor, garantindo, assim, flexibilidade de montagem e simplicidade nas operações de instalação e manutenção do sistema de irrigação.

Adicionalmente, outro fator presente na produção de mudas citrícolas e que foi determinante na formulação do equipamento de irrigação por capilaridade em módulos foi à questão fitossanitária. Com o desenvolvimento deste sistema de irrigação em módulos, com um número fixo de porta-enxertos, será possível assegurar a sanidade das mudas entre equipamentos de irrigação. No caso de contaminação por microorganismos fitopatogênicos em determinado módulo de irrigação, as plântulas inseridas no mesmo estariam suscetíveis à contaminação, havendo a necessidade de serem descartadas. No entanto, o sistema projetado em módulos garantiria a sanidade nos demais módulos presentes na mesma bancada de produção.

Buscando preliminarmente uma melhor compreensão prática do princípio da capilaridade, das características operacionais do equipamento proposto e a simplificação técnica de construção e operação, procurou-se desenvolver nesta pesquisa um protótipo de simples operação e fácil construção. Assim sendo, não foi priorizada, nesse momento, a construção de um protótipo que permitisse o isolamento e destino adequado da água e/ou solução que entrasse em contato direto com os porta-enxertos, impedindo assim a proliferação de algum fitopatógeno de veiculação hídrica de um protótipo para o outro.

Outra alternativa tecnológica que se buscou avaliar foi a possibilidade de proceder a adução de água/solução no equipamento por meio da carga hidráulica gerada entre um reservatório instalado ao lado da bancada de produção ou nas proximidades da estufa. Este sistema poderia proporcionar economia nos custos variáveis de produção, no caso, energia elétrica.

Diante do exposto, estabeleceu-se que as propostas de equipamentos deveriam atender os seguintes princípios de projeto: agrupamento dos tubetes em módulos com características similares as bandejas de suporte dos porta-enxertos já utilizadas pelo produtor; a individualização das câmeras de alojamento dos tubetes; a operação do equipamento sob baixos valores de pressão e a condução e distribuição da água realizada em tubulações com

diâmetros reduzidos, que poderiam ser dimensionados segundo procedimento definido por BERNARDO et al. (2005).

4.4.2. Protótipos desenvolvidos

Buscando atender os princípios de projeto, foram confeccionados desenhos técnicos e realizados testes e simulações preliminares a fim de possibilitar a escolha da melhor opção a ser implementada nesse estudo. O primeiro protótipo foi construído em escala real, de acordo como são utilizados no sistema de produção de mudas atualmente. A Figura 7 ilustra a concepção do protótipo 1 e, no Apêndice 2, pode-se observar o desenho técnico com as dimensões desta primeira tentativa construtiva.

As principais partes constituintes desse protótipo e suas respectivas funções são:

- Bandeja superior: responsável pela fixação superior das células de fornecimento de água aos tubetes;
- Estrutura de suporte aos tubetes: local de inserção dos tubetes de produção, responsável pela elevação da coluna d'água até a altura de saturação desejada;
- Câmara de adução de água: câmara de abastecimento de água, que é realizado por meio de um bocal de entrada ligado à tubulação lateral de distribuição da água. Essa câmara é responsável pela admissão de água no módulo e fixação inferior da estrutura de suporte aos tubetes. Possui também um registro esfera de fechamento rápido na parte inferior central, possibilitando a operação de drenagem da água admitida na operação da irrigação.

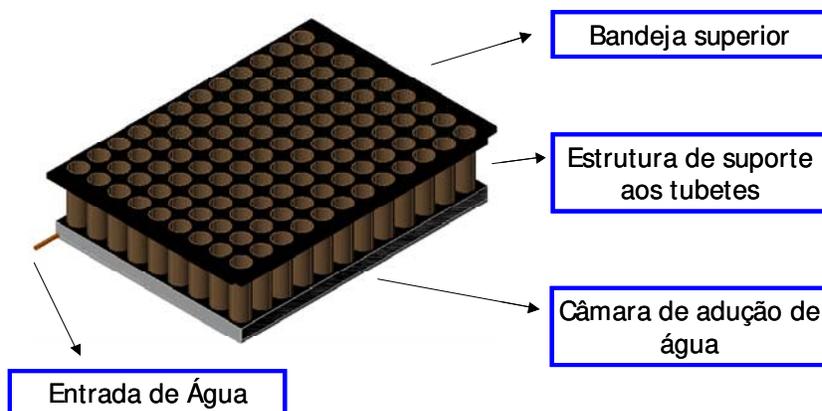


Figura 7. Vista isométrica em 3D do protótipo 1.

Esse protótipo foi montado utilizando-se duas bandejas comerciais pp (plana) destinadas a produção de mudas de café, com dimensões 0,60 x 0,42 x 0,03 m para a construção da câmara de adução de água e 108 células (9 x 12 células) de suporte para os tubetes. Estas bandejas foram coladas e vedadas com polietileno, formando assim uma câmara com entrada e saída da água. A estrutura de suporte aos tubetes foi feita com 108 tubos PVC de 0,040 m de diâmetro externo e 0,125 m de comprimento. Estes materiais foram selecionados devido à fácil disponibilidade no mercado e ao baixo custo de aquisição. Todo o módulo foi unido formando uma peça única do equipamento de irrigação.

Após a construção de um único protótipo e da realização de ensaios preliminares, o equipamento apresentou alguns problemas construtivos e operacionais, que impossibilitaram a sua construção em escala para os ensaios laboratoriais. Dentre estes problemas pode-se ressaltar: dificuldade de vedação da câmara de água e das conexões da estrutura de suporte aos tubetes com a câmara de água, que apresentava vazamentos; dificuldades de fixação da bandeja superior na estrutura de suporte aos tubetes, que não se encaixavam perfeitamente; além de apresentar um peso elevado após a construção completa de módulo, o que poderia proporcionar dificuldades na instalação e manipulação nas propriedades; entre outros.

Com os problemas que surgiram com o primeiro projeto, buscou-se a construção do protótipo 2, que apresentava as mesmas partes constituintes, exceto pela bandeja superior, que não apareceu na elaboração deste protótipo. A câmara de água foi construída a base de resina acrílica e fibra de vidro, com 0,03 m de altura, e a estrutura de suporte ao tubete foi feita com tubos de PVC de 0,040 m de diâmetro externo e 0,125 m de comprimento contando com 54 células (9 x 6 células). Foram construídos dois protótipos, um menor, com dimensões 0,44 x 0,29 x 0,15 m e volume interno de 0,011 m³, e outro maior, com dimensões 0,62 x 0,41 x 0,15 m e volume interno de 0,012 m³, conforme pode ser observado na Figura 8 e na Figura 9, respectivamente.

A opção pela construção de bandejas com duas dimensões diferentes ocorreu devido a necessidade de aumentar o espaço disponível para plântula devido ao crescimento vegetativo após o estágio inicial de desenvolvimento do porta-enxerto, que acaba provocando a competição entre elas, principalmente, por radiação solar. Assim, o espaçamento maior entre tubetes favorecia a redução desta competição e, conseqüentemente, possibilitaria maior desenvolvimento vegetativo.

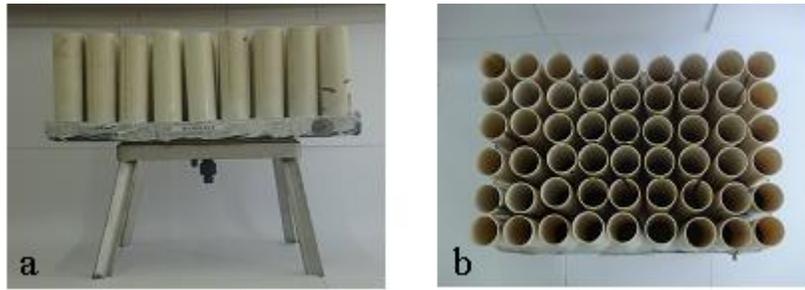


Figura 8. Detalhes do protótipo 2, bandeja menor, com a câmara de água em resina acrílica e estrutura de suporte ao tubete em PVC. Vista lateral (a) e vista superior (b).

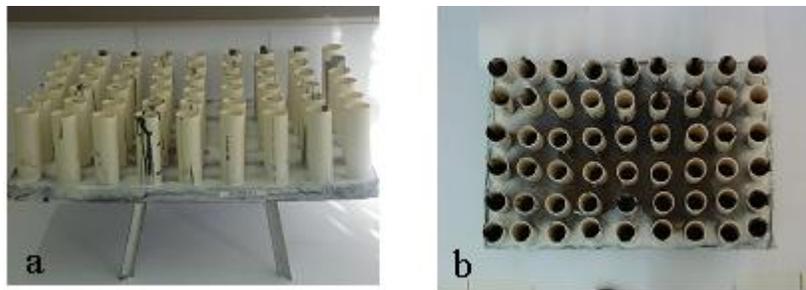


Figura 9. Detalhes do protótipo 2, bandeja maior, com a câmara de água em resina acrílica e estrutura de suporte ao tubete em PVC. Vista lateral (a) e vista superior (b).

Após a construção do protótipo 2 e a realização de ensaios preliminares, essa proposta de projeto foi aprovada em função da facilidade construtiva e operacional do sistema, o que levou a construção de outras bandejas idênticas para posterior avaliação e caracterização em laboratório. Durante a construção destes protótipos constatou-se um problema recorrente: a contração da resina durante o processo de secagem. Esta propriedade provocou uma pequena curvatura convexa da câmara de água, o que gerou um pequeno envergamento na base do protótipo. Adicionalmente, a resina acrílica apresentou certa fragilidade, o que determinou facilidade de ruptura durante o manuseio nas atividades de transporte, instalação, manutenção e operação, além da toxidez comum nesse tipo de resina, dificultando o seu manuseio durante a fabricação das peças.

Torna-se importante ressaltar que durante a fabricação dos protótipos de resina, todas as pessoas envolvidas contavam com os equipamentos de proteção individual: óculos de proteção, máscaras de ar e luvas plásticas.

Em função das limitações apresentadas pelo protótipo 2 construído em resina, buscou-se por empresas que fabricasse a bandeja com melhores características construtivas, como por exemplo, câmara de água totalmente plana. Dessa forma, foi elaborado o protótipo 3 (Figura 10), que foi testado preliminarmente em laboratório.

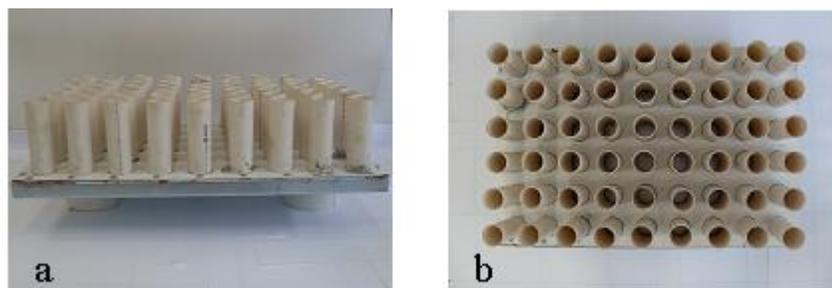


Figura 10. Detalhes do protótipo 3, bandeja maior, com a câmara de água em chapa de alumínio e estrutura de suporte ao tubete em PVC. Vista lateral (a) e vista superior (b).

No protótipo 3, a câmara de água foi construída em chapa de alumínio e a estrutura de suporte ao tubete em PVC. Como o protótipo 3 foi confeccionado empregando diferentes materiais, não houve uma perfeita vedação nas conexões, o que poderia ser solucionado com o emprego de um único material de construção, como o polietileno. No entanto, buscando uma melhor compreensão prática do princípio da capilaridade e das características operacionais decidiu-se, no decorrer das etapas metodológicas, realizar a caracterização hidráulica do protótipo 2 nesse estudo.

4.5. Caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade

Após a realização de testes preliminares no protótipo 2, relacionados à estanqueidade, tempo de enchimento e drenagem, foram construídas dez bandejas semelhantes ao protótipo preliminar, sendo cinco de dimensões menores (0,44 x 0,29 x 0,15 m) e cinco de dimensões maiores (0,62 x 0,41 x 0,15 m). Estes dois grupos de bandejas possuíam semelhança construtiva e estrutural. No entanto, por apresentarem pequenas variações dimensionais originárias no processo de fabricação, optou-se pela avaliação de ambas as bandejas, sendo considerados como repetições, os ensaios realizados com as bandejas semelhantes do mesmo equipamento.

Objetivando a caracterização hidráulica dos protótipos, desenvolveu-se ensaios laboratoriais para determinar a relação vazão versus pressão para os módulos com diferentes dimensões e para dois bocais de entrada de água, com diâmetros internos iguais a 0,004 m e 0,007 m, conforme disponibilidade do fabricante. Os ensaios foram realizados considerando três pressões de serviço: 10, 15 e 20 kPa e para duas condições de preenchimento das câmeras de alojamento dos tubetes: livre (sem tubete) e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, simulando a utilização no processo de produção em campo. No processo de escolha das pressões iniciais de trabalho analisou-se a possibilidade de avaliar o incremento de vazão para a elevação de cada unidade de pressão característica, que neste caso foi de 5 kPa. Adicionalmente, buscaram-se faixas de pressão que se adequasse à construção e utilização de um pequeno reservatório de altura regulável em laboratório.

Verificou-se ainda a validação da aplicação da equação teórica de vazão em função da pressão para orifícios afogados de pequenas dimensões e paredes delgadas. Segundo AZEVEDO NETTO (1998), a vazão volumétrica para orifícios de pequenas dimensões praticados em parede delgada, e para bocais, pode ser determinada pela equação abaixo:

$$Q = C_Q \cdot A \cdot \sqrt{2g(h_0 - h_1)} \quad (\text{Equação 12})$$

Sendo:

Q = vazão volumétrica ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

C_Q = coeficiente de descarga (na prática pode ser considerado igual a 0,61);

A = área do orifício (m^2);

g = aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$);

h_0 = altura da coluna d'água acima do centro de gravidade do orifício à superfície livre do líquido, em nível constante, do reservatório de abastecimento (m);

h_1 = altura da coluna d'água acima do centro de gravidade do orifício à superfície livre do líquido, em nível constante, do reservatório afogado (m).

Na validação da equação teórica, após considerar os valores de área, coeficiente de descarga e aceleração da gravidade, constantes (K), avaliou-se a relação entre a variável dependente vazão (Q) e a variável independente pressão (P), por meio da equação: $Q = K P^X$.

Como no estudo de orifícios afogados a pressão atuante é dependente da diferença das cargas hidráulica h_0 e h_1 , adotou-se a equação do tipo $Q = K P'^X$, onde P' equivale a essa diferença. Salienta-se que o valor de h_0 equivalia à pressão aplicada em cada ensaio, e h_1 era igual à altura de afogamento do bocal de entrada de água na bandeja, que foi mantido constante nos ensaios hidráulicos e equivalia a 13,5 cm. Dessa forma, as equações foram ajustadas com a vazão como variável dependente e como variável independente à diferença entre cargas hidráulicas (P').

4.5.1. Estrutura para realização dos ensaios

Para a realização dos ensaios em laboratório foi construída uma estrutura constituída de dois suportes, para o posicionamento da bandeja a qual estaria sendo avaliada; uma mesa, para o controle da operação de entrada de água; um reservatório de altura regulável, para o fornecimento de diferentes pressões constantes de abastecimento; um piezômetro, para o controle da pressão fornecida ao sistema; e um sistema de drenagem, composto por uma mangueira e um reservatório de água drenada (Figura 11).

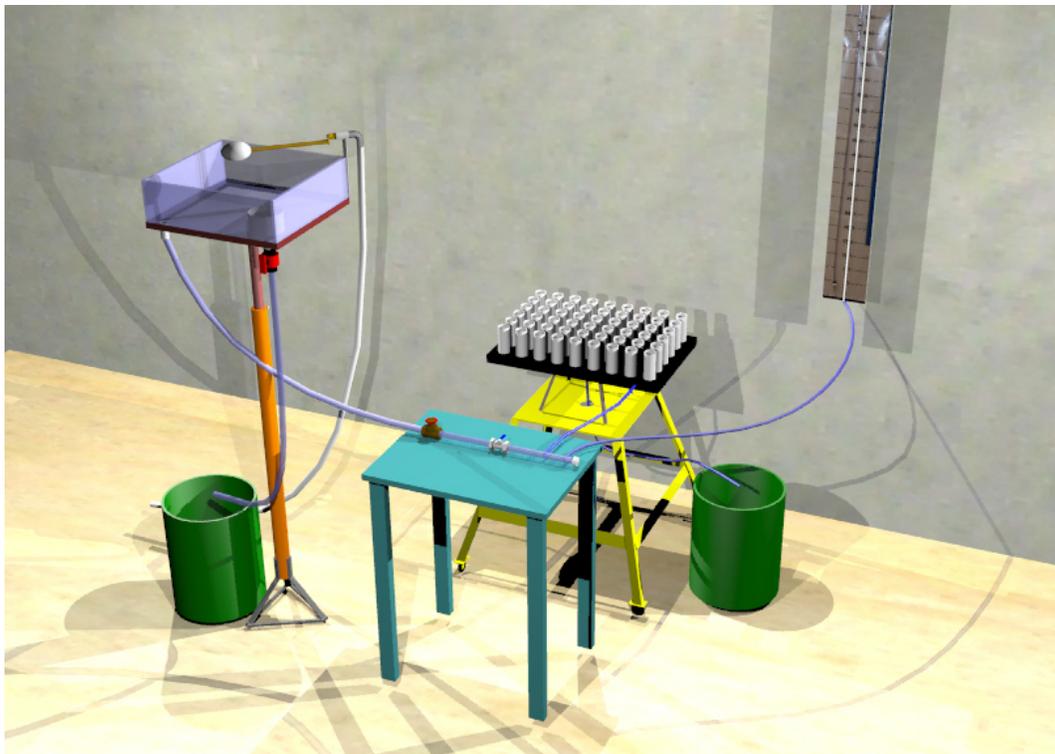


Figura 11: Esquema do módulo experimental.

A bandeja a ser avaliada era instalada na parte superior dos dois suportes, localizada em frente à mesa de controle. Essas duas estruturas estavam sempre em nível, sendo esta verificação realizada regularmente com o emprego de um nível de bolha. Dessa forma, garantia-se o alinhamento entre o conector de saída de água da mangueira de abastecimento e o bocal de entrada de água. A garantia que essas estruturas ficavam em nível possibilitava a manutenção da mesma pressão na entrada da bandeja e aquela monitorada pelo piezômetro. Adicionalmente, optou-se por dois suportes apoiados um sobre o outro, devido à necessidade de se controlar o registro de drenagem das bandejas para que fosse realizada a drenagem da água após o seu enchimento (Figura 12).

O sistema hidráulico de controle do ensaio era composto por mangueira principal de abastecimento, registro gaveta, registro esfera de fechamento rápido, luva, adaptadores e cap final, todos com DN 20. O conector de saída de água da mangueira principal, a mangueira lateral de abastecimento e o conector da bandeja avaliada apresentavam o mesmo diâmetro interno, podendo ser 0,004 m ou 0,007 m, de acordo com o ensaio a ser realizado.

A determinação e o monitoramento da pressão fornecida pelo sistema foram realizados por um piezômetro, o qual apresentava um ponto de medida na mangueira principal de abastecimento, localizado 0,15 m após do conector.

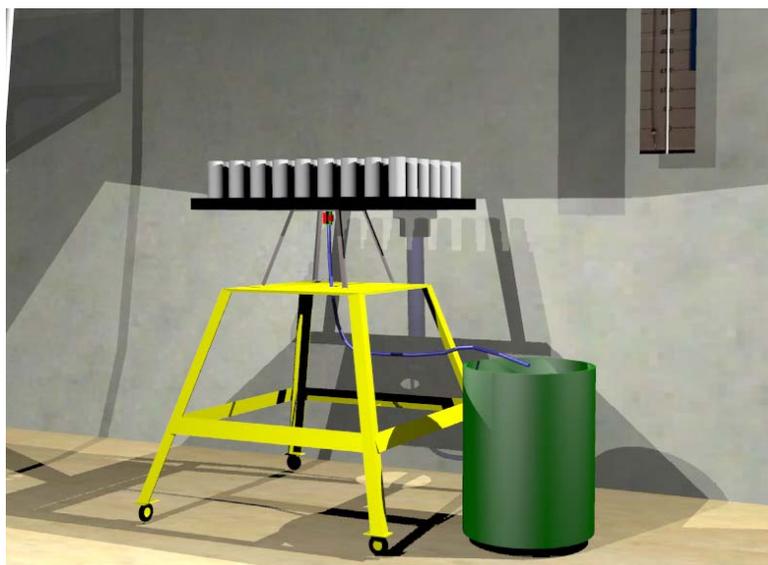


Figura 12. Detalhe dos suportes e do sistema de drenagem da bandeja de irrigação por capilaridade.

O reservatório de abastecimento de todo este sistema era composto de uma caixa de acrílico com dimensões 0,45 x 0,42 x 0,16 m, com capacidade máxima de 0,03 m³; de um tripé metálico de altura regulável, altura máxima igual a 2 m; e sistema de manutenção de nível constante da água. Fixou-se um nível constante de água no reservatório que permitisse a permanência de aproximadamente metade da sua capacidade máxima de armazenamento.

4.5.2. Ensaio experimental sem a presença dos tubetes nas câmaras (equipamento livre).

Inicialmente, objetivou-se analisar o comportamento hidráulico das bandejas de irrigação por capilaridade livres de quaisquer impedimentos que pudessem causar resistência ou perdas de carga ao escoamento do líquido, além das intrínsecas ao próprio equipamento. O ensaio foi então procedido em cada uma das dez bandejas construídas sob condição de enchimento livre (Figura 13), permitindo chegar a conclusões preliminares sobre o processo de irrigação utilizando este equipamento.

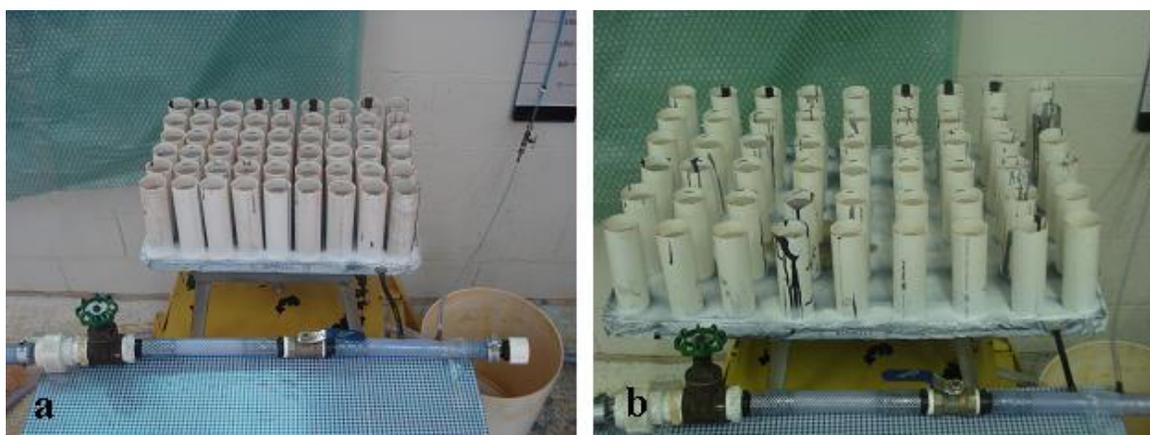


Figura 13. Ensaio hidráulico das bandejas de irrigação por capilaridade sem a presença dos tubetes com substrato. Bandeja menor (a) e Bandeja maior (b).

Foram realizados ensaios para a determinação do tempo de enchimento das bandejas para três pressões de serviço: 10, 15 e 20 kPa. Para cada uma das cinco bandejas foram executadas três repetições, fornecendo assim 15 valores de vazão para cada pressão avaliada. A pressão fornecida pelo sistema foi determinada antes da realização de cada teste, verificando-se, assim, se as pressões fixadas na metodologia estavam sendo atendidas.

Realizou-se o monitoramento da pressão atuante na entrada da bandeja no início do processo de enchimento da bandeja e, logo após o enchimento de metade da sua capacidade máxima.

Fixou-se a altura de 0,12 m como nível máximo que a coluna d'água deveria atingir no interior dos tubos de PVC, caracterizando assim o término da operação de enchimento das câmaras e permitindo o monitoramento do tempo de enchimento com o auxílio de um cronômetro. Após o enchimento do equipamento realizava-se a drenagem do sistema, com a coleta de todo o efluente pelo reservatório de drenagem, possibilitando assim quantificar o volume de enchimento do protótipo e a vazão do sistema para aquela pressão.

Procurou-se minimizar os erros de determinação do volume de água recolhido na drenagem com sua quantificação em massa (kg), utilizando uma balança da empresa Sipebras Eletrônica LTDA, modelo PSP 500, carga mínima de 2,5 kg e carga máxima de 500 kg e, menor divisor igual a 0,1 kg, que foi calibrada para assegurar maior confiabilidade nos resultados obtidos. Após a operação de drenagem pesava-se o reservatório juntamente com o volume drenado e, posteriormente, subtraía-se do valor total, a massa média do reservatório vazio (Figura 14). Obteve-se o valor médio de massa do reservatório depois de dez pesagens seguidas e verificou-se a variabilidade existente, por meio do coeficiente de variação (CV).

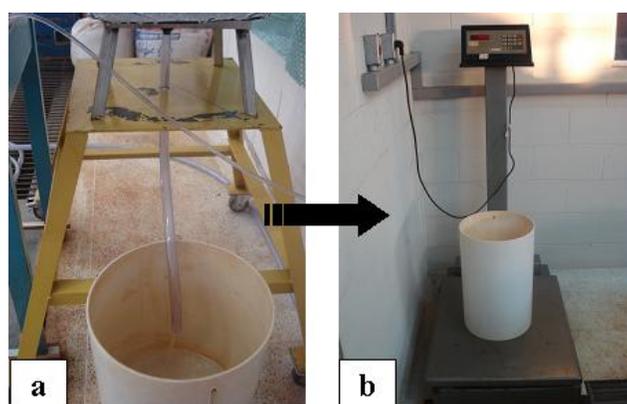


Figura 14. Operação de drenagem da bandeja de irrigação por capilaridade após finalização do processo de enchimento (a). E procedimento de pesagem do reservatório mais o volume drenado (b).

O volume drenado (m^3) foi determinado pelo quociente entre a massa de água (kg) e a densidade da água ($kg\ m^{-3}$), sendo necessário para isso o monitoramento da temperatura da água no momento da operação de enchimento em todos os ensaios executados, com o emprego de um termômetro de mercúrio.

4.5.3. Ensaio experimental com a presença dos tubetes com substrato

Na seqüência, procedeu-se a avaliação do comportamento hidráulico das bandejas de irrigação por capilaridade com a presença de substratos no interior dos tubetes (Figura 15), simulando, assim, a resistência que o escoamento do líquido encontraria nos sistemas produtivos, permitindo ter conclusões mais apropriadas sobre o processo de irrigação utilizando este equipamento.

O substrato adotado no enchimento dos tubetes a serem inseridos nas bandejas foi casca de pinus moída comercializada no mercado, composta e enriquecida com nutrientes, com textura fina, por ser, segundo MILNER (2002), o substrato mais utilizado no Brasil, e de acordo com SALVADOR et al. (2008), ser empregado por majoritariamente 92% dos produtores de porta-enxertos de mudas cítricas no estado de São Paulo. Aliado a isso, ZANETTI et al. (2003) recomendaram o uso de substratos de textura mais fina nas mudas de citros na fase de sementeira.

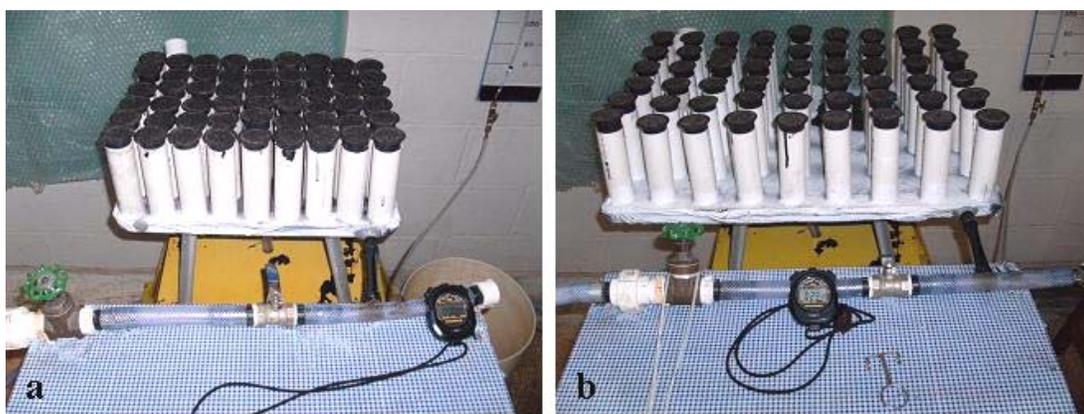


Figura 15. Ensaio hidráulico das bandejas de irrigação por capilaridade com a presença dos tubetes com substrato. Bandeja menor (a) e bandeja maior (b).

O substrato utilizado foi adquirido de uma empresa registrada no Ministério da Agricultura, cuja composição fornecida pelo fabricante, segundo laudo técnico de controle da qualidade apresentado foi: 70% de casca de pinus, 25% de vermiculita e 5% de areia. O fabricante disponibilizou ainda as seguintes características: umidade média do substrato formulado, em volume, de 62%; densidade sem compactação igual a 300 kg m³; capacidade

real de água (CRA) de 150%, em peso por peso; condutividade elétrica de $0,50 \text{ mS cm}^{-1}$; e pH de 6,2.

No processo de enchimento dos tubetes com substrato ocorre a compactação do material e, conseqüentemente, uma alteração na sua densidade. Como, a resistência gerada pelo substrato no tempo de irrigação é influenciada pelo seu valor de densidade, foi necessário estimar o valor desse parâmetro físico antes do processo de enchimento e no momento em que iniciou a aplicação de água. Assim, determinou-se a densidade úmida e seca do substrato antes do procedimento de enchimento dos tubetes, por meio do método descrito por HOFFMAN (1970), utilizado pela Federação dos Institutos para a Pesquisa e Análises Agrícola da Alemanha (VDLUFA) para análise de substratos hortícolas (RÖBER & SCHALLER, 1985).

Coletaram-se cinco amostras do substrato, no estado disponibilizado pelo fabricante, e colocou-se em proveta de plástico transparente e graduada de 500 mL de capacidade (Figura 16), a qual deixou-se cair por 10 vezes consecutivas, sob ação de seu próprio peso, de uma altura de 10 cm (VALERO, 2006). Com ajuda de uma espátula nivelou-se a superfície do substrato inserido na proveta para a obtenção do volume (mL).

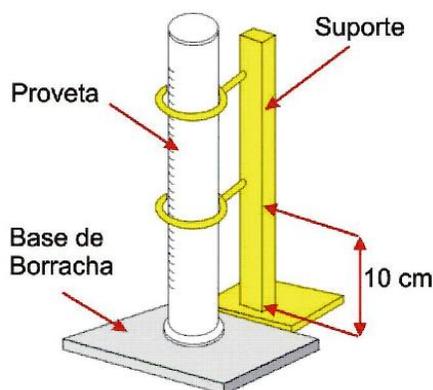


Figura 16. Arranjo utilizado para determinação da densidade do substrato.
Fonte: VALERO (2006).

Em seguida, pesou-se o material (g) e colocou-se em estufa a $65 \text{ }^\circ\text{C}$, por 48 horas ou até atingir peso constante. O valor das densidades foi obtido a partir da média das cinco amostras, aplicando-se as seguintes equações:

$$\text{Densidade Úmida (DU)} (\text{kg m}^{-3}) = \frac{\text{Massa Úmida (g)}}{\text{Volume (cm}^3)} \times 1000 \quad (\text{Equação 13})$$

$$\text{Matéria Seca (MS) (\%)} = \frac{\text{Massa Seca (g)}}{\text{Massa Úmida (g)}} \times 100 \quad (\text{Equação 14})$$

$$\text{Densidade Seca (DS)} (\text{kg m}^{-3}) = \frac{\text{Densidade Úmida (kg m}^{-3}) \times \text{Matéria Seca (\%)}}{100} \quad (\text{Equação 15})$$

A densidade úmida e seca do substrato após compactação, antes da 1ª aplicação de água foi determinada utilizando as equações acima, sendo utilizado no cálculo o volume de preenchimento do tubete. A cada 108 tubetes preenchidos, conforme descrito a seguir, era retirado ao acaso, três tubetes para a determinação das densidades de compactação, sendo considerado como resultado o valor médio das amostras avaliadas.

O tubetes utilizados nos ensaios eram de formato cônico com diâmetro superior externo e interno iguais a, respectivamente, 0,048 m e 0,037 m; diâmetro basal interno equivalente a 0,012 m; altura total de 0,137 m; e volume interno de $1,00 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$. A escolha por este tubete justifica-se pelo ajuste do diâmetro interno das estruturas de apoio ao tubetes (0,039 m) ao corpo externo do tubete, garantindo-se dessa maneira, a ascensão da água por dentro do recipiente e, conseqüentemente, a efetivação da irrigação por capilaridade.

Para evitar que ocorresse a perda de substrato pela base dos tubetes, durante o processo de irrigação, foi aderida a essa parte, por meio de uma fita elástica, uma tela plástica, conhecida por “filó” (Figura 17). Esta tela possuía forma de circunferência com 0,080 m de diâmetro, e perfurações de 0,002 m de diâmetro, o que permite impedimento parcial da saída de substrato sem causar uma perda de carga significativa no processo.

O preenchimento dos tubetes foi realizado após adaptações do método da auto-compactação proposto por PIRE & PEREIRA (2003), que recomendaram 1 impacto em superfície de madeira proporcional ao diâmetro do recipiente. Como para cada bandeja testada hidraulicamente eram necessários 54 tubetes preenchidos por ensaio, utilizou-se uma bandeja comercial pp (plana) destinadas a produção de mudas de café, com dimensões 0,60 x 0,42 x 0,03 m, e 108 células (9 x 12 células), como suporte para os tubetes, sendo realizado o preenchimento simultâneo dos 108 recipientes em uma caixa de amianto, com apoios nas laterais internas, para repouso da mesma (Figura 18). Foram realizados 4 impactos na

estrutura, com altura de queda proporcional a 1,5 vezes o diâmetro do tubete, uma vez que as bandejas plásticas reduzem a intensidade dos impactos.



Figura 17. Tubete preenchido com substrato de casca de pinus utilizado na caracterização hidráulica de bandejas de irrigação por capilaridade.

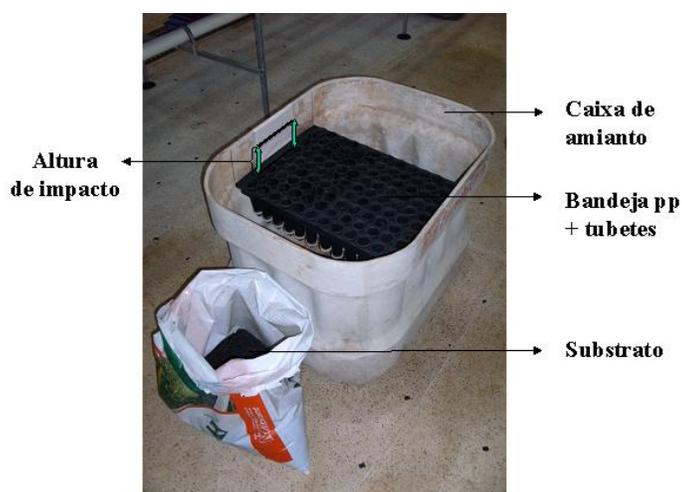


Figura 18. Estrutura montada para o preenchimento manual dos tubetes com substrato de casca de pinus.

Dessa forma, preenchiam-se os 108 tubetes presentes na bandeja pp, manualmente, com o substrato de casca de pinus, na umidade recomendada pelo fabricante, e procedia-se os impactos. Após cada impacto, completava-se os recipientes com substrato até a sua borda superior, visto que a estrutura do substrato no interior dos tubetes era rearranjada. Finalizando-se o processo de enchimento dos tubetes foram selecionadas 3 tubetes, ao acaso, para a determinação das densidades de compactação úmida e seca, conforme descrito anteriormente.

Todo este procedimento era então repetido para cada 108 recipientes preenchidos. Em seguida, inseriam-se os tubetes preenchidos na bandeja de irrigação por capilaridade a ser ensaiada.

Os ensaios para determinação da relação vazão-pressão para essa condição de enchimento dos tubetes também foram realizados para três pressões de serviço: 10, 15 e 20 kPa. Foram realizadas quatro repetições para cada bandeja, para cada diâmetro do bocal de entrada de água e pressões escolhidas. Foi necessário diferenciar a primeira repetição do ensaio de enchimento do protótipo com água das demais, pois o substrato na condição inicial apresentava umidade e densidade diferentes das demais repetições, gerando uma caracterização hidráulica singular. Realizou-se o monitoramento da pressão atuante na entrada da bandeja no início do processo de enchimento da bandeja e, logo após o enchimento de metade da sua capacidade máxima.

O tempo de irrigação foi monitorado, com o auxílio de um cronômetro. Após cada aplicação esperava-se um intervalo de 15 minutos para o armazenamento da água pelo substrato. Depois deste intervalo, realizava-se a drenagem do sistema, com a coleta de todo o efluente pelo reservatório de drenagem, possibilitando assim quantificar o volume enchido e a vazão do sistema para aquela pressão, conforme nos ensaios sem a presença dos tubetes com substrato.

Foram selecionadas cinco posições de tubetes nos equipamentos (Figura 19) para o monitoramento após cada ensaio da quantidade de água armazenada no substrato. Executou-se esse monitoramento com a pesagem dos recipientes preenchidos antes da irrigação e quinze minutos após a realização da drenagem da água, permitindo assim que a água armazenada em excesso fosse percolada. Posteriormente, realizou-se a determinação da umidade em peso, utilizando uma balança analítica com duas casas decimais. Como os recipientes apresentavam a massa de substrato úmido adicionado à massa do tubete com fita elástica e manta perfurada, subtraiu-se o valor médio deste último, do valor total. Para isso, procedeu-se a pesagem de 30 tubetes com fita elástica e manta perfurada e assim obteve-se o valor médio e o coeficiente de variação (CV) dos mesmos.

Adicionalmente, após cada ensaio, monitorou-se a subsidência do substrato dentro do tubete determinando-se a variação da altura da coluna de substrato após a realização de cada irrigação, com o auxílio de um paquímetro.

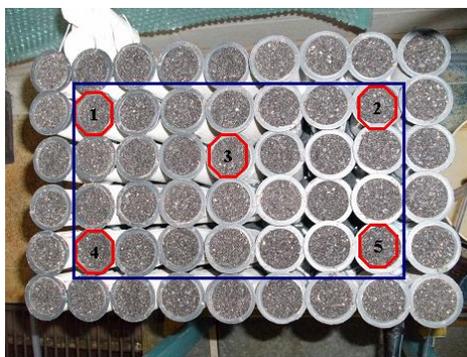


Figura 19. Pontos de monitoramento na bandeja de irrigação por capilaridade para levantamento do armazenamento de água e subsidência do substrato.

4.6. Simulação da operação do protótipo em escala comercial

Buscando uma comparação com o sistema avaliado em campo, ou seja, irrigação “por chuveiro”, desenvolveu-se uma metodologia de simulação do desempenho da irrigação utilizando o equipamento de irrigação por capilaridade desenvolvido, empregando-se às informações levantadas na segunda etapa de pesquisa.

Para isso utilizaram-se os dados referentes à bandeja maior, uma vez que, esta necessita um maior volume de água no seu funcionamento, atendendo o ponto crítico de implantação de um projeto utilizando esse sistema. Adicionalmente, essa bandeja atenderia tanto as fases de germinação e inicial do desenvolvimento vegetativo quanto às fases intermediária e final, sem a necessidade de troca de equipamento para aumentar o espaçamento entre plantas.

Como a maioria dos produtores de porta-enxerto de mudas cítricas, no estado de São Paulo, utiliza tradicionalmente uma irrigação diária devido o pequeno volume de água armazenado no recipiente de produção, realizou-se a comparação utilizando-se os volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação, por irrigação. O volume excedente aplicado na irrigação e depois eliminado pelo processo de drenagem foi definido como a perda por percolação. Visando a simplificação desta etapa, optou-se em realizar a simulação para um número fixo de 54 plantas, devido às características estruturais das bandejas projetadas. Dessa forma, foram estimados os volumes médios aplicados e perdidos,

diretamente ou por percolação (drenagem), durante todo o ciclo de produção, considerando um produtor padrão, que realiza uma irrigação diária.

Como não existe um consenso entre os diversos pesquisadores sobre o tempo médio de duração da produção dos porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira, definiu-se o período de 120 dias para as simulações referentes a aplicação e descarte hídrico durante todo o ciclo. Estabeleceu-se esta duração média visto que essa abrange o critério de que a fase de sementeira pode levar de 2 a 4 meses, estabelecido por ZANETTI (2005); que a fase de sementeira pode levar de 3 a 5 meses, estabelecido pela EMBRAPA (2005); e, que a produção de porta-enxerto até a fase de transplante para a sacola, pode levar de 112 a 154 dias, estabelecido por BATAGLIA et al. (2008).

4.7. Análise Estatística

A análise e comparação dos parâmetros avaliados foram realizadas por estatística descritiva, com o uso de médias, desvio padrão, variância e coeficiente de variação, e a construção de gráficos explicativos, quando necessário.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização do perfil tecnológico da irrigação empregada por produtores certificados de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, no Estado de São Paulo

Dos 200 produtores selecionados somente 56 concordaram em participar da pesquisa, sendo que o restante optou por não responder o questionário. Como o número de participantes representava 28% dos viveiristas selecionados, considerou-se a amostra representativa para esse tipo de pesquisa.

A Figura 20 e a Figura 21 descrevem, respectivamente, a distribuição percentual por área de produção (em m²) e por número de mudas produzidas anualmente pelos viveiristas respondentes.

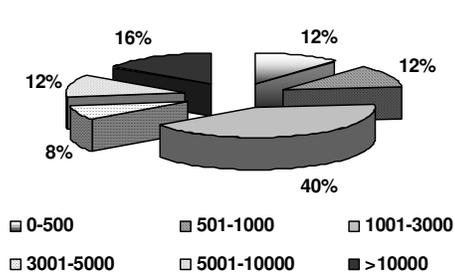


Figura 20. Distribuição percentual dos viveiristas por área dos viveiros (m²).

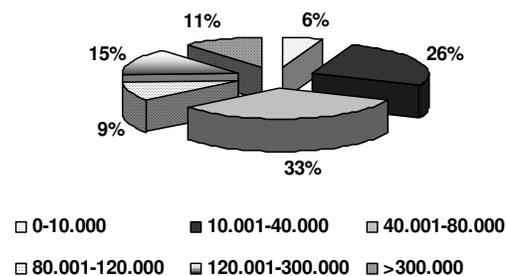


Figura 21. Distribuição percentual dos viveiristas por quantidade de mudas produzidas anualmente.

Analisando a Figura 20, observa-se que a produção de mudas cítricas pode ser caracterizada por acontecer predominantemente em viveiros com áreas de produção que vão de 1001 m² a 3000 m², representando cerca de 40% do total dos produtores entrevistados. Pode-se observar ainda, que o percentual de propriedades que apresentam áreas de cultivo com até 3000 m² corresponde a 64% das propriedades entrevistadas. Pela Figura 21, verifica-se que aproximadamente 65% das propriedades avaliadas produzem anualmente até 80.000 mudas, permitindo afirmar que a maioria dos viveiristas pode ser classificada como pequenos produtores de mudas.

Os resultados dos questionários mostraram que, dentre as diferentes formas de adubação, o método de aplicação de adubos solúveis por meio da fertirrigação destaca-se na produção de mudas como sendo a técnica realizada por aproximadamente 89% das propriedades. Segundo MILNER (2002), as tendências de uso de fertilizantes apontam para a maior utilização de produtos solúveis com o emprego da fertirrigação. Essa opção dos viveiristas ocorre porque os fertilizantes de liberação controlada, sensível ao calor, liberam maior quantidade de elementos em épocas quentes. Essa característica pode ser indesejável ao passo que o esgotamento dos nutrientes pode provocar deficiência no período final de cultivo das mudas, exigindo complementação química via fertirrigação (BOAVENTURA, 2003).

A resposta sobre o sistema de irrigação utilizado demonstrou que 92% dos entrevistados utilizam a irrigação por aspersão com aplicação manual da água, ou seja, por chuveiros ou tubos perfurados na produção de mudas (Figura 22). Este resultado é semelhante ao encontrado por ALMEIDA (2003), que afirmou que 92% dos viveiros utilizavam irrigação manual na produção de mudas cítricas na fase de sementeira. Justifica-se a adoção majoritária deste sistema de irrigação por parte dos produtores devido ao baixo custo de implantação e manutenção quando comparado com outros sistemas de irrigação, e também pela facilidade de operação e aquisição. A irrigação por chuveiros ou por tubos perfurados caracteriza-se pela utilização de metodologia empírica de aplicação, o que pode determinar a definição de laminais inadequadas para essa fase da produção.



Figura 22. Detalhe dos sistemas de irrigação por aspersão com aplicação manual da água: aplicação por chuveiro (a) e aplicação por tubo perfurado (b).

A Figura 23 e a Figura 24 mostram, respectivamente, a distribuição percentual por tipo de substrato utilizado e pelo método de monitoramento da irrigação adotado pelos viveiristas entrevistados.

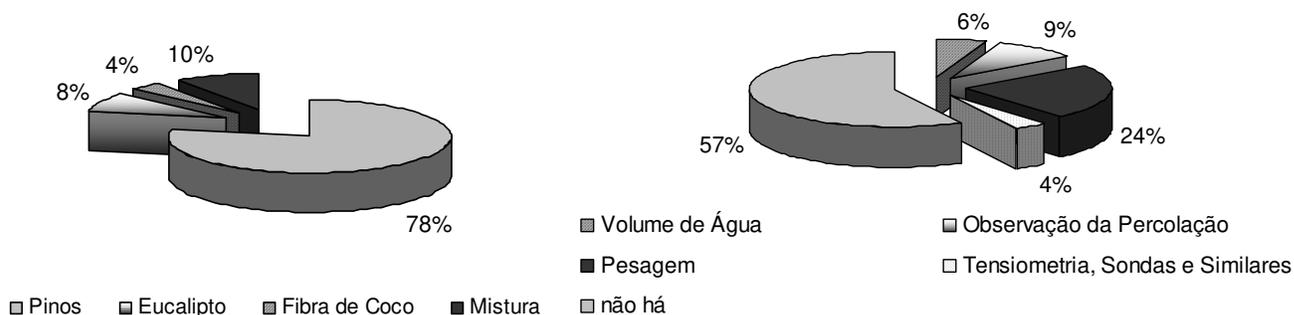


Figura 23. Distribuição percentual dos viveiristas por substrato utilizado.

Figura 24. Distribuição percentual dos viveiristas pelo método de monitoramento da irrigação.

A Figura 23 revela que o substrato de casca de pinus moída é utilizado majoritariamente por 78% dos produtores de mudas, concordando com os resultados encontrados por MILNER (2002) que afirma que, no Brasil, esse substrato é o mais utilizado na produção de mudas, sendo ainda, composta e enriquecida com nutrientes.

O monitoramento da irrigação torna-se essencial para obtenção de mudas com boa qualidade, além de promover a redução da lixiviação de nutrientes, o maior potencial germinativo e a homogeneidade no desenvolvimento das mudas (GRUBER, 2006). No entanto, pode-se observar na Figura 24, que 57% dos produtores não realizam o monitoramento do teor de água no substrato. Observa-se ainda que dentre os 43% dos produtores que realizam algum tipo de monitoramento da irrigação, mais da metade (24%) utilizam a pesagem dos recipientes de produção como sistema de manejo da irrigação.

Dessa forma, verifica-se que deve ser realizado o monitoramento do conteúdo de água nos substratos para que se tenha um manejo mais racional na atividade de irrigação. A busca por melhorias na eficiência, nesse caso, pode proporcionar reduções nas quantidades de água, agroquímicos e energia consumida e melhorar a absorção de nutrientes e o controle de doenças, exigindo que os centros produtores monitorem este parâmetro e otimizem o seu valor (SMAJSTRLA et al., 1988).

5.2. Avaliação do desempenho da fertirrigação na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira em viveiristas comerciais

5.2.1. Propriedades visitadas

As propriedades produtoras selecionadas para a avaliação local do desempenho da operação de irrigação localizavam-se nas bacias hidrográficas PCJ e Mogi Guaçu, no estado de São Paulo e utilizavam o sistema de irrigação por aspersão por chuveiro ou tubos perfurados com aplicação manual da água.

A Tabela 2 apresenta os valores das lâminas médias aplicadas, perdas diretamente e perdas por percolação, obtidas nas avaliações da irrigação nas propriedades produtoras de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, com os respectivos desvios padrões e coeficientes de variação. Esses valores de lâminas foram calculados a partir dos dados disponíveis na Tabela 16, presente no apêndice 4, que apresenta os valores dos volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação, por irrigação, pelo método de irrigação por aspersão aplicada manualmente, para 108 porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.

Tabela 2. Valores das lâminas médias aplicadas, perdas diretamente e perdas por percolação, obtidas após a avaliação da irrigação em cinco propriedades produtora de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, no estado de São Paulo.

Parâmetros Avaliados	Propriedades Visitadas ¹	Fases na etapa de sementeira														
		Germinação				Inicial			Intermediária			Final				
		Média ²	D.P. ³	C.V. ⁴	Média	D.P.	C.V.	Média	D.P.	C.V.	Média	D.P.	C.V.			
Lâmina Aplicada (mm)	P1	4,68			23,74			23,95			44,64					
	P2	4,89			38,93			38,93			42,82					
	P3 ⁵	-	3,90	1,19	30,43			25,68	19,45	14,95	28,77	25,45	19,22	75,54		
	P4	2,29			4,49			4,06			4,71					
	P5	3,73			5,83			4,66			6,29					
Lâmina Perdida Diretamente (mm)	P1	0,81			5,28			5,36			10,62					
	P2	0,00			2,74			2,55			8,57					
	P3	-	0,45	0,52	116,35			4,69	2,82	2,16	3,22	4,58	4,79	104,75		
	P4	0,00			0,62			0,98			0,27					
	P5	0,97			0,65			0,53			0,20					
Lâmina Perdida por Percolação (mm)	P1	0,10			14,30			12,70			17,78					
	P2	0,00			6,60			4,51			20,99					
	P3	-	0,56	1,05	188,07			13,93	6,81	6,09	18,88	12,32	9,55	77,52		
	P4	0,00			1,24			1,67			3,18					
	P5	2,13			0,28			1,22			0,77					
Lâmina Perdida Total (mm)	P1	0,91			19,58			18,06			28,40					
	P2	0,00			9,34			7,06			29,56					
	P3	-	1,00	1,46	145,72			18,63	9,63	8,21	22,10	16,90	13,73	81,24		
	P4	0,00			1,86			2,65			3,45					
	P5	3,10			0,93			1,75			0,98					

¹As propriedades P1 e P2 apresentavam nível tecnológico de produção elevado (grandes produtores); a propriedade P3 possuía nível tecnológico de produção intermediário (médios produtores); enquanto a propriedade P4 e P5 apresentavam nível tecnológico de produção baixo (pequenos produtores); ²Média em mm; ³Desvio padrão em mm; ⁴Coefficiente de Variação em %; ⁵A propriedade P3 não possuía porta-enxertos nos estádios de germinação e inicial, na fase de sementeira, no momento da visita técnica.

Como se pode observar nos valores dessa tabela, constatou-se perdas elevadas da lâmina aplicada na operação de irrigação em todas as propriedades avaliadas. Mesmo as

propriedades com nível tecnológico elevado apresentaram aplicação excessiva de água, sendo esta caracterizada pelos altos valores da lâmina perdida total, principalmente nas fases intermediária e final. Esse resultado demonstra que os sistemas de irrigação empregados, apesar de viabilizar a produção das mudas de porta-enxertos, determinam impactos importantes nos recursos hídricos utilizados na atividade.

Observa-se que os valores do coeficiente de variação (CV) obtidos tanto para a lâmina aplicada como para a lâmina perdida diretamente e por percolação foram bastante elevados. Pode-se justificar este resultado devido aos diferentes níveis tecnológicos dos produtores visitados, além da influência de fatores que aumentam a variação destes parâmetros, como por exemplo, a variação climática entre as visitas técnicas, uma vez que estas não foram realizadas simultaneamente; e, a alteração da maneira habitual de condução da irrigação, por parte do operador da irrigação, provocado pela intimidação destes com a avaliação e presença de especialistas. A dificuldade de conseguir concordância dos produtores na realização dessas visitas e as limitações financeiras do projeto não permitiu a realização de mais visitas técnicas, o que possibilitaria a obtenção de resultados mais conclusivos.

5.2.2. Eficiência de irrigação

Na Figura 25 observam-se, respectivamente, os valores da eficiência de irrigação máxima, mínima e média obtida por estágio de desenvolvimento vegetativo da muda na fase de sementeira, para todas as avaliações realizadas.

As eficiências médias de irrigação para os viveiristas visitados apresentaram valores entre 40% a 74%, o que caracteriza a irrigação realizada por um desempenho inferior ao valor recomendado de 80% para todos os estádios. Segundo MAROUELLI & SILVA (1998), a faixa de eficiência aceitável para irrigação por aspersão é de 60% a 85%. Este resultado comprova a necessidade de inovação tecnológica deste setor produtivo, seja pela elaboração de novos equipamentos, pelo aprimoramento dos equipamentos já existentes ou pela melhoria das práticas de manejo da irrigação e fertirrigação empregados.

Verifica-se que todos os estádios de desenvolvimento apresentaram a eficiência de irrigação, em pelo menos um produtor visitado, acima de 80%. Este resultado foi obtido porque na seleção dos viveiristas a serem visitados, optou-se por viveiros com diferentes níveis tecnológicos para que os resultados fossem representativos para este setor produtivo.

No entanto, é relevante salientar que a maior parte da produção de mudas é realizada por pequenos e médios produtores, com baixos níveis tecnológicos e pouca instrução relacionada a monitoramento e manejo da irrigação.

Encontrou-se o resultado de 100% de eficiência para o estágio de germinação em duas propriedades avaliadas. O valor encontrado pode ser justificado pela utilização de uma camada de aproximadamente 5 mm do mesmo substrato sobre as bandejas fixadas na bancada de produção. A utilização dessa fina superfície de substrato, como técnica produtiva na etapa de germinação, associada a lâmina aplicada era capaz de reter todo o volume de água aplicado nessa fase. Salienta-se que as lâminas aplicadas nessa etapa eram bem inferiores quando comparadas aos demais estádios, tendo em vista o pequeno desenvolvimento do sistema radicular das plântulas (Tabela 2).

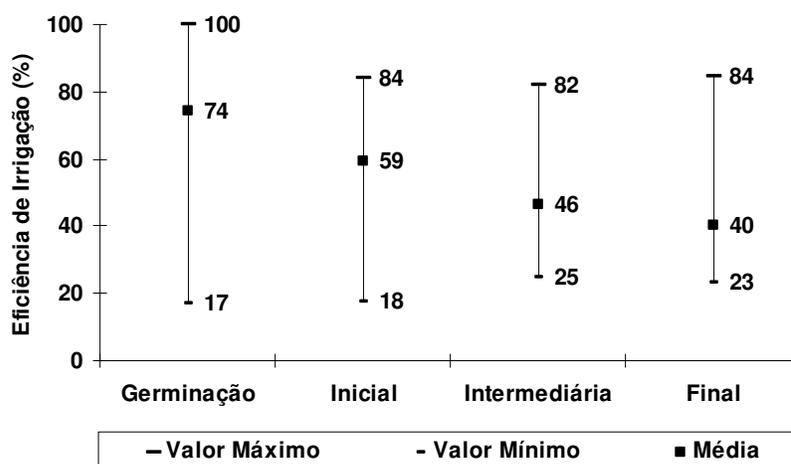


Figura 25. Eficiência de irrigação obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, para as propriedades avaliadas.

As eficiências mínimas de irrigação apresentaram valores inferiores a 25% em todos os estádios estudados. Essa faixa de eficiência de irrigação é considerada insatisfatória quanto ao uso racional dos recursos hídricos. Além disso, é importante ressaltar que, com esse valor de eficiência presente em toda a fase de sementeira, que por sua vez, correspondente a 43% de todo o processo de formação da muda, gera-se um volume expressivo de água aplicado em excesso, o que significa uma série de desvantagens ao processo produtivo de mudas, e dentre eles pode-se citar: a redução da aeração, susceptibilidade a ocorrência de doenças, lixiviação de nutrientes e defensivos agrícolas solúveis, deixarem as mudas tenras e pouco resistentes à

seca, e, consumo desnecessário de energia e água, o que pode acarretar altos custos ao sistema produtivo. WENDLING & GATTO (2002) afirmam que perdas incalculáveis na produção e na qualidade das mudas podem ser resultados de um mau planejamento e fornecimento de água para as plantas.

Constata-se ainda na Figura 25, que o valor médio da eficiência de irrigação vai diminuindo com o crescimento do porta-enxerto, sendo que os três últimos estádios da fase de sementeira apresentaram valores abaixo do recomendado para irrigação por aspersão. Esse resultado torna-se preocupante, pois corresponde a 79% da fase de sementeira, ficando somente 21% desta etapa acima do valor recomendado. Dessa forma, pode-se afirmar que o volume de água perdido e, conseqüentemente, a quantidade de sais desperdiçados na operação de irrigação e/ou fertirrigação são significativos (Figura 26).



Figura 26. Detalhe da aplicação excessiva de água/solução na operação de irrigação/fertirrigação em viveiro produtor de porta-enxerto de mudas cítricas.

Observou-se ainda que durante a realização dos ensaios alguns produtores realizaram a irrigação em um tempo inferior ao que normalmente utilizam, devido à intimidação pela presença de uma equipe técnica de avaliação. Esse comportamento pode determinar uma superestimativa do valor da eficiência de irrigação, quando comparada com o que realmente se verifica nesta atividade.

5.2.3. Perdas de água

Na Figura 27 observam-se os valores de perdas de água, máxima, mínima e média, obtidas para um lote de 100 mudas, por estágio de desenvolvimento da muda na fase de sementeira.

Verifica-se pela Figura 27, que a maior perda média de água na produção de um lote de 100 mudas foi obtida nos dois últimos estágios de desenvolvimento da muda, ou seja, nos estágios intermediário e final, comprovando que as perdas de água aumentam à medida que a parte aérea da planta se desenvolve. Como nestas etapas o porta-enxerto apresenta uma elevada área foliar, parte da água aplicada é desviada do seu trajeto, não sendo disponibilizada para a planta. Dessa forma, a irrigação por aspersão, seja a realizada por “chuveiros” ou tubos perfurados, favorece a obtenção de uma elevada perda de água.

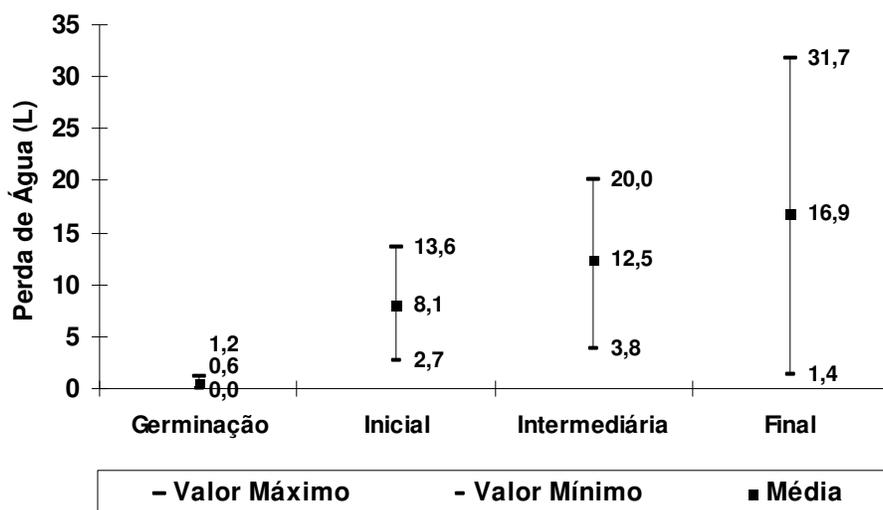


Figura 27. Perda de água (L) para um lote de 100 mudas, obtida para diferentes estágios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, para as avaliações realizadas.

Como a produção no estado de São Paulo no mês de agosto de 2009 foi de 16.883.920 mudas (FUNDECITRUS, 2009), e a perda média obtida de um lote de 100 mudas para toda a fase de sementeira foi de 38,1 L, tem-se uma perda média estimada de 6.440 m³ de água para a produção estadual de mudas deste mês. Considerando o consumo per capita 200 L habitante⁻¹, esse valor significaria o consumo diário de uma população de 32.200 pessoas. Dessa forma, pode-se afirmar que o volume de água perdido nesta atividade é elevado, exigindo tomadas de ações que determinem a utilização racional da água.

5.2.4. Perdas de sais

A partir dos dados de condutividade elétrica média, mínima e máxima, para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas, disponibilizados na Tabela 15 do apêndice 3, foi possível estimar que a condutividade elétrica média das soluções aplicadas na atividade de fertirrigação, nas propriedades avaliadas, foi de $1,32 \text{ dS m}^{-1}$. Segundo PIZARRO (1996), a água utilizada na irrigação que apresenta a condutividade elétrica no intervalo de $1,50$ a $3,00 \text{ dS m}^{-1}$ pode ser caracterizada como risco alto para salinidade do solo. No entanto, como os substratos não liberam nutrientes para a solução que banha as raízes, as concentrações de nutrientes das soluções fertilizantes, via de regra, são mais elevadas do que as utilizadas nos cultivos em solo. Dessa forma, se manejados corretamente, com irrigações e fertirrigações intercaladas, evita-se o risco de salinidade no substrato.

Na Figura 28 são apresentados os valores máximos, mínimos e médios da condutividade elétrica das soluções perdidas diretamente nos diferentes estádios de desenvolvimento vegetativo na fase de sementeira.

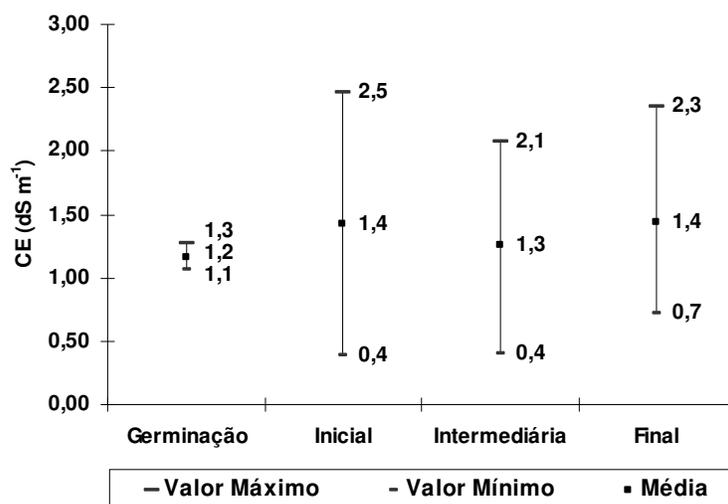


Figura 28. Condutividade elétrica da solução perdida diretamente na fertirrigação, obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira para as propriedades visitadas.

Verifica-se na Figura 28 que os valores médios das soluções perdidas diretamente, sem contato direto com o meio propagativo, apresentaram valores aproximados aos valores médios da solução aplicada. Já os valores máximos em torno de $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, podem ser justificados pelo contato destas soluções à faixa salina aderida na parede externa da parte basal dos tubetes de produção, criada pela precipitação dos sais. Essa faixa salina, como pode ser observada na Figura 29, foi encontrada praticamente nos tubetes em todas as propriedades visitadas, o que comprova o excesso de sais solúveis presentes nas fertirrigações. Os resultados inferiores a 1 dS m^{-1} foram obtidos em viveiros com maior nível tecnológico de produção.



Figura 29. Detalhe da faixa salina aderida a parede externa da parte basal dos tubetes de produção.

Observam-se na Figura 30 os valores máximos, mínimos e médios da condutividade elétrica das soluções perdidas por percolação nos diferentes estádios de desenvolvimento vegetativo na fase de sementeira.

Na Figura 30, observa-se que os valores de condutividade elétrica da solução percolada, de maneira geral, apresentaram valores superiores à das soluções perdidas diretamente entre os tubetes e também da solução aplicada. GRACIANO et al. (1995) relatam que, por exemplo, quando a solução drenada apresentar níveis de EC superior a $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, indicando a existência de um excesso de sais, esses deverão ser lixiviados nos próximos dias, para reduzir o teor de sais solúveis, enquanto que, uma solução drenada com níveis de EC na faixa de $0,2$ a $0,3 \text{ dS m}^{-1}$, indica que menos água para lixiviação será necessária nos próximos dias, devido ao excesso de irrigação arrastando os nutrientes. Portanto, o resultado encontrado comprova que existe um acúmulo de sais no substrato ao longo das fertirrigações realizadas

por alguns produtores, indicando a necessidade de aplicação de água para provocar a lixiviação desses sais. Dessa forma, é relevante monitorar sempre as condições de condutividade elétrica das soluções drenadas, tendo em vista que as concentrações de sais solúveis servem como um indicativo da qualidade do manejo adotado na produção.

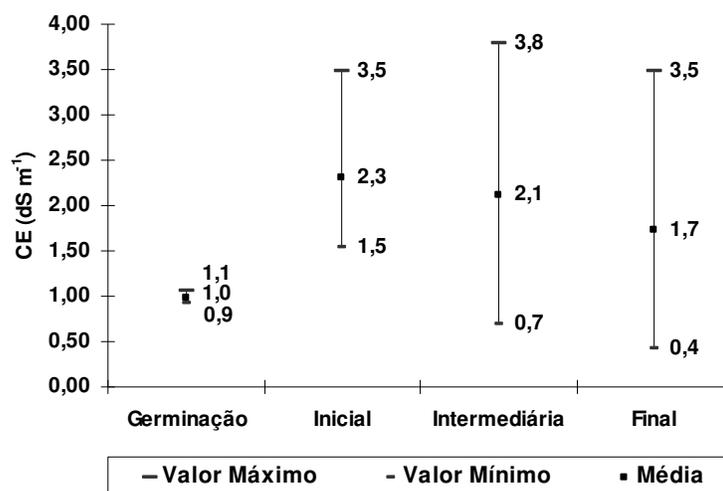


Figura 30. Condutividade elétrica da solução perdida por percolação na fertirrigação, obtida para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, para as propriedades visitadas.

Entretanto, mesmo sendo possível controlar os níveis de sais solúveis presentes nos substratos e garantir a produção das mudas em condições que permitam o crescimento rápido das plantas, sem causar danos por efeito osmótico ao nível das raízes, a possibilidade de salinização dos solos das estufas dos viveiristas é elevada. Deve-se isso ao fato de toda solução perdida de maneira direta ou por percolação ser descartada no solo, sem ser empregado um destino mais apropriado. A aplicação intensiva da técnica da fertirrigação, aliada ao excesso de sais solúveis presentes na solução nutritiva aplicada contribui para que ocorra a salinidade do solo e possível salinização dos lençóis freáticos.

A quantidade média de sais perdidos diretamente e por lixiviação durante toda a fase de sementeira, por porta-enxerto, respectivamente, foi de 560,17 mg e 15,54 mg. Portanto, como a produção no estado de São Paulo no mês de agosto de 2009 foi de 16.883.920 mudas (FUNDECITRUS, 2009), e considerando que foi realizada a fertirrigação em todas as aplicações de água, tem-se um descarte médio de aproximadamente 9720 kg de sais nos solos onde se encontram estas estufas de produção.

BATAGLIA et al. (2008), estabeleceu valores médios de extração total, de macronutrientes por planta, parte aérea e raízes, para porta-enxertos de mudas de citros de boa qualidade na fase de transplântio para as sacolas e cultivadas em substrato em cultivo protegido, sendo extraído, em média, $0,322 \text{ g planta}^{-1}$ de macronutrientes em porta-enxerto de Limão Cravo (*Citrus limonia Osbeck*). Considerando este valor de requerimento nutricional necessário para a formação do porta-enxerto de boa qualidade e o descarte médio de sais encontrado para o mês de agosto de 2009, pode-se afirmar que seria possível produzir cerca de 30.186.335 milhões de porta-enxertos sadios.

Portanto, pode-se afirmar que a quantidade de sais descartados no solo é significativa e que ações devem ser tomadas para a utilização racional de fertilizantes nesta atividade produtiva, além de ser dado um destino adequado à solução residuária da atividade de fertirrigação. Conseqüentemente, pode-se concluir que existe também uma perda de capital de custo elevada por parte dos produtores, pois além dos fertilizantes, podemos considerar as perdas de água e energia elétrica.

5.3. Caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade

5.3.1. Densidade do substrato

A caracterização da densidade do substrato após o preenchimento dos recipientes de produção é fundamental para o entendimento da relação entre a vazão e pressão de serviço do equipamento desenvolvido, visto que esta característica física do substrato influenciará os valores de resistência ao escoamento no processo de umedecimento do tubete. Dessa forma, buscou-se com essa análise determinar o valor da densidade do substrato para este estudo.

A Tabela 3 apresenta os valores médios de densidade úmida (DU) e densidade seca (DS) do substrato de casca de pinus, sem compactação e com compactação, empregado na caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade.

A partir dos resultados verifica-se que houve aumento da densidade, tanto úmida quanto seca, após o procedimento de preenchimento dos tubetes, entretanto, com valores próximos à condição do substrato sem compactação. Valor de densidade mais baixa nos recipientes de produção favorece a drenagem e aumenta a capacidade de areação dos substratos, (MILNER, 2001). Segundo FERMINO (2002), quanto menor o recipiente, mais

baixa deverá ser a densidade do substrato nele utilizado. FONTENO (1993) afirma que a densidade influencia as demais características físicas do substrato, possuindo um efeito leve sobre a porosidade total, moderado sobre a capacidade dos recipientes e elevado sobre a água facilmente disponível.

Tabela 3. Densidade úmida e densidade seca média do substrato de casca de pinus, sem compactação e com compactação, empregado na caracterização hidráulica do equipamento de irrigação por capilaridade.

Característica	Substrato					
	Sem Compactação ¹			Com compactação ²		
	Média	D.P. ³	C.V. ⁴	Média	D.P.	C.V.
DU (kg m ⁻³)	535,88	6,21	1,16	560,07	13,52	2,41
MS (%)	50,91	0,25	0,49	50,79	1,29	2,55
DS (kg m ⁻³)	272,82	3,72	1,36	284,44	9,90	3,48

¹Substrato sob condições fornecidas pelo fabricante. Utilizou-se o método de HOFFMAN (1970);

²Substrato após serem procedidos 4 impactos para preenchimento dos tubetes. Utilizou-se o equacionamento da densidade disponibilizada no método de HOFFMAN (1970), sendo utilizado o volume dos tubetes (1,00 10⁻⁴ m³);

³Coefficiente de variação (%);

⁴Desvio Padrão;

Segundo KÄMPF (2000), para a propagação em células e bandejas recomenda-se utilizar substratos com densidade entre 100 e 300 kg m⁻³; para recipientes de até 15 cm de altura a densidade deverá ser de 250 a 400 kg m⁻³; para vasos de 20 a 30 cm, de 300 a 500 kg m⁻³, e para vasos maiores, de 500 a 800 kg m⁻³. Como o recipiente empregado possuía aproximadamente 15 cm de altura pode-se concluir que o procedimento de compactação adotado gerou uma densidade maior que a recomendada por esse autor. Entretanto, a densidade de empacotamento não resulta somente da força aplicada pelo agente que preenche o substrato, como também é influenciada pelo formato do recipiente de produção, pelo peso das partículas dos substratos ao se acomodarem uma sobre as outras e pela umidade do substrato no momento do preenchimento (FERMINO, 2002).

Observa-se que os valores de densidade, úmida e seca, e matéria seca para o substrato estudado, sem compactação, apresentaram valores muito próximos as apresentados por VALERO (2006), que estudou a aplicação da técnica TDR na estimativa da umidade e condutividade elétrica em substratos orgânicos, dentre eles o de casca de pinus. Verifica-se

ainda pela Tabela 3 que os valores encontrados mostraram-se coerentes para cada procedimento adotado e que os mesmos foram realizados com rigor, tendo em vista a baixa variabilidade observada. Adicionalmente, para os valores de matéria seca não foi encontrada alteração significativa, o que por sua vez já era esperado, uma vez que não foi alterado o material de constituição do substrato.

5.3.2. Tempo de enchimento das bandejas

A determinação do tempo de enchimento das bandejas de irrigação para as diferentes dimensões, pressões atuantes, com ou sem a presença dos tubetes preenchidos com substrato é imprescindível para a determinação da vazão e possibilitou a realização da caracterização hidráulica do equipamento desenvolvido. Seu conhecimento é fundamental para a realização do manejo adequado para o sistema de irrigação por capilaridade, além de possibilitar simulações da operacionalidade de sistemas a serem implantados.

Tabela 4 e 5 apresentam os valores do tempo de enchimento dos equipamentos de irrigação por capilaridade com diferentes dimensões (menor e maior), encontrado durante os ensaios de caracterização hidráulica.

Considerando o aumento da pressão, verifica-se a redução do tempo de enchimento das bandejas em todos os ensaios realizados, visto que são grandezas inversamente proporcionais. Com o aumento da pressão, para uma mesma área de escoamento da água, ocorrerá a elevação da velocidade e, conseqüentemente, o incremento na vazão. Observou-se adicionalmente a diminuição no tempo de enchimento para uma mesma pressão e para uma mesma metodologia de ensaio, quando ocorreu o aumento do diâmetro interno dos bocais de adução.

Tabela 4. Tempo de enchimento da badeja menor para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.

Pressão (kPa)	Tempo de enchimento (s)					
	Sem tubete		Com tubete + substrato			
	0,004 m ¹	0,007 m ¹	1º aplicação		2º - 4º aplicação	
			0,004 m	0,007 m	0,004 m	0,007 m
10	290	98	218	66	158	48
15	239	83	189	52	141	39
20	205	65	162	45	118	34

¹Diâmetros internos dos bocais de entrada de água na bandeja.

Tabela 5. Tempo de enchimento da badeja maior para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.

Pressão (kPa)	Tempo de enchimento (s)					
	Sem tubete		Com tubete + substrato			
	0,004 m ¹	0,007 m ¹	1º aplicação		2º - 4º aplicação	
			0,004 m	0,007 m	0,004 m	0,007 m
10	325	107	272	78	209	64
15	276	92	227	63	181	50
20	236	73	196	58	154	46

¹Diâmetros internos dos bocais de entrada de água na bandeja.

Comparando os ensaios, sem e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, em geral, observa-se a redução do tempo de enchimento, provocado pela diminuição do volume de enchimento para os mesmos equipamentos testados entre esses ensaios (Tabela 6 e Tabela 7). Tal diminuição é causada pela inserção dos tubetes preenchidos de substrato nas bandejas, o que leva a redução do volume útil ocupado pela água.

Analisando-se somente os ensaios com a presença de tubetes preenchidos com substrato, considerando mesma pressão e diâmetro interno do bocal de adução, encontraram-se valores maiores de tempo de enchimento para a 1º aplicação quando comparado as demais aplicações. Esse resultado é justificado pela menor umidade apresentada pelo substrato na 1º aplicação em relação às demais aplicações, quando o substrato encontrava-se na capacidade de campo, apresentando desse modo maior resistência ao escoamento da água, conforme já mencionado anteriormente.

Observa-se na Tabela 6 e na Tabela 7 que, considerando os resultados de volume de enchimento para mesmo diâmetro interno dos bocais de entrada de água e metodologia de ensaio, não houve variação expressiva com o incremento da pressão, até mesmo porque essa é uma característica estrutural e operacional do equipamento desenvolvido.

Os volumes drenados nas bandejas, menor e maior, de irrigação por capilaridade, conforme pode ser observado na Tabela 17 e na Tabela 18 no apêndice 5, respectivamente, apresentou comportamento semelhante aos volumes de enchimento. Entretanto, salienta-se que os valores obtidos nos ensaios com a presença dos tubetes preenchidos com substrato foram inferiores aos observados no ensaio sem os recipientes com substrato, devido ao volume armazenado pela coluna de substrato dos 54 tubetes de cada bandeja.

Tabela 6. Volume de enchimento da bandeja menor para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.

Pressão (kPa)	Volume enchido (L)					
	Sem tubete		Com tubete + substrato			
	0,004 m ¹	0,007 m ¹	1º aplicação		2º - 4º aplicação	
0,004 m			0,007 m	0,004 m	0,007 m	
10	10,58	10,67	6,56	6,18	6,41	6,09
15	10,64	10,59	6,72	6,16	6,44	6,12
20	10,67	10,65	6,58	6,20	6,32	6,13
Média	10,63	10,64	6,62	6,18	6,39	6,11
D.P. ²	0,05	0,04	0,09	0,02	0,06	0,02
C.V. ³	0,45	0,38	1,33	0,33	0,99	0,39

¹Diâmetros internos dos bocais de entrada de água na bandeja;

²Desvio Padrão (L);

³Coefficiente de variação (%).

Tabela 7. Volume de enchimento da bandeja maior para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.

Pressão (kPa)	Volume enchido (L)					
	Sem tubete		Com tubete + substrato			
	0,004 m ¹	0,007 m ¹	1º aplicação		2º - 4º aplicação	
0,004 m			0,007 m	0,004 m	0,007 m	
10	11,67	11,65	7,80	7,58	7,64	7,42
15	11,71	11,72	7,88	7,50	7,67	7,40
20	11,66	11,70	7,80	7,68	7,70	7,50
Média	11,68	11,69	7,83	7,59	7,67	7,44
D.P. ²	0,03	0,04	0,05	0,09	0,03	0,05
C.V. ³	0,22	0,31	0,60	1,20	0,39	0,72

¹Diâmetros internos dos bocais de entrada de água na bandeja;

²Desvio Padrão (L);

³Coefficiente de variação (%).

5.3.3. Curvas características do equipamento de irrigação por capilaridade

Os dados de vazão versus pressão para as bandejas de irrigação por capilaridade de diferentes dimensões, obtidos nos ensaios sem e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, para os diâmetros internos de entrada de água, de 0,004 m e 0,007 m, são apresentados na Figura 31 e na Figura 32. Adicionalmente traçaram-se as curvas das vazões calculadas pela equação teórica de orifícios afogados de pequenas dimensões e parede delgada.

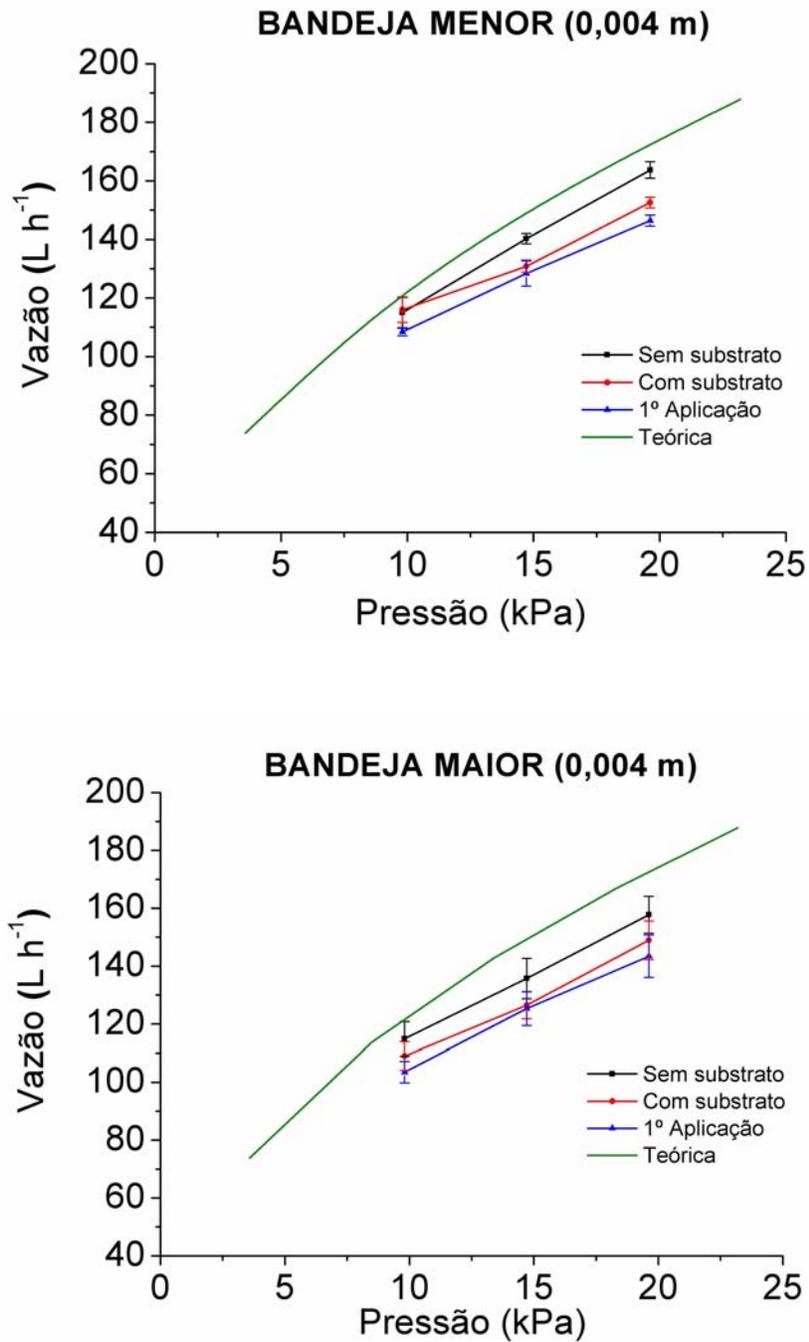


Figura 31. Curvas características de vazão versus pressão para as bandejas maiores e menores de irrigação por capilaridade, obtidos nos ensaios sem e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, para o diâmetro interno de entrada de água de 0,004 m.

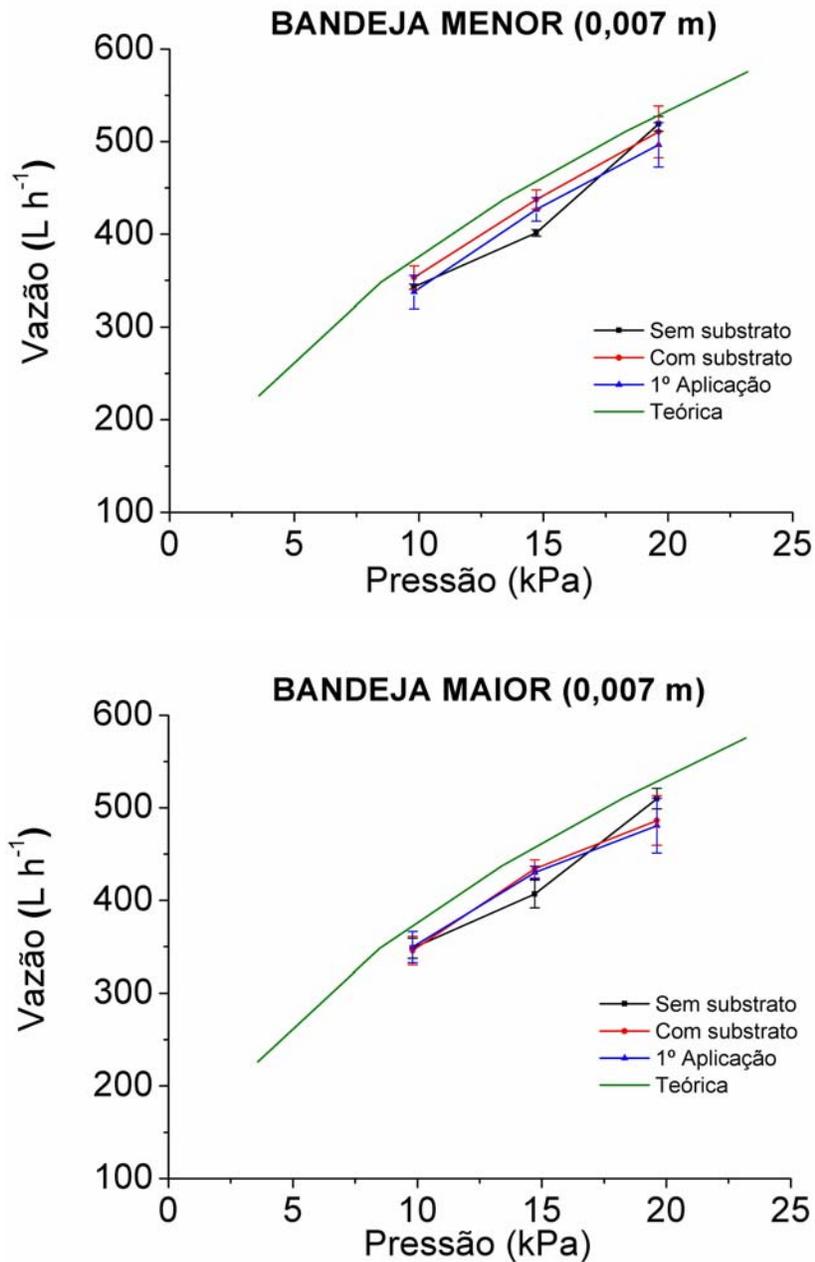


Figura 32. Curvas características de vazão versus pressão para as bandejas maiores e menores de irrigação por capilaridade, obtidos nos ensaios sem e com a presença dos tubetes preenchidos com substrato, para o diâmetro interno de entrada de água de 0,007 m.

Comparando-se as vazões máximas médias obtidas nas bandejas de diferentes dimensões para os diferentes diâmetros de adução de água verifica-se que para bandeja menor com o diâmetro interno da entrada de água de 0,004 m, encontrou-se a vazão máxima de 163,73 L h⁻¹ para a pressão de 20 kPa no ensaio experimental livre (sem substrato), enquanto

para o diâmetro interno de 0,007 m obteve-se a vazão máxima de 510,58 L h⁻¹ sob a mesma pressão, entretanto para o ensaio experimental com a presença dos tubetes preenchidos com substrato. A elevação da vazão encontrada deve-se ao aumento da área do orifício de entrada de água, uma vez que estas grandezas são diretamente proporcionais.

A comparação dos pares de vazão versus pressão para os ensaios com e sem substrato na Figura 31, que apresentam os resultados das bandejas menores e maiores com diâmetro de entrada de 0,004 m, demonstram que a presença do substrato nos tubetes determinou uma redução nos valores de vazão, com exceção para a pressão de 10 kPa aplicada na bandeja menor com 0,004 m de diâmetro. Porém, com o acréscimo da pressão ocorreu a elevação da velocidade do escoamento e, conseqüentemente, da vazão e da perda de carga, uma vez que a área de entrada de água manteve-se a mesma. Para a bandeja maior (Figura 31) a diferença de vazão encontrada para as duas condições de ensaio manteve-se praticamente constante com o incremento de pressão.

Por outro lado, quando se analisa o efeito da presença do substrato nos tubetes das bandejas com diferentes dimensões para o diâmetro de entrada maior (0,007 m), verifica-se que a resistência ao escoamento da água na operação de adução mostrou-se semelhante, não ocorrendo uma diferenciação expressiva entre as curvas para os respectivos ensaios, como pode ser constatado na Figura 32.

Nos ensaios com substrato, para as bandejas e diâmetros de entrada de diferentes dimensões, encontrou-se valores de vazão inferiores para a 1^o aplicação, quando comparado com os resultados da 2^o a 4^o aplicação, sendo este efeito mais significativo para o menor diâmetro de entrada. Esse fato ocorre, pois na 1^o aplicação o substrato encontrava-se com a umidade igual à fornecida pelo fabricante (62%), e nas irrigações subseqüentes, após processo de saturação e drenagem, o mesmo possuía umidade próxima à capacidade de recipiente (*container capacity*), aumentando a condutividade hidráulica no substrato, proporcionando uma menor resistência à entrada de água dentro dos recipientes e aumentando a vazão de entrada.

Verifica-se nos ensaios para bandejas de dimensões diferentes e mesmo diâmetro de entrada, a ocorrência o incremento dos valores de vazão com aumento da pressão de serviço, sendo que a pressão de 20 kPa, em todos os ensaios realizados, apresentou uma maior variabilidade nos pares de vazão-pressão.

Importante ressaltar que para cada pressão de cada ensaio, são apresentados nos gráficos os 5 valores médios de 15 repetições, ou seja, 15 pares de vazão versus pressão, permitindo, assim, obter a equação característica do equipamento para o respectivo ensaio (Tabela 8).

Tabela 8. Valores dos coeficientes de forma (k) e cinético (x), e do coeficiente de determinação para as equações de vazão ($L h^{-1}$) versus pressão (kPa), obtidas para os diferentes ensaios das bandejas de irrigação por capilaridade.

Ensaio	Bandeja	Q=k P ^{x-1}		r ²
		k	x	
Equação Teórica	Menor x 0,004 m	39,01	0,50	---
	Maior x 0,004 m			
	Menor x 0,007 m	119,46	0,50	
	Maior x 0,007 m			
Sem Substrato	Menor x 0,004 m	35,76	0,51	0,96
	Maior x 0,004 m	40,40	0,45	0,88
	Menor x 0,007 m	88,45	0,58	0,94
	Maior x 0,007 m	99,82	0,54	0,93
Com substrato	Menor x 0,004 m	47,07	0,39	0,93
	Maior x 0,004 m	39,03	0,45	0,89
	Menor x 0,007 m	105,22	0,53	0,94
	Maior x 0,007 m	112,25	0,50	0,91
1º aplicação	Menor x 0,004 m	40,35	0,43	0,97
	Maior x 0,004 m	35,39	0,47	0,91
	Menor x 0,007 m	94,47	0,56	0,94
	Maior x 0,007 m	122,16	0,46	0,90

¹P' = h₀ - h₁, sendo h₀ referente à pressão de serviço aplicada (10 kPa, 15 kPa e 20 kPa) e h₁ igual a altura de afogamento do bocal de adução (1,324 kPa).

Em todas as equações características foram observados valores elevados dos coeficientes de determinação (r²), confirmando a boa representatividade dos modelos. Comprova-se pela Tabela 8 que o valor do coeficiente de forma aumenta com a elevação da área do orifício de adução de água nas bandejas, e que o coeficiente cinético, relacionado à velocidade de escoamento da água no processo de enchimento da bandeja, apresenta valores menores quando se verifica menor velocidade da água gerada por maior resistência ao escoamento. A pequena variabilidade encontrada pode ser atribuída às diferenças

dimensionais observadas entre bandejas, ocasionadas durante o enrijecimento da resina acrílica na sua fabricação.

Pode-se verificar que para todas as condições estruturais ensaiadas, a curva característica teórica se apresentou próxima com à curva característica prática do ensaio sem a presença dos tubetes preenchidos com substrato, o que demonstra a viabilidade de sua utilização na determinação da vazão volumétrica desse equipamento de irrigação. Pode-se afirmar que as bandejas de irrigação por capilaridade com diferentes dimensões, apresentaram semelhança funcional, no que diz respeito ao estudo de vazão versus pressão. Neste caso, existem apenas diferenças operacionais na aplicação das duas bandejas, sendo elas referentes ao tempo de irrigação, uma vez que, possuem volumes máximos diferentes.

Tornou-se evidente, ao analisar os resultados encontrados, a ocorrência de validação do equacionamento teórico de determinação da vazão para orifícios afogados de pequenas dimensões e paredes delgadas, na sua aplicação para o dimensionamento da vazão de sistemas de irrigação por capilaridade, similares aos desenvolvidos e pesquisados neste estudo.

5.3.4. Subsidência e perda de substrato

Na produção comercial de mudas em recipientes, o estudo dos componentes relacionados ao substrato adotado possui importância central na sistemática de produção (FERMINO, 2002). Decidiu-se realizar o monitoramento da subsidência e perda de substrato no decorrer das aplicações de água no equipamento de irrigação por capilaridade para que se pudesse justificar qualquer redução no armazenamento de água pelo substrato presente no recipiente de produção após a primeira aplicação. Além disso, buscou quantificar a perda deste insumo, que é responsável por cerca de 20% dos custos na produção de mudas cítricas.

As alturas de subsidência média do substrato por tubete de produção, referentes aos pontos monitorados durante a caracterização hidráulica das bandejas, com diferentes dimensões, são apresentados, respectivamente, na Tabela 9 e na Tabela 10.

Pode-se comprovar ao analisar as Tabela 9 e 10 que, com o incremento do número de irrigações houve a minimização da subsidência de substrato para todas as pressões e diâmetros internos dos bocais de entrada. Segundo FERNANDES & CORÁ (2004) ao longo do período de cultivo e preenchimento dos recipientes, menores partículas são deslocadas de poros pequenos para poros maiores, alterando-se a porosidade do meio de crescimento de raízes,

reduzindo-se a porosidade total e a porosidade de aeração, e com isso, proporcionando aumento na água disponível. Pode-se aliar a esses fatores de acomodação do substrato ao recipiente e arraste de partículas o desenvolvimento vegetal e o número de irrigações.

Tabela 9. Altura de subsidência média do substrato (cm) por tubete de produção, durante a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas menores.

Altura de subsidência média do substrato (cm)												
Número de Irrigações	Pressão Aplicada											
	10 kPa				15 kPa				20 kPa			
	0,004 m		0,007 m		0,004 m		0,007 m		0,004 m		0,007 m	
	h	Δh	h	Δh	h	Δh	h	Δh	h	Δh	h	Δh
0	13,70 ¹		13,70		13,70		13,70		13,70		13,70	
1	13,16 ²	0,54	13,50	0,20	13,47	0,23	13,49	0,21	13,45	0,25	13,49	0,21
2	12,88	0,28	13,38	0,12	13,35	0,12	13,40	0,08	13,33	0,12	13,40	0,09
3	12,72	0,16	13,29	0,09	13,28	0,07	13,34	0,07	13,22	0,10	13,35	0,05
4	12,56	0,16	13,23	0,06	13,20	0,07	13,28	0,06	13,15	0,08	13,26	0,09
Total		1,14		0,47		0,50		0,42		0,55		0,44

¹Altura inicial da coluna de substrato inserido no tubete (cm);

²Valores médios dos cinco postos monitorados em cada bandeja e irrigação realizada.

Tabela 10. Altura de subsidência média do substrato (cm) por tubete de produção, durante a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas maiores.

Altura de subsidência média do substrato (cm)												
Número de Irrigações	Pressão Aplicada											
	10 kPa				15 kPa				20 kPa			
	0,004 m		0,007 m		0,004 m		0,007 m		0,004 m		0,007 m	
	h	Δh	h	Δh	h	Δh	h	Δh	h	Δh	h	Δh
0	13,70 ¹		13,70		13,70		13,70		13,70		13,70	
1	13,30 ²	0,40	13,51	0,19	13,46	0,24	13,49	0,21	13,45	0,25	13,52	0,18
2	13,16	0,14	13,38	0,13	13,37	0,09	13,40	0,09	13,34	0,10	13,39	0,13
3	13,01	0,15	13,32	0,07	13,32	0,06	13,33	0,07	13,26	0,08	13,33	0,06
4	12,82	0,19	13,24	0,08	13,23	0,08	13,27	0,06	13,20	0,06	13,27	0,06
Total		0,88		0,46		0,47		0,43		0,50		0,43

¹Altura inicial da coluna de substrato inserido no tubete (cm);

²Valores médios dos cinco postos monitorados em cada bandeja e irrigação realizada.

Observa-se que tanto para bandeja menor quanto para a bandeja maior, a maior altura de subsidência média ocorreu após a 1^o aplicação de água, permanecendo praticamente constante entre as demais aplicações de água. Esse fato pode ser explicado tendo em vista que

após a saturação e drenagem do substrato ocorre o rearranjo das partículas de substrato no interior do tubete, além das perdas de substrato após as irrigações (Tabela 11 e Tabela 12).

Os resultados referentes à altura de subsidência do substrato evidenciam a real necessidade da prática de preenchimento dos tubetes de produção com uma nova camada de substrato, uma vez que, a redução da altura da coluna de substrato poderia gerar instabilidade ao sistema radicular da planta além de reduzir o reservatório hídrico-nutricional para a planta, que já é limitado. Importante salientar que essa prática é realizada pelos produtores de mudas de citros.

As perdas médias do substrato por tubete de produção, referentes aos pontos monitorados, na caracterização hidráulica das bandejas, com diferentes dimensões, são apresentados, respectivamente, na Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11. Perda média de substrato (g) por tubete de produção, durante a realização das irrigações nas bandejas menores.

Perda média de substrato (g)						
Intervalo entre aplicações de água	Pressão Aplicada					
	10 kPa		15 kPa		20 kPa	
	0,004 m	0,007 m	0,004 m	0,007 m	0,004 m	0,007 m
1° - 2° aplicação	1,15 ¹	1,15	0,75	0,53	1,29	0,64
2° - 3° aplicação	0,79	0,82	0,90	0,79	0,99	0,64
3° - 4° aplicação	0,52	0,64	0,47	0,56	0,48	0,52
1° - 4° aplicação	1,72	2,47	1,69	1,61	2,50	1,39

¹Valores médios dos cinco postos monitorados em cada bandeja e irrigação realizada.

Tabela 12. Perda média de substrato (g) por tubete de produção, durante a realização das irrigações, nas bandejas maiores.

Perda média de substrato (g)						
Intervalo entre aplicações de água	Pressão Aplicada					
	10 kPa		15 kPa		20 kPa	
	0,004 m	0,007 m	0,004 m	0,007 m	0,004 m	0,007 m
1° - 2° aplicação	1,14 ¹	0,75	0,94	0,79	1,22	0,81
2° - 3° aplicação	0,84	0,78	0,66	0,88	0,77	0,72
3° - 4° aplicação	0,44	0,77	0,62	0,65	0,38	0,50
1° - 4° aplicação	1,83	1,55	1,87	1,97	2,10	1,52

¹Valores médios dos cinco postos monitorados em cada bandeja e irrigação realizada.

De maneira semelhante à altura de subsidência, a perda de substrato média por tubetes de produção foi mais expressiva após a realização da primeira aplicação de água.

Observou-se redução seqüencial da perda de substrato à medida que, com a realização das aplicações de água subseqüentes, devendo-se este fato ao arraste das partículas menores de substrato nas irrigações anteriores.

A perda de substrato ao longo do processo de produção de mudas em ambientes protegidos é uma realidade conhecida pelos produtores, os quais buscam alternativas para reduzi-la. SANTIN et al. (2005), estudando relações entre substratos e sistemas de aplicação de solução nutritiva na produção de mudas e a posterior resposta produtiva da beterraba, adicionaram aproximadamente 3cm³ de casca de arroz em cada célula das 72 meias bandejas multicelulares de poliestireno expandido, a fim de evitar a perda de substrato pelos orifícios inferiores das células.

Verifica-se que a manta plástica perfurada adotada com o intuito de conter a perda desse material não se mostrou eficaz, como pode ser observado na Figura 33. Após a realização da drenagem da água das bandejas de irrigação por capilaridade eram encontradas partículas de substrato, o que comprova seu arraste.

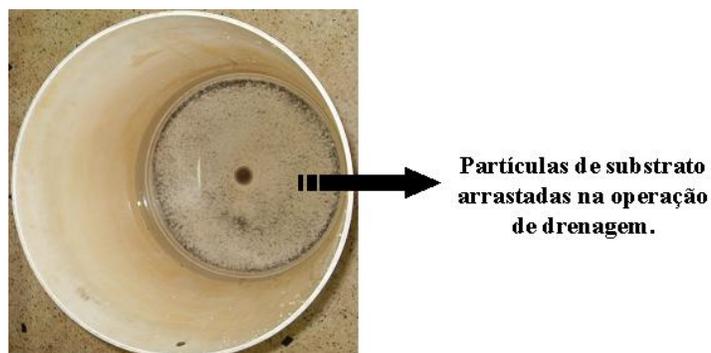


Figura 33. Perda de substrato após drenagem das bandejas de irrigação por capilaridade, durante a realização dos ensaios hidráulicos.

5.3.5. Armazenamento de água

A alta capacidade de absorção e de retenção de água pelo substrato é uma das características físicas que o substrato ideal deve apresentar (GOMES & SILVA, 2004), sendo esta, uma propriedade intrínseca do material que compõe o substrato. Com isso, verifica-se que o sistema de irrigação não apresenta influência direta no incremento dessa variável. Dessa forma, buscou-se com esse monitoramento evidenciar se o equipamento proposto possibilitaria

condições adequadas de irrigação, que permitisse ao substrato empregado alcançar sua potencialidade quanto ao armazenamento de água.

A Figura 34 mostra o armazenamento médio de água no substrato, referente aos pontos monitorados após a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas. Observa-se, que os valores de umidade alcançados pelo substrato, para as diferentes pressões de serviço, decorrido o intervalo de 15 minutos após a realização da drenagem das bandejas, se manteve praticamente constante entre as aplicações. Encontrou-se uma umidade média total equivalente a 141,12%, o que gerou um incremento médio de 44,1%, sabendo-se que a umidade média inicial, em peso, era de 97,03%.

Nota-se que o ganho de umidade pelo substrato foi condizente para este tipo de material, o que é possibilitado pela maior porosidade nesses materiais quando comparados com o solo. Segundo FERMINO (2002) os substratos, em geral, têm maior porosidade se comparados ao solo, pois parte majoritária dos materiais utilizados possui poros internos além daqueles externos, formados entre partículas. Adicionalmente, com a realização das atividades de preenchimento dos tubetes e irrigação, somada a ação do próprio peso das partículas, provocará o aumento do valor inicial de densidade. Dessa forma, aumenta-se a proporção de microporos, e conseqüentemente a retenção de água pelo substrato.

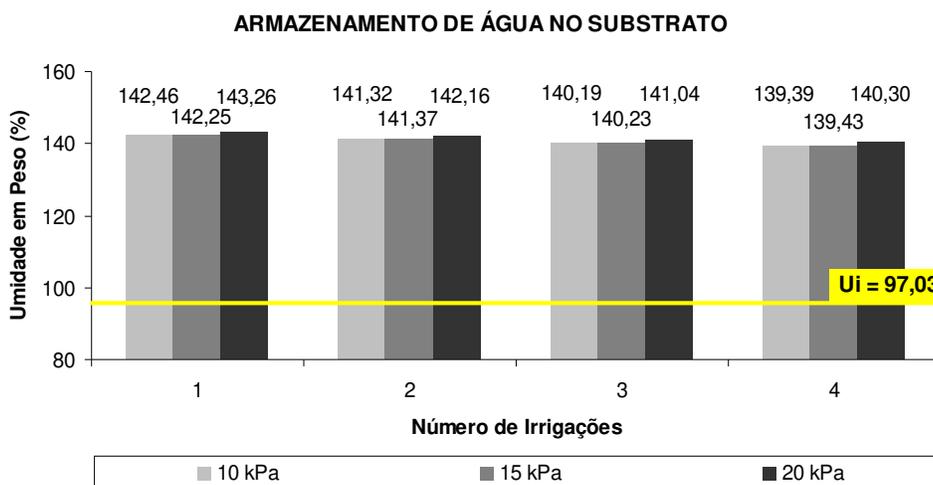


Figura 34. Armazenamento médio de água no substrato, após a realização das irrigações, na caracterização hidráulica das bandejas.

*Ui = umidade inicial de substrato, em peso (%).

Outro ponto que favoreceu o armazenamento de água pelo substrato foi a sua textura fina. Segundo HANDRECK & BLACK (1999) o aumento da proporção de partículas com tamanho entre 0,1 e 0,25 mm e menores, em substrato a base de casca de Pinus, diminui a mobilização da água aumentando a quantidade de água retida pelo substrato.

Considerando-se a variação de umidade média entre as aplicações, para mesma pressão, verifica-se uma pequena redução do valor médio de umidade, que pode ser explicada pelo arraste de material propagativo após a operação de drenagem, como foi comprovado pela Figura 33.

Conhecendo-se a diferença entre os valores médios de volume de enchimento (item 5.3.2.) e os volumes drenados após os ensaios hidráulicos com substrato (Tabela 17 e 18, apêndice 5), para as bandejas de diferentes dimensões, verifica-se que o volume médio armazenado dos 54 tubetes presentes em cada bandeja, por irrigação, foi de 1,33 L.

Com relação à funcionalidade do equipamento de irrigação desenvolvido, pode-se constatar que o mesmo possibilitou condições adequadas de fornecimento de água para que os substratos pudessem alcançar incremento significativo de armazenamento de água.

5.4. Simulação da operação do protótipo em escala comercial

Os volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação (drenado), por irrigação, na produção de um lote de 54 porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira, utilizando o equipamento de capilaridade maior, podem ser verificados na Tabela 13.

Tabela 13. Volume médio de água aplicada e perdida, diretamente ou por percolação (drenado), por irrigação, para o equipamento de irrigação por capilaridade, de maior dimensão, na produção de um lote de 54 porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira.

Parâmetros de Desempenho de Irrigação	Sistemas de Irrigação por Capilaridade ²
Volume aplicado (L)	7,63
Volume perdido diretamente (L)	0,00
Volume perdido por percolação (drenado) (L)	6,30
Volume perdido total (%)	82,56

²Valores utilizados referentes aos dados obtidos no teste hidráulico das bandejas por capilaridade, conforme pode ser observado na Tabela 7 (item 5.3.3) e na Tabela 18 (apêndice 5);

Observa-se pela Tabela 13 que o resultado encontrado para o percentual de volume perdido pelo sistema de irrigação por capilaridade foi expressivo, sendo possível afirmar que a viabilidade do emprego da irrigação por capilaridade neste setor produtivo está atrelada ao reuso da água/solução de irrigação/fertirrigação, a partir do fechamento do circuito do sistema de irrigação implantado. Estes resultados foram encontrados, pois, neste trabalho foi realizado o estudo do equipamento de irrigação sob condição de manejo aberto, ou seja, com o descarte da água/solução aplicada, sendo esta forma de manejo inapropriada ao perfil de irrigação racional.

Utilizando-se os dados apresentados na Tabela 13, foi possível estimar os volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação, durante todo o ciclo de produção de 54 porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira (Tabela 14). Para isso considerou-se a realização de uma irrigação diária durante o ciclo médio de produção, que é de 120 dias.

Tabela 14. Volume médio de água aplicada e perdida, diretamente ou por percolação, durante todo o ciclo de produção¹ dos porta-enxertos de 54 porta-enxertos de mudas cítricas na fase de sementeira, para o equipamento de irrigação por capilaridade de maior dimensão.

Parâmetros de Desempenho de Irrigação	Sistemas de Irrigação por Capilaridade
Volume aplicado (L)	915,60
Volume perdido diretamente (L)	0,00
Volume perdido por percolação (L)	756,00

¹Considerou-se o ciclo de produção médio de 120 dias.

Com isso verifica-se que a utilização do sistema de irrigação por capilaridade dentro das metodologias operacionais utilizadas neste estudo mostrou-se inadequado quanto a sua empregabilidade na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, ocorrendo um desperdício expressivo da água aplicada na irrigação.

Importante salientar, que se o sistema de irrigação por capilaridade for empregado utilizando-se um sistema de reutilização da água drenada nas aplicações e que não é retida pelo substrato (em excesso), a eficiência de irrigação atingiria valores muito próximos a 100%, uma vez que não haveria descarte da solução excedente. Existe, portanto, a necessidade do tratamento da água descartada para retorno ao sistema, pois esta teve contato direto com o

meio de produção, sendo preciso garantir a fitossanidade e impedir a propagação de doenças na produção.

Dessa forma, verifica-se um cenário promissor com o aperfeiçoamento das bandejas de irrigação por capilaridade, com a introdução de uma anti-câmara de adução de água, na qual a água aduzida na mesma não entraria em contato com os tubetes e não seria descartada, o que promoveria uma eficiência de irrigação satisfatória. Outra proposta adicional que deve ser pesquisada seria a utilização de sistemas de desinfecção para o tratamento da solução que entrou em contato com o meio de produção. ACHER et al. (1997) estudando o uso de desinfecção ultra-violeta na solução nutritiva de sistema de cultivo hidropônico de plântulas de sorgo, milho e tomate, aplicada em ambientes protegidos, concluíram que os sistemas de cultivo hidropônico em estufas exigem a reciclagem e desinfecção das soluções nutritivas devido preocupações ecológicas e razões de ordem econômica, e que o sistema de desinfecção por radiação UV (254 nm) mostrou-se o mais adequado e que satisfaz os requisitos acima mencionados.

6. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados encontrados nessa pesquisa pode-se chegar às seguintes conclusões:

- O produtor de porta-enxertos de mudas cítricas característico do estado de São Paulo, no ano de 2007, tinha uma área de produção de até 3000 m² (64%); produzia até 80.000 mudas anualmente (65%); utilizava casca de pinus como substratos(78%); empregava chuveiros ou tubos perfurados como sistemas de irrigação (92%) juntamente com fertirrigação (89%), não utilizando técnicas de manejo da irrigação (57%). Fica evidente com esse perfil que, no tocante ao manejo hídrico, são necessários investimentos tecnológicos neste setor produtivo, com a busca pela adoção e desenvolvimento de equipamentos que proporcionem melhores eficiências de irrigação;
- As eficiências médias de irrigação obtidas nas avaliações de campo revelam que a irrigação realizada pelos produtores de porta-enxerto de mudas cítricas na fase de sementeira, nas bacias hidrográficas PCJ e Mogi Guaçu, localizadas no estado de São Paulo, possui um desempenho inferior ao almejado, mostrando a necessidade de se buscar alternativas tecnológicas que aprimorem o desempenho da irrigação neste setor produtivo e tornem o uso da água mais racional. No entanto, torna-se relevante ressaltar que a realização de mais visitas técnicas possibilitaria a obtenção de resultados mais conclusivos.
- O equipamento de irrigação por capilaridade desenvolvido possibilitou condições adequadas de fornecimento de água para os tubetes preenchidos com substrato, apresentando caracterização funcional singular aos sistemas que realizam irrigação subsuperficial, podendo ser encarado como um modelo precursor de um equipamento de irrigação por capilaridade ideal..

- O equipamento de irrigação por capilaridade desenvolvido, sem previsão do reuso da água, sob sistema aberto, revelou-se inadequado ao emprego na produção de porta-enxertos de mudas cítricas, na fase de sementeira, devido ao elevado desperdício hídrico e de sais gerados na atividade de irrigação e fertirrigação, podendo a sua utilização levar a impacto ambiental significativo neste setor produtivo.

7. RECOMENDAÇÕES

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu uma série de reflexões que, almejando-se a continuidade deste trabalho, devem ser deixadas como recomendações, dentre elas pode-se ressaltar:

- Deve ser realizado o aperfeiçoamento no modelo estrutural do protótipo, transformando-se a câmara de adução de água, em duas câmaras, sendo a primeira para a adução de água no sistema de irrigação por capilaridade e a segunda para o fornecimento de água as células de inserção dos tubetes de produção. Além disso, deve-se buscar por sua fabricação em um único material, de peso específico baixo e que garanta boa vedação da água (materiais plásticos);
- Visando o reuso da água e/ou solução nutritiva utilizada deve-se proceder o fechamento do circuito do sistema de irrigação. Desse modo a água oriunda da primeira câmara de adução, que não teve contato direto com o meio de produção, poderia ser reutilizada em outras irrigações. Já o excedente da irrigação que se encontra na segunda câmara, e que teve contato com o substrato, deve ser encaminhado a um reservatório onde seria realizado um tratamento de desinfecção de microorganismo fitopatogênicos para posterior reuso. Assim, seria priorizado as preocupações de ordem ambiental e econômica e levando o sistema por capilaridade a sua máxima eficiência;
- Deve-se ainda verificar a possibilidade de desenvolvimento de um protótipo que permita a aplicação eventual de água na parte superior dos tubetes. Assim seria possível realizar irrigação para a lixiviação do excedente de sais que podem ir se acumulando ao longo das fertirrigações procedidas durante o ciclo de produção do porta-enxertos de mudas na fase de sementeira;
- Pensando-se do emprego deste sistema em campo deve-se buscar a sua automação, o que geraria melhoras no controle do suprimento hídrico-nutricional às plântulas.

Dessa maneira, verifica-se um cenário promissor para a irrigação por capilaridade no setor de produção de mudas na fase de sementeira, podendo este equipamento ser empregado no futuro em viveiros de produção de mudas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. F. de; ABREU, C. A. de; BATAGLIA, O. C. Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes. In: 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, 2002. p.17-28. (Documentos IAC, 70).

ACHER, A.; HEUER, B.; RUBINSKAYA, E.; FISCHER, E. Use of ultraviolet-disinfected nutrient solutions in greenhouses. **Journal of Horticultural Science**. Israel, v.72, n.1, p.117-123, 1997.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: UFV, 2004. 442p.

AMARO, A. A. Aspectos econômicos da Fruticultura-limão. *Laranja*, v.10, p.1-44, 1989.

ALMEIDA, E. L. P.de. **Sistema de produção de mudas cítricas em viveiros protegidos do Estado de São Paulo**. 68p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for the Water and Wastewater**. 20 ed. New York: APHA, 1998.

ANSORENA MINER, J. Substratos: propiedades y caracterización. Bilbao: Ediciones Mundi-Prensa, 1994. 172p.

ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA – AGRIANUAL. *Laranja*. São Paulo: Ed. FNP Consultoria e Comércio, 2008. p.273-303.

ASSOCIAÇÃO DOS CITRICULTORES DOS ESTADO DE SÃO PAULO – ASSOCITRUS. Disponível em:<<http://www.associtrus.com.br>>. Acessado em: 29 de jun. 2007.

ASSOCIAÇÃO DOS CITRICULTORES DOS ESTADO DE SÃO PAULO – ASSOCITRUS. Disponível em:<<http://www.associtrus.com.br>>. Acessado em: 9 de jan. 2004.

ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE VIVEIROS CERTIFICADOS DE CITRUS - VIVECITRUS. **Informativo Vivecitrus**. Ano 02, n.5, mar. 2002.

AZEVEDO NETTO, J. M.; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M.; ARAÚJO, R.; ITO, A. E. **Manual de Hidráulica**. 8º ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 1998, 670p.

BACHMANN, J.; HOTON, R.; GRANT, S.A.; van der PLOEG, R. R. Temperature dependente of water retention curves for wettable and water repellent soils. **Soil Science American Journal**, Madison, v.66, n.1, p.44-52, January-February, 2002.

BALLESTER-OLMOS, J. F. Substratos para el cultivo de plantas ornamentales. Valencia: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrárias, 1992. 44p. (Hojas Divulgadoras, 11).

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; FERRAREZI, R. S.; MEDINA, C. L. **Padrão nutricional de mudas de citros**. Araraquara: Vivecitrus/Conplant. 40 p. (Boletim Técnico), 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Ed. UFV, 2005, v.7, 611p.

BLANCO, F. F. **Tolerância do pepino enxertado à salinidade em ambiente protegido e controle da salinização do solo**. 122p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

BLANCO, F.F.; FOLEGATTI, M.V.; NOGUEIRA, M.C.S. Fertirrigação com água salina e seus efeitos na produção do pepino enxertado cultivado em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n. 3, p.442-446, set 2002.

BOAVENTURA, P. R. P. **Demanda por nutrientes de mudas cítricas produzidas em substrato em ambiente protegido**. 62p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agônômico de Campinas, Campinas, 2003.

BOTEON, M.; BRAGA, D. Pós-Furacões, o Brasil confirma a sua liderança mundial, mas é preciso redefinir o mecanismo de remuneração na citricultura paulistana. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, v. 6, n.57, p.6-15, mai., 2007. ISSN 1981-1837.

BOTEON, M.; NEVES, E. M. Citricultura brasileira: aspectos econômicos. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Org.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas; Fundag, 2005, p.20-36.

CABRERA, R.I. Using slow and controlled release fertilizers in container nursery crops. **Rutgers Cooperative Research & Extension**. FS 847, 1996.

CASER, D.V.; CAMARGO, A.M.M.P. DE; GHOBRI, C. N.; CAMARGO, F.P. DE; ÂNGELO, J.A.; OLIVETTI, M.P.A.; FRANCISCO, V.L.F.S. Previsões e estimativas das safras agrícolas do Estado de São Paulo, ano agrícola 2006/07, 4º levantamento, Abril de 2007. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v.37, n.6, p.99-118, jun., 2007. ISSN 0100-4409.

CARVALHO, S. A.; GRAF, C. C. D.; VIOLANTE, A. R. Produção de material básico e propagação. In: MATTOS JUNIOR, D.; NEGRI, J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. (Org.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas; Fundag, 2005, p.281-316.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **Incertezas diminuem percepção do produtor sobre rentabilidade do negócio**. Disponível em: < <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea-CitrosJunho05.pdf>>. Acesso em: 9 de out. de 2007.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO-CESP. **Manual de produção de mudas de essências florestais nativas**. São Paulo: CESP, 2000. 55p. (CESP. Série Divulgação e Informação, 244).

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Águas subterrâneas: Poluição das águas subterrâneas**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/agua_sub/poluicao.asp> Acessado em: 23 de jan. 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Mudas de Citros**. Pelotas, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 29 de nov. 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo do eucalipto: importância socioeconômica e ambiental**. Paraná, 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/Cultivodoeucalipto/index.htm>>. Acesso em: 10 de fev. 2008.

FAVARIN, J. L.; TAVARES JÚNIOR, J. E.; SALGADO, P. R.; BERNARDES, M. S.; AMARGO, F. T.; LUNZ, A. A. P. Volume e granulometria do substrato na qualidade de mudas formadas em tubetes. In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 4., 2005, Londrina, Anais... Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2005. 1CD-ROM.

FARIAS, P. R. S.; NOCITI, L. A. S.; BARBOSA, J. C. *et al.* Precision agriculture: mapping yield in citrus groves using geostatistics. **Rev. Bras. Frutic.**, Aug. 2003, vol.25, no.2, p.235-241. ISSN 0100-2945.

FEICHTENBERGER, E. Manejo ecológico das principais doenças fúngicas e bacterianas dos citros no Brasil. In: V SEMINÁRIO INTERNACIONAL: DE CITROSTRATOS CULTURAIS, 1998, Bebedouro. **Anais...** Bebedouro: Fundação Cargill, 1998. p.23-66.

FERMINO, M. H. Uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. (Coord.). **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: IAC, 2002. p.45-52. (IAC. Documentos, 70).

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E. Densidade e relação ar/água de substratos hortícolas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.61, n.4, p.446-450, 2004.

FERNANDES, J. P. C.; TESTEZLAF, R. Avaliação da eficiência da irrigação realizada por produtores certificados de mudas de citros do estado de São Paulo. In: **XV Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FERRAREZI, R. S.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R.; SCHAMMASS, E. Iron sources for citrus rootstock development grown on pine bark/vermiculite mixed substrate. **Scientia Agrícola**, v.64, n.5, p.520-531, 2007.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: Agro-tecnologia Moderna na Produção e Comercialização de Hortaliças**. UFV. Viçosa, 2000.

FOCHESATO, M. L.; **Substratos e porta-enxertos na produção de mudas cítricas em ambiente protegido**. 91p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. *The use of saline waters for crop production*. In: **Irrigation and drainage paper 48**, FAO, 1992.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA – FUNDECITRUS. **Manual de Viveiros**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.fundecitros.com.br/manuais.html>>. Acessado em: 20 de jul. 2007.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA – FUNDECITRUS. **Cancro Cítrico**. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.fundecitrus.com.br/doencas/cancro.html>>. Acessado em: 10 de fev. 2008.

FUNDO DE DEFESA DA CITRICULTURA – FUNDECITRUS. **Viveiros e Mudanças**. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.fundecitros.com.br/dviveiros_br.html#inp_mensal>. Acessado em: 21 de set. 2009.

GENEVE, R. L.; KESTER, S. T.; BUXTON, J. W. Capillary Mats Alter the Waqter Content in medium during Mist Propagation of Dendranthema. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.39, n.3, June, 2004.

GERVÁSIO, E. S. **Efeitos de lâminas de irrigação e doses de condicionador, associados a diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro**. 105p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GIRARDI, E.A.; MOURÃO FILHO, F.A.A.; GRAF C.C.D.; OLIC, F.B. Growth of citrus nursery trees related to the container volume. In: Donadio, L.C.; Moreira, C.S.; Stuchi, E.S. (eds.). **6th World Congress of the International Society of Citrus Nurserymen**, p.316. Ribeirão Preto, SP. 9-13 July, 2001.

GIRARDI, E. A. **Métodos alternativos de produção de mudas cítricas em recipientes na prevenção da morte súbita dos cítrus**. 89p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GODOY JUNIOR, C. Café, mudas em recipientes de polietileno. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 40, n. 1, p. 161-166, mar. 1965.

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, 2002.

GOMES, M. P. Mudras em containers: Uma ótima opção. **Revista Cutrale**, n.1, p.6, 1989.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N.; COUTO, L. Produção de mudras de Eucalipto I. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.185, p.15-23, 1996.

GOMES, J. M.; SILVA, A. R. da Os substratos e sua influência na qualidade de mudras. In: BARBOSA, J. G. et al. (Ed.) **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa: UFV, 2004. p.190-225.

GONÇALVES, J. L. M.; POGIANI, F. Substratos para a produção de mudras florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Piracicaba: SBCS, SLCS, 1996.

GRACIANO, T.; DEMATTE, J.; VOLPE, C.; PERECIN, D. Interação entre substrato e fertirrigação na germinação e na produção de mudras de *Tagetes patula* L. (Compositae). **Revista Brasileira. Horticultura Ornamental**, v. 01, n.1 e n.2, 1995.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. dos. **Estratégias de manejo de doenças em viveiros florestais**. Colombo: EMBRAPA, 2001. 8p. (EMBRAPA. Circular Técnica, 47).

GRUBER, Y. B. G. **Otimização da lâmina de irrigação na produção de mudras clonais de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* var. *plathyphylla*)**. 145p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

GUILARDI, A.A., MAIA, M.L., AMARO, A.A., DE NEGRI, J.D. Mudanças das técnicas adotadas e impactos no uso de fatores de produção na citricultura paulista nos anos 90. **Revista Informações Econômicas**, São Paulo, v.32, n.9, p.21-45, out. 2002.

GUIMARÃES, P. T. G.; ANDRADE NETO, A. de; BELLINI JUNIOR, O.; ADÃO, W. A.; SILVA, E. Manual da produção de mudras de cafeeiro em tubetes. **Informe Agropecuário**, 19, n.193, p.98-108, 1998.

HANDRECK, K. A.; BLACK, N. D. **Growing media for ornamental plants and turf**. Sydney. UNSW, 1999. 448p.

HESPANHOL, I. A urgência do reuso. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, São Paulo, 11 abr. 2004. Entrevista concedida a E. Geraque. Disponível em: <[http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?data\[id_materia_boletim\]=1774](http://www.agencia.fapesp.br/boletim_dentro.php?data[id_materia_boletim]=1774)>. Acessado em: 28 de nov. de 2007.

HOFFMAN, G. Verbindliche Methoden zur Untersuchung von TKS und Gartnerischen Erden.

Mitteilubngen der VDLFA, Heft, v.6, p. 129-153, 1970.

HU, Y. & SCHMIDHALTER, U. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. **J. Plant Nutr. Soil Sci.**, v. 168, p. 541–549, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acessado em: 27 de mai. de 2009, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sidra: citros**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acessado em: 03 de mai. de 2009.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. Área e produção agropecuária. **Série informações estatísticas da Agricultura**, São Paulo, v.20, n.1, p.9-33, 2009.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. Disponível em: <<http://www.iea.com.br>>. Acessado em: 10 de jun. de 2008.

JESUS, R.M.; MENANDRO, M.S.; BATISTA, J.L.F.; COUTO, H.T. Efeito do tamanho do recipiente, tipo de substrato e sombreamento na produção de mudas de louro (*Cordia thricotoma* (Vell) Arrab.) e gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium* Schott). IPEF, no 37, 1987.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF, A. N. & FERMINO, M. H. **Substratos para plantas**: a base da produção vegetal em recipientes. Porto Alegre: Gênese, p. 139-145, 2000.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984.

LAZOF, D. B. & BERNSTEIN, N. Effects of salinization on nutrient transport to lettuce leaves: consideration of leaf developmental stage. **The New Phytologist**, v. 144, n. 1, p. 85-94, 1999.

LEVY, G. J.; SHAINBERG, I.; MILLER, W. P. Physical properties of sodic soils. In: SUMMER, M. E.; NAIDU, R. (eds.), **Sodic soils: Distribution, properties, management and environmental consequences**. New York: Oxford University Press, p.77-94, 1998.

LONGHENESSE, J. J.; LEONARDI, C. Some ecophysiological indicators of salt stress in greenhouses tomato plants. **Acta Horticulturae**, 366: 461-7,1994.

LORDELLO, R. R. A.; LORDELLO, A. I. L. Nematóides parasitos dos citros. Campinas: Fundação Cargill, 1991. In: **Citricultura Brasileira**. RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU, J. Jr.; AMARO, A. S. v.2, p.668-714, 1991

MARCHI, E. C. S. **Sobrevivência de mudas de cafeeiro (*Coffea Arabica L.*) no pós-plantio em função do recipiente, época e classes de solo no sistema convencional e plantio direto**. 80p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Seleção de Sistemas de Irrigação para Hortaliças**. Brasília: Embrapa. 1998. 15p.

MELO, B. de. **Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (Coffea arábica L.) em tubetes**. 1999. 65 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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. Water and fertilizers management in substrates. In: Donadio, L.C.; Moreira, C.S.; Stuchi, E.S. (eds.). **6th World Congress of the International Society of Citrus Nurserymen**, p.93. Ribeirão Preto, SP. 9-13 July, 2001.

MILNER, J. Manejo da irrigação e fertirrigação em substratos. In: FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; ABREU, M. F.; ABREU, C. A.; FURLANI, P.R.; QUAGGIO, J.A.; MINAMI, K. (Coord.). **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: IAC, 2002. p.45-52. (IAC. Documentos, 70).

MINAMI, K. Produção de mudas de alta qualidade em horticultura. São Paulo: T. A. Queiroz, 1995, p.133.

NACHABE, M.; MASEK, C.; OBEYSEKERA, J. Observations and modeling of profile soil water storage above a shallow water table. **Soil Science American Journal**, Madison, v.68, n.3, p.719-724, May-June, 2004.

AZEVEDO NETTO, J. M. Manual de hidráulica. 8º ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

NEVES, M. F.; JANK, M. S. (Coord.). Perspectivas da cadeia produtiva da laranja no Brasil: A agenda 2015. In: Pensa Boletim On-line, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://www.fundacaofia.com.br/pensa/downloads/Agenda_Citrus_2015_PENSAICONE.pdf>. Acessado em: 29 de nov. de 2009.

NEVES, M. F.; LOPES, F. F. Estratégias para a laranja no Brasil. São Paulo: Atlas, 2005. 225p.

PIRE, R.; PEREIRA, A. Propiedades físicas de componentes de substrato de uso común en la horticultura del estado de Lara, Venezuela: propuesta metodológica. **Bioagro**, jan. 2003, v.15, n.1, p.55-64. ISSN 1316-3361.

PIZARRO, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia**, 3ª edición, Ed. Mundi-Prensa, madrid, 1996. 511p.

PLATT, R.G.; OPITZ, K. W. Propagation of citrus. In: REUTHER, W. (Ed). **The citrus industry**. Riverside: University of California, 1973, v.3, p.1-47.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos para citros potencialmente ananizantes. **Laranja**, v.22, p.147-155, 2001.

QUEIROZ, S. O. P.de. **Método para avaliação da salinização do solo sob condições de ambiente protegido**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

RICHARDS, D. L.; 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.

RÖBER, R.; SCHALLER, K. **Pflanzenernährung im Gartenbau**. Stuttgart: Ulmer, p.350, 1985.

RODRIGUEZ, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU, J. J.; AMARO, A. A. **Citricultura Brasileira**. 2ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991.

ROSSETTI, V. Doenças dos citros. Campinas: Fundação Cargill, 1993. In: **Citricultura Brasileira**. RODRIGUES, O.; VIÉGAS, F.; POMPEU, J. Jr.; AMARO, A. S., v.2, p.668-714, 1991.

SALVADOR, C. A.; FERNADES, 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**, 2008, Foz do Iguaçu, PR. Proceedings do CIGR International Conference of Agricultural Engineering. Jaboticabal, SP: SBEA/CIGR/ASABE, 2008. v.1.

SALVADOR, E. D. **Caracterização física e formulação de substratos para o cultivos de plantas ornamentais**. 148p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE,J.M.; MOSCOVICH, F.A.. Efeito do volume de tubetes e tipos de substrato na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**, v.10, n.2, p.1-15, 2000.

SÃO PAULO. Portaria CDA-5, de 03 de fevereiro de 2005. Estabelece normas de medidas de defesa sanitária vegetal e certificação de conformidade fitossanitária de mudas cítricas no estado de São Paulo. In: **Coordenadoria de Defesa Agropecuária do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2005. Disponível em:<<http://www.cda.sp.gov.br/www/servicos/index.php?action=view&cod=26#>>. Acesso em: 01 de jun. 2007.

SANTIN, M. M.; SANTOS, H. S.; SCAPIM, C.A.; BRANDÃO, B. M. S.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGAR, O.; SANTOS, A. J. A.; SANTOS, I. A. Relação entre

substratos e métodos de aplicação de solução nutritiva na produção de mudas e a posterior resposta produtiva da beterraba. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.27, n.3, p.423-432, July/Sept., 2005.

SCHIMIDT-VOGT, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings: the present international status of research. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL: MÉTODOS DE PRODUÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE DE SEMENTES E MUDAS FLORESTAIS, 1984, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1984. p.366-378.

SILVA, M. R. **Efeito do manejo hídrico e da aplicação de potássio na qualidade de mudas de eucalyptus grandis W.** (Hill ex. Maiden). 110p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)- Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “ Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2003.

SILVA, J. I., VIEIRA, H. D.; ANDRADE, W. E. B.; BARROSO, D. G.; VIANA, A. P. Efeito de diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre). In: **SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 3., 2003, Porto Seguro, BA. **Anais...** Brasília: EMBRAPA CAFÉ, 2003, p. 288.

SILVEIRA, R. L. V. de A.; HIGASHI, E. N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M. R. A. **Seja doutor do seu eucalipto**. Piracicaba: Potafos, 2001. 32p. (Potafos. Arquivo Agrônomo, 12).

SMAJSTRLA A.G.; BOMAN, B.J.; CLARK, G.A.; HAMAN, D.Z.; IZUNO, F.T. and ZAZUETA F.S. **Basic Irrigation Scheduling in Florida**. University of Florida, Gainesville, 1988.

SOBRINHO, J. T. Propagação dos citros. In: ____ **Citricultura Brasileira**. RODRIGUES, O.; VIÉGUAS, F.; POMPEU, J. Jr.; AMARO, A. S. 1991. p.281-301.

STAMATO JÚNIOR, Rubens Paulo. **Condições meteorológicas e consumo de água por mudas cítricas em ambiente protegido**. 68p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Produção Agrícola) – Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2007.

TAVARES, A. Exportação de frutas cítricas “in natura”. **Laranja**, v. 9, p.277-285, 1988.

TEÓFILO SOBRINHO, J. Propagação de citros. In: RODRIGUEZ, O. (Ed.). **Citricultura Brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991, v. 1, p.281-301.

TOSHIKI, 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.

UVA, W-F. L.; WEILER, T. C.; MILLIGAN, R. A. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations in the Northeast and North Central United States. **American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.36, n.1, February, 2001.

VALERO, R. M. M. **Uso da técnica da “TDR” na estimativa da umidade e condutividade elétrica em substratos orgânicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

VERDONCK, O. New developments in the use of graded perlite in horticultural substrates. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 150, p. 575-581, 1983.

WEERTS, A. H.; FREIJER, J. I.; BOUT, W. Modeling the gas diffusion coefficient in analogy to electrical conductivity using a capillary model. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.64, n.2, p.527-532, 2000.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na Produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2002. 166p.

WHITE, J. W.; MASTALERZ, J. W. Soil moisture as related to “container capacity”. **American Society for Horticultural Science**, v.89, p. 758-765, 1996.

WORSLEY, S. China’s long-term citrus plants worry Brazil. **Foodnews**, v.32, p.6-7, 2004.

ZANETTI, M.; CAZETTA, MATTOS JÚNIOR, D de; CARVALHO, S.A. de. Uso de subprodutos de carvão vegetal na formação do porta-enxerto limoeiro cravo em ambiente protegido, *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, 25,3, Dezembro, 2003.

ZANETTI, M. Produção de mudas de citros certificados. **Net**, Araras, mar. 2005. *Citrograf Mudas*. Disponível em:<<http://www.citrograf.com.br/palestras.html>>. Acessado em: 10 de jun.2007.

ZINATI, G.M. Irrigation management options for containerized grown nursery crops. **Rutgers Cooperative Research & Extension**. E 302, 2000.

APÊNDICES

APÊNDICE 1: Questionário de Levantamento dos Viveiros de Citros do Estado de São Paulo.

I. Dados do Questionário	
Número:	Data:

Faculdade de Engenharia Agrícola
UNICAMP



Levantamento dos Viveiros de Citros do Estado de São Paulo

II. Identificação da Propriedade			
Denominação:		Proprietário (nº da CDA):	
Endereço:			Telefone:
Área Propriedade :	Área de Viveiro:	Área Irrigada:	Ano de início do viveiro:

III. Caracterização da Produção:	
(A) nebulizadores (B) sombrites (C) exaustores (D) outros (inserir as letras que a estufa possui)	
Caracterização do Ambiente (Protegido, controlado, Estufa, sombrite, etc.)	Área (m ² ou ha)
<input type="checkbox"/> dedicação exclusiva para mudas de citros <input type="checkbox"/> produção de mudas de outras famílias vegetais concomitantemente na propriedade <input type="checkbox"/> produção de outros produtos agrícolas vegetais concomitantemente na propriedade e <input type="checkbox"/> produção vegetal e animal na propriedade	
Quantidade de mudas produzidas por ano:	

IV. Sistema de Irrigação	
Sistema Utilizado: <input type="checkbox"/> aspersão <input type="checkbox"/> micro -aspersão <input type="checkbox"/> chuveiro <input type="checkbox"/> capilaridade	
Anos de uso:	Manutenção: <input type="checkbox"/> Preventiva <input type="checkbox"/> Re para
Bombeamento (Energia): <input type="checkbox"/> Elétrico <input type="checkbox"/> Combustão interna <input type="checkbox"/> Gravidade	

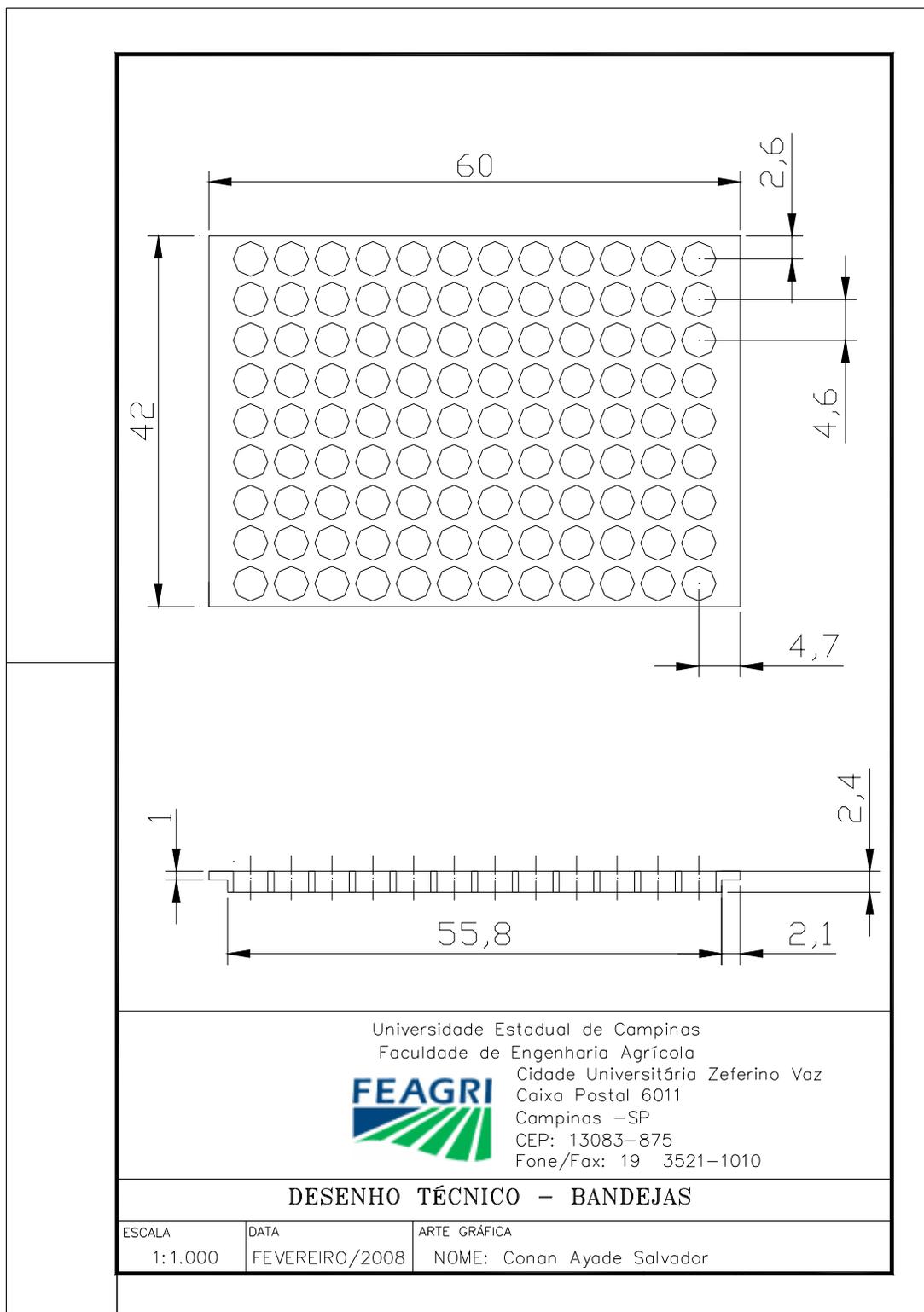
V. Manejo de irrigação	
Forma: <input type="checkbox"/> Automatizado <input type="checkbox"/> Prático	
Tipo de Automatização: <input type="checkbox"/> automatização usando parâmetros da planta e/ou substrato, como umidade, turgescência vegetal, albedo da cultura <input type="checkbox"/> automatização usando parâmetros meteorológicos <input type="checkbox"/> temporizado	
Tipo de método prático:	
Frequência:	
Monitoramento: <input type="checkbox"/> volume de água <input type="checkbox"/> observação da percolação <input type="checkbox"/> pesagem <input type="checkbox"/> tensiometria, sondas, ou similares <input type="checkbox"/> não há	
Disposição da água percolada	
Local da disposição: <input type="checkbox"/> Fossa <input type="checkbox"/> solo <input type="checkbox"/> rua <input type="checkbox"/> outros (especificar)	

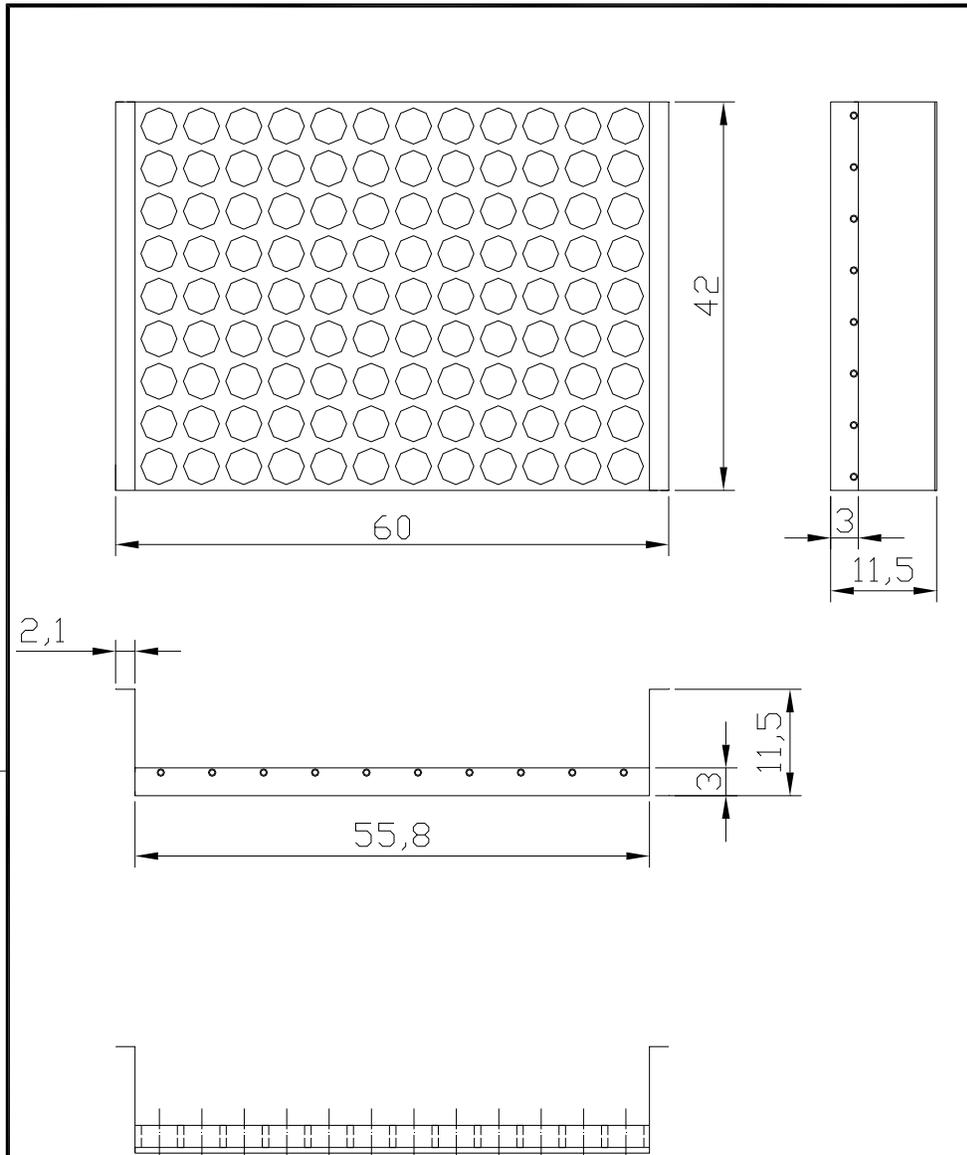
VI. Caracterização da Fonte de Água	
Tipos de Fonte: <input type="checkbox"/> Rio <input type="checkbox"/> Lagoa <input type="checkbox"/> Subterrânea <input type="checkbox"/>	
Quantidade de de Água disponível: <input type="checkbox"/> Suficiente <input type="checkbox"/> Insuficiente	
Qualidade de Água disponível:	

VII caracterização do método de cultivo	
Usa qual substrato? (granulometria, natureza) Mistura substratos?	
Tipos de fertilizantes utilizados: <input type="checkbox"/> fertilizante de liberação controlada <input type="checkbox"/> fertilizante granulado convencional <input type="checkbox"/> fertilizante diluído em água	
Tipo:	
Aduação: <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Fertirrigação	
Tipo: <input type="checkbox"/> Orgânica <input type="checkbox"/> Química	
Fonte:	

Possibilidade de Visita? (S/N)

APÊNDICE 2: Desenhos Técnicos – Protótipo 1.

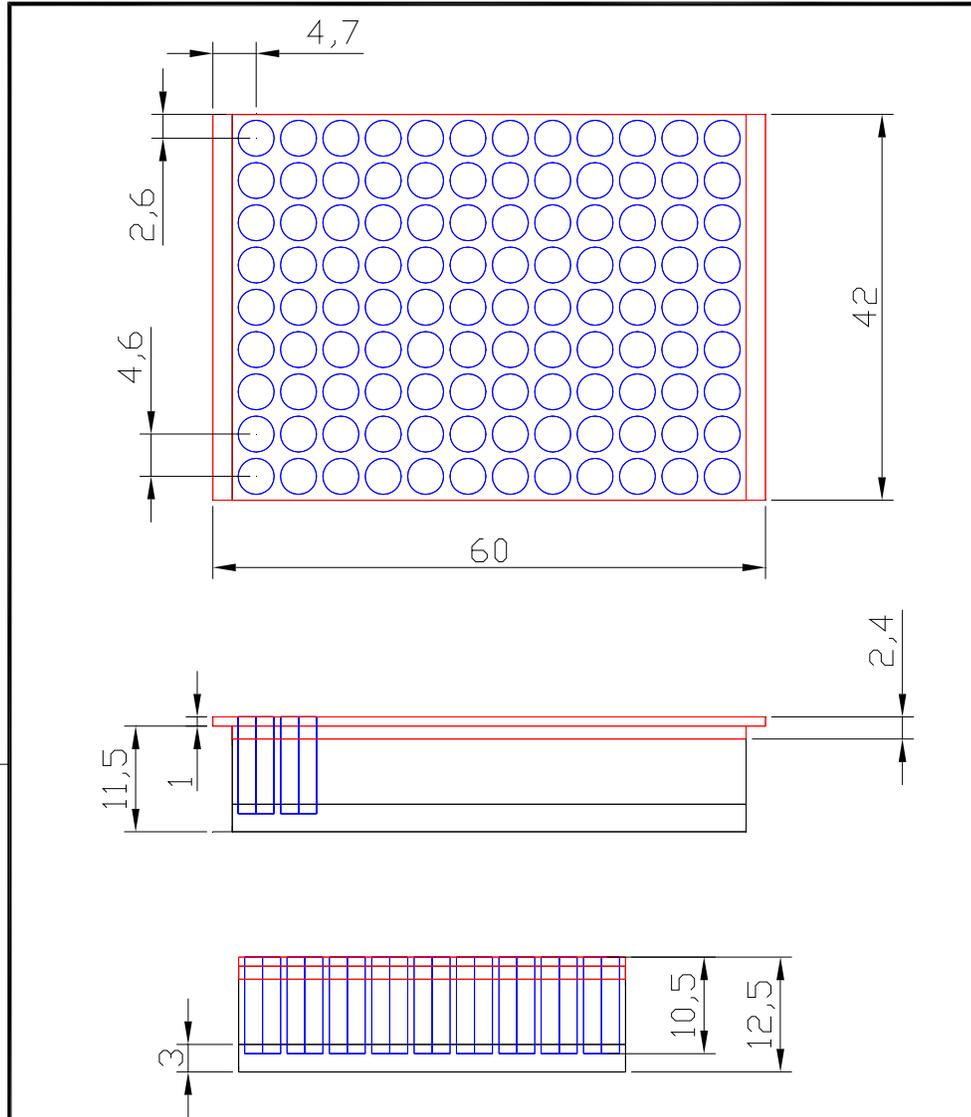




Universidade Estadual de Campinas
 Faculdade de Engenharia Agrícola
FEAGRI Cidade Universitária Zeferino Vaz
 Caixa Postal 6011
 Campinas –SP
 CEP: 13083–875
 Fone/Fax: 19 3521–1010

DESENHO TÉCNICO – Câmara-Supote

ESCALA	DATA	ARTE GRÁFICA
1:1.000	FEVEREIRO/2008	NOME: Conan Ayade Salvador



Universidade Estadual de Campinas
 Faculdade de Engenharia Agrícola
FEAGRI Cidade Universitária Zeferino Vaz
 Caixa Postal 6011
 Campinas -SP
 CEP: 13083-875
 Fone/Fax: 19 3521-1010

DESENHO TÉCNICO - VISTAS PROTÓTIPO 1

ESCALA 1:1.000	DATA FEVEREIRO/2008	ARTE GRÁFICA NOME: Conan Ayade Salvador
-------------------	------------------------	--

APÊNDICE 3: Tabela de condutividade elétrica média, mínima e máxima para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.

Tabela 15. Condutividade elétrica média, mínima e máxima, para diferentes estádios na produção de porta-enxerto de mudas cítricas, na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.

Soluções Coletadas	Propriedades Visitadas ¹	Fases na etapa de sementeira															
		Germinação				Inicial				Intermediária				Final			
		CE ²	Max ³	Min ⁴	Média ⁵	CE	Max	Min	Média	CE	Max	Min	Média	CE	Max	Min	Média
Solução Perdidas Diretamente	P1	-				2,46				2,07				2,35			
	P2	-				0,39				0,40				1,99			
	P3 ⁶	-	1,27	1,06	1,17	-	2,46	0,39	1,43	1,13	2,07	0,40	1,26	0,84	2,35	0,72	1,44
	P4	1,06				1,74				1,56				0,72			
	P5	1,27				1,14				1,15				1,29			
Solução Perdidas por Percolação	P1	-				1,62				3,80				3,50			
	P2	-				2,60				3,70				2,55			
	P3	-	1,05	0,92	0,99	-	3,48	1,53	2,31	1,54	3,80	0,70	2,12	1,29	3,50	0,43	1,73
	P4	0,92				3,48				0,85				0,90			
	P5	1,05				1,53				0,70				0,43			
Solução Aplicada	P1	2,50															
	P2	0,40															
	P3	1,00	2,50	0,40	1,32												
	P4	1,50															
	P5	1,20															

¹As propriedades P1 e P2 apresentavam nível tecnológico de produção elevado (grandes produtores); a propriedade P3 possuía nível tecnológico de produção intermediário (médios produtores); enquanto a propriedade P4 e P5 apresentavam nível tecnológico de produção baixo (pequenos produtores);

²Condutividade elétrica, em dS m⁻¹;

³Valor máximo de condutividade elétrica, em dS m⁻¹;

⁴Valor mínimo de condutividade elétrica, em dS m⁻¹;

⁵Média de condutividade elétrica, em dS m⁻¹;

⁶A propriedade P3 não possuía porta-enxertos nos estádios de germinação e inicial, na fase de sementeira, no momento da visita técnica.

APÊNDICE 4: Tabela de volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação, por irrigação, pelo método de irrigação por aspersão aplicada manualmente, para 108 porta-enxerto de mudas cítricas na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.

Tabela 16. Volumes médios aplicados e perdidos, diretamente ou por percolação, por irrigação, pelo método de irrigação por aspersão aplicada manualmente, para 108 porta-enxerto de mudas cítricas na fase de sementeira, nas propriedades avaliadas.

Etapas da fase de sementeira	Propriedades Visitadas ¹	Volume			
		Aplicado	Perdido diretamente	Perdido por percolação	Perdido Total
		(L)	(L)	(L)	(%)
Germinação	P1	0,49	0,08	0,06	28,36
	P2	0,54	0,00	0,00	0,00
	P3 ⁴				
	P4	0,24	0,00	0,00	0,00
	P5	0,39	0,09	0,15	63,20
Inicial	P1	2,46	0,50	1,02	61,79
	P2	4,31	0,26	0,47	17,01
	P3				
	P4	0,47	0,06	0,09	31,67
	P5	0,60	0,06	0,02	13,77
Intermediária	P1	2,49	0,51	0,91	57,00
	P2	4,31	0,24	0,33	13,22
	P3	3,02	0,45	1,00	47,95
	P4	0,42	0,09	0,14	56,50
	P5	0,48	0,05	0,09	28,25
Final	P1	4,63	1,01	1,27	49,21
	P2	4,74	0,82	1,50	48,83
	P3	3,38	0,31	1,35	48,86
	P4	0,49	0,02	0,24	54,36
	P5	0,65	0,02	0,06	11,41
	Média	1,89	0,25	0,48	35,08
	D.P. ²	1,74	0,30	0,53	21,61
	C.V. ³	91,94	116,61	109,96	61,62

¹As propriedades P1 e P2 apresentavam nível tecnológico de produção elevado (grandes produtores); a propriedade P3 possuía nível tecnológico de produção intermediário (médios produtores); enquanto a propriedade P4 e P5 apresentavam nível tecnológico de produção baixo (pequenos produtores); ²Desvio padrão (L); ³Coefficiente de Variação (%); ⁴A propriedade P3 não possuía porta-enxertos nos estádios de germinação e inicial, na fase de sementeira, no momento da visita técnica.

APÊNDICE 5: Tabelas de volume médio drenado das bandejas menores e maiores de irrigação por capilaridade.

Tabela 17. Volume drenado da badeja menor para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.

Pressão (kPa)	Volume drenado (L)					
	Sem tubete + substrato		Com tubete + substrato			
	0,004 m ¹	0,007 m ¹	1º aplicação		2º - 4º aplicação	
0,004 m			0,007 m	0,004 m	0,007 m	
10	9,24	9,34	5,23	4,85	5,08	4,76
15	9,31	9,26	5,39	4,83	5,11	4,79
20	9,34	9,32	5,25	4,87	4,99	4,80
Média	9,30	9,31	5,29	4,85	5,06	4,78
D.P. ²	0,05	0,04	0,09	0,02	0,06	0,02
C.V. ³	0,52	0,44	1,66	0,41	1,26	0,50

¹Diâmetros internos dos bocais de entrada de água na bandeja;

²Desvio Padrão (L);

³Coefficiente de variação (%).

Tabela 18. Volume drenado da badeja maior para os dois diâmetros de entrada e nas condições experimentais sem tubetes e com os tubetes preenchidos com substrato.

Pressão (kPa)	Volume drenado (L)					
	Sem tubete + substrato		Com tubete + substrato			
	0,004 m ¹	0,007 m ¹	1º aplicação		2º - 4º aplicação	
0,004 m			0,007 m	0,004 m	0,007 m	
10	10,34	10,32	6,47	6,25	6,31	6,08
15	10,38	10,38	6,55	6,17	6,34	6,06
20	10,33	10,37	6,47	6,35	6,37	6,16
Média	10,35	10,36	6,50	6,26	6,34	6,10
D.P. ²	0,03	0,04	0,04	0,05	0,09	0,03
C.V. ³	0,25	0,35	0,72	1,45	0,47	0,87

¹Diâmetros internos dos bocais de entrada de água na bandeja;

²Desvio Padrão (L);

³Coefficiente de variação (%).