



**MICHAEL SILVEIRA THEBALDI**

**IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES  
FLORESTAIS NATIVAS PRODUZIDAS EM  
TUBETES**

**LAVRAS – MG  
2011**

**MICHAEL SILVEIRA THEBALDI**

**IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS  
PRODUZIDAS EM TUBETES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Luiz Antonio Lima

Coorientador

Dr. Elio Lemos da Silva

**LAVRAS – MG  
2011**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Thebaldi, Michael Silveira.

Irrigação de mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes / Michael Silveira Thebaldi. – Lavras : UFLA, 2011.  
93 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.  
Orientador: Luiz Antônio Lima.  
Bibliografia.

1. Subirrigação. 2. Microaspersão. 3. Lixiviação. 4. Consumo hídrico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.7

**MICHAEL SILVEIRA THEBALDI**

**IRRIGAÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS  
PRODUZIDAS EM TUBETES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 04 de agosto de 2011.

Dr. Antônio Cláudio Davide UFLA

Dr. Gilberto Coelho UFLA

Dr. Luiz Antonio Lima

Orientador

Dr. Elio Lemos da Silva

Coorientador

**LAVRAS – MG  
2011**

*A meu avô, Albertino*  
*A minha mãe, Mariza*  
*A minha namorada, Daiane*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e oportunidade de progredir e evoluir neste mundo.

A minha mãe, Mariza, por ser mãe e pai ao mesmo tempo, e conseguir me proporcionar todas as condições para que eu chegasse até aqui.

A minha família por me apoiar em todos os momentos, desde a graduação até minha vinda para o mestrado em Lavras.

A minha namorada Daiane, que sempre está ao meu lado, pelo amor, amizade, compreensão e alento nas horas mais difíceis.

Aos todos os colegas da pós-graduação, mas principalmente aos grandes amigos, Matheus Colares, Mateus Bueno, Pedro Lima e Rafael Teixeira, pelo companheirismo, apoio durante o curso e por ajudar que este período do mestrado fosse vencido com muito mais alegria.

Ao pós-doutorando Antônio Carlos da Silva por toda a ajuda no experimento.

Ao professor Luiz Antonio Lima pela amizade, orientação precisa e pelos desafios propostos durante o curso, que aumentaram de maneira relevante meu horizonte de pensamento acadêmico e profissional.

Aos demais professores da pós-graduação pelos novos conhecimentos passados.

Aos técnicos administrativos do Departamento de Engenharia (DEG) José Luis, Oswaldo, e Gisele pelo apoio e paciência durante a execução desta pesquisa.

Aos professores da graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Goiás, principalmente os professores Delvio Sandri e Elton Fialho dos Reis pela experiência passada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo apoio financeiro ao experimento.

*"Não se pode aprender algo de uma lição sem dor, já que não se pode ganhar algo sem algum sacrifício. Mas quando essa dor é superada e a lição incorporada, o resultado é um coração infalível, de aço."*

**Hiromu Arakawa**

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de dois sistemas de irrigação em mudas de espécies florestais, um por microaspersão invertida e outro por subirrigação, além de determinar o consumo de água de seis espécies nativas florestais. A avaliação de desempenho da microaspersão foi realizada em um viveiro de mudas de espécies nativas florestais na cidade de Itutinga - MG. A eficiência de irrigação foi realizada em delineamento inteiramente casualizado em esquema de Parcelas Subdivididas, estando o equipamento de irrigação na parcela (três níveis: MA-20, Rondo e *Inverted Rotor Spray*) e três espécies florestais na subparcela. Na avaliação de eficiência em tubetes grandes, as categorias da subparcela foram: Araucária (*Araucaria angustifolia*), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*) e Cutieira (*Joannesia princeps*). Em tubetes pequenos os três níveis da subparcela foram as espécies: Mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam.), Angico Vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth.) e Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*). Para determinação da uniformidade de irrigação foram calculados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de Distribuição (CUD) de cada emissor, com três repetições. As avaliações relacionadas à subirrigação e consumo de água pelas plantas foram realizadas em uma estufa localizada na UFLA. O desempenho da subirrigação foi obtido através da eficiência de irrigação, realizada em cada um dos tanques de subirrigação em três repetições e pelo cálculo de coeficientes de uniformidade para cada espécie florestal subirrigada, também em três repetições. A avaliação da dinâmica das características químicas do substrato foi realizada em DIC, sendo o tratamento o número de subirrigações. Para determinação do consumo de água pelas espécies foi montado um experimento em blocos casualizados com oito repetições, tendo como parcela experimental três plantas de cada uma das espécies por tanque. Os maiores CUC, CUD e eficiência de aplicação foram obtidos para o emissor MA-20. Não houve diferenças significativas entre a eficiência de aplicação dos microaspersores em relação às espécies cultivadas, em ambos os tubetes. Na subirrigação, os maiores CUC e CUD foram obtidos na espécie Mutamba. A eficiência de irrigação no tanque de tubetes grandes foi 90,42%, enquanto para tubetes pequenos foi 92,17%. Apenas as concentrações de potássio foram alteradas em ambos os tubetes em função das subirrigações. Dentre as espécies cultivadas em tubetes grandes, a Araucária apresentou maior consumo de água, 15,25 ml por dia. Já em tubetes pequenos, as espécies Mutamba e Angico Vermelho tiveram maior consumo de água por dia.

Palavras-chave: Subirrigação. Microaspersão. Lixiviação. Consumo hídrico.

## ABSTRACT

This work had as objective to evaluate the performance of two irrigation systems for forest seedlings species, one, by inverted microsprinkler and another by sub-irrigation, as well to determine the water consumption of six native forest species. The microsprinkler irrigation performance evaluation was performed in a native forest nursery at Itutinga - MG city. The irrigation efficiency was held in completely randomized design in split plots scheme, with the irrigation equipment on the plot (three levels: MA-20, Rondo and Inverted Rotor Spray) and three forest species on subplot. On the efficiency evaluation in large tubes, the categories of subplot were: *Araucaria angustifolia*, *Syagrus romanzoffiana* and *Joannesia princeps*. In small tubes, the three levels of subplot were the species: *Guazuma ulmifolia* Lam., *Anadenanthera macrocarpa* Benth. and *Aspidosperma polyneuron*. To determine the irrigation uniformity the Christiansen and Distribution Uniformity Coefficients (CUC and DUC) of each emitter were calculated, with three replications. The evaluations related to sub-irrigation and water consumption by plants were conducted in a greenhouse located at UFLA. The performance of sub-irrigation was obtained through the irrigation efficiency, in each of the sub-irrigation tanks with three replications, through calculation of uniformity coefficients for each sub-irrigated species, also in three replications. The dynamics of chemical characteristics of the substrate was performed on completely randomized design scheme, being the treatment the number of sub-irrigations. To determine the water consumption by the species a randomized block experiment with eight replications was mounted, with three plants of each species per tank as experimental plot. The largest CUC, DUC and application efficiency were obtained for the MA-20 emitter. There were no significant differences between the application efficiency of the emitters relative to the cultivated species, in both tube sizes. In sub-irrigation, the largest CUC and DUC were obtained in the *Guazuma ulmifolia* Lam.. The efficiency of large tubes irrigation tank was 90.42%, while for small tubes 92.17%. Only Potassium concentrations were altered in both plastic tubes as function of sub-irrigations. Among the species cultivated in large tubes, *Araucaria angustifolia* had the largest water consumption, 15.25 ml per day. On small tubes, the species *Anadenanthera macrocarpa* Benth. and *Guazuma ulmifolia* Lam. had the largest water consumption per day.

Keywords: Sub-irrigation. Microsprinkler. Leaching. Water consumption.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Lâmina média aplicada, CUC e CUD pequenos dos emissores avaliados .....	55
Tabela 2	Quadro resumo da ANOVA realizada nas avaliações das perdas diretas, perdas por percolação e eficiência de irrigação em tubetes grandes .....	59
Tabela 3	Perdas diretas da lâmina irrigada, em porcentagem, encontradas nas espécies cultivadas em tubetes grandes em cada equipamento de irrigação.....	60
Tabela 4	Perdas por percolação da lâmina irrigada (%) encontradas nas espécies cultivadas em tubetes grandes em cada equipamento de irrigação .....	61
Tabela 5	Eficiência de irrigação obtida nas espécies cultivadas em tubetes grandes em cada equipamento de irrigação.....	61
Tabela 6	Quadro resumo da ANOVA realizada nas avaliações de perda direta, perda por percolação e eficiência de irrigação em tubetes pequenos .....	62
Tabela 7	Perdas diretas médias encontradas por equipamento de irrigação em tubetes pequenos .....	62
Tabela 8	Perdas diretas da lâmina irrigada, em porcentagem, encontradas nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação.....	63
Tabela 9	Perdas por percolação médias encontradas por equipamento de irrigação em tubetes pequenos .....	63
Tabela 10	Perdas por percolação médias encontradas por espécie em tubetes pequenos .....	64

Tabela 11	Perdas por percolação encontradas nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação .....	64
Tabela 12	Eficiências médias encontradas por equipamento de irrigação em tubetes pequenos.....	65
Tabela 13	Eficiência de irrigação obtida nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação .....	65
Tabela 14	Lâmina média aplicada, médias de CUC e CUD das espécies avaliadas em tubetes grandes .....	66
Tabela 15	Lâmina média aplicada, médias de CUC e CUD das espécies avaliadas em tubetes pequenos.....	67
Tabela 16	Volume irrigado, volume irrigado efetivo e eficiência de irrigação dos tanques de subirrigação.....	68
Tabela 17	Parâmetros de qualidade da água utilizada nos ciclos de subirrigação.....	70
Tabela 18	Médias de pH, condutividade elétrica e concentrações de fósforo, cálcio, alumínio e CTC no substrato em função do número de subirrigações em tubetes grandes .....	71
Tabela 19	Médias das concentrações de matéria orgânica, zinco, cobre, boro e enxofre no substrato em função do número de subirrigações em tubetes grandes .....	72
Tabela 20	Médias de pH e das concentrações de, fósforo, cálcio, magnésio, CTC, matéria orgânica e alumínio no substrato em função das subirrigações em tubetes pequenos .....	77
Tabela 21	Médias das concentrações de zinco, ferro, manganês, cobre, boro e enxofre no substrato em função das subirrigações em tubetes pequenos .....	78
Tabela 22	Resumo da ANOVA do consumo de água pelas plantas cultivadas em tubetes grandes e pequenos .....	80

Tabela 23	Volume e lâmina consumidos e coeficientes de cultura (kc) das espécies cultivadas em tubetes grandes .....	81
Tabela 24	Volume e lâmina consumidos e coeficientes de cultura (kc) das espécies cultivadas em tubetes pequenos.....	82

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Curva de retenção de água do substrato utilizado .....	47
Gráfico 2	Representação gráfica da distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor MA-20 .....	56
Gráfico 3	Representação gráfica da distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor <i>Inverted Rotor Spray</i> .....	57
Gráfico 4	Representação gráfica da distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor Rondo .....	58
Gráfico 5	Concentração de potássio no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes .....	73
Gráfico 6	Concentração de magnésio no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes .....	74
Gráfico 7	Concentração de ferro no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes .....	75
Gráfico 8	Concentração de manganês no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes .....	76
Gráfico 9	Concentração de potássio no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes pequenos.....	79

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Microaspersores MECPREC MA-20 (A), Antelco <i>Inverted Rotor Spray</i> (B) e Plastro Rondo (C), instalados no viveiro de mudas florestais em Itutinga – MG.....	38
Figura 2	Posicionamento das bandejas e sacos plásticos para recolhimento dos volumes de água possivelmente perdidos na microaspersão .....	41
Figura 3	<i>Layout</i> dos tanques de subirrigação.....	44
Figura 4	Detalhes dos tanques de subirrigação.....	46

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1</b>	<b>Produção de mudas florestais</b> .....	19
<b>2.2</b>	<b>Cultivo em tubetes</b> .....	20
<b>2.3</b>	<b>Substrato</b> .....	22
<b>2.4</b>	<b>Irrigação</b> .....	24
<b>2.5</b>	<b>Irrigação localizada</b> .....	26
<b>2.6</b>	<b>Subirrigação</b> .....	27
<b>2.7</b>	<b>Desempenho de sistemas de irrigação</b> .....	30
<b>2.7.1</b>	<b>Uniformidade de aplicação</b> .....	31
<b>2.7.2</b>	<b>Eficiência de aplicação</b> .....	32
<b>2.8</b>	<b>Balanço hídrico</b> .....	33
<b>2.9</b>	<b>Manejo da irrigação</b> .....	34
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	37
<b>3.1</b>	<b>Desempenho da microaspersão</b> .....	37
<b>3.1.1</b>	<b>Uniformidade de distribuição</b> .....	38
<b>3.1.2</b>	<b>Eficiência de aplicação</b> .....	40
<b>3.2</b>	<b>Tanques de subirrigação</b> .....	44
<b>3.2.1</b>	<b>Uniformidade de aplicação de água</b> .....	48
<b>3.2.2</b>	<b>Eficiência de aplicação</b> .....	49
<b>3.2.3</b>	<b>Dinâmica das características químicas do substrato</b> .....	51
<b>3.2.4</b>	<b>Consumo de água pelas plantas e coeficientes de cultura</b> .....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
<b>4.1</b>	<b>Uniformidade de irrigação da microaspersão invertida</b> .....	55
<b>4.2</b>	<b>Eficiência de irrigação da microaspersão invertida</b> .....	59
<b>4.3</b>	<b>Uniformidade da subirrigação</b> .....	66

<b>4.4</b>	<b>Eficiência da subirrigação</b> .....	<b>68</b>
<b>4.5</b>	<b>Dinâmica das características químicas do substrato</b> .....	<b>69</b>
<b>4.6</b>	<b>Consumo de água pelas plantas e coeficientes de cultura</b> .....	<b>80</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>84</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Não só no Brasil, mas em todo mundo, há uma demanda crescente por espécies florestais produzidas com o intuito de conservar e/ou recuperar a biodiversidade de determinadas áreas que apresentam situação de risco em relação à flora nativa. Para isso, o trabalho realizado em viveiros florestais é de suma importância, pois objetivam fornecer mudas para recuperação dessas áreas.

Viveiros florestais podem ser definidos como uma área delimitada, com características apropriadas, onde são reunidos insumos, equipamentos e técnicas visando a produção de mudas de alta qualidade (DAVIDE; SILVA, 2008).

Dentre as técnicas utilizadas na produção de mudas em viveiros, a irrigação se destaca por possibilitar a produção em diferentes épocas do ano e aplicar água em quantidade e momento adequados, alcançando ganho em qualidade das mudas, através da promoção de maior potencial germinativo e geração de homogeneidade no desenvolvimento.

Todavia, sistemas de irrigação mal dimensionados ou operados e a falta de informações sobre requerimento de água pelas espécies florestais nativas geram duas barreiras principais que geralmente impedem o uso da irrigação de maneira satisfatória em viveiros: aplicação de água com baixo desempenho e também o manejo inadequado da irrigação, gerando desperdício de água e o desenvolvimento inferior das espécies.

No município de Itutinga - MG encontra-se instalado um viveiro destinado à produção de mudas nativas e urbanas para a recuperação de áreas degradadas, proteção de nascentes, matas ciliares e arborização urbana. Nela, estão instalados diversos sistemas de irrigação, que em sua maioria apresenta qualidade de aplicação de água abaixo do nível esperado.

Face a essas constatações, espera-se que um sistema alternativo aos convencionais instalados em viveiros, irrigando por capilaridade, capaz de

realizar fertirrigação e aplicando água diretamente às raízes das mudas, possa agregar eficiência no uso da água e melhoria na fitossanidade do viveiro, por não molhar a parte aérea das plantas.

Assim, os objetivos deste trabalho foram: a) Avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão já instalado em um viveiro de mudas de espécies florestais; b) Avaliar o potencial de um sistema de subirrigação, quanto ao seu desempenho, para que possa ser implantado em viveiros de mudas de espécies florestais; c) Avaliar a dinâmica das características químicas do substrato utilizado submetido à sucessivas subirrigações; d) Determinar o consumo de água de seis espécies florestais em fase de viveiro.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Produção de mudas florestais**

A demanda por produtos de origem florestal aumentou sensivelmente nas últimas décadas, levando a silvicultura a buscar alternativas que pressupõem altas produtividades (BOLFE et al., 2004). Este fato gera como consequência a necessidade de se introduzir, nos programas de florestamento e reflorestamento no Brasil, espécies de alta produtividade que permitam um ciclo de corte relativamente curto, associado às boas características silviculturais (SANTOS et al., 2000).

O êxito de um plantio depende diretamente da qualidade das mudas. Estas, além de terem maior capacidade de resistirem às condições adversas encontradas no campo, podem desenvolver-se produzindo árvores com crescimento desejável. Apesar disso, a obtenção de padrões de qualidade da muda e o aprimoramento das técnicas de viveiro não têm acompanhado a evolução conseguida em outras fases do reflorestamento (SANTOS et al., 2000).

Segundo este mesmo autor, entre os fatores que influenciam na produção de mudas de espécies florestais, destacam-se, além da semente, o substrato e o recipiente utilizado, os quais vão refletir diretamente na qualidade do produto final.

Em meados de 1970, em várias partes do mundo, começou-se a dar maior importância às mudas de espécies florestais produzidas em recipientes. A partir de então muitas pesquisas foram realizadas com relação a formatos e tamanhos de recipientes, substratos, manipulação do material, avaliando as respostas a campo (DANIEL; HELMES; BACKER, 1982).

## 2.2 Cultivo em tubetes

É difícil definir um recipiente ideal, já que segundo alguns estudos, o resultado no campo é similar para diferentes tipos de recipientes e a decisão de se usar um ou outro no sistema de produção de mudas dependerá de considerações qualitativas e aspectos práticos como: custos, superfície útil, e mecanização (SANTOS et al., 2000).

Segundo Gomes et al. (2003), a produção de mudas em recipientes é o sistema mais utilizado, principalmente por permitir a melhor qualidade, devido ao melhor controle da nutrição e à proteção das raízes contra os danos mecânicos e a desidratação, além de propiciar manejo mais adequado no viveiro, no transporte, na distribuição e no plantio. Aliado a esses fatores, a redução de tamanho do recipiente causou uma diminuição na quantidade de substrato utilizado por muda produzida (GRUBER, 2006).

Segundo Gomes et al. (1991), mais de vinte modelos de recipientes foram testados para produção de mudas de essências florestais e, dentre esses, o que se destaca em termos de utilização são os sacos de polietileno e os tubetes de polietileno.

Tubetes são recipientes que podem apresentar dimensões variadas, com capacidades volumétricas entre 50 e 500 cm<sup>3</sup> (KÄMPF, 2000). Possuem forma cônica e podem, ou não, 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 produção de mudas em recipientes de paredes lisas, como nas sacolas plásticas, provoca o enovelamento do sistema radicular (PARVIAINEN, 1981), o que continua na fase de campo e provoca a baixa estabilidade das futuras

árvores (SCHIMIDT-VOGHT, 1984), fato que pode ocorrer em tubetes de paredes lisas.

Gomes et al. (2003) citam que os volumes dos recipientes influenciam a disponibilidade de nutrientes e água, devendo ser ressaltado que o maior volume promove a melhor arquitetura do sistema radicular, à semelhança do sistema radicular de mudas por semeadura direta no campo (PARVIAINEN, 1976).

O tamanho do recipiente tem influência direta no custo final, pois implica na quantidade de substrato a ser utilizado, na densidade de plantas no viveiro, na mão de obra utilizada no transporte, na remoção para aclimação e na retirada para entrega ao produtor, além da influência na quantidade de insumos que irá demandar (QUEIROZ; MELÉM JÚNIOR, 2001).

Outro aspecto interessante do cultivo em tubetes é que estes apresentam furos em suas bases para realização da poda radicular. A poda das raízes de mudas provenientes de sementes e de estacas produzidas em tubetes pode ser efetuada com o objetivo de melhorar a qualidade da arquitetura radicular das plantas e promover emissão de raízes finas de grande importância na absorção de água e nutrientes (REIS et al., 1996).

Alterações no volume e formato do recipiente podem alterar a porosidade total devido à compactação do substrato, que influencia a retenção de água e a aeração, na quantidade de substrato a ser utilizada e na disponibilidade de nutrientes determinando um crescimento diferenciado das plantas. Além disso, o reduzido volume dos recipientes impõe restrições ao desenvolvimento radicular das mudas, pois, se mantidas por excessivo tempo nos recipientes, apresentarão deformações nas raízes, o que resultará, após o plantio, em diminuição na velocidade de desenvolvimento das raízes e da parte aérea das plantas (BAILEY; FONTENO; NELSON, 2005; LEAL et al., 2005).

### 2.3 Substrato

De acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), a boa formação de mudas destinadas à implantação de povoamentos florestais para a produção de madeira e de povoamentos mistos para fins de preservação ambiental e/ou, recuperação de áreas degradadas, está relacionada com o nível de eficiência dos substratos. O substrato para a produção de mudas tem por finalidade garantir o desenvolvimento de uma planta com qualidade, em curto período de tempo, e baixo custo (CUNHA et al., 2006).

Assim como o solo, o substrato 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 tem como função a 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.

A escolha do substrato, quando da sua formulação, deve ser feita em função da disponibilidade e custo do material, suas características físicas e químicas, espécie a ser cultivada, condições de produção (sistema de irrigação, fertilização, tamanho de recipiente, etc.), além de aspectos técnicos relacionados ao seu uso (BACKES, 1989; GOMES; SILVA, 2004; TOLEDO, 1992).

López (2000) quantifica as características físicas de um substrato para ser considerado ideal. Sua porosidade máxima deve atingir 85% de seu volume, 20% a 30% dos poros ocupados apenas por ar, 20% a 30 % de água facilmente disponível, retida pelo substrato com força de sucção menor do que a aplicada pelas raízes das plantas, e 4% a 10% de água de reserva.

A germinação de sementes e a iniciação do crescimento radicular e da parte aérea estão associadas à boa capacidade de aeração, drenagem, retenção e disponibilidade de água apresentada pelos substratos. Essas características são

altamente correlacionadas entre si, sendo as duas primeiras diretamente relacionadas com a macroporosidade, enquanto retenção de água e nutrientes estão relacionados com a microporosidade e superfície específica do substrato (OLIVEIRA et al., 2008).

Substratos com menor capacidade de retenção de água, como casca de arroz carbonizada e areia, requerem irrigações mais frequentes que os de maior capacidade de retenção, como turfas, compostos orgânicos e fibras de coco (LOPES; GUERRINI; SAAD, 2007)

Fochesato et al. (2006) citam que as características químicas mais importantes são o pH, a capacidade de troca de cátions, a condutividade elétrica e/ou teor total de sais solúveis. Em relação às características biológicas, os substratos devem estar isentos de patógenos. A utilização de substratos mais específicos permite um rápido desenvolvimento da muda (FERMINO, 1996).

Segundo Santos et al. (2000), os problemas mais comuns na produção de mudas referem-se às condições de acidez excessivas do substrato. A acidez pode atuar de maneira direta sobre as plantas, ocasionando injúrias, ou de forma indireta, afetando a disponibilidade de nutrientes, produzindo condições bióticas desfavoráveis à fixação do nitrogênio e à atividade de micorrizas, ou ainda aumentando a infecção por alguns patógenos. Entre os efeitos indiretos, a relação entre a disponibilidade de nutrientes e o valor do pH apresenta maior importância, especialmente a disponibilidade de nitrogênio, enxofre e potássio diminuídas em meio ácido (WALLER; WILSON, 1984).

Outro fator que pode influenciar negativamente no conteúdo de nutrientes do substrato é a irrigação em excesso, aliada ao pequeno volume, o que provoca uma elevada taxa de lixiviação de nutrientes e dificulta a manutenção dos nutrientes em níveis adequados, especialmente de nitrogênio (WENDLING; GATTO, 2002).

Devido à dificuldade de se encontrar um material que, isoladamente, atenda a todas as exigências da espécie a ser cultivada, são incorporados aos substratos, materiais melhoradores de suas características físicas e/ou químicas, denominados condicionadores. Sua participação na mistura ocorre em proporções menores do que 50% (KÄMPF, 1992).

Destacam-se como componentes de substratos que podem ser usados na produção de mudas de espécies florestais: vermiculita, composto orgânico, esterco bovino, fibra de coco, moinha de carvão, terra de subsolo, areia, casca de árvores, composto de lixo, terra de mato, serragem, bagaço de cana, acículas de *Pinus* sp. e turfa (FONSECA, 1988).

## **2.4 Irrigação**

A irrigação é uma técnica milenar que tem por objetivo fornecer água à planta no momento em que ela necessita e na quantidade exata. Dependendo da região, o cultivo de determinadas culturas não é possível sem a utilização da irrigação.

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2006), a irrigação não deve ser considerada isoladamente, mas sim parte de um conjunto de técnicas utilizadas para garantir a produção econômica de determinada cultura, sendo uma estratégia para elevar a rentabilidade da propriedade rural por meio do aumento da produção e principalmente da produtividade, de forma sustentável e com maior geração possível de emprego e renda. A irrigação constitui alternativa para a melhoria do rendimento de grande parte das culturas, proporcionando um incremento médio de produtividade, que pode atingir 200% (GONZAGA NETO, 2000).

Pode-se enumerar três métodos de irrigação, caracterizados em diferentes formas consideradas como sistemas, que apresentam suas particularidades na forma de aplicar água às culturas.

O método de irrigação por superfície constitui-se principalmente dos sistemas de irrigação por inundação, faixas e sulcos. Os métodos de irrigação pressurizados são a irrigação por aspersão (representada pela aspersão convencional e aspersão mecanizada) e localizada (gotejamento e microaspersão).

Como o cultivo de mudas em tubetes disponibiliza um volume espacial limitado para o desenvolvimento radicular, além de propiciar reduzido armazenamento de água e nutrientes, a irrigação e a adubação são ferramentas fundamentais para a obtenção de mudas com boas características para o plantio, devendo ser manejadas apropriadamente para obtenção de resultados satisfatórios na qualidade final das plantas (SALVADOR, 2010). Quando comparados com o cultivo em solos, os tubetes exigem maior frequência de irrigação uma vez que o volume de substrato disponível para planta é pequeno (LOPES; GUERRINI; SAAD, 2007).

O suprimento adequado de água é capaz de gerar incrementos na produção agrícola e assim é possível afirmar que a adoção de sistemas de irrigação corretamente dimensionada, aliada ao manejo apropriado, pode proporcionar melhor qualidade às mudas, redução de lixiviação de nutrientes, maior potencial germinativo e homogeneidade no desenvolvimento das mudas (GRUBER, 2006; NEVES et al., 2010).

Uma desvantagem significativa, entretanto, é que a irrigação sobre copa pode ser bastante ineficiente. Dumroese, Wenny e Page-Dumroese (1995) citam que em um viveiro de reflorestamento, entre 49% e 72% da água aplicada pode ser perdida.

Em função da produção em viveiros e casas de vegetação usar maiores taxas de fertilização que em outras culturas (MOLITOR, 1990), a água perdida pode ter uma quantidade significativa de fertilizante não utilizado (DUMROESE et al., 2005; JUNTENEN; HAMMAR; RISTO, 2002) e ser uma fonte potencial de poluição da água subsuperficial e superficial (DUMROESE et al., 2006).

## **2.5 Irrigação localizada**

Este método compreende a aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, com baixa intensidade e de forma frequente, mantendo o solo na zona radicular das plantas sob alto regime de umidade próximo à capacidade de campo, umidade em que a água do solo ocupa principalmente os poros de menor tamanho.

Com o tempo, pode-se observar que a adoção do sistema de gotejamento para solos mais permeáveis e culturas de amplo sistema radicular limitava o crescimento da cultura em função do pequeno bulbo molhado, comprometendo o desenvolvimento e a sustentação da planta, em função da infiltração vertical ser dominante em relação à infiltração horizontal em solos arenosos, porém esta situação pode ser contornada pelo projetista de irrigação. Para superar esse problema, a microaspersão foi concebida com a principal característica de aplicar água, com baixa pressão, mediante sua pulverização em pequenas gotas (BOMAN, 2007).

A aplicação de água ao solo no gotejamento é sob a forma puntual, ficando a superfície do solo com uma área molhada circular e seu volume com a forma de um bulbo. Quando os pontos gotejados são próximos uns aos outros, forma-se uma faixa molhada contínua. No caso da microaspersão, a área molhada também se apresenta na forma de discos ou faixas, só que com maior diâmetro molhado. Em viveiros e estufas pode ser utilizada a modalidade da

microaspersão invertida e suspensa, a fim de reduzir a exposição dos jatos de água à ação do vento.

Como vantagens da irrigação localizada têm-se, principalmente: a maior eficiência no uso da água, maior eficiência no controle fitossanitário e a possibilidade de utilização em solos salinos ou com água salina.

Uma das dificuldades encontrada na irrigação localizada reside na facilidade com que as seções menores dos emissores se obstruem, podendo afetar a distribuição da água para as plantas e, conseqüentemente, a produção (BENÍCIO et al., 2009). Este problema afeta, principalmente, o gotejamento, tendo menor importância na microaspersão, graças à maior área da seção de descarga dos emissores. Para comparação, um gotejador possui diâmetro de passagem da água de aproximadamente 0,3 mm a algo mais que 1 mm, enquanto o diâmetro do bocal dos microaspersores pode chegar a mais de 2 mm (CABELLO, 1990).

Em contrapartida, as perdas de água nos sistemas por microaspersão são, normalmente, maiores do que na irrigação por gotejamento. Isso ocorre devido à maior superfície molhada de solo e também pelo arraste do vento, já que a água é lançada ao ar. Mesmo com operação próxima à superfície do solo, os microaspersores têm sua uniformidade afetada significativamente pelo vento (SILVA; SILVA, 2005).

## **2.6 Subirrigação**

A subirrigação é utilizada há muitos séculos e constitui-se basicamente na elevação da linha de saturação do solo para próximo das raízes. É também referida como sistema de fluxo e refluxo (inundação subsuperficial), quando a água de irrigação é drenada após a aplicação ou flotante, quando a cultura

permanece flutuando sobre a superfície da água contida no interior do reservatório durante todo o período de cultivo (LESKOVAR, 1998).

Segundo Dumroese et al. (2006), a subirrigação pode ser uma saída para reduzir o consumo de água e perda de fertilizantes em viveiros. Usando um sistema fechado, a água de subirrigação se move de um reservatório até um tanque de aplicação. No tanque de aplicação, a ação da capilaridade permite que a água de irrigação penetre, por ascensão, no meio de crescimento das plantas (COGGESHALL; VAN SAMBEEK, 2002).

Quando a irrigação é completada, a água não utilizada é drenada de volta ao reservatório para posterior recirculação pelo sistema (DUMROESE et al., 2006; STRONG et al., 1997). Já que o sistema é fechado, uma redução em 86% de uso da água foi conseguida em subirrigação comparado com irrigação sobre – copa em culturas alimentares (AHMED; CRESSWELL; HAIGH, 2000), e a perda de fertilizantes para o solo é, praticamente, eliminada, já que a água lixiviada é recirculada, impedindo que fertilizantes e pesticidas atinjam os lençóis superficiais e profundos, também havendo redução no consumo de energia elétrica (CHANSEETIS et al., 2001; TOSHIAKI et al., 2004).

O sistema *floating* (flotante) foi testado e mostrou-se eficiente na fase de sementeira, permitindo ganhos em altura de plantas de até 64% e de 66,7% para área foliar, obtendo melhorias no aspecto fitossanitário das plantas e permitindo a aplicação de fertilizantes via água de irrigação, em relação aos sistemas convencionais de irrigação utilizados em viveiros (SCHÄFER, 2004).

Segundo Teixeira et al. (2009), ao empregar-se o sistema de irrigação por capilaridade em viveiros, podem ser usados tubetes e bandejas de alvéolos de isopor, sendo mais indicado o segundo tipo.

Uma das limitações para o uso do princípio de capilaridade é demonstrada em estudos realizados na produção de plantas em vasos, que revelaram valores mais elevados da condutividade elétrica nas camadas

superiores do substrato por não haver constantes lavagens do material propagativo (FISHER; ARGO, 2005). Essa maior salinidade pode prejudicar o desenvolvimento das plantas (AYERS; WESTCOT, 1985).

Segundo Patel, Prasher e Bonnel (2000), a concentração de sais em meio de crescimento de raízes, como substratos, é dependente do posicionamento da frente de saturação e do tempo de sua atuação no sistema solo-planta. Estes autores afirmam que a presença mais elevada da posição da frente de saturação, ou menores níveis de tensão, determinaria a diluição dos sais neste meio, reduzindo as suas concentrações.

Outra preocupação com esses sistemas e que pode retardar sua adoção, é a possível transmissão de patógenos do sistema radicular propagados pela água de irrigação de recipientes infestados até os demais (STRONG et al., 1997). Oh e Kim (1998) relatam, porém, que, por manter as folhas secas, a subirrigação reduz patogenias relacionadas à parte aérea das plantas.

Dumroese et al. (2006) compararam o cultivo de *Metrosideros polymorpha* Gaud. (*Myrtaceae*) com irrigação sobre – copa e subirrigação, e mostraram que na última modalidade menos água foi aplicada, menos nitrogênio lixiviado e o crescimento de musgos junto ao meio de cultivo reduzido. Os autores também informam que a subirrigação causou valores de condutividade elétrica maiores na parte superior do meio de cultivo, mas após nove meses os valores encontravam-se em níveis aceitáveis.

Montesano, Parente e Santamaria (2010) citam que durante o cultivo de tomate cereja em condições salinas utilizando subirrigação, a concentração da solução nutritiva fertilizante pôde ser reduzida comparada ao que normalmente é utilizado em sistemas tradicionais de irrigação e que o consumo de água e fertilizantes foram inferiores utilizando a subirrigação de ciclo fechado, o que reduz também o impacto ambiental da produção.

## 2.7 Desempenho de sistemas de irrigação

A avaliação de sistemas de irrigação logo após a implantação em campo é importante para verificar se o desempenho está de acordo com o estabelecido em projeto, possibilitando, quando necessário, a realização de ajustes para melhorá-lo (SOCCOL; ULMANN; FRIZZONE, 2002). Além disso, avaliações periódicas asseguram a manutenção do bom desempenho dos sistemas de irrigação (ROCHA et al., 1999).

Segundo Carvalho et al. (2006), a partir de resultados obtidos em uma avaliação do sistema de irrigação, é possível avaliar a adequação do equipamento, relativamente aos requerimentos de água dos cultivos, bem como a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação. Esses procedimentos visam maximizar a eficiência do sistema. A uniformidade é um indicador da igualdade das taxas de aplicação dentro do diâmetro alcançado pelo emissor. Para se conhecer o nível de eficiência de um sistema de irrigação é necessário que se façam avaliações sistemáticas. Uma avaliação completa requer a análise de fatores como superfície molhada e a avaliação do funcionamento de acessórios como emissores, filtros, reguladores de pressão, entre outros.

O sistema de irrigação pode ser avaliado levando-se em conta os aspectos técnicos, como a eficiência e a uniformidade de aplicação e/ou aspectos econômicos (SOUZA, 2001).

Dentre os aspectos técnicos, as medidas de uniformidade dependem somente do grau de dispersão com que a água é aplicada, enquanto as medidas de eficiência dependem tanto da uniformidade como da forma com que o sistema de irrigação é operado, ou seja, quantificam fisicamente a qualidade da irrigação (PEREIRA, 2003).

Salvador (2010) cita que, na estimativa do desempenho da irrigação em viveiros, deve-se atentar às seguintes variáveis: 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. Segundo Milner (2001), 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.

### **2.7.1 Uniformidade de aplicação**

Devido à proteção ambiental e a conservação de água cada vez mais necessária, a uniformidade de aplicação de água dos sistemas de irrigação ganhou importância (LOUIE; SELKER, 2000).

A baixa uniformidade de sistemas de irrigação é atribuída principalmente à falta de manutenção, sistemas mal dimensionados, ou que estão em uso por tempo suficiente para seu desgaste. Deste modo, enquanto uma fração de área é irrigada em excesso, em outra ocorre o déficit de água, não atendendo as necessidades hídricas das plantas (SILVA; SILVA, 2005).

Bernardo, Soares e Mantovani (2006) ressaltam que, mesmo na microaspersão, para a qual se tem melhor controle da lâmina aplicada, é recomendado após a instalação e durante a vida útil do sistema, verificar a uniformidade de irrigação, particularmente nos sistemas sem emissores compensados (reguladores de vazão).

Para um método de irrigação em particular, a elevada uniformidade pode ser alcançada, mas pode ser acompanhada de um aumento dos custos de operação e implantação.

É comum expressar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por meio de coeficientes de uniformidade que demonstram

a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada sobre o solo (Oliveira et al., 2010)

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), desenvolvido por Christiansen (1942) foi o primeiro índice proposto, sendo o mais utilizado para quantificação da uniformidade na distribuição da água em irrigação por aspersão convencional, e posteriormente, utilizado também na avaliação dos sistemas de microaspersão (ALMEIDA, 2008).

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) originalmente apresentado por Keller e Karmeli (1974), relaciona as 25% menores taxas de emissão com a taxa média encontrada para um sistema, sendo este coeficiente recomendado pelo serviço de conservação do solo dos EUA.

### **2.7.2 Eficiência de aplicação**

A eficiência de um sistema de irrigação, definida como a relação entre a quantidade de água armazenada no sistema radicular e a quantidade total aplicada, representa a razão entre as quantidades de água envolvidas no processo de irrigação (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003). Trata-se de um dos parâmetros mais utilizados para avaliar a irrigação. Essa relação sempre será menor que um, pois durante ou após a atividade de irrigação ocorrem perdas no processo de aplicação e drenagem (STAMATO JÚNIOR, 2007).

A eficiência de um sistema deve levar em conta todas as perdas possíveis, sendo elas: perda por percolação, perda por evaporação e deriva pelo vento, escoamento superficial e vazamentos no sistema de condução de água (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

A alta eficiência é um fator intrínseco da irrigação localizada, graças à alta frequência e a baixa intensidade de aplicação, fato que praticamente anula as perdas por percolação e escoamento superficial.

As perdas por evaporação, mesmo na aspersão convencional, são praticamente desprezíveis, chegando ao máximo a 1% do volume aplicado de água em condições extremas de temperatura e umidade relativa do ar (PEREIRA, 2003).

As perdas por deriva são nulas no gotejamento. Na microaspersão são maiores em sistemas que trabalham invertidos, como no caso de viveiros.

Os vazamentos podem ser significativos, pois dependem das condições de manutenção do projeto. Em caso de boa manutenção a perda é menor que 1%, mas pode em sistemas com manutenção inadequada, superar 10%, ou seja, a eficiência de condução de água será menor que 90%. Essas perdas ocorrem principalmente nos acoplamentos da tubulação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

## **2.8 Balanço hídrico**

O balanço hídrico é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e num dado intervalo de tempo. O resultado é a quantidade líquida de água que nele permanece.

Do ponto de vista agrônômico, o balanço hídrico é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais uma cultura se desenvolveu (REICHARDT; TIMM, 2004). Para determinação do balanço de água no solo, há de se realizar um monitoramento sistemático em tempo real de fatores como: precipitação pluviométrica, evapotranspiração, lâmina de irrigação, perdas por percolação profunda e escoamento superficial ou ganhos de água por ascensão capilar (SILVA; MAROUELLI, 1998).

O balanço de água no solo representa a situação pela qual uma cultura realmente passa e fornece critérios para definir quando e quanto irrigar. A irrigação deve ser realizada a todo momento em que a disponibilidade de água

no solo estiver reduzida a um valor mínimo que prejudique o desempenho da cultura, podendo ser a lâmina de irrigação estimada com base na tensão de água no solo e na curva característica de umidade no solo (SILVA; MAROUELLI, 1998) ou na evapotranspiração da cultura no período avaliado.

Na prática, os termos de principal relevância são: a evapotranspiração, a fim de se saber quanto o solo perdeu de água no intervalo definido e a variação do armazenamento de água na camada de solo, para saber a disponibilidade de água no solo para as plantas no instante inicial (REICHARDT; TIMM, 2004).

## **2.9 Manejo da irrigação**

Para o adequado manejo da água de irrigação é necessário conhecer, entre outros fatores, a necessidade hídrica e o momento ideal do suprimento de água para a espécie a ser cultivada, nas suas diferentes fases de desenvolvimento (GOMES, 1997).

O consumo de água pelas plantas, e eventual quantidade de água a ser fornecida à cultura via água de irrigação, é determinado em função da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), determinada a partir da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), multiplicada pelo coeficiente de cultura ( $k_c$ ). Este depende do estágio de desenvolvimento das plantas, da configuração de plantio e das condições meteorológicas reinantes (ALLEN et al., 1998).

O conceito de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) refere-se à transferência do vapor d'água de uma área gramada ou com uma cultura hipotética para a atmosfera. A grama deve estar em crescimento ativo, mantida a uma altura uniforme de 0,12 m, resistência do dossel da cultura de  $69 \text{ s m}^{-1}$ , albedo de 0,23, sem deficiência de água e em condições fitossanitárias adequadas.

A evapotranspiração de referência pode ser determinada de forma direta ou indireta. Dias (2001) cita que a medida direta, apesar de requerer tempo e ter seu custo elevado, é mais utilizada em pesquisas e possibilita a determinação do coeficiente de cultivo ( $k_c$ ).

A determinação indireta é feita por equações empíricas, propostas por vários pesquisadores para estimar a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Alguns modelos são de difícil aplicação na prática, pela complexidade do cálculo e por exigir um grande número de elementos meteorológicos, nem sempre disponíveis. O método de Thorntwaite é o mais simples e bastante adotado por utilizar apenas a temperatura do ar como variável independente. Já o método de Blaney - Criddle se baseia na correlação entre a temperatura média mensal e a porcentagem mensal do total anual de horas de luz solar. O método de Penman, por sua vez, combina os elementos do balanço de radiação com o balanço aerodinâmico, através de uma equação que utiliza os dados de saldo de radiação, temperatura média do ar, umidade relativa e velocidade do vento (SOUZA; BEZERRA; TEÓFILO, 2005).

A evapotranspiração potencial de uma cultura ( $ET_c$ ) acontece quando as plantas se encontram em áreas extensas, sem a incidência de pragas, doenças e deficiência nutricional, com disponibilidade de água que não seja limitante ao desenvolvimento, e de modo que o potencial de produção seja atingido, para a condição climática em que se encontram (TEIXEIRA et al., 2003).

Em determinadas situações, o consumo de água de uma cultura pode ser três vezes maior no meio do ciclo em relação à fase inicial. Ademais, dependendo da região, a evapotranspiração da cultura pode ser muito maior no verão do que no inverno (ALBUQUERQUE, 2008).

Embora os procedimentos de manejo da irrigação de culturas sejam bastante investigados, adaptações parecem ser necessárias para manejar a irrigação em viveiros florestais. Há necessidade de melhorar a qualidade das

mudas e redefinir o balanço hídrico, de modo que se obtenha melhor qualidade e sejam atendidas as normas de qualidade ambiental (SILVA; KLAR; PASSOS, 2004).

Diferentemente dos cultivos em solo, o manejo da água em recipientes preenchidos com substrato, possui algumas peculiaridades como a maior frequência de irrigação, devido ao pequeno volume dos tubetes, além da importância relativa ao transporte de substâncias no fluido em movimento (advecção) (GERVÁSIO, 2003).

Segundo Silva (2003), na maioria dos viveiros, o manejo é praticado de forma empírica, onde apenas o exame da aparência visual das plantas determina o momento e a condução da irrigação. Perdas incomensuráveis em produção e em qualidade das mudas podem resultar do mau planejamento e fornecimento de água para as plantas (WENDLING; GATTO, 2002). A irrigação em excesso apresenta uma série de desvantagens ao processo produtivo de mudas, como: a redução da aeração, possibilidade de ocorrência de doenças, lixiviação de nutrientes e defensivos agrícolas solúveis, e o consumo desnecessário de energia e água, o que acarreta altos custos ao sistema produtivo (CARRIJO; MAROUELLI, 2002; MAROUELLI; CALBO; CARRIJO, 2005; SALVADOR, 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Desempenho da microaspersão

A avaliação de desempenho da microaspersão aplicada na irrigação de mudas foi realizada em um viveiro de mudas de espécies nativas florestais no município de Itutinga, MG, a 270 km de Belo Horizonte. O viveiro encontra-se nas coordenadas 21°19' de latitude sul e 44°36' de longitude oeste.

Foram avaliados três equipamentos de microaspersão: microaspersor MEC PREC modelo MA-20 (Figura 1A) instalado com espaçamento de 1,8 m entre emissores, microaspersor *Inverted Rotor Spray* (IRS), da Antelco (Figura 1B) instalado com espaçamento de 2,1 m entre emissores e o microaspersor Rondo, da Plastro (Figura 1C) instalado com espaçamento de 1,5 m entre emissores. Cada um destes opera em setores independentes no viveiro, sendo o MA-20 instalado em ambiente protegido.



Figura 1 Microaspersores MECPREC MA-20 (A), Antelco *Inverted Rotor Spray* (B) e Plastro Rondo (C), instalados no viveiro de mudas florestais em Itutinga – MG

### 3.1.1 Uniformidade de distribuição

Para o ensaio de uniformidade de distribuição foram dispostos sob o diâmetro molhado dos microaspersores coletores plásticos cilíndricos, possuindo diâmetro de 80 mm e altura de 102 mm.

No viveiro, os setores com microaspersores Rondo e *Inverted Rotor Spray* possuíam disposição quadrática de instalação, sendo os coletores posicionados entre dois emissores. Os coletores sob o microaspersor Rondo foram espaçados entre si por 0,15 m, totalizando 88 coletores. Os coletores sob o emissor *Inverted Rotor Spray* foram arranjados espaçados 0,30 m, totalizando 48 emissores sob a área amostrada.

No setor irrigado com o emissor MA-20, a disposição dos equipamentos era triangular, sendo os coletores posicionados entre três microaspersores com espaçamento de 0,30 m entre coletores, com total de 42 coletores. A diferença entre a quantidade de coletores utilizados nos testes dos diferentes emissores deveu-se à geometria das bancadas sob os equipamentos.

A velocidade do vento durante os testes com o microaspersor IRS foi de 4,0 km h<sup>-1</sup> enquanto para o emissor Rondo foi de 3,2 km h<sup>-1</sup>. Os testes com o emissor MA-20 foram realizados sem vento, pois estes estavam instalados em ambiente protegido.

Os testes foram realizados na área central de uma bancada escolhida aleatoriamente em cada setor, com três repetições e duração de 0,5 horas.

Após a coleta das lâminas precipitadas foram calculados o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

O valor de CUD pode ser calculado pela Equação 1.

$$CUD = 100 \times \frac{X_{25}}{X_m} \quad (1)$$

em que:

$X_{25}$  = média das 25% menores precipitações, mm;

$X_m$  = média das precipitações, considerando todos os coletores, mm.

Já o valor do CUC pode ser calculado pela Equação 2.

$$CUC = 100 \times \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{n \times X_m} \right) \quad (2)$$

em que:

$X_i$  = precipitação observada em cada coletor, mm;

$X_m$  = média das precipitações, considerando todos os coletores, mm;

n = número de coletores utilizados.

### 3.1.2 Eficiência de aplicação

A avaliação da eficiência de aplicação foi realizada segundo metodologia adaptada de Salvador (2010). Para cada equipamento de irrigação, foi avaliada a eficiência em três tipos de plantas.

O experimento foi realizado em Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema de Parcelas Subdivididas, estando o equipamento de irrigação na parcela (três níveis: MA-20, Rondo e IRS) e as espécies florestais na subparcela. Na avaliação de eficiência em tubetes grandes, as categorias da subparcela foram: Araucária (*Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., não pioneira), Jerivá (*Syagrus romanzoffiana*, não pioneira) e Cutieira (*Joannesia princeps*, não pioneira). Na avaliação de tubetes pequenos os três níveis da subparcela foram as espécies: Mutamba (*Guazuma ulmifolia* Lam., pioneira), Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*, não pioneira) e Angico Vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* Benth., não pioneira).

As mudas encontravam-se em fase final de viveiro, ou seja, em pré-plantio, com idade entre 9 e 12 meses. As espécies Araucária, Jerivá e Cutieira possuíam área foliar de 233,36 cm<sup>2</sup>, 54,59 cm<sup>2</sup> e 83,15 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Já as espécies Mutamba, Peroba Rosa e Angico Vermelho possuíam 32,65cm<sup>2</sup>, 54,61 cm<sup>2</sup> e 31,49 cm<sup>2</sup> de área foliar, respectivamente.

O enchimento dos tubetes com substrato foi feito de maneira manual.

Dentro das áreas ocupadas pelas espécies avaliadas, foram selecionadas três bandejas ao acaso, tanto para o tubete pequeno (volume de 110 cm<sup>3</sup>, bandeja

de 0,263 m<sup>2</sup>) quanto para o tubete grande (volume de 300 cm<sup>3</sup>, bandeja de 0,246 m<sup>2</sup>).

Nos tubetes das áreas amostrais foram fixados sacos plásticos (0,24 m x 0,05 m) na sua parte inferior para a coleta do excedente de solução percolada através do recipiente. No chão, abaixo de cada área amostral, foram colocadas bandejas plásticas para coleta da água que pudesse passar pelos espaços intersticiais das bandejas. Este procedimento é representado na Figura 2.



Figura 2 Posicionamento das bandejas e sacos plásticos para recolhimento dos volumes de água possivelmente perdidos na microaspersão

Após cada irrigação, foi esperado o tempo de 30 minutos para que se assegurasse que toda a água passível de drenagem dos tubetes chegasse aos sacos plásticos. Para facilitar a operação e minimizar a possibilidade de erros de leitura, uma amostra de trinta sacos plásticos foi pesada, sendo a média destes

descontada do peso total do conjunto de saco plástico e água drenada. A massa de água, em gramas, foi convertida em litros.

Assim, para determinação da lâmina perdida de água na irrigação, foi utilizada a Equação 3.

$$L_p = \left( \frac{Vp_{direto}}{A_{bandejacoletora}} + \frac{Vp_{percolação}}{At_{tubetes}} \right) \quad (3)$$

em que:

$L_p$  = lâmina perdida (mm);

$Vp_{percolação}$  = volume médio perdido diretamente, obtido pela média dos volumes coletados nas bandejas instaladas abaixo das três áreas amostrais (L);

$A_{bandejacoletora}$  = área da bandeja coletora posicionada abaixo das áreas amostrais (m<sup>2</sup>);

$Vp_{percolação}$  = volume médio perdido por percolação, obtido pela média dos volumes totais coletados nos sacos plásticos aderidos aos tubetes das três áreas amostrais (L);

$At_{tubetes}$  = área do diâmetro superior do tubete, multiplicado pelo número de tubetes de cada área amostral (m<sup>2</sup>).

A lâmina aplicada foi obtida posicionando-se, na mesma área onde foram coletadas as lâminas perdidas por percolação e diretamente, uma bandeja de plástico sobre a bancada de mudas, recolhendo o volume irrigado sem nenhuma interferência. A lâmina aplicada, por área amostral, foi calculada pela Equação 4.

$$L_a = \frac{V_a}{A_{bandejacoletora}} \quad (4)$$

em que:

$L_a$  = lâmina aplicada por área amostral (mm);

$V_a$  = volume aplicado por área amostral (L).

O tempo de irrigação no setor com o emissor MA-20 foi de três minutos, no setor com o microaspersor IRS foi de quatro minutos e no setor com o microaspersor Rondo, seis minutos, estes estipulados pelo irrigante do viveiro em sua rotina normal de trabalho.

Para a determinação da perda de água em cada irrigação, foi empregada a Equação 5.

$$P = \frac{L_p}{L_a} \times 100 \quad (5)$$

em que:

P = perda total de água (%).

Finalmente, a eficiência de aplicação da irrigação pode ser calculada pela Equação 6.

$$Ea = 100 - P \quad (6)$$

em que:

Ea = eficiência de aplicação (%).

Para fins de análise estatística, os valores obtidos foram transformados em  $\arcsen\sqrt{x/100}$  por se tratarem de dados de porcentagem.

### 3.2 Tanques de subirrigação

As avaliações relacionadas à subirrigação e consumo de água pelas plantas, foram realizadas em ambiente protegido, em casa de vegetação anexa ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (DEG/UFLA), no município de Lavras, na região sul-mineira, com coordenadas geográficas 21°13' de latitude sul, 44°58' de longitude oeste e 918 m de altitude. O clima local é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, o que caracteriza uma região subtropical com estiagem de inverno.

A subirrigação foi realizada utilizando dois tanques, um para bandejas de tubetes pequenos e outro para bandejas de tubetes grandes, com dimensões de 1,65 m x 2,55 m e 1,60 m x 2,50 m, respectivamente. Ambos os tanques possuíam 0,2 m de profundidade e altura total de 1,10 m, construídos de blocos de concreto (dimensões de 0,40 m x 0,20 m x 0,15 m), como representado na Figura 3. Cada tanque acomodou doze bandejas, sendo três para cada espécie mais três para acompanhamento da qualidade do substrato em resposta às subirrigações.

Em cada bandeja foram utilizadas dezoito plantas cultivadas em tubetes grandes e trinta e seis plantas em tubetes pequenos.

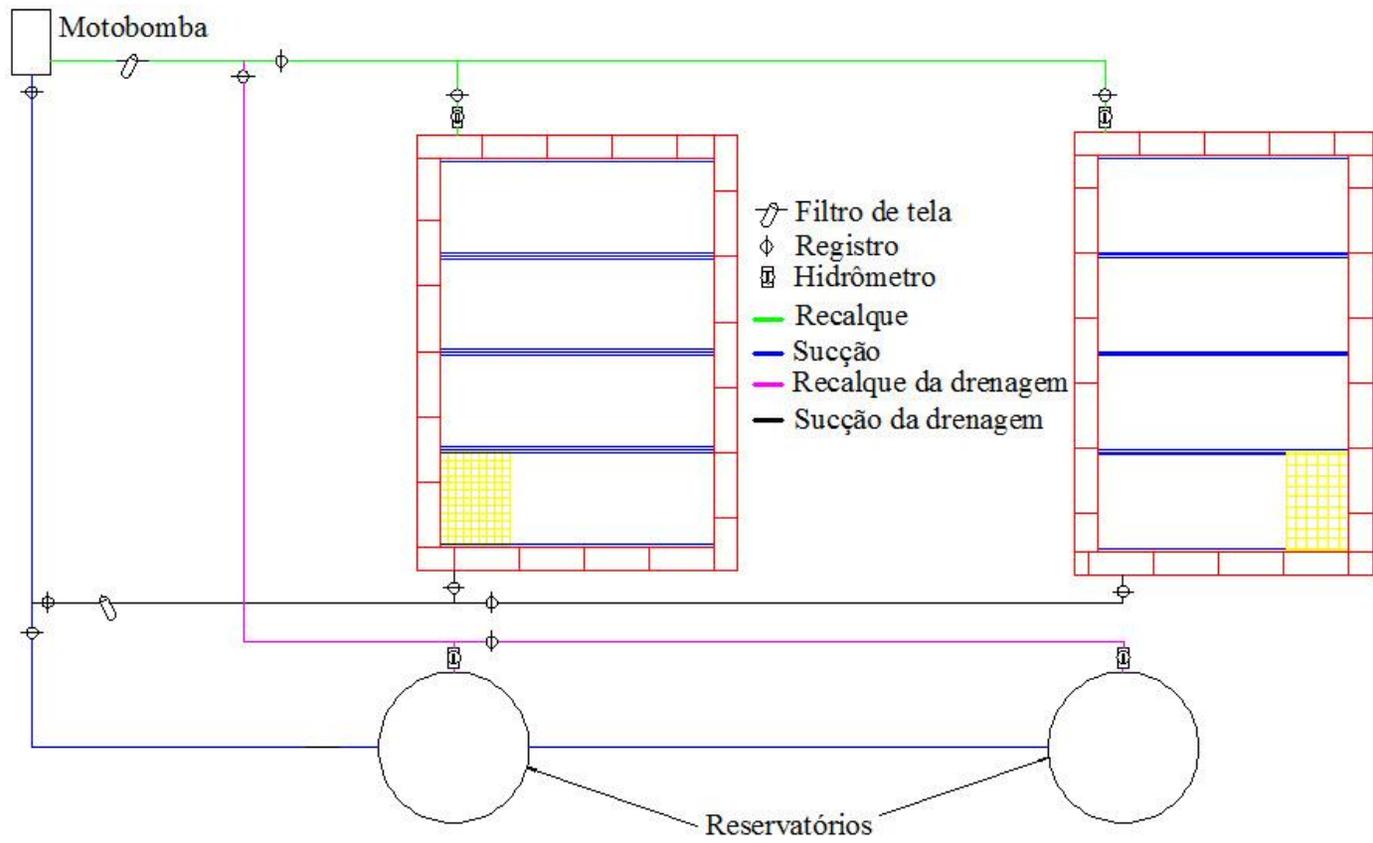


Figura 3 *Layout* dos tanques de subirrigação

Encontram-se na Figura 4 os detalhes dos tanques de subirrigação como: vista lateral (4A), tubulação de entrada de água com hidrômetro (4B), tubulação de saída de água e reservatórios para bombeamento e armazenamento da água drenada (4C) e vista lateral superior do tanque para tubetes pequenos (4D).



Figura 4 Detalhes dos tanques de subirrigação

O sistema de alimentação dos tanques foi constituído por uma motobomba modelo BC – 98 ¼ cv da fabricante Schneider, que retirava a água de duas caixas d’água de 500 litros em fibra, cada uma destas ligada a um tanque de subirrigação.

A lâmina de água aplicada por tanque era de 0,05 m a partir da parte inferior dos tubetes. O tempo de irrigação de tubetes grandes era de 0,75 horas e de 0,5 horas para tubetes pequenos, tempos estes necessários para que a frente de umidade vinda por ascensão capilar chegasse à camada superior de substrato.

Esses tempos de irrigação representavam umidades de  $0,55 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  em tubetes grandes e  $0,67 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  em tubetes pequenos tendo o substrato  $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  de umidade inicial, correspondentes a tensões de 2,34 kPa e 1,50 kPa, respectivamente, em tubetes contendo substrato sem plantas. A curva de retenção de água pelo substrato foi obtida com *software* SWRC versão 3.0 da ESALQ/USP, utilizando-se o modelo de van Genuchten (1980), e pode ser vista no Gráfico 1.

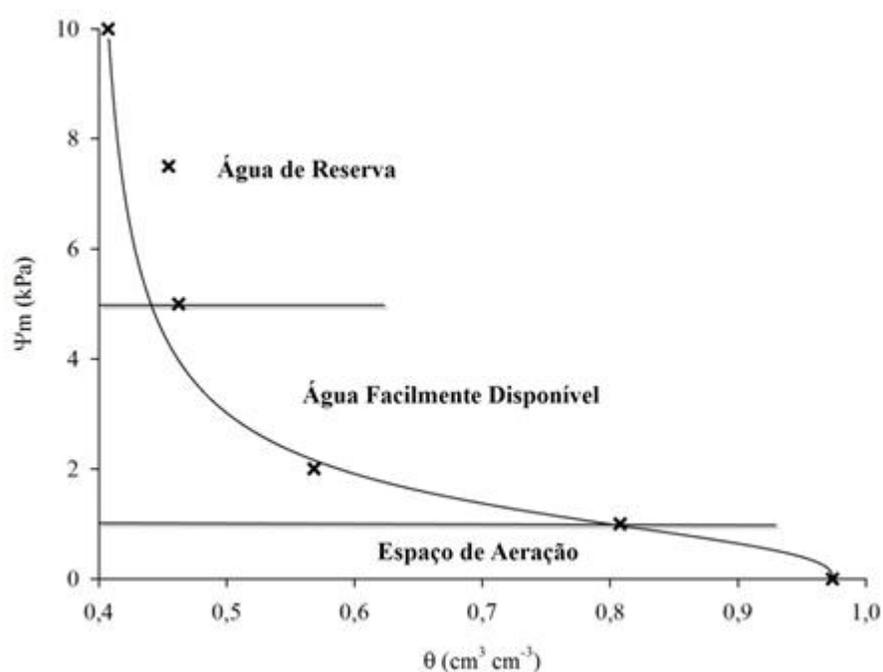


Gráfico 1 Curva de retenção de água do substrato utilizado

Segundo a nomenclatura sugerida por López (2000), a Porosidade Total do substrato utilizado era de  $0,974 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , Espaço de Aeração de  $0,170 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , Água Facilmente Disponível de  $0,362 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ , Água de Reserva de  $0,034 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e Água Residual de  $0,408 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ .

O substrato utilizado foi o Tropstrato Florestal<sup>®</sup> fabricado pela empresa Vida Verde, composto por fibra de coco, vermiculita, carvão vegetal e casca de *pinus* em proporções não informadas pelo fabricante.

A água bombeada para os tanques era retirada por meio da mesma motobomba utilizada para a alimentação, retornando a sua caixa d'água correspondente.

Tanto na entrada quanto na saída de cada tanque foram instalados hidrômetros para monitoramento exato da quantidade de água que entrou e saiu de cada unidade de subirrigação.

Para reduzir a perda de substrato nos tubetes no momento da drenagem da água, foram fixados na parte inferior de cada tubete, com auxílio de gomas elásticas, quadrados de aproximadamente 0,07 m de lado de Tule (manta tipo esponja).

### **3.2.1 Uniformidade de aplicação de água**

Para determinação da uniformidade de aplicação de água em cada espécie estudada, foram amostradas as seis plantas centrais em bandejas de tubetes grandes e as nove plantas centrais em bandejas de tubetes pequenos, totalizando dezoito e vinte e sete dados por irrigação, respectivamente. Para a avaliação, foram realizadas três repetições no tempo.

A lâmina de água adicionada a cada tubete foi determinada após a irrigação, através da pesagem individual de cada amostra. A diferença entre as massas antes da aplicação de água, e após a irrigação e espera do tempo de drenagem da água adicionada representou o ganho por tubete (Equação 7). Após convertida a massa de água em volume (Equação 8), pôde-se determinar a lâmina irrigada dividindo-se o volume de água ganho por tubete pela área da seção circular deste (Equação 9).

$$M_{aat} = M_{dirrt} - M_{airrt} \quad (7)$$

$$V_{aat} = \frac{M_{aat}}{\rho_{H2O}} \quad (8)$$

$$L_{aat} = \frac{V_{aat} \times 1000}{A_t} \quad (9)$$

em que:

$M_{aat}$  = massa de água adicionada por tubete após a irrigação (kg);

$M_{dirrt}$  = massa do tubete depois da irrigação (kg);

$M_{airrt}$  = massa do tubete antes da irrigação (kg);

$V_{aat}$  = volume de água adicionada ao tubete após a irrigação (m<sup>3</sup>);

$\rho_{H2O}$  = densidade da água aplicada (valor assumido de 1000 kg m<sup>-3</sup>);

$L_{aat}$  = lâmina irrigada por tubete (mm);

$A_t$  = área da seção circular do tubete (m<sup>2</sup>).

Após a obtenção das lâminas de irrigação, os coeficientes de uniformidade de distribuição e de Christiansen foram calculados respectivamente pelas Equações 1 e 2.

### 3.2.2 Eficiência de aplicação

Nesta avaliação, as bandejas de cada tanque foram pesadas, antes e depois de cada irrigação, obtendo-se pela diferença, a massa de água irrigada efetiva (Equação 10), que pôde ser convertida em volume irrigado efetivo (Equação 11).

$$M_{aad} = M_{dirr} - M_{airr} \quad (10)$$

$$V_{aad} = M_{dirr} - M_{airr} \quad (11)$$

em que:

$M_{aad}$  = massa de água adicionada à bandeja após a irrigação (kg);

$M_{dirr}$  = massa da bandeja depois da irrigação (kg);

$M_{airr}$  = massa da bandeja antes da irrigação (kg);

$V_{aad}$  = volume irrigado efetivo (m<sup>3</sup>);

$\rho_{H_2O}$  = densidade da água aplicada (valor assumido de 1000 kg m<sup>-3</sup>).

Em cada irrigação foram monitorados os volumes de entrada ( $V_e$ ) e saída ( $V_s$ ) de água dos tanques. A diferença entre estes caracterizou o volume irrigado. Após cada irrigação, foram aguardados trinta minutos para que houvesse a drenagem da água não fortemente aderida ao substrato. O volume de água perdido foi computado como sendo a soma da drenagem dos tubetes após a irrigação e o volume possivelmente evaporado dos tanques. O volume perdido foi obtido pela Equação 12.

$$V_p = (V_e - V_s) - V_{aadt} \quad (12)$$

em que:

$V_p$  = volume perdido por tanque (m<sup>3</sup>);

$V_e$  = volume de entrada no tanque (m<sup>3</sup>);

$V_s$  = volume de saída no tanque (m<sup>3</sup>);

$(V_e - V_s)$  = volume irrigado (m<sup>3</sup>);

$V_{aadt}$  = volume de água adicionado ao total de bandejas por tanque (m<sup>3</sup>).

A porcentagem de água perdida por subirrigação foi obtida pela Equação 13.

$$P_{sub} = \frac{V_p}{V_e - V_s} \times 100 \quad (13)$$

em que:

$P_{sub}$  = perda de água total (%).

A eficiência de aplicação da subirrigação pode ser definida pela Equação 14.

$$Ea_{sub} = 100 - P_{sub} \quad (14)$$

em que:

$Ea_{sub}$  = eficiência de aplicação da subirrigação (%)

A massa de água retida por tubete no caso da avaliação de uniformidade e por bandeja no caso da avaliação de eficiência da subirrigação foi obtida com balança digital com precisão de 0,002 kg para massa até 6 kg e 0,005 kg para massas superiores.

### 3.2.3 Dinâmica das características químicas do substrato

Para avaliar a dinâmica das características químicas do substrato em função do número de subirrigações em tubetes com substrato novo e sem conter plantas, foi utilizado o Delineamento Inteiramente

Casualizado com duas repetições, sendo os níveis do tratamento 0, 6, 12, 18, 24 e 30 irrigações, sendo realizadas 5 irrigações por dia. Foram feitas avaliações separadas para tubetes grandes e pequenos.

As análises químicas do substrato foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras sendo avaliados o pH em água, fósforo, potássio, ferro, zinco, manganês, cobre (extrator Mehlich 1), cálcio, magnésio, alumínio (extraídos por cloreto de potássio), boro (extraído por água quente), enxofre (extraído por fosfato monocálcio em ácido acético), CTC efetiva, matéria orgânica e condutividade elétrica.

Foram coletadas amostras de água para verificação de possíveis alterações na qualidade da água de irrigação após as sucessivas irrigações antes das irrigações contabilizadas como tratamento.

As análises da água de irrigação foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciências do Solo.

#### **3.2.4 Consumo de água pelas plantas e coeficientes de cultura**

Para tal ensaio, foi montado um experimento em blocos casualizados com oito repetições, tendo como parcela experimental três plantas de cada uma das três espécies por tanque.

Os tanques foram irrigados e os tubetes foram deixados saturando por dois dias. Como o acréscimo de massa devido ao crescimento da planta pode ser desconsiderado no intervalo de um dia, conhecendo-se a massa do tubete após a saturação e drenagem da água livre ( $M_{t8}$ ), a diferença entre esta e a massa após 24 horas da irrigação possibilitou definir o consumo de água pela planta, como calculado pela Equação 15.

$$M_{aevpt} = M_{ts} - M_{t24} \quad (15)$$

em que:

$M_{aevpt}$  = massa de água evapotranspirada (kg);

$M_{ts}$  = massa do tubete depois da irrigação (kg);

$M_{t24}$  = massa do tubete após 24 horas da última irrigação (kg).

O volume de água evapotranspirada foi definido pela Equação 16.

$$V_{aevpt} = \frac{M_{aevpt}}{\rho_{H2O}} \quad (16)$$

em que:

$V_{aevpt}$  = volume de água evapotranspirado (m<sup>3</sup>);

$\rho_{H2O}$  = densidade da água aplicada (valor assumido de 1000 kg m<sup>-3</sup>).

A lâmina evapotranspirada em vinte e quatro horas foi calculada pela Equação 17.

$$L_{aevpt} = \frac{V_{aevpt} \times 1000}{A_t} \quad (17)$$

em que:

$L_{aevpt}$  = lâmina evapotranspirada durante vinte e quatro horas, por tubete (mm);

$A_t$  = área da seção circular do tubete (m<sup>2</sup>).

Esta lâmina evapotranspirada representa a Evapotranspiração da Cultura (ETc), quantificada em mm dia<sup>-1</sup>.

Durante a condução da irrigação, a Evapotranspiração de Referência ( $ET_0$ ) foi obtida pela Equação de Penman – Monteith, a partir de dados meteorológicos coletados da Estação Meteorológica de Superfície Convencional de Lavras, pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia.

O coeficiente de cultura ( $k_c$ ) é definido pela Equação 18.

$$k_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (18)$$

em que:

$k_c$  = coeficiente de cultura (adimensional);

$ET_c$  = evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ );

$ET_0$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ).

Durante a avaliação de consumo hídrico, todas as mudas utilizadas possuíam entre 9 e 12 meses de idade.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Uniformidade de irrigação da microaspersão invertida

As lâminas médias, CUC e CUD, avaliados em cada equipamento de irrigação estudados no viveiro de mudas florestais de Itutinga, são apresentados na Tabela 1.

Os maiores CUC e CUD foram obtidos para o emissor MA-20, sendo classificados como “bom” (MANTOVANI, 2002) e “regular” (MERRIAM; KELLER, 1978), respectivamente. O microaspersor IRS apresentou uma lâmina média de 14,36 mm e um CUC de 56,20%, classificado como “inaceitável” e um CUD de 43,69%, este classificado como “ruim”.

A área irrigada do viveiro que apresentou os piores resultados de uniformidade foi a em que estava instalado o microaspersor Rondo, que obteve CUC e CUD classificados como “inaceitável” e “ruim” (10,11% e 24,67%, respectivamente).

Tabela 1 Lâmina média aplicada, CUC e CUD pequenos dos emissores avaliados

Microaspersor	Lâmina média (mm)	CUC (%)	CUD (%)
MA-20	12,15	82,14	73,21
IRS	14,36	56,20	43,69
Rondo	6,47	10,11	24,67

Esses baixos valores de uniformidade são consequência da falta de manutenção e da arquitetura construtiva dos emissores instalados no viveiro de mudas florestais nativas em Itutinga. Foram verificados durante os ensaios entupimento parcial e integral de emissores além de acúmulo de lodo. Em comparação, Sampaio, Kobayashi e Corrêa (2001), avaliaram a uniformidade de microaspersores novos trabalhando em posição invertida e com asa giratória,

obtiveram valores de CUC variando entre 98,3% (1 m x 1 m) e 85,6% (4 m x 4 m) para diversos espaçamentos entre emissores. No mesmo trabalho, mantendo-se o espaçamento de 3 m x 3 m entre microaspersores e variando a altura de instalação os autores constataram uma redução do CUC de 89,8% para 57,2% em função da redução da altura de 2 m para 0,5 m. Nascimento et al. (2009) e Benício et al. (2009) também obtiveram resultados maiores de CUD em suas avaliações (77,79% e 85,6%, respectivamente) em microaspersão, estas porém instaladas sobre o solo.

A distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor MA-20 é representada no Gráfico 2.

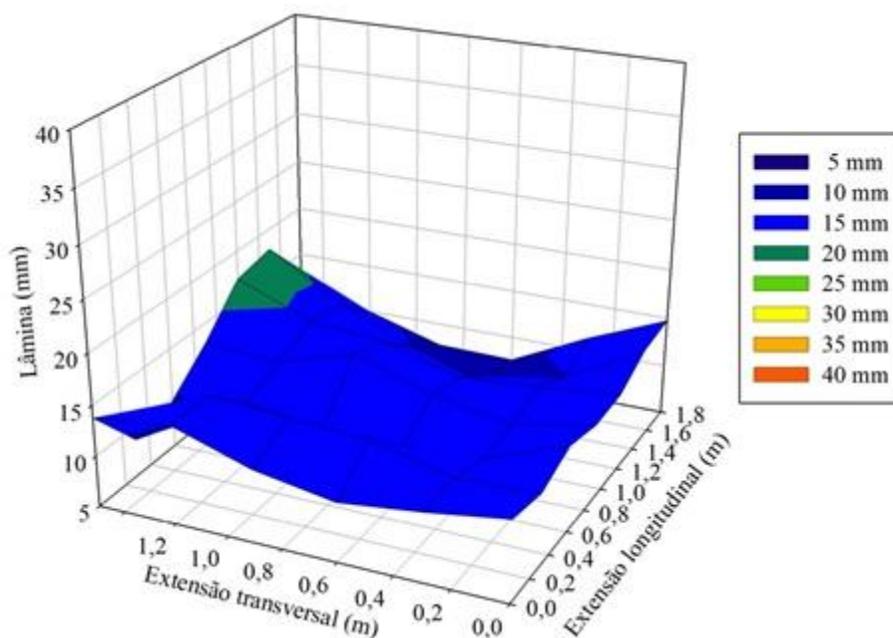


Gráfico 2 Representação gráfica da distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor MA-20

Mesmo apresentando os melhores valores de uniformidade dentre os três modelos avaliados no viveiro florestal, nota-se lâminas variando de 6 mm até

quase 18 mm numa aplicação de 0,5 horas. Os melhores resultados, neste emissor, podem ser explicados pela sua boa cobertura da área irrigada em função de suas gotas finas, além de estar instalado em ambiente protegido, onde não há influência do vento.

A distribuição das lâminas coletadas na bancada sob o emissor *Inverted Rotor Spray* é representada no Gráfico 3.

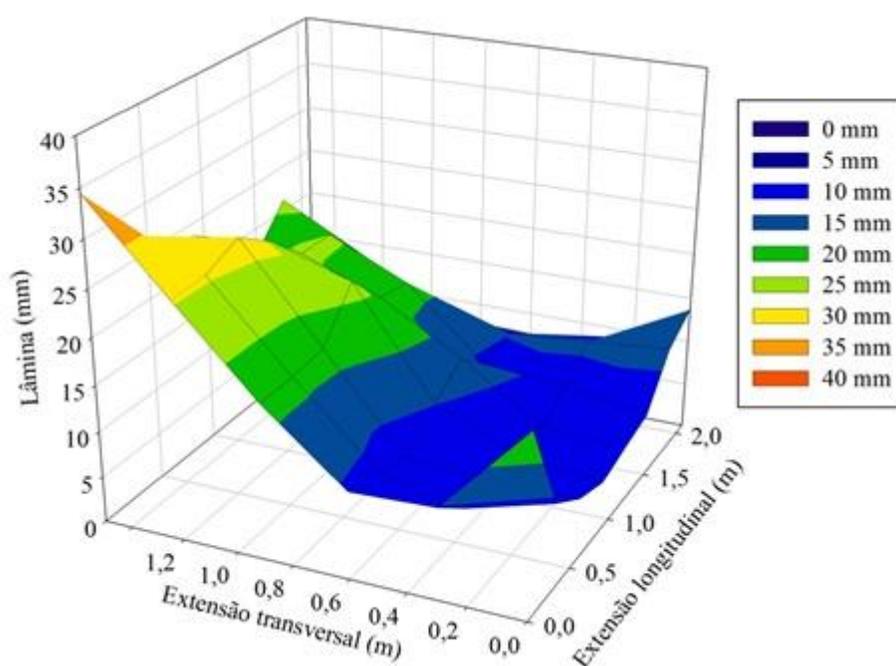


Gráfico 3 Representação gráfica da distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor *Inverted Rotor Spray*

A partir do Gráfico 3, observa-se grande diferença entre os valores de lâminas coletadas, entre pouco mais de 0 mm até valores próximos de 35 mm. Esta condição gera áreas superirrigadas e áreas com irrigação deficiente. Este fato impede que a irrigação exerça um de seus fundamentos básicos, que é

proporcionar desenvolvimento uniforme às culturas, desempenhando todo seu potencial genético.

A distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor Rondo é representada no Gráfico 4.

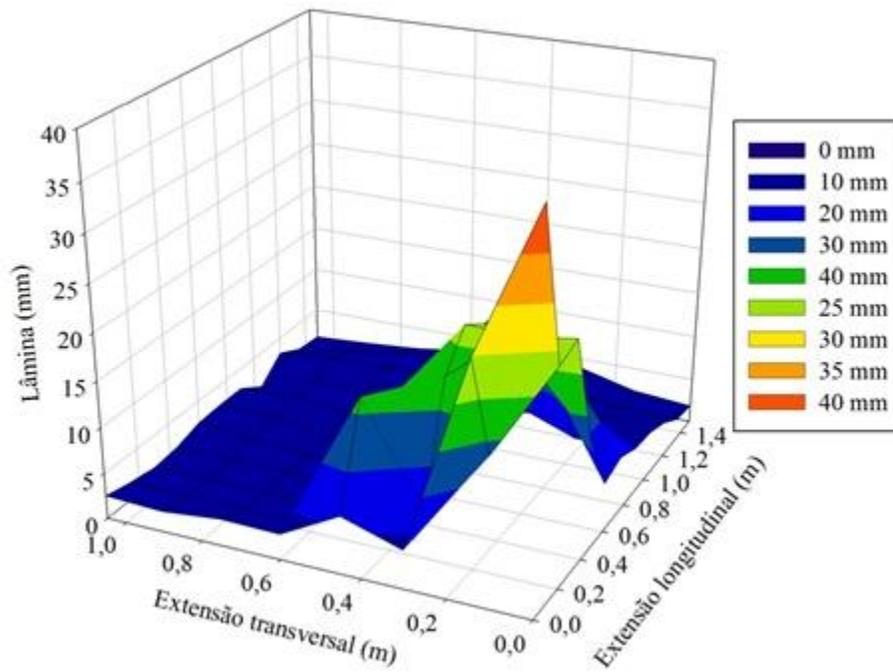


Gráfico 4 Representação gráfica da distribuição espacial das lâminas coletadas sob o emissor Rondo

Uma particularidade dos resultados de uniformidade obtidos para este emissor, é que o valor médio do CUD encontrado foi superior ao do CUC. Reis et al. (2005) citam que na maioria dos casos o CUC supera o CUD pois o último se configura como um teste mais rigoroso, pois dá um peso maior na avaliação às menores vazões ou lâminas avaliadas ao longo da lateral. O Gráfico 4 auxilia na explicação para essa inversão. Como foram encontradas uma minoria de valores altos de lâmina neste equipamento, a média dos 25% menores valores

não diferiu tanto da média das lâminas (6,47 mm), gerando um CUD maior que o CUC, já que este último mensura o desvio das lâminas encontradas com a lâmina média da área molhada, esta sim prejudicada pelos picos encontrados na avaliação.

Cunha, Cunha e Freire (2010) também obtiveram distribuições espaciais irregulares da precipitação de microaspersores em viveiro de mudas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, porém, os autores citam que o problema é de ordem técnica na instalação dos emissores.

#### 4.2 Eficiência de irrigação da microaspersão invertida

O resumo da Análise de Variância realizada nas avaliações das perdas diretas, perdas por percolação e eficiência de irrigação das espécies avaliadas cultivadas em tubetes grandes é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 Quadro resumo da ANOVA realizada nas avaliações das perdas diretas, perdas por percolação e eficiência de irrigação em tubetes grandes

Causas da variação	GL	Quadrado Médio e significância de F		
		Perdas diretas	Perdas por percolação	Eficiência
Microaspersor (M)	2	505,4024 <sup>ns</sup>	111,2337 <sup>ns</sup>	588,6409 <sup>ns</sup>
Erro a	6	106,2888	215,6918	181,3407
Espécie (E)	2	238,3660 <sup>ns</sup>	229,5855 <sup>ns</sup>	475,4714 <sup>ns</sup>
M x E	4	66,6083 <sup>ns</sup>	60,6891 <sup>ns</sup>	71,6307 <sup>ns</sup>
Erro b	12	173,1522	132,1791	137,3785
cv a		29,39	58,60	32,07
cv b		37,51	45,87	27,91

ns: não-significativo. \*: significativo ao teste de F a 5% de probabilidade. cv: coeficiente de variação.

As porcentagens de perdas diretas de água na microaspersão invertida em espécies cultivadas em tubetes grandes não foram influenciadas pelo equipamento utilizado e pela espécie irrigada, sendo todas estatisticamente

iguais (Tabela 2). Na Tabela 3, têm-se as médias das perdas diretas de água encontradas para cada combinação de espécie e microaspersor avaliados. Mesmo sem haver diferença significativa, nota-se uma variação de valores entre 20,82% e 55,33%. Este último, obtido para o microaspersor Rondo irrigando Araucária, mostrando que mais da metade da lâmina média aplicada foi perdida apenas de forma direta, ou seja, não chegou ao substrato dos tubetes.

As perdas diretas de água são inerentes ao sistema produtivo de mudas, já que, em certo estágio de desenvolvimento das plântulas, estas são colocadas de maneira intercalada nas bandejas, sobrando, portanto, metade das células das bandejas vazias.

Tabela 3 Perdas diretas da lâmina irrigada, em porcentagem, encontradas nas espécies cultivadas em tubetes grandes em cada equipamento de irrigação

Espécie	Perdas diretas (%)		
	MA-20	IRS	Rondo
Araucária	21,17	41,13	55,33
Jerivá	21,01	45,35	51,05
Cutieira	20,82	21,65	31,05

As perdas por percolação, em porcentagem, da lâmina irrigada nos diversos tratamentos são apresentadas na Tabela 4.

Mesmo os valores de eficiência de irrigação sendo considerados iguais estatisticamente (Tabela 2), há uma grande lacuna entre a maior eficiência (61,51%, Araucária irrigada pelo microaspersor MA-20) e a menor (11,93%, microaspersor Rondo irrigando a espécie Jerivá), mostrados na Tabela 5.

Tabela 4 Perdas por percolação da lâmina irrigada (%) encontradas nas espécies cultivadas em tubetes grandes em cada equipamento de irrigação

Espécie	Perdas por percolação (%)		
	MA-20	IRS	Rondo
Araucária	17,32	12,70	10,59
Jerivá	31,65	14,37	37,02
Cutieira	20,86	15,73	22,04

Na área do viveiro em que o microaspersor Rondo encontrava-se instalado, notou-se grande necessidade de manutenção deste, estando os emissores em sua maioria com incrustações de lodo e entupimento visível, o que não permitia que as peças giratórias dos emissores realizassem seu movimento, o que concentrava o jato aspergido em um único ponto.

Tabela 5 Eficiência de irrigação obtida nas espécies cultivadas em tubetes grandes em cada equipamento de irrigação

Espécie	Eficiência de irrigação (%)		
	MA-20	IRS	Rondo
Araucária	61,51	46,17	34,08
Jerivá	47,34	40,28	11,93
Cutieira	58,32	62,62	46,91

O resumo da Análise de Variância realizada para as avaliações das perdas diretas, por percolação da lâmina irrigada e eficiência de irrigação nas espécies irrigadas cultivadas em tubetes pequenos, é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 Quadro resumo da ANOVA realizada nas avaliações de perda direta, perda por percolação e eficiência de irrigação em tubetes pequenos

Causas da variação	GL	Quadrado Médio e significância de F		
		Perda direta	Perda por percolação	Eficiência
Microaspersor (M)	2	289,3162*	1394,1808*	1980,4118*
Erro a	6	41,0312	117,7054	81,6197
Espécie (E)	2	4,9036 <sup>ns</sup>	122,7862*	59,9314 <sup>ns</sup>
M x E	4	40,6725 <sup>ns</sup>	56,1367 <sup>ns</sup>	105,2343 <sup>ns</sup>
Erro b	12	41,3506	27,4301	58,6429
cv a		21,81	44,28	18,78
cv b		21,90	21,38	15,92

ns: não-significativo. \*: significativo ao teste de F a 5% de probabilidade. cv: coeficiente de variação.

As perdas diretas médias obtidas nos equipamentos de irrigação são mostradas na Tabela 7. Nesta, os emissores IRS e Rondo apresentam maior perda direta média e o MA-20 tendo a menor porcentagem de perda direta da lâmina aplicada.

Tabela 7 Perdas diretas médias encontradas por equipamento de irrigação em tubetes pequenos

Equipamento	Perda direta (%)
MA-20	15,57 b
IRS	27,56 a
Rondo	31,49 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade.

As perdas diretas da lâmina irrigada em cada espécie cultivada em tubetes pequenos avaliados e emissores são apresentadas na Tabela 8. Comparando-se com as perdas diretas encontradas nas espécies cultivadas em tubetes grandes, houve menores perdas diretas nos tubetes pequenos, fato explicado pela maior densidade de plantas na área amostral.

Tabela 8 Perdas diretas da lâmina irrigada, em porcentagem, encontradas nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação

Espécie	Perdas diretas (%)		
	MA-20	IRS	Rondo
Mutamba	17,24	21,87	34,43
Angico Vermelho	15,95	27,40	34,61
Peroba Rosa	13,53	33,41	25,44

As perdas por percolação médias por equipamento de irrigação em tubetes pequenos são apresentadas na Tabela 9. Nos emissores MA-20 e IRS foram obtidas as menores porcentagens de perda por percolação, com o microaspersor Rondo tendo quantidade superior aos demais, resultado explicado pelo excesso de lâmina aplicada por este em pontos isolados das bandejas irrigadas.

Tabela 9 Perdas por percolação médias encontradas por equipamento de irrigação em tubetes pequenos

Equipamento	Perda por percolação (%)
MA-20	6,61 b
IRS	14,44 b
Rondo	38,86 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade.

Avaliando-se as espécies cultivadas em tubetes pequenos, a espécie Peroba Rosa apresentou maior perda por percolação média, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 Perdas por percolação médias encontradas por espécie em tubetes pequenos

Equipamento	Perda por percolação (%)
Mutamba	16,68 a
Angico Vermelho	18,05 a
Peroba Rosa	25,19 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade.

As perdas por percolação encontradas nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação (Tabela 11) não diferiram estatisticamente pelo teste de F a 5% de probabilidade (Tabela 6). Mesmo sem diferença estatística, houve grande variação dos valores obtidos, sendo o menor 3,02% na espécie Angico Vermelho irrigada pelo microaspersor MA-20 e a maior nas mudas de Angico sob o emissor Rondo.

Tabela 11 Perdas por percolação encontradas nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação

Espécie	Perdas por percolação (%)		
	MA-20	IRS	Rondo
Mutamba	5,64	11,29	33,10
Angico	3,02	7,58	43,53
Peroba	11,18	24,44	39,95

Na Tabela 12 fica evidenciada a maior eficiência de irrigação nos emissores MA-20, seguido pelo IRS, na aplicação de água nas espécies cultivadas em tubetes pequenos. A eficiência média para o microaspersor Rondo foi 29,65%.

Tabela 12 Eficiências médias encontradas por equipamento de irrigação em tubetes pequenos

Equipamento	Eficiência (%)
MA-20	77,82 a
IRS	58,00 b
Rondo	29,65 c

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade.

As combinações dos tratamentos não influenciaram nas eficiências de aplicação para as espécies cultivadas em tubetes pequenos (Tabela 6). Porém, avaliando os resultados obtidos sem levar em consideração a inferência estatística, nota-se maior eficiência nas aplicações dos emissores MA-20 e IRS, tendo a área com o emissor Rondo uma eficiência de uso da água muito baixa (Tabela 13).

Tabela 13 Eficiência de irrigação obtida nas espécies cultivadas em tubetes pequenos em cada equipamento de irrigação

Espécie	Equipamento		
	MA-20	IRS	Rondo
Mutamba	77,12	66,84	32,47
Angico Vermelho	81,03	65,02	21,86
Peroba Rosa	75,29	42,15	34,62

As baixas eficiências de irrigação em todos os equipamentos e nas espécies cultivadas em ambos os tubetes são explicadas também pelos baixos valores de uniformidade de aplicação de água mostrados na Tabela 1, o que gera áreas do viveiro com déficit de irrigação e outras superirrigadas, provocando grandes perdas por percolação.

As eficiências de irrigação avaliadas nos tanques de subirrigação foram superiores às encontradas no viveiro de mudas florestais nativas em Itutinga em microaspersores na posição invertida e por Santiago, Montenegro e Montenegro (2004) em avaliação de microaspersão no cultivo do repolho (85,82%).

Salvador (2010) avaliou um equipamento de irrigação por capilaridade sem recirculação de água, desenvolvido para produção de porta-enxertos de mudas cítricas, em que para 54 mudas, houve uma aplicação de 7,63 litros de água e perdas por percolação de 6,30 litros, o que representou uma eficiência de 17,44%.

### 4.3 Uniformidade da subirrigação

Como mostrado na Tabela 14, o CUC das espécies cultivadas em tubetes pequenos variaram entre 68,99% e 82,94%, sendo o maior obtido para Araucária e o menor para o Jerivá. Para o CUD, o menor foi obtido para Araucária e o maior para Cutieira, porém os valores obtidos foram mais próximos nesta avaliação do que para o CUC.

Tabela 14 Lâmina média aplicada, médias de CUC e CUD das espécies avaliadas em tubetes grandes

Espécie	Lâmina média (mm)	CUC (%)	CUD (%)
Araucária	2,48	82,94	76,62
Jerivá	1,21	68,99	78,34
Cutieira	1,16	72,17	81,93

Assim como ocorrido na avaliação de uniformidade do microaspersor Rondo instalado no viveiro de mudas florestais de Itutinga, os valores de CUC nas espécies Jerivá e Cutieira foram inferiores ao CUD, o que mostra que os desvios das lâminas medidas foram grandes em relação à média das lâminas nestas plantas.

Outro item a ser destacado é a menor lâmina média retida nos tubetes nestas duas espécies em relação ao retido na Araucária. Foi observado nestas espécies um sistema radicular mais desenvolvido, ocupando maior volume do

substrato disponível, o que pode causar maior compactação do substrato e consequente redução de sua porosidade.

O maior CUC obtido na avaliação das espécies cultivadas em tubetes pequenos foi de 91,16% (Mutamba) e o menor para o Angico vermelho (74,76%), similar à forma que ocorreu para o CUD (Tabela 15). Os três valores de CUD das espécies cultivadas em tubetes pequenos foram superiores aos valores de CUC encontrados.

Tabela 15 Lâmina média aplicada, médias de CUC e CUD das espécies avaliadas em tubetes pequenos

Espécie	Lâmina média (mm)	CUC (%)	CUD (%)
Mutamba	1,97	91,16	95,32
Angico Vermelho	2,23	74,76	84,43
Peroba Rosa	2,09	82,49	90,07

No geral, os valores de uniformidade para espécies de tubetes pequenos foram superiores aos encontrados em tubetes grandes. A uniformidade em sistemas de subirrigação está diretamente relacionada à uniformidade do desenvolvimento e do material genético das plantas irrigadas, e consequentemente de seu sistema radicular, órgão do vegetal que interfere diretamente na uniformidade de aplicação, já que este é capaz de modificar as propriedades estruturais do substrato utilizado.

Outro fator que pode influenciar na uniformidade da subirrigação é a densidade de partículas. Fonteno (1993) afirma que a densidade influencia as demais características físicas do substrato, como porosidade total e água facilmente disponível. Como o enchimento dos tubetes foi realizado manualmente, a falta de uniformidade da força aplicada no preenchimento destes gera diferença na densidade de partículas do substrato e consequentemente na uniformidade da subirrigação.

Os resultados de uniformidade obtidos com os microaspersores IRS e Rondo foram inferiores aos obtidos em todas as espécies na subirrigação. Já os resultados obtidos com o emissor MA-20 foram comparáveis aos obtidos com a subirrigação em tubetes grandes. Uma das vantagens da subirrigação é que, por não utilizar emissores, não há perda de uniformidade em função do envelhecimento dos equipamentos ou por falta de manutenção.

Em contrapartida, os resultados de uniformidade na irrigação por capilaridade foram inferiores aos obtidos em microaspersores novos, como os mostrados por Sampaio, Kobayashi e Corrêa (2001) e por Santiago, Montenegro e Montenegro (2004) em emissores já em uso.

#### 4.4 Eficiência da subirrigação

Ambos os tanques de subirrigação apresentaram grande eficiência de irrigação, como pode ser visto na Tabela 16. Assim como no caso da uniformidade, a eficiência no tanque de tubetes pequenos foi superior à avaliada em tubetes grandes.

Tabela 16 Volume irrigado, volume irrigado efetivo e eficiência de irrigação dos tanques de subirrigação

Tanque	Volume irrigado (L)	Volume irrigado efetivo (L)	Eficiência (%)
Tubetes grandes	1,023	0,925	90,42
Tubetes pequenos	1,315	1,212	92,17

Apesar de um grande volume de entrada de água por tanque em cada irrigação (aproximadamente 0,210 m<sup>3</sup> para tanque de tubetes pequenos e 0,200 m<sup>3</sup> para o tanque de tubetes grandes), os volumes irrigados médios foram de 0,51% (tubetes grandes) e 0,63% (tubetes pequenos) do total de entrada.

Durante o esvaziamento dos tanques, assim que os tubetes deixavam de estar submersos, era iniciada a drenagem do substrato. Uma parte da água drenada voltava para os reservatórios ao invés de ser considerada uma perda, fato que garante maior eficiência ao sistema.

Mesmo observando-se uma porcentagem muito pequena de perdas, haverá menores perdas por evaporação, quanto maior for a densidade de plantas nos tanques, havendo assim maior cobertura pelas folhas das plantas da lâmina de água aplicada. Outro fator que reduz as perdas por evaporação são as condições climáticas do local no momento da irrigação.

Pode-se inferir que as perdas por drenagem nos tubetes grandes são maiores que nos tubetes pequenos em função de haver maior gradiente de potencial gravitacional entre o topo do tubete e seu fundo, já que o tubete grande possui 0,16 m de altura, enquanto o menor possui 0,10 m, o que gera menor eficiência de irrigação no tanque de tubetes grandes.

As eficiências de irrigação avaliadas nos tanques de subirrigação foram superiores às encontradas no viveiro de mudas florestais nativas em Itutinga em microaspersores na posição invertida e por Santiago, Montenegro e Montenegro (2004) em avaliação de microaspersão no cultivo do repolho.

Salvador (2010) avaliou um equipamento de irrigação por capilaridade sem recirculação de água, desenvolvido para produção de porta-enxertos de mudas cítricas, em que para 54 mudas, houve uma aplicação de 7,63 litros de água e perdas por percolação de 6,30 litros, o que representa uma eficiência de 17,44%.

#### **4.5 Dinâmica das características químicas do substrato**

Os valores dos parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água nas subirrigações são apresentados na Tabela 17.

Pelos padrões descritos por Ayers e Westcot (1985), não houve restrição de uso da água de irrigação em nenhuma das irrigações em função de problemas de: salinidade, avaliados pela condutividade elétrica; infiltração, observados através da avaliação em conjunto de condutividade elétrica e RAS; e toxicidade por sódio, também avaliada através da RAS.

Porém, entre 11 e 23 irrigações pôde-se observar problemas quanto ao pH, já que através dos padrões de qualidade propostos pelos autores supracitados, a faixa normal para irrigação encontra-se entre 6,5 e 8,4. O aumento do pH e condutividade elétrica da água de irrigação pode ser explicado pelo aumento da concentração de sais de caráter básico na água de irrigação como potássio, cálcio, magnésio e sódio (Tabela 17).

Tabela 17 Parâmetros de qualidade da água utilizada nos ciclos de subirrigação

Parâmetro	Número de Irrigações					
	0	5	11	17	23	29
P	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
K	16,0	56,0	70,0	72,0	80,0	89,0
Na	24,8	78,2	101,2	101,2	110,4	123,3
Ca	9,7	13,7	15,1	13,9	14,8	15,9
Mg	0,5	0,6	0,8	0,8	0,9	1,0
RAS	0,11	0,28	0,35	0,36	0,38	0,41
Al	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Fe	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Mn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Cu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
B	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
S	5,8	10,8	9,4	18,3	18,9	13,8
pH	7,3	8,1	9,4	9,4	9,3	8,2
CE	0,074	0,162	0,202	0,197	0,221	0,263

P: fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), K: potássio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Na: sódio ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Ca: cálcio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), Mg: magnésio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), RAS: razão de adsorção de sódio, Al: alumínio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), Zn: zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Fe: ferro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Mn: manganês ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Cu: cobre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), B: boro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), S: enxofre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), pH: potencial hidrogeniônico, CE: condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ).

Montesano, Parente e Santamaria, irrigaram tomate em cultivo sem solo em vasos via subirrigação em ciclo fechado e registraram aumento da condutividade elétrica na solução nutritiva utilizada na subirrigação de valores próximos a  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  até aproximadamente  $5,5 \text{ dS m}^{-1}$  quando a solução nutritiva era totalmente recirculada e concentrações de sódio e potássio aumentado de  $500 \text{ mg L}^{-1}$  e  $350 \text{ mg L}^{-1}$  a  $1000 \text{ mg L}^{-1}$  e  $500 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente.

As médias de pH, condutividade elétrica e concentrações de fósforo, cálcio, alumínio e CTC no substrato em função do número de subirrigações em tubetes grandes podem ser vistas na Tabela 18.

Tabela 18 Médias de pH, condutividade elétrica e concentrações de fósforo, cálcio, alumínio e CTC no substrato em função do número de subirrigações em tubetes grandes

Irrigações	Parâmetros					
	CE	pH	P	Ca	Al	t
0	1,39 a	5,6 a	64,4 a	10,8 a	0,2 a	18,5 a
6	1,85 a	5,7 a	71,9 a	9,1 a	0,2 a	15,7 a
12	1,74 a	5,8 a	71,7 a	12,3 a	0,2 a	20,0 a
18	1,83 a	5,8 a	79,6 a	8,6 a	0,1 a	15,0 a
24	1,63 a	5,8 a	77,5 a	8,4 a	0,1 a	14,6 a
30	1,48 a	5,9 a	69,3 a	9,7 a	0,1 a	16,0 a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si. CE: condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ), pH: potencial hidrogeniônico, P: fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Ca: cálcio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), Al: alumínio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), t: capacidade de troca catiônica ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )

Como mostrado na Tabela 18, o número de subirrigações não influenciou a concentração no substrato dos parâmetros nela apresentada.

Segundo proposta de classificação apresentada por Gonçalves e Poggiani (1996) para interpretação de características químicas de substratos utilizados na produção de mudas florestais, os valores de fósforo em todas as irrigações podem ser considerados baixos (menores que  $200 \text{ mg dm}^{-3}$ ), CTC

efetiva encontra-se em nível médio (entre 10 e 20  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ) e o pH em nível adequado (entre 5,5 e 6,5).

Maeda et al. (2007), avaliaram as características químicas de vários substratos, encontrando no substrato Plantmax Florestal<sup>®</sup> misturado a casca de *Pinus* parcialmente decomposta na proporção de 1:1, maior quantidades de fósforo,  $465 \text{ m}^3 \text{ dm}^{-3}$  e CTC efetiva,  $28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ .

As médias das concentrações de matéria orgânica, zinco, cobre, boro e enxofre no substrato em função do número de subirrigações em tubetes grandes são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 Médias das concentrações de matéria orgânica, zinco, cobre, boro e enxofre no substrato em função do número de subirrigações em tubetes grandes

Irrigações	Parâmetros				
	MO	Zn	Cu	B	S
0	17,9 a	5,9 a	1,0 a	1,0 a	204,6 a
6	16,6 a	3,0 a	0,9 a	0,9 a	183,1 a
12	16,3 a	2,7 a	0,7 a	0,7 a	253,8 a
18	16,9 a	2,8 a	0,8 a	0,7 a	264,5 a
24	14,6 a	2,7 a	0,7 a	0,8 a	234,2 a
30	13,8 a	2,5 a	0,8 a	0,7 a	301,7 a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si. MO: matéria orgânica ( $\text{dag kg}^{-1}$ ), Zn: zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Cu: cobre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), B: boro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), S: enxofre ( $\text{mg dm}^{-3}$ )

A manutenção das concentrações de matéria orgânica do substrato em tubetes grandes em 30 subirrigações (Tabela 19) mostra não haver degradação desta em função das irrigações o que também reflete na constância também apurada nos níveis de CTC efetiva (Tabela 18). As concentrações de zinco, cobre, boro e enxofre também não sofreram alterações em função das subirrigações.

Sampaio et al. (2008) em avaliação de substrato composto unicamente por fibra de coco obtiveram concentração de  $2,48 \text{ dag dm}^{-3}$  de matéria orgânica,

200 mg dm<sup>-3</sup> de enxofre e 0,29 mg dm<sup>-3</sup> de cobre, valores inferiores aos obtidos e 11,76 mg dm<sup>-3</sup> de zinco, pH de 6,6, valores superiores aos obtidos no substrato utilizado, que o fabricante informa ser composto principalmente, mas não unicamente, por fibra de coco.

O efeito do número de subirrigações sobre a concentração de potássio no substrato em tubetes grandes pode ser visto no Gráfico 5.

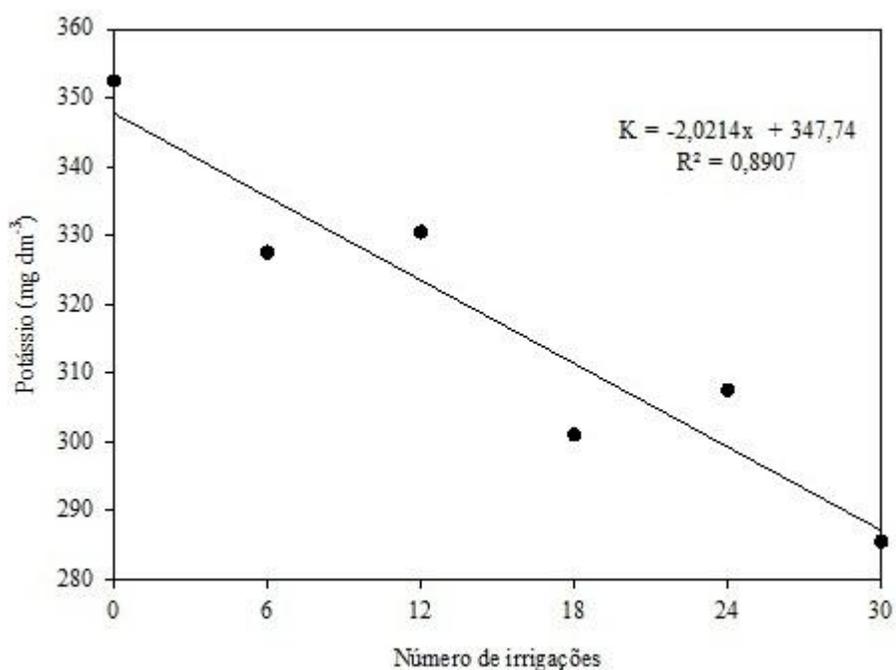


Gráfico 5 Concentração de potássio no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes

O número de subirrigações causou redução significativa na concentração de potássio no substrato em tubetes grandes que pode ser descrita por uma equação linear apresentada no Gráfico 5. Esta redução significativa pode ser explicada pela alta mobilidade do potássio no substrato, tendo a concentração deste também aumentado na água de irrigação reciclada (Tabela 17). A

concentração de potássio inicial do substrato já se encontrava a níveis inferiores aos citados por Gonçalves e Poggiani (1996) e com a redução, faz-se mais necessária a adubação de potássio para pleno desenvolvimento das mudas.

Rozane et al. (2007) avaliaram em substrato composto por casca de *Pinus* e vermiculita concentração de 67,9 mg dm<sup>-3</sup> de potássio, valor inferior ao obtido para o substrato estudado, mesmo após a trigésima irrigação.

O efeito do número de subirrigações sobre a concentração de magnésio no substrato em tubetes grandes pode ser visto no Gráfico 6.

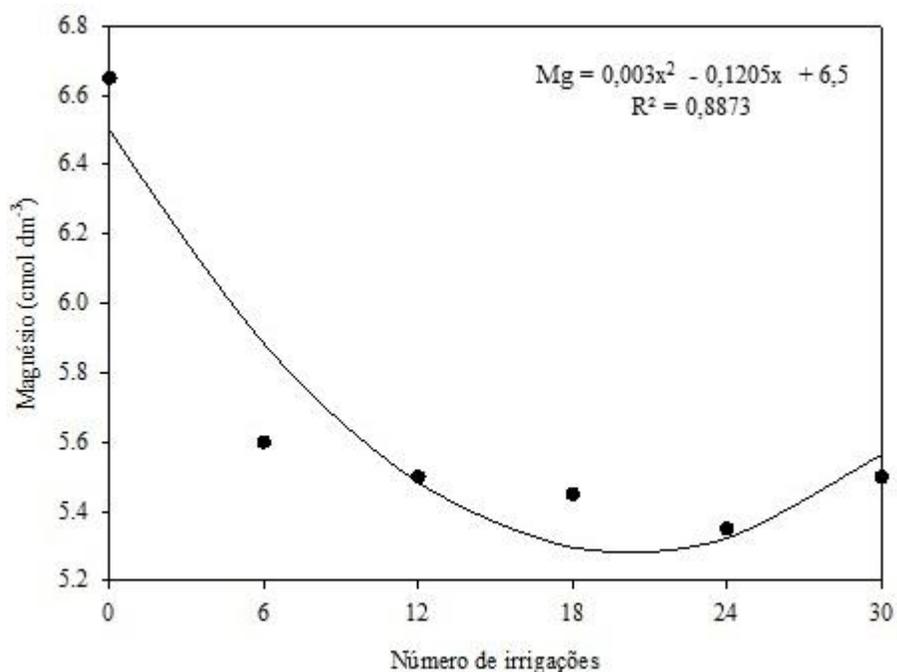


Gráfico 6 Concentração de magnésio no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes

A resposta da concentração de magnésio no substrato em função do número de subirrigações seguiu uma função quadrática, mostrada no Gráfico 6, com coeficiente de determinação de 88,73%. A concentração mínima estimada

pela equação é de  $5,29 \text{ cmol dm}^{-3}$ , equivalente a aproximadamente 20 irrigações, nível de concentração deste elemento considerado médio por Gonçalves e Poggiani (1996).

Mesmo sendo obtida uma função quadrática, observa-se proximidade dos valores observados a partir de 6 irrigações. A concentração mínima estimada é superior à concentração obtida por Rozane et al. (2007) em substrato de casca de *Pinus* e vermiculita de  $0,245 \text{ cmol dm}^{-3}$  e inferior à obtida por Maeda et al. (2007), na mistura de Plantmax Florestal® com casca de *Pinus* parcialmente decomposta.

O efeito do número de subirrigações sobre a concentração de Ferro no substrato em tubetes grandes pode ser visto no Gráfico 7.

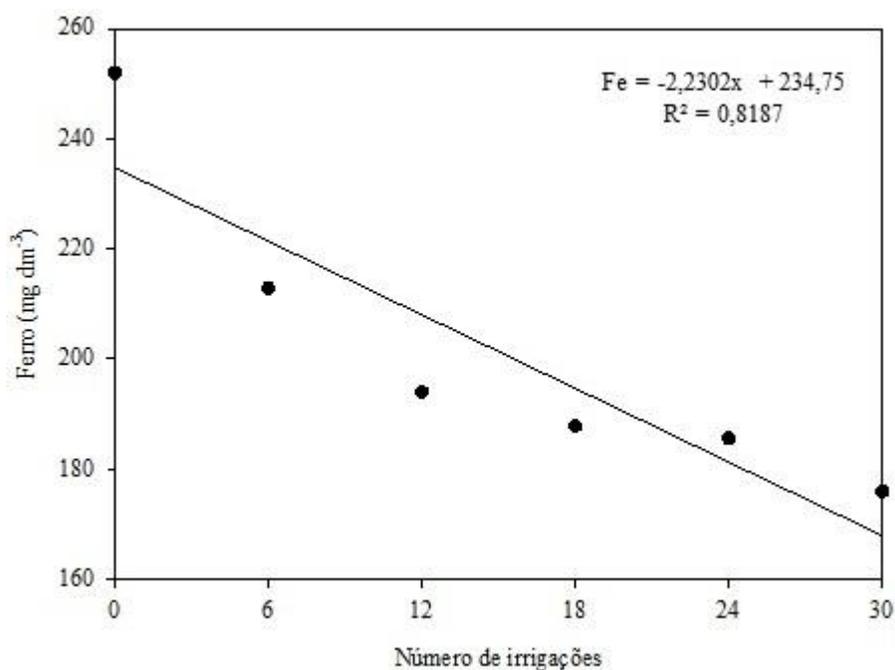


Gráfico 7 Concentração de ferro no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes

As subirrigações também causaram redução do ferro contido no substrato, porém não causaram incremento na concentração deste elemento na água de irrigação.

As concentrações de ferro obtidas, mesmo após 30 irrigações e consequente redução, foram superiores às encontradas por Rozane et al. (2007) em substrato de casca de *Pinus* e vermiculita de  $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ .

O efeito do número de subirrigações sobre a concentração de manganês no substrato em tubetes grandes é mostrado no Gráfico 8.

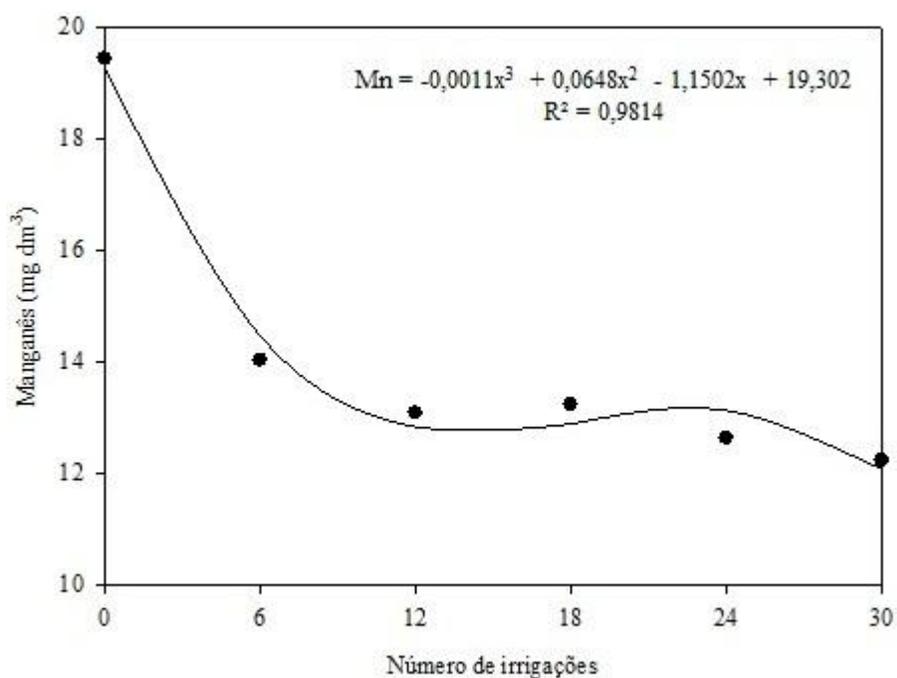


Gráfico 8 Concentração de manganês no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes grandes

A estimativa da concentração de manganês em função da subirrigação pode ser determinada por uma função cúbica com  $R^2$  de 98,14%. Assim como ocorreu com o ferro, a alteração nas concentrações de manganês no substrato

não refletiram sobre a concentração deste elemento na água de irrigação, sendo as quantidades encontradas superiores às avaliada por Rozane et al. (2007) em substrato de casca de Pinus e vermiculita ( $1,3 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

As médias das concentrações de fósforo, cálcio, magnésio, CTC, matéria orgânica e zinco no substrato em função das subirrigações em tubetes pequenos são mostradas na Tabela 20.

Tabela 20 Médias de pH e das concentrações de, fósforo, cálcio, magnésio, CTC, matéria orgânica e alumínio no substrato em função das subirrigações em tubetes pequenos

Irrigações	Parâmetros						
	pH	P	Ca	Mg	t	MO	Al
0	5,6 a	64,4 a	10,8 a	6,7 a	18,5 a	17,9 a	0,2 a
6	5,9 a	79,7 a	16,4 a	6,4 a	23,7 a	15,3 a	0,1 a
12	5,9 a	64,1 a	8,0 a	5,0 a	13,8 a	14,6 a	0,1 a
18	6,0 a	64,2 a	8,5 a	4,9 a	14,3 a	15,8 a	0,1 a
24	5,9 a	79,6 a	8,4 a	5,1 a	14,4 a	13,5 a	0,1 a
30	5,9 a	77,7 a	9,7 a	5,8 a	16,3 a	14,0 a	0,1 a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si. P: fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Ca: cálcio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), Mg: magnésio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ), t: capacidade de troca catiônica efetiva ( $\text{cmolc dm}^{-3}$ ), MO ( $\text{dag kg}^{-1}$ ), Al: alumínio ( $\text{cmol dm}^{-3}$ ).

Assim como em tubetes grandes, as subirrigações não causaram alterações significativas nas concentrações de fósforo, CTC efetiva, matéria orgânica, alumínio e no valor de pH em tubetes pequenos, mesmo com o aumento do pH, e concentrações de cálcio e magnésio na água de irrigação (Tabela 17). O aumento da concentração de cálcio e do pH da água de irrigação não acompanhados do aumento dos valores destes parâmetros no substratos podem ser devido ao material de revestimento dos tanques de subirrigação, argamassa, material conhecidamente calcário.

As concentrações de fósforo tanto na água de irrigação (Tabela 17) como no substrato em tubetes grandes (Tabela 18) e nos tubetes pequenos não se

alteraram significativamente, graças à imobilidade deste nutriente (WENDLING; GATTO, 2002).

A CTC está diretamente relacionada à disponibilidade de cátions e à redução nas perdas por lixiviação, uma vez que quanto maior a CTC, maior será a retenção de cátions adsorvidos, especialmente em cultivos onde a irrigação é frequente (FERMINO, 1996). Valores de  $6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  a  $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  são recomendados por Fonteno (1996) e  $20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  por Martinez (2002), parcialmente atendidas nos valores mostrados nas Tabelas 18 e 20. Essa parcialidade no atendimento dos requisitos de CTC citados por esses autores pode explicar o aumento da concentração principalmente de sódio e potássio na água de irrigação e potássio no substrato em tubetes grandes (Gráfico 5).

As médias dos valores de condutividade elétrica, zinco, ferro, manganês, cobre, boro e enxofre no substrato em função das subirrigações em tubetes pequenos são mostradas na Tabela 21.

Tabela 21 Médias das concentrações de zinco, ferro, manganês, cobre, boro e enxofre no substrato em função das subirrigações em tubetes pequenos

Irrigações	Parâmetros						
	CE	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
0	1,39 a	5,9 a	251,9 a	19,5 a	1,0 a	1,0 a	204,6 a
6	1,30 a	3,2 a	218,1 a	14,8 a	0,8 a	0,9 a	272,3 a
12	1,36 a	2,5 a	185,5 a	13,6 a	0,8 a	0,7 a	284,6 a
18	1,20 a	2,6 a	193,3 a	13,5 a	0,8 a	0,6 a	268,6 a
24	1,26 a	2,8 a	197,1 a	14,6 a	0,9 a	0,7 a	197,5 a
30	1,13 a	2,8 a	226,1 a	15,6 a	1,0 a	0,5 a	261,1 a

Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem entre si. CE: condutividade elétrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ), Zn: zinco ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Fe: ferro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Mn: manganês ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), Cu: cobre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), B: boro ( $\text{mg dm}^{-3}$ ), S: enxofre ( $\text{mg dm}^{-3}$ ).

Diferentemente do ocorrido em tubetes grandes, em tubetes pequenos as concentrações de ferro e manganês não sofreram alterações significativas em função das subirrigações, como mostrado na Tabela 21.

Os valores de condutividade elétrica do substrato, em tubetes grandes (Tabela 18) e pequenos (Tabela 21) não sofreram alteração em função do número de subirrigações.

Sampaio et al. (2008) avaliaram as características químicas de substrato composto unicamente de fibra de coco, obtiveram valor de  $2,18 \text{ dS m}^{-1}$  para condutividade elétrica. Bumgarner, Salifu e Jacobs (2008) obtiveram, utilizando subirrigação no cultivo de mudas de *Quercus rubra*, valores próximos de  $5 \text{ dS m}^{-1}$  no topo, e  $1 \text{ dS m}^{-1}$  no meio e base em recipiente de  $0,25 \text{ m}$  de altura.

O efeito do número de subirrigações sobre a concentração de potássio no substrato em tubetes pequenos é mostrado no Gráfico 9.

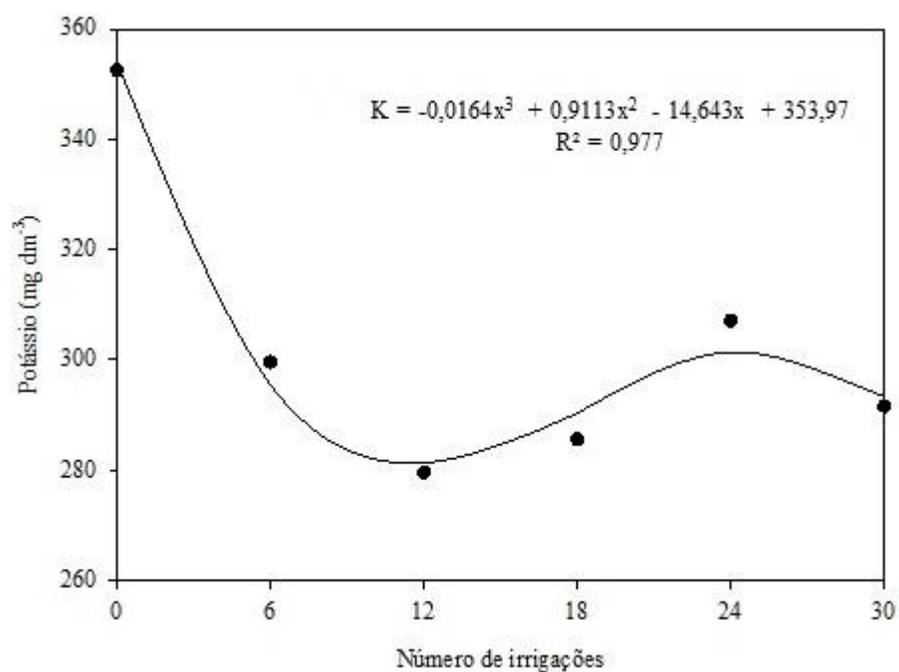


Gráfico 9 Concentração de potássio no substrato em função do número de subirrigações realizadas em tubetes pequenos

Diferente do comportamento da concentração de potássio no substrato em tubetes grandes em função das subirrigações (Gráfico 5), em tubetes pequenos a estimativa da concentração deste elemento no substrato pode ser explicado por um polinômio de terceiro grau, com coeficiente de determinação de 97,70%, ocorrendo um aumento da concentração após 12 irrigações e voltando a diminuir depois de 24 irrigações. Porém, uma queda acentuada da concentração de potássio só é vista entre o início e seis irrigações, comportamento também apresentado nos Gráficos 6 e 8.

Segundo Resende et al. (1999) espécies pioneiras, em geral, têm seu potencial de crescimento mais restringido quando se desenvolvem em solos pouco férteis, mostrando-se bastante responsivas à fertilização, ao passo que, com o avanço do grupo sucessional, o estímulo ao crescimento proporcionado pela adubação é menos pronunciado e algumas vezes inexistente; tendência, em parte, atribuída ao crescimento mais lento, característico das espécies clímax.

#### 4.6 Consumo de água pelas plantas e coeficientes de cultura

A análise de variância do consumo de água pelas plantas cultivadas em tubetes grandes e médios é apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 Resumo da ANOVA do consumo de água pelas plantas cultivadas em tubetes grandes e pequenos

Causas da variação	GL	Quadrado médio e significância de F	
		Tubetes grandes	Tubetes pequenos
Espécie	2	7,5462*	8,0875*
Blocos	7	0,7656 <sup>ns</sup>	2,1418*
Erro	14	0,1538	0,7113
cv (%)		6,41	9,83

ns: não-significativo. \*: significativo ao teste de F a 5% de probabilidade.

O volume e eventual lâmina consumida por cada espécie cultivada em tubetes grandes, bem como seus coeficientes de cultura (kc) são mostrados na Tabela 23.

A lâmina consumida pela espécie Araucária foi superior às demais, 7,24 mm, equivalente a um volume de 15,25 ml tubete<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. As espécies Cutieira e Jerivá apresentaram o mesmo consumo de água. Analogamente, estas últimas podem ser colocadas no mesmo setor de irrigação dentro do viveiro, já que possuem mesmo consumo de água.

Tabela 23 Volume e lâmina consumidas e coeficientes de cultura (kc) das espécies cultivadas em tubetes grandes

Espécie	Volume consumido (ml tubete <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	Lâmina Consumida (mm dia <sup>-1</sup> )	kc
Araucária	15,25	7,24 a	3,64
Jerivá	11,67	5,54 b	2,78
Cutieira	11,75	5,58 b	2,80

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade.

Na Tabela 24 são listados o volume e a lâmina consumida e coeficientes de cultura das espécies em tubetes pequenos. A Mutamba e o Angico Vermelho apresentaram mesmo consumo de água, sendo este superior ao da Peroba Rosa. Assim, a Mutamba e o Angico Vermelho podem receber a mesma quantidade de água na fase de desenvolvimento avaliada.

Tabela 24 Volume e lâmina consumidas e coeficientes de cultura (kc) das espécies cultivadas em tubetes pequenos

Espécie	Volume consumido (ml tubete <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	Lâmina Consumida (mm dia <sup>-1</sup> )	kc
Mutamba	9,58	9,00 a	4,52
Angico Vermelho	9,92	9,31 a	4,68
Peroba Rosa	7,92	7,44 b	3,74

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Scott - Knott a 5% de probabilidade.

Os valores de lâmina e kc obtidos a primeira vista podem ser considerados exagerados, porém, há de ressaltar a reduzida área da seção dos tubetes.

Paulino et al. (2011) obtiveram consumo médio diário de 8,1 ml em mudas de pinhão – manso produzidas em tubetes com volume de 120 cm<sup>3</sup> e substrato composto por fibra de coco, e com o aumento do tamanho do tubete utilizado, maior foi a quantidade de água consumida, resultados similares às espécies cultivadas em tubetes pequenos.

Souza et al. (2010) avaliaram o consumo hídrico de *Kalanchoe* produzida em vasos em diferentes substratos alternativos e obtiveram uma lâmina média consumida por dia de 2,95 mm, resultado inferior ao apresentado nas espécies florestais avaliadas, mostrando maior consumo hídrico em relação a uma planta ornamental.

## 5 CONCLUSÃO

A uniformidade de irrigação dos equipamentos de microaspersão avaliados no viveiro de mudas florestais de Itutinga é prejudicada pela manutenção deficitária aliada à construção dos emissores. Já a eficiência de irrigação dos sistemas de microaspersão avaliados no viveiro de mudas florestais de Itutinga é afetada pela uniformidade de aplicação de água, manutenção deficitária e pelo sistema produtivo de mudas de espécies florestais em tubetes, já que a partir de certa idade, a densidade das mudas no viveiro deve diminuir, sendo estas posicionadas de maneira intercalada nas bandejas que acomodam os tubetes. Este fato agrega qualidade às mudas, pois reduz a competição por luz, produzindo mudas mais compactas e com maior diâmetro do caulículo.

Os tanques de subirrigação mostraram-se alternativa interessante à irrigação de mudas de espécies florestais, apresentando alta eficiência e alta uniformidade em espécies cultivadas em tubetes pequenos, porém, há de se observar dificuldades quanto à realização da operação de poda radicular, pois para tal, as bandejas com tubetes devem ser retiradas do tanque, dificultando o manejo do viveiro.

As subirrigações proporcionaram alterações na concentração apenas de potássio no substrato em ambos os tubetes, sendo que a maioria das características químicas avaliadas nos substratos permaneceu inalterada em função das subirrigações.

As espécies cultivadas em tubetes grandes apresentaram consumo de água superior às cultivadas em tubetes pequenos, e entre todas as espécies avaliadas o consumo hídrico não superou 16 ml por tubete em um dia.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, A. K.; CRESSWELL, G. C.; HAIGH, A. M. Comparison of sub-irrigation and overhead irrigation of tomato and lettuce seedlings. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v. 75, p. 350–354, 2000.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. Estratégias de manejo de irrigação. In: \_\_\_\_\_; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p.
- ALMEIDA, A. C. S. **Desenvolvimento de um sistema de irrigação por microaspersão com microtubos para hortas agrícolas**. 2008. 88 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- AYERS, R. S.; WESTCOST, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. 174 p.
- BACKES, M. A. **Composto do lixo urbano como substrato para plantas ornamentais**. 1989. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- BAILEY, D. A.; FONTENO, W. C.; NELSON, P. V. **Greenhouse substrates and fertilization**. Raleigh: [s. n.], 2005. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ghsubfert.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2010.
- BENÍCIO, F. R. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da goiaba em Barbalha - CE. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 2, p. 55–61, 2009.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.
- BOLFE, E. L. et al. Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de Acurácia. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 1, p. 85-90, 2004.

- BOMAN, B. J. Microsprinkler irrigation. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. **Microirrigation for crop production: design, operation, and management**. Amsterdam: Elsevier, 2007. chap. 3, p. 515-606.
- BUMGARNER, M. L.; SALIFU, K. F.; JACOBS, D. F. Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. **Hortscience**, Palo Alto, v. 43, n. 7, p. 2179–2185, 2008.
- CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.
- CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação na produção de hortaliças em cultivo protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade de Olericultura do Brasil, 2002. 1 CD ROM.
- CARVALHO, C. M. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento na cultura da goiaba. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 36–46, 2006.
- CHANSEETIS, C. et al. Application of capillary hydroponic system to the lettuce growing under tropical climate conditions. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 548, p. 401-407, 2001.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkle**. Berkeley: University of California, 1942. 41 p.
- COGGESHALL, M. V.; VAN SAMBEEK, J. W. Development of a subirrigation system with potential for hardwood tree propagation. In: INTERNATIONAL PLANT PROPAGATORS' SOCIETY, 51., 2002, Carlisle. **Proceedings...** Carlisle: [s. n.], 2002. p. 443-448.
- CUNHA, A. M. et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.
- CUNHA, M. D; CUNHA, M. L.; FREIRE, J. O. Avaliação de desempenho do microaspersor amanco 63 L h<sup>-1</sup> em condições de campo. **Holos**, Natal, v. 26, n. 5, p. 23–27, 2010.
- DANIEL, T.; HELMS, J.; BACKER, F. **Princípios de silvicultura**. 2. ed. México: McGraw-Hill, 1982. 492 p.

DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. **Produção de sementes e mudas de espécies florestais**. Lavras: UFLA, 2008. 174 p.

DIAS, K. L. C. **Análise da evapotranspiração de referência da grama (*Paspalum maritimum* L.) e da evapotranspiração do melão (*Cucumis melo* L.) para a região litorânea do Ceará**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2001.

DUMROESE, R. K. et al. Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, p. 2961–2967, 2005.

DUMROESE, R. K. et al. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. **Native Plants Journal**, Madison, v. 7, n. 3, p. 253–261, 2006.

DUMROESE, R. K.; WENNY, D. L.; PAGE-DUMROESE, D. S. Nursery waste water. The problem and possible remedies. In: NATIONAL PROCEEDINGS, FOREST AND CONSERVATION NURSERY ASSOCIATION 36., 1995, Portland. **Proceedings...** Portland: USDA Forest Service, 1995. p. 89-97.

FERMINO, M. H. **Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas**. 1996. 90 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FISHER, P. R.; ARGO, W. R. Electrical conductivity of growing media: why is it important? **Greenhouse Management and Production**, Richfield, v. 25, n. 5, p. 54–58, 2005.

FOCHESATO, M. L. et al. Produção de mudas cítricas em diferentes porta-enxertos e substratos comerciais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 5, p. 1397-1403, 2006.

FONSECA, E. P. **Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em “Winstrip”**. 1988. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.

FONTENO, W. C. Growing media: types and physical/chemical properties. In: REED, D. W. **A growers guide to water, media, and nutrition for greenhouse crops**. Batavia: Ball, 1996. p. 93-122.

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

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. p. 573-652.

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

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2. ed. Campina Grande: EDUEPB, 1997. 390 p.

GOMES, J. M. et al. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden, em Win-Strip. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 15, n. 1, p. 35-41, 1991.

GOMES, J. M. et al. Rescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

GOMES, J. M.; SILVA, A. R. Os substratos e sua influência na qualidade de mudas. In: \_\_\_\_\_. **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 190-206.

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia: USP-ESALQ, 1996. 1 CD ROM.

GONZAGA NETO, L. Produtividade e competitividade dependem do aumento de hectares irrigados. **Revista dos Agrônomos**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 14-20, 2000.

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

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Manual da produção de mudas de cafeeiro em tubetes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 98-108, 1998.

JUNTENEN, M. L.; HAMMAR, T.; RISTO, R. Ground water quality: leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 1868–1874, 2002.

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

KÄMPF, A. N. Substratos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 1., 1992, Maringá. **Anais...** Maringá: SBFPO, 1992. p. 36-52.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 4, p. 678-84, 1974.

LEAL, P. L. et al. Crescimento de mudas micropropagadas de bananeira micorrizadas em diferentes recipientes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 27, n. 1, p. 84- 87, 2005.

LESKOVAR, D. I. Root and shoot modification by irrigation. **HortTechnology**, Palo Alto, v. 8, n. 4. p. 1–5, 1998.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007.

LÓPEZ, C. C. **Fertirrigacion cultivos hortícolas y ornamentales**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2000. 475 p.

LOUIE, M. J.; SELKER, J. S. Sprinkler head maintenance effects on water application uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Newark, v. 126, n. 3, p. 142-148, 2000.

MAEDA, S. et al. Caracterização de substratos para produção de mudas de espécies florestais elaborados a partir de resíduos orgânicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 54, p. 97-104, 2007.

MANTOVANI, E. C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa, MG: DEA/UFV–PNP&D/Café/EMBRAPA, 2002. 100 p.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Avaliação de sensores do tipo irrigas para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substratos. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 88-95, 2005.

MARTINEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. In: FURLANI, A. M. C. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: IAC, 2002. p. 53-73.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MILNER, L. Water and fertilizers management in substrates. In: WORLD CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF CITRUS NURSERYMEN, 6., 2001, Ribeirão Preto. **Proceedings...** Ribeirão Preto: International Society of Citrus Nurserymen, 2001. p. 108-111.

MOLITOR, H. The european perspective with emphasis on subirrigation and recirculation of water and nutrients. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 272, p. 165-174, 1990.

MONTESANO, F.; PARENTE, A.; SANTAMARIA, P. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. **Scientia Horticulturae**, Scottsville, v. 124, n. 3, p. 338–344, 2010.

NASCIMENTO, A. K. S. et al. Desempenho hidráulico e manejo da irrigação em sistema irrigado por microaspersão. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 3, n. 1, p. 39–45, 2009.

NEVES, W. S. et al. Importância do manejo da irrigação sobre a ocorrência de doenças de plantas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 249, p. 110–115, 2010.

OH, W.; KIM, K. Effects of irrigation method and frequency, and nutrient solution on rooting, growth, and nutrient uptake of chrysanthemum cuttings.

**Journal of the Korean Society for Horticultural Science**, Seoul, v. 39, p. 464–468, 1998.

OLIVEIRA, F. G. et al. Avaliação de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 249, p. 43–49, 2010.

OLIVEIRA, R. B. et al. Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 122-128, 2008.

PARVIAINEN, J. V. Initial development of root systems of various types of nursery stock for scots pine. **Folia Forestalia**, Helsinki, v. 268, p. 2-21, 1976.

PARVIAINEN, J. V. Qualidade e avaliação de qualidade de mudas florestais. In: SEMINÁRIO DE SEMENTES E VIVEIROS FLORESTAIS, 1., 1981, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1981. p. 59-90.

PATEL, R. M.; PRASHER, S. O.; BONNEL, R. B. Effect of water table depth, irrigation water salinity, and fertilizer application on root zone salt buildup. **Canadian Agricultural Engineering**, New Jersey, v. 42, n. 3, p. 111-115, 2000.

PAULINO, J. et al. Crescimento e qualidade de mudas de pinhão-manso produzidas em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 37–46, 2011.

PEREIRA, G. M. Aspersão convencional. In: : MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. 2. ed. Piracicaba: FUNEP, 2003. 703 p.

QUEIROZ, J. A.; MELÉM JÚNIOR, N. J. Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 23, n. 2, p. 460-462, 2001.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REIS, E. F. et al. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p. 74-81, 2005.

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

RESENDE, A. V. et al. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.

ROCHA, E. M. M. et al. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 154-160, 1999.

ROZANE, D. E. et al. Nitrogênio, fósforo e potássio afetando a nutrição e produção de porta-enxerto de limoeiro citrumelo swingle. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 54, n. 315, p. 422-429, 2007.

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

SAMPAIO, R. A. et al. Produção de mudas de tomateiro em substratos contendo fibra de coco e pó de rocha. Produção de mudas de tomateiro em substratos contendo fibra de coco e pó de rocha. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 26, p. 499-503, 2008.

SAMPAIO, S. C.; KOBAYASHI, M. K.; CORRÊA, M. M. Uniformidade de aplicação de água por microaspersores operando em posição invertida. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1359-1369, 2001.

SANTIAGO, F. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Avaliação de parâmetros hidráulicos e manejo da irrigação por microaspersão em área de assentamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 632-643, 2004.

SANTOS, C. B. et al. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.

SCHÄFER, G. **Produção de porta-enxertos cítricos em recipientes e ambiente protegido no Rio Grande do Sul**. 2004. 129 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

SCHIMIDT-VOGT, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings. In: Simpósio Internacional: métodos de produção e controle de qualidade de

sementes e mudas florestais, 1., 1984, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1984. p. 366-378.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 4, n. 8, p. 1-17, 2005.

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

SILVA, M. R.; KLAR, A. E.; PASSOS, J. R. Efeitos do manejo hídrico e da aplicação de potássio nas características morfológicas de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden). **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 1, p. 31-40, 2004.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

SOCCOL, O. J.; ULMANN, M. N.; FRIZZONE, J. A. Performance analysis of a trickle irrigation subunit installed in an apple orchard. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 525-530, 2002.

SOUZA, A. R. C. et al. Consumo hídrico e desempenho de *Kalanchoe* cultivado em substratos alternativos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 534-540, 2010.

SOUZA, M. S. M.; BEZERRA, F. M. L.; TEÓFILO, E. M. Coeficientes de cultura do feijão caupi na região litorânea do Ceará. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 241-248, 2005.

SOUZA, R. O. R. M. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

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

STRONG, S. S. et al. Cultivar and spacing effects on transmission of *Phytophthora parasitica* in an ebb-and-flow subirrigation system. **Plant Disease**, Davis, v. 81, n. 1, p. 89-95, 1997.

TEIXEIRA, A. H. C. et al. Estimativa do consumo hídrico da goiabeira, utilizando estações agrometeorológicas automática e convencional. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 25, n. 3, p. 457-460, 2003.

TEIXEIRA, P. T. L. et al. Desenvolvimento vegetativo de porta - enxertos de citros produzidos em diferentes recipientes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1695-1700, 2009.

TOLEDO, A. R. M. **Efeito de substratos na formação de mudas de laranjeira (*Citrus sinensis* (L.) OSBECK cv. Pêra Rio) em vaso**. 1992. 88 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1992.

TOSHIKI, A. M. et al. Spatial distribution of ions in groundwater under agricultural land. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Newark, v. 130, n. 6, p. 468, 2004.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

WALLER, P. L.; WILSON, F. N. Evaluation of growing media for consumer use. **Acta Horticulturae**, Leuven, n. 150, p. 51-58, 1984.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. 165 p.