

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Desenvolvimento de mudas de cafeeiro cultivadas em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico**

**Kelte Resende Arantes**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de concentração:  
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba  
2007**

**Kelte Resende Arantes**  
**Engenheiro Agrícola**

**Desenvolvimento de mudas de cafeeiro cultivadas em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico**

Orientador:  
Prof. Dr. **JOSÉ ANTÔNIO FRIZZONE**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutor em Agronomia. Área de concentração:  
Irrigação e Drenagem

**Piracicaba**  
**2007**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Arantes, Kelte Resende

Desenvolvimento de mudas de cafeeiro cultivadas em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico / Kelte Resende Arantes. -- Piracicaba, 2007.

78p. : il.

Tese (Doutorado) -- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.  
Bibliografia.

1. Café 2. Cultivo em tubete 3. Instrumento de medida 4. Irrigação --  
manejo 5. Mudas I. Título

CDD 633.73

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

*Aos meus pais, Reni Alves Arantes e Maria de São José Arantes, à minha querida tia, Mônica Alves Resende Gomes, e aos meus irmãos, Kilder Alves Arantes e Karen Alves Arantes,  
ofereço.*

*À minha doce e amada esposa, Sayonara Andrade do Couto Moreno Arantes,*

*dedico.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por colocar em meu caminho oportunidades e ao meu lado pessoas generosas, que me estenderam a mão nos momentos em que precisei;

À Universidade de São Paulo (USP) e Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), pela oportunidade de cursar o Doutorado;

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq), pela concessão da bolsa e financiamento do projeto de pesquisa;

Ao Professor Dr. José Antônio Frizzzone, pela orientação, paciência, e amizade demonstrada;

Ao Professor Dr. Tarlei Arriel Botrel, pela amizade, apoio e conhecimentos compartilhados;

Ao Dr. Tadeu Miranda de Queiroz, meu grande amigo e colega da vida acadêmica, pelos conhecimentos compartilhados;

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Rural, com os quais tive oportunidade de conviver, pelos conhecimentos compartilhados;

Ao amigo e Doutorando Ronaldo Antônio dos Santos, pelo apoio na execução do experimento;

Aos amigos e Engenheiros Osvaldo Rettore Neto, Áureo Santana de Oliveira e Juarez Renó do Amaral, pelo apoio no desenvolvimento do sistema de automação;

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ, em especial aos Técnicos Hélio de Toledo Gomes e Gilmar Batista Grigolon, às Secretárias Davilmar Aparecida D. Collevatti, Sandra Regina T. Silveira Mello e Beatriz Regina Duarte Novaes, bem como ao Srs. Antônio Agostinho Gozzo;

Aos colegas do curso de Mestrado e Doutorado em Irrigação e Drenagem, pelas sugestões e conhecimentos compartilhados;

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente neste trabalho

**“Que ninguém se engane, só se consegue a simplicidade através de muito trabalho.”**

*Clarice Lispector*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	8
ABSTRACT .....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1 Revisão Bibliográfica .....	12
2.1.1 Sistemas de produção de mudas de cafeeiro .....	12
2.1.2 Produção de mudas em tubetes.....	14
2.1.3 Irrigação na produção de mudas de cafeeiro .....	18
2.1.4 Manejo da irrigação na produção de mudas de cafeeiro .....	20
2.2 Material e métodos .....	23
2.2.1 Localização do experimento.....	23
2.2.2 Delineamento experimental.....	24
2.2.3 Sistema de irrigação.....	25
2.2.4 Manejo da irrigação .....	26
2.2.4.1 Sistema Automático de Manejo da Irrigação (SAMI).....	27
2.2.4.2 Lisímetros .....	27
2.2.4.3 Unidade de Amplificação e Conversão de Sinais (UAC).....	29
2.2.4.4 Unidade de Controle do Fluxo de Sinais (UCF) .....	32
2.2.4.5 Central de Controle (CC).....	34
2.2.4.6 Software de controle.....	35
2.2.4.7 Unidade de Acionamento (UA).....	38
2.2.5 A cultura .....	39
2.2.6 Variáveis analisadas .....	40
2.2.7 Caracterização do substrato.....	40
2.2.8 Adubação .....	41
2.3 Resultados e discussão .....	43
2.3.1 Desempenho do Sistema Automático de Manejo da Irrigação (SAMI).....	43
2.3.1.1 Sensibilidade do SAMI.....	43
2.3.1.2 Determinação da equação de calibração dos lisímetros .....	44

	7
2.3.1.3 Desempenho do sistema .....	48
2.3.1.4 Desempenho do Basic Step .....	51
2.3.1.5 Comportamento do Software.....	52
2.3.2 Desenvolvimento das mudas .....	52
2.3.2.1 Altura do ramo ortotrópico .....	52
2.3.2.2 Diâmetro do ramo ortotrópico (DRO).....	57
2.3.2.3 Área Foliar (AF) .....	61
2.3.2.4 Peso seco da parte aérea das mudas (PPA) .....	65
2.3.2.5 Peso seco do sistema radicular (PSR).....	68
3 CONCLUSÕES .....	73
REFERÊNCIAS .....	74

## RESUMO

### **Desenvolvimento de mudas de cafeeiro cultivadas em tubetes e submetidas a diferentes níveis de déficit hídrico**

A cafeicultura é uma atividade de grande importância no cenário sócio-econômico do Brasil, movimentando bilhões de dólares todos os anos e gerando milhares de empregos diretos e indiretos. O sucesso no cultivo de lavouras cafeeiras depende da observação de diversos cuidados, dentre os quais, a escolha de mudas com bom potencial genético, sadias e vigorosas. A utilização de sacos de polietileno como recipiente para o substrato na produção de mudas de cafeeiro apesar de tradicional, vêm perdendo espaço para os tubetes de polietileno rígido. Apesar das vantagens que os tubetes apresentam, como possibilidade de mecanização do enchimento e plantio, reutilização dos recipientes e menor quantidade de mão-de-obra utilizada, estes necessitam de substrato com características diferenciadas. Devido a isto, na produção de mudas em tubetes é necessária a utilização de um método de irrigação de alta eficiência, assim como de um manejo adequado para este. Há relatos na literatura atual mostrando a inadequação dos métodos de irrigação, empregados na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. A utilização de uma irrigação inadequada pode gerar problemas no desenvolvimento da cultura, seja por deficiência hídrica, umidade excessiva do meio de crescimento, ou por propiciar o aparecimento e propagação de doenças relacionadas. Frente a esta necessidade, pretendeu-se com este trabalho gerar informações que orientem os produtores no manejo adequado da subirrigação na produção de mudas de cafeeiro em tubetes, determinando as implicações envolvidas na utilização deste método. O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação na área experimental do Setor de Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, no município de Piracicaba-SP. As mudas utilizadas no experimento foram de cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho, variedade LCH-2077-2-5-99. O método de irrigação utilizado foi por subirrigação. O controle da irrigação foi realizado a partir da variação de peso dos tubetes com as mudas, devido a perda de água por evapotranspiração. No processo de controle dos pesos foram utilizadas células de carga, que monitoraram a variação de peso de um conjunto de tubetes denominado conjunto controle. O delineamento experimental foi em Blocos aleatorizados com quatro repetições. Os tratamentos avaliados foram cinco níveis de depleção da máxima capacidade de retenção de água (MCRA) apresentada pelo substrato (15%, 30%, 45%, 60% e 75% da MCRA). As parcelas foram constituídas por 32 tubetes. Para se quantificar os efeitos dos tratamentos foram avaliados mensalmente as seguintes características das mudas: Altura do ramo ortotrópico, diâmetro do ramo ortotrópico, área foliar, bem como os valores de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. A subirrigação manejada por lisimetria foi considerado tecnicamente viável, para produção de mudas de cafeeiro em tubetes. O sistema automático de manejo da irrigação, se mostrou adequado para monitorar e controlar a irrigação. Os níveis de depleção acima de 45% se mostraram limitantes ao desenvolvimento das mudas, sendo nível de depleção de 27% considerado ideal.

Palavras-chave: Irrigação; Lisímetro; Manejo

## ABSTRACT

### **Development of coffee seedlings cultivated in plastic tubes and submitted at different levels of hydric deficit**

Coffee production is a very important activity in the socioeconomic context in Brazil, which makes billion of dollars go around the economy every year generating thousands of direct and indirect jobs. The success in the coffee production depends on the observation of several needs, among others the choice of healthy and vigorous seedlings with good genetic potential. The use of sacks of polyethylene as a container for the substrate in the production of coffee seedlings is traditional, nevertheless are losing space for the plastic tubes. Despite some advantages of plastic tubes like the possibility of mechanization of filling and planting, the reuse of the containers and the smaller number of employees demanded in the production, the plastic tubes need substrate with special characteristics. In the production of coffee seedlings in plastic tubes is necessary the use of irrigation of high efficiency, as well as appropriate manipulation. There are reports in the literature showing a lack of suitability of the irrigation methods in the production of coffee seedlings in plastic tubes. The use of inadequate irrigation methods can cause problems in the culture development, due to hydric deficiency, excessive moisture, or for fostering the appearance and propagation of diseases. On the basis of these aspects, the objective of this work was to generate information to guide the producers in an appropriate handling of the sub-irrigation in the coffee seedling production in plastic tubes, determining the involved implications in the use of that method. The experiment was carried out in a greenhouse in an experimental area of the Irrigation and Drainage Section of the Rural Engineering Department of the Superior School of Agriculture “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, in the city of Piracicaba, São Paulo State. The seedlings used in the experiment were coffee plants of the species *Coffea arabica* cv. Catuaí Vermelho, variety LCH-2077-2-5-99. The irrigation method used was by sub-irrigation. The irrigation control was done according to the weight variation of the plastic tubes with the seedlings, due to the loss of water by evapotranspiration. In the control process of the weights were used load cells, which monitored the weight variation of a group of plastic tubes, denominated control group. The experimental design was in randomized blocks with four replications. The evaluated treatments had five levels of depletion of the maximum capacity of water retention (MCRA) presented by the substrate (15%, 30%, 45%, 60% and 75% of the MCRA). The plots were constituted of 32 plastic tubes. To quantify the effects of the treatments were monthly measured the following characteristics of the seedlings: Height of the orthopic brach, diameter of the orthopic branch, leaf area, as well as the values of dry matter of the aerial part and radicular system. The handling of sub-irrigation by lysimeter was technically viable for the production of coffee seedlings in plastic tubes. The automatic system for handling the irrigation was adequate to monitor and control it. The levels of depletion above 45% limited the development of seedlings, however the depletion of 27% was considered ideal.

Keywords: Irrigation; lysimeter; handling

## 1 INTRODUÇÃO

O café é atualmente uma das culturas mais importantes no cenário econômico nacional, tendo movimentado cerca de oito bilhões de reais na safra 2005/2006, dos quais aproximadamente cinco bilhões somente em exportações. O Brasil se encontra na posição de maior produtor, maior exportador e segundo maior consumidor mundial de café, produzindo cerca de 33 milhões de sacas na safra 2005/2006, além de exportar 21 milhões de sacas e consumir internamente 14 milhões de sacas neste mesmo período (ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL, 2006). Estas características tornam a exploração da cultura do café um negócio atrativo e competitivo. A necessidade do setor cafeeiro em aumentar a eficiência produtiva, diminuindo seus custos de produção, gera uma procura constante por novas tecnologias.

O sucesso na implantação de uma lavoura cafeeira depende da observação de vários fatores, dentre os quais a escolha de mudas com elevado potencial genético, sadias, bem desenvolvidas e aclimatadas. Para se obter mudas nessas condições é imprescindível a observação dos cuidados necessários à produção no viveiro, pois somente dessa forma será possível a formação de lavouras uniformes, com boa produção inicial e rendimento por área.

No Brasil a produção de mudas é realizada principalmente pelo sistema que utiliza sacos de polietileno como recipiente para o substrato onde se desenvolve a muda. Apesar deste sistema ser largamente utilizado, ele apresenta alguns inconvenientes como, maior necessidade de espaço tanto na produção quanto no transporte das mudas, menor rendimento no plantio e necessidade de maior volume de substrato. Com o intuito de superar as limitações deste sistema, surgiu o sistema de produção de mudas utilizando tubetes de polietileno rígido.

A produção de mudas em tubetes com substrato adequado visa obter mudas com sistema radicular bem desenvolvido, livre de pragas, doenças e plantas daninhas, além de utilizar menor espaço físico.

Apesar das vantagens apresentadas pela produção de mudas em tubetes, esse sistema exige a utilização de um substrato com características diferenciadas do utilizado no sistema tradicional. Essa exigência em relação ao substrato está ligada ao volume disponível para o desenvolvimento da muda, que no sistema em tubetes é menor. Sendo assim, os substratos utilizados devem apresentar elevada porosidade para possibilitar às mudas uma maior eficiência

nas trocas gasosas ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ). Ao mesmo tempo, devem apresentar também boas características de retenção de água para suprir as necessidades hídricas da muda. Outra limitação no uso dos tubetes na produção de mudas de cafeeiro está relacionada com o método de irrigação empregado, bem como com o manejo adequado da irrigação. Na literatura atual há relatos sobre a inadequação do método de irrigação por microaspersão, tradicionalmente empregado, para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes.

A utilização de uma irrigação inadequada pode gerar problemas no desenvolvimento da cultura por deficiência hídrica ou por umidade excessiva do meio de crescimento. A umidade excessiva pode ainda propiciar o aparecimento e propagação de doenças, como por exemplo o “Damping off”.

A opção pela produção de mudas em tubetes pode proporcionar uma considerável elevação na eficiência do sistema produtivo da cultura do cafeeiro. Em primeira instância, para o produtor de mudas de cafeeiro, que terá uma redução tanto nos custos fixos (devido à menor demanda de área na produção e no transporte) quanto nos custos variáveis (devido à menor necessidade de mão-de-obra e ao reaproveitamento dos tubetes), e em segunda instância, para o produtor de café, o qual poderá replantar suas lavouras com menor custo (devido ao menor custo das mudas e à possibilidade de mecanização do plantio). Para tanto, é indispensável o pleno conhecimento das necessidades intrínsecas a este sistema de produção (necessidades nutricionais, hídricas, ambientais, etc), visto que estas são reconhecidamente diferentes daquelas apresentadas pelo sistema tradicional de produção de mudas de cafeeiro.

Perante esta realidade tem-se como objetivos deste trabalho:

Geral:

- Analisar a viabilidade técnica de um sistema de irrigação por subirrigação, manejado por lisimetria, na produção de mudas de cafeeiro em tubetes.

Específicos:

- Desenvolver um sistema automatizado de manejo para a subirrigação de mudas de cafeeiro em tubetes;
- Determinar o nível ideal de depleção, da máxima capacidade de retenção de água do substrato, a ser adotado na produção de mudas de cafeeiro em tubetes.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 Revisão Bibliográfica**

#### **2.1.1 Sistemas de produção de mudas de cafeeiro**

Na implantação da lavoura cafeeira, vários são os fatores que contribuem para o seu sucesso, dentre os quais, a produção de mudas sadias e bem desenvolvidas, principalmente tratando-se de uma cultura perene como o cafeeiro (SILVA; CARVALHO; ROMANIELLO, 2000).

Para Melo, Mendes e Guimarães (2001), além de sementes provenientes de linhagens com características desejáveis, deve-se ter cuidado na escolha e no preparo do substrato. Segundo Guimarães (1995) a nutrição adequada é outro fator que interfere na produção de boas mudas, podendo inclusive diminuir o tempo de permanência destas no viveiro.

As falhas na escolha da semente e na formação da muda causam desenvolvimento irregular do cafezal, atraso no início da fase produtiva e redução do rendimento da cultura (GUIMARÃES et al., 1989).

Diversas pesquisas apontam que a longevidade da planta, aspecto desejável por se tratar de uma cultura perene, depende da qualidade da muda plantada (FALCO et al., 1997; MORII et al., 1997; THEODORO et al., 1997).

A produção de mudas de cafeeiro pode ser realizada por diferentes métodos de propagação, sendo utilizada multiplicação sexuada ou assexuada. No método sexuada, obtêm-se mudas oriundas de semeadura direta ou indireta, sendo a semeadura indireta, realizada em caixas de areia, com posterior repicagem. Na multiplicação assexuada, a muda é produzida a partir de estacas ou de microestacas obtidas, respectivamente, de ramos ortotrópicos e gemas induzidas, conduzidas em viveiros sob microaspersão (MATIELLO; BARROS, 1991).

Na utilização de mudas formadas a partir de sementes, faz-se necessário que esse material seja adquirido com extremo cuidado em propriedades registradas, de modo que se possa comprovar sua origem. A necessidade desta comprovação está ligada à qualidade das mudas e a sanidade das mesmas, principalmente com relação à isenção de nematóides e a defeitos na formação do sistema radicular (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002).

A forma usual para produção de mudas de cafeeiros é a utilização de um substrato composto de 70% de solo e 30% de esterco de bovinos, enriquecido com adubos químicos e acondicionados em sacos plásticos (polietileno) (GONÇALVES, 2005). Esses podem ter dimensões de 10 a 12 cm de largura, por 20 a 22 cm de comprimento para “mudas de meio ano” e cerca de 15 cm de largura por 25 cm de comprimento para “mudas de ano”. Esses recipientes são providos de furos (pelo menos 36 por recipiente), na metade inferior, para drenagem (GUIMARÃES; MENDES; SOUZA, 2002).

Segundo Gualberto et al. (2000), a produção de mudas de cafeeiro em sacos de polietileno apresenta como desvantagens: dificuldade de operação no viveiro, menor rendimento no transporte e maior quantidade de substrato. Outras desvantagens na utilização de sacos de polietileno na produção das mudas são o “envelopamento” das raízes no fundo do saquinho e dificuldades na distribuição das mudas pelo campo durante o plantio (CAMPINHOS; IKEMORI, 1983). Segundo Guimarães et al. (1998) em virtude do referido sistema de produção de mudas apresentar tais desvantagens, a geração de novas tecnologias tornou-se necessário.

Em virtude desta necessidade, diversos tipos de recipientes foram testados com o objetivo de definir quais possuem características próximas das ideais para a produção de mudas. Dentre estes recipientes pode-se citar os tubetes de polietileno (CAMPOS, 2002) e espuma fenólica (MATIELLO; BARROS; BARBOSA, 2000a).

O tubete de polietileno mostrou-se como boa opção para superar as limitações apresentadas pelo sistema tradicional de produção de mudas (saco plástico), pois segundo Costa, Gonçalves e Guerreiro Filho (2000) ele apresenta como vantagens: economia de espaço na produção e no transporte, maior qualidade (mudas mais uniformes) e maior segurança no que diz respeito à introdução de nematóides parasitas nas áreas de plantio. Segundo Campos (2002), quando se comparam sacos e tubetes de polietileno na produção de mudas, é possível enumerar vários aspectos positivos na utilização de tubetes, dentre eles estão a possibilidade de mecanização do enchimento com substrato, o reaproveitamento do recipiente e sistema radicular mais compacto e estruturado (menos susceptível a lesões no manuseio, transporte e plantio).

### 2.1.2 Produção de mudas em tubetes

Segundo Campinhos Júnior e Ikemori (1983), um bom recipiente apresenta as seguintes funções: i) **Biológicas**: conter substratos que permita bom crescimento e nutrição de raízes, proteger as raízes de danos mecânicos e desidratação, promover formação do sistema radicular e garantir o bom crescimento inicial da muda no campo; ii) **Operacionais**: serem uniformes e facilmente manuseáveis no viveiro, no transporte e no plantio, além de possibilitarem mecanização no enchimento, na semeadura e no plantio.

Faria (1999) relata que os tubetes surgiram durante a década de 70, com o aumento do interesse em diversas espécies de eucalipto nos EUA, o que fez com que os técnicos desenvolvessem novos recipientes para a produção de mudas. Foram elaborados vários modelos de recipientes em forma de tubos plásticos, levemente cônicos e de várias dimensões. No Brasil estes recipientes só começaram a ser utilizados na década de 80, como descrito por Simões (1987). O autor relata que na época houve a substituição do saquinho plástico pelo tubete na formação de mudas de empresas florestais brasileiras. Segundo Andrade Neto (1998), na década seguinte, o mesmo ocorreu na produção de mudas de olerícolas, frutíferas (citrus e maracujá) e mais tarde de cafeeiros.

Algumas vantagens técnicas do sistema de tubetes para a formação de mudas de essências florestais são citadas por Simões (1987), entre as quais destacam-se: formação do sistema radicular sem enovelamento, crescimento inicial das mudas mais rápido (logo após o plantio), facilidades operacionais como: maior rendimento no transporte das mudas (5 a 6 vezes) e maior rendimento no plantio (2 a 2,5 vezes) quando comparado com o sistema de sacos plásticos.

A produção de mudas em tubetes com substratos esterilizados, sob telados instalados a certa altura do solo, é usada em vários pólos citrícolas e em alguns pólos cafeeiros no Brasil (ANDRADE NETO, 1998). Segundo Lima (1986) este sistema facilita o isolamento do viveiro, a proteção contra nematóides e outras doenças do solo, o controle de pragas e doenças da parte aérea, além de preservar a integridade do sistema radicular durante a fase de produção das mudas. Outra vantagem da produção de mudas em tubetes é o fato destes ficarem suspensos a uma altura que facilita as condições de trabalho dos operários (VICHATO, 1996). Segundo Melo (1999) na produção de mudas de cafeeiro em tubetes é possível a permanência das mudas nesse recipiente

por até um ano, sem risco de enovelamento das raízes, permitindo desta maneira um maior período de aproveitamento das mudas.

Vários trabalhos comparando diferentes recipientes na produção de mudas de cafeeiro foram desenvolvidos e levam a concluir que quando os tubetes são utilizados de forma correta, as mudas produzidas neste sistema apresentam desenvolvimento igual ou até mesmo superior as produzidas em sacos de polietileno (sistema tradicional).

No trabalho desenvolvido por Matiello, Barros e Barbosa (2000b), foi estudada a influência de três recipientes (sacos plásticos, espuma fenólica e tubetes) no desenvolvimento das mudas de cafeeiro. Os autores concluíram que sob condições adequadas de umidade, as plantas apresentaram crescimento semelhante em todos os recipientes utilizados.

Carvalho, Melo e Reis (2001) compararam o desenvolvimento de mudas produzidas em sacos plásticos e em tubetes, avaliando as mudas do 1º ao 6º par de folhas quanto às características de crescimento. Estes autores verificaram que após o quarto estágio de desenvolvimento as mudas produzidas em tubetes apresentaram superioridade para todas as características avaliadas.

Falco et al. (1997) avaliaram a resistência de mudas de cafeeiro, produzidas em sacos plásticos, tubetes e raiz nua, submetidas a diferentes déficits hídricos. Após 120 dias de transplântio, a massa seca de raiz e parte aérea das mudas produzidas em tubetes foram superior às produzidas em sacos plásticos e raiz nua.

Outro estudo comparando a produção de mudas de cafeeiro em sacos plásticos e tubetes foi desenvolvido por Matiello, Barros e Barbosa (2000b), sendo as mudas plantadas em condições de campo e em vasos. Segundo os autores, as mudas de tubetes tiveram um desempenho apenas ligeiramente menor em relação às mudas de sacos, tanto em condição de campo como em vasos.

Apesar das vantagens citadas anteriormente com relação à produção de mudas de cafeeiros em tubetes, é necessário o conhecimento das exigências deste sistema no tocante ao método de plantio, substrato, adubação e método de irrigação utilizado.

O método de plantio utilizado na produção de mudas de cafeeiro em tubetes é o de semeadura indireta, com posterior repicagem. Segundo Melo, Mendes e Guimarães (2001), neste tipo de semeio as sementes devem ser colocadas em germinadores de areia até atingirem o estágio de germinação epígea (“palito de fósforo”) ou logo que as folhas cotiledonares se

desprenderem do endosperma (estádio de “orelha de onça”), para só então ser realizada a repicagem nas mudas e o replantio no substrato definitivo. Segundo os mesmos autores a utilização deste tipo de semeadura exige cuidados, principalmente no tocante ao treinamento da mão-de-obra empregada. Eles citam ainda que erros neste procedimento levam à má formação do sistema radicular da cultura (“pião torto” ou “garfo”), o que pode comprometer a futura lavoura. Matiello, Silva e Dallora (1998), estudando a pré-germinação de sementes de cafeeiro para formação de mudas em tubetes, verificaram que “canteiros” de tubetes que receberam o transplante das sementes pré-germinadas no estágio de emissão inicial de raiz, apresentaram mudas com a base do caule torta, engrossada, com pequenas raízes e número elevado de “piões tortos” sem raiz principal predominante. Os autores indicam a preferência para o semeio direto de sementes devidamente selecionadas pelo seu tamanho, ou usar a pré-germinação no estágio anterior à emissão da radícula, ou ainda o transplante em estágio “palito de fósforo”.

No cultivo em recipientes, as relações entre o sistema radicular e o substrato são alteradas, o que faz com que a escolha do mesmo seja um fator de extrema importância.

O substrato ou meio de crescimento é o material ou mistura de materiais utilizados para o desenvolvimento da semente, da muda ou de estaca, sustentando e fornecendo nutrientes para a planta, podendo ser de origem vegetal, animal ou mineral. É composto de uma parte sólida (partículas minerais e orgânicas), contendo poros que são ocupados por água e ar (ANDRADE NETO, 1998).

Segundo Hartman e Kester (1994) é necessário que os substratos utilizados na produção de mudas em tubetes apresentem composição uniforme, retenção suficiente de umidade para o crescimento das plantas ao mesmo tempo em que drenem o excesso de água, elevada capacidade de troca de cátions, isenção de pragas e doenças, organismos patogênicos e de sementes estranhas.

Atualmente existem no mercado substratos comerciais compostos de vermiculita, casca de pinus, bagaço de cana fermentado e húmus de minhoca (SILVA JÚNIOR; MACEDO; STUKER, 1995). O substrato comercial Plantmax<sup>®</sup> é um exemplo de produto que está sendo utilizado para a formação de mudas de eucalipto, pinus, citrus, maracujazeiro, olerícolas e também cafeeiro. Possui boas características físicas, mas necessita da complementação de nutrientes por meio da aplicação de solução química (LOPES, 1996). Outro substrato comercial utilizado na produção de mudas de cafeeiro é o Rendmax<sup>®</sup>, que segundo Campos (2002) é um produto compostado e

estabilizado em que a composição é feita utilizando-se cascas processadas e enriquecidas, vermiculita expandida e turfa processada. Souza et al. (2001) concluíram que Rendmax<sup>®</sup>, adubado com Osmocote, proporcionou uma produção de mudas de cafeeiro com excelente aspecto vegetativo, tornando-se uma opção viável. Andrade Neto (1998) testou fontes de matéria orgânica em diferentes proporções na produção de mudas de café em tubetes, como o esterco curtido de bovinos, o esterco curtido de galinhas criadas em gaiolas, o húmus de minhocas ou vermicomposto, a torta de filtro curtida e a moinha de café curtida (resíduo de café da máquina de beneficiamento). Estas fontes foram então comparadas com o substrato inerte Plantmax<sup>®</sup>-café + Osmocote. Segundo o autor, apesar do esterco de bovinos, adubado com Osmocote ter apresentado maiores valores das características avaliadas, o substrato Plantmax<sup>®</sup>-café + Osmocote foi adequado para a produção de mudas de cafeeiro.

Segundo Kampf (2002) o uso de substratos sem solo mineral surge como uma alternativa para eliminar a necessidade do uso de biocidas, como o brometo de metila, substância que contribui para a destruição da camada de ozônio e que na agricultura foi muito utilizado para exterminar organismos patogênicos do solo e propágulos de plantas daninhas. Considerando que os substratos comerciais não necessitam de expurgo e que a sua utilização elimina o risco de contaminação das lavouras por nematóides, estes podem ser considerados uma boa opção na produção de mudas de cafeeiros, pois apesar de não serem os substratos que proporcionam o maior desenvolvimento destas, eles se mostram adequados à produção de mudas, como demonstrado por Andrade Neto (1998).

A adubação utilizada na produção de mudas de cafeeiros em tubetes também é diferenciada da utilizada no sistema tradicional.

A adubação tradicionalmente usada no substrato “padrão” (substrato composto de 70% de solo e 30% de esterco de bovinos) para produção de mudas de cafeeiro é de 1 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (5 kg de superfosfato simples) e 0,6 kg de K<sub>2</sub>O (1 kg de cloreto de potássio) por m<sup>3</sup> de substrato (ANDRADE NETO, 1998).

Segundo Campinhos Júnior e Ikemori (1983) para a produção de mudas em tubetes os substratos com predominância de materiais, como terra ou areia, são inadequados, face ao seu peso e desagregação, bem como por não serem estéreis.

Os substratos comerciais disponíveis para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes, apesar de adequados (ANDRADE NETO, 1998; SOUZA et al., 2001) não possuem uma

formulação básica que seja suficiente para fornecer nutrientes durante todo o ciclo da muda, em função da lixiviação de nutrientes. Por isso tem-se utilizado como complemento nutricional fertilizante de liberação controlada (Osmocote), em que os grânulos, constituídos por uma mistura de macro e micronutrientes solúveis, são revestidos por uma resina de material orgânico que controla a liberação dos nutrientes em função da umidade e temperatura do substrato, por um período de três a seis meses (SILVA; CARVALHO; ROMANIELLO, 2000).

Melo (1999) avaliou o efeito de doses crescentes de Osmocote em mudas de cafeeiro utilizando substrato comercial. Segundo o autor a dose de 8,18 g de Osmocote, formulação 15-10-10 + micronutrientes, por litro de substrato, apresentou o melhor desenvolvimento das mudas. Por outro lado Silva, Carvalho e Romaniello (2000) recomendam a dose de 5,45 g de Osmocote na mesma formulação, para um volume de substrato idêntico. Carvalho, Melo e Reis (2001), avaliando doses de Osmocote na produção de mudas de cafeeiro, concluíram que no caso de Plantmax<sup>®</sup>, a dose entre 7,5 a 9,5 g. por litro de substrato, apresentou melhor desempenho.

Segundo Silva, Carvalho e Romaniello (2000) depois de aplicado o Osmocote, o vapor d'água do substrato penetra na resina, dissolvendo os nutrientes do interior, que vão sendo liberados de forma gradual, dependendo da temperatura. Quando a temperatura é superior a 21 °C, a liberação é mais rápida e, conseqüentemente, causa menor longevidade ou efeito residual do adubo. Portanto, apesar dos resultados obtidos com a utilização do Osmocote na nutrição de mudas de cafeeiros, é importante entender que seu desempenho dependerá das condições ambientais.

### **2.1.3 Irrigação na produção de mudas de cafeeiro**

Os vegetais são freqüentemente expostos a variadas condições ambientais, as quais afetam os processos de crescimento, desenvolvimento e produção. Dentre os fatores que provocam danos às plantas, o déficit hídrico é, provavelmente, o que mais limita a produtividade, pois além de afetar as relações hídricas das plantas, alterando-lhes o metabolismo, é um fenômeno de ocorrência em grandes extensões de áreas cultivadas (MARTIM, 2003).

Geralmente, a deficiência hídrica nas folhas ocorre quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção de água, e esta deficiência pode ser um componente de variados estresses, como por exemplo, a baixa disponibilidade hídrica do solo, solos salinos ou temperaturas muito

elevadas (BRAY, 1997). Segundo Hu e Schmidhalter (1998), o estresse hídrico afeta uma variedade de processos bioquímicos e fisiológicos, alterando desde a taxa fotossintética até a síntese de proteínas e acúmulo de solutos. Entretanto, a extensão e a natureza dos efeitos da deficiência hídrica nas plantas ocorrem em função da intensidade e duração do estresse, bem como da capacidade genética das espécies em produzir neste ambiente.

Bray (1997) afirma que as respostas das plantas ao déficit hídrico dependem da espécie e genótipo, da duração e severidade da perda de água, da idade e estágio de desenvolvimento, do órgão e tipo de célula, bem como do compartimento subcelular.

O cafeeiro é uma espécie de relativa tolerância à seca em função da estabilidade de vários parâmetros fisiológicos permanecerem relativamente constantes dentro de determinada faixa de deficiência hídrica (MARTIM, 2003).

Em relação à parte vegetativa, a deficiência hídrica afeta significativamente a área foliar específica nessa espécie, podendo ser observadas reduções de até 20% em *Coffea arabica* L. (MATTA, 1991). Outros parâmetros relacionados ao crescimento vegetativo, como altura da planta, diâmetro do colo, número de ramos plagiotrópicos, matéria seca de raízes e parte aérea, também são influenciados pela disponibilidade hídrica, apresentando maiores valores em condições de maiores lâminas de água (GERVÁSIO; LIMA, 1998; VILELA et al., 2002).

Para que o cafeeiro possa apresentar seu máximo potencial de desenvolvimento e produção, é necessário que este tenha água de qualidade, facilmente disponível, desde a fase de muda até a fase de lavoura em plena produção. Para tanto é imprescindível que na produção das mudas se utilize um sistema de irrigação adequado, bem como um manejo eficiente desta irrigação.

Segundo Silva, Carvalho e Romaniello (2000) o sistema de irrigação para a produção de mudas de cafeeiros em tubetes deve ser constituído de uma tubulação suspensa sobre os canteiros, utilizando-se microaspersores do tipo bailarina (invertidos ou não), com bocal de 104 L.h<sup>-1</sup>, espaçados de 4 x 2 m. Segundo os autores, nessas condições haverá uma boa uniformidade de distribuição de água, que será aplicada com uma intensidade de 13 mm.h<sup>-1</sup>.

A utilização de micro aspersão na produção de mudas de cafeeiro em tubetes tem sido um método muito aceito, sendo inclusive utilizado em várias pesquisas, como por exemplo: Andrade Neto (1998), Campos (2002), Gervásio (2003), Costa (2004), Gonçalves (2005). Apesar da grande aceitação deste método, há relatos na literatura sobre baixa uniformidade de distribuição

da água, no substrato das mudas. Gervásio (2003), trabalhando com mudas de cafeeiro irrigadas por microaspersão, relata ter encontrado um elevado coeficiente de uniformidade no momento em que a água atingiu o dossel das plantas (com coeficiente de variação médio de 9,5%), porém o valor deste coeficiente caiu drasticamente quando a água atingiu o interior dos tubetes (com coeficiente de variação de 32,8%). O mesmo autor sugere ainda o estudo da subirrigação na produção de mudas de cafeeiros em tubetes.

#### **2.1.4 Manejo da irrigação na produção de mudas de cafeeiro**

Os trabalhos realizados com mudas de cafeeiro produzidas em tubetes, contemplam em sua maioria, o estudo de tipos de substratos e doses de fertilizantes, sendo o manejo da irrigação pouco estudado.

Na utilização de tubetes para o cultivo de plantas são necessários cuidados especiais, principalmente no tocante ao manejo da irrigação, pois como o volume de substrato é limitado, as frequências de irrigações serão maiores e o risco de salinização também. Milner (2002) relata ser necessária a utilização de um fator de lixiviação no manejo da irrigação em substratos, a fim de evitar o acúmulo de sais no sistema. Abad et al (1992) comentam que a irrigação em recipientes deve ser feita com excesso, visando conseguir boa uniformidade de distribuição de água no substrato e evitar o acúmulo de sais. Segundo os mesmos autores este excesso deve oscilar entre 10 e 30% da drenagem, em função do estágio de desenvolvimento da cultura, da época do ano e da qualidade de água utilizada na irrigação.

Para Wendling e Gatto (2002) o tipo de substrato utilizado na produção de mudas é de fundamental importância na determinação da frequência de irrigação e da lâmina a ser aplicada.

Segundo Carneiro (1995) na produção de mudas em recipientes de pequenas dimensões, as irrigações deverão ser realizadas com maior frequência, pois em virtude do pequeno volume de substrato existente, o processo de lixiviação ocorre rapidamente, carregando consigo os íons fertilizantes. Em consequência disto, a água de irrigação deverá conter nutrientes para suprir as necessidades da planta. Porém segundo Gervásio (2003) exceto nos períodos de germinação das sementes e enraizamento das estacas, uma irrigação frequente e de baixa intensidade, não é tão eficaz quanto uma aplicação prolongada e em intervalos maiores de tempo. Conforme relata o

mesmo autor, irrigações freqüentes molham somente alguns centímetros da camada superficial do substrato, resultando em maior perda por evaporação, principalmente em dias quentes.

Carneiro (1995) recomenda que após a semeadura, a camada superficial do substrato deve ser mantida úmida para favorecer o processo germinativo, porém deve-se evitar o excesso de umidade, o qual favorece a lixiviação de nutrientes e o possível surgimento de doenças como o “Damping-off”, nas fases pré e pós-emergência. Gervásio (2003) ressalta que o excesso de umidade também cria condições desfavoráveis para a circulação de ar no substrato, diminuindo a eficiência do sistema radicular e comprometendo o desenvolvimento da planta, visto que a energia despendida no crescimento da mesma é obtida pelas raízes através da respiração.

Silva, Carvalho e Romaniello (2000) recomendam para irrigação de mudas de cafeeiro, utilizando microaspersores com vazão de  $104 \text{ L.h}^{-1}$ , espaçados de 4 x 2 m, a aplicação em duas frações diárias, de manhã e à tarde, funcionando o sistema por 3 minutos, sendo desta maneira aplicada uma lâmina diária de 1,3 mm.

Guimarães et al. (1998) recomendam para produção de mudas de cafeeiro em tubetes a aplicação de uma lâmina diária de 2,5 mm desde a germinação até a fase denominada “orelha de onça”. A partir desta fase até a retirada da muda do viveiro, os autores recomendam a aplicação de uma lâmina de 4,5 mm por dia.

Silva et al. (1991) verificaram um maior desenvolvimento das mudas de cafeeiro quando submetidas à irrigações diárias de 1,5 mm, durante a fase de germinação até “palito de fósforo”, e de 1,9 mm, durante a fase de “palito de fósforo” até o segundo par de folhas. Do segundo par de folhas até o quarto par de folhas e deste até a retirada das mudas do viveiro, aplicação de uma lâmina de 5,8 e 13,2 mm respectivamente, a cada quatro dias.

As recomendações de manejo da irrigação para mudas de café existentes atualmente na literatura, não consideram as diferenças de condições climáticas existentes entre as regiões produtoras. Este fato talvez esteja relacionado à desconsideração das novas áreas de exploração da cultura, que apresentam clima diferenciado daquelas tradicionalmente produtoras.

Segundo Faria e Rezende (1998) a adoção de técnicas precisas e adequadas para definir o momento de irrigar e a quantidade de água que deve ser aplicada à cultura é essencial para o sucesso do empreendimento. Segundo os mesmos autores, existem diferentes métodos para determinar quando irrigar e quanto aplicar, dentre estes pode-se citar o tanque classe A,

Atmômetros, Tensiômetros, Gravimétricos, Nuclear, Resistência elétrica, Reflectometria, Temperatura da folha, Potencial de água na folha, Resistência estomática (transpiração).

Para Silva et al. (2003) a avaliação do consumo de água de uma cultura é de fundamental importância do ponto de vista agrícola, podendo ser determinada com a utilização de lisímetros. Segundo os mesmos autores, diversas pesquisas ao redor do mundo, como por exemplo, Jensen, Burman e Allen (1990), comparam os valores obtidos pelos modelos de estimativa da evapotranspiração da cultura, com dados lisimétricos. Este fato mostra que a lisimetria é considerada uma boa técnica para se determinar a variação de umidade em um solo ou substrato.

Aboukhaled, Alfaro e Smith (1982) classificou os lisímetros quanto à forma de obtenção dos dados em lisímetros de pesagem e lisímetros de não pesagem, atribuindo maior precisão ao primeiro. Quanto aos de pesagem, esses foram classificados em quatro tipos: sistema mecânico, mecânico com célula de carga eletrônica, célula de carga eletrônica e célula de carga hidráulica.

Gervásio (2003) utilizando um minitanque evaporímetro para realizar o manejo da irrigação em mudas de cafeeiro produzidas em tubetes, concluiu que as lâminas estimadas através do minitanque, ficaram abaixo das necessidades da planta, não apresentando uma boa estimativa da evapotranspiração da cultura. Segundo o autor, o equipamento utilizado responde à demanda atmosférica, mas não é capaz de identificar as condições reais de disponibilidade de água presente no substrato. O autor sugere ainda que o manejo da irrigação seja realizado através de pesagem (lisímetro de pesagem) com a utilização de células de carga, sendo feito um acompanhamento em tempo real da variação do conteúdo de água no substrato.

## 2.2 Material e métodos

### 2.2.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação localizada em uma área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - ESALQ/USP, no município de Piracicaba-SP, cujas coordenadas geográficas são: latitude 22°42’ S, longitude 47°38’ W e altitude de 520 m.

A casa de vegetação na qual foi conduzido o experimento apresentava as seguintes dimensões: comprimento de 22,5 metros (9 segmentos de 2,5 m.), largura de 6,4 metros e pé direito de 3,0 metros. A mesma possuía ainda duas janelas frontais para permitir a circulação de ar e melhorar as condições internas de temperatura. Nas laterais da casa de vegetação existiam cortinas reguláveis que evitam a entrada de água da chuva e a incidência de ventos frios no período do inverno. Na Figura 1 observa-se a casa de vegetação, na qual foi desenvolvida a pesquisa.



Figura 1 - Vista externa da casa de vegetação utilizada no experimento

Para simular as condições de um viveiro de produção de mudas de cafeeiro, a casa de vegetação foi coberta externamente com um filme de polietileno transparente e internamente por

um “sombrite” de 50 % de luminosidade. As laterais da casa de vegetação foi revestidas com uma tela, a fim de se evitar a entrada de insetos, conforme pode ser visualizado na Figura 2.



Figura 2 - Vista interna da casa de vegetação utilizada no experimento

### 2.2.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos aleatorizados com quatro repetições, sendo uma por bloco. A opção pelo delineamento em blocos teve por finalidade garantir o controle local, evitando que haja influência sobre os resultados obtidos, devido ao posicionamento das bancadas dentro da casa de vegetação.

Os tratamentos avaliados foram constituídos de cinco níveis de depleção da máxima capacidade de retenção de água (MCRA) apresentada pelo substrato utilizado na produção das mudas. Os níveis de depleção foram de 15%, 30%, 45%, 60% e 75% da MCRA.

Cada parcela experimental foi representada por uma bancada, sobre a qual foi colocado um conjunto de 32 tubetes. Desta maneira, o experimento foi constituído de vinte (20) bancadas, construídas em madeira com as seguintes dimensões: 1,2 m de altura, 1,8 m de comprimento e 1,0 m de largura. As mesmas se encontravam dispostas em duas fileiras, de 10 bancadas cada, distantes entre si de 1,4 m. Dentro das fileiras as bancadas se encontravam espaçadas entre si de 0,8 m. Para suportar os tubetes, existiam sobre as bancadas, telas metálicas com malha de 0,04 x 0,04 m, soldadas em quadros confeccionados a partir de cantoneiras, conforme apresentado na Figura 3.



Figura 3 - bancadas em madeira e tela metálica

### 2.2.3 Sistema de irrigação

A irrigação foi realizada pelo método de subirrigação, sendo utilizadas para isto bandejas plásticas, fixadas às bancadas através de cintas plásticas. Estas bandejas possuíam 0,15 m de profundidade, 0,30 m de largura e 0,70 metros de comprimento. A reposição de água no substrato foi realizada enchendo-se as bandejas até uma altura de aproximadamente 0,14 m e esvaziando-se as mesmas após o tempo necessário para elevar a umidade aos valores desejados (referente aos níveis de reposição). Cada bandeja atendeu a uma única parcela, simplificando assim o controle dos níveis de irrigação.

À água utilizada na irrigação saiu de um reservatório de suprimento com capacidade de 1 m<sup>3</sup> de água e foi conduzida às bandejas por meio de tubulação em PVC soldável, com diâmetro de 3/4" e um sistema de bombeamento através de bombas hidráulicas, marca Invensys<sup>®</sup>, modelo "Eletrobomba de Drenagem", versão "sem filtro e sem refrigeração", com tensão de alimentação de 220 V e faixa de frequência de 50 à 60 Hz, potência de 32 W e com capacidade de vazão de 1,2 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> para uma altura manométrica de 1 mca. Após as irrigações, a água excedente era retornada ao reservatório de suprimento também por meio de tubulação em PVC soldável, com diâmetro de 3/4" e um sistema de bombeamento idêntico ao de adução, porém independente. Desta maneira, a irrigação era realizada em um circuito fechado. Na Figura 4 pode-se observar a disposição dos reservatórios e das bombas de adução e de drenagem.



Figura 4 - Reservatório e sistema de bombeamento de água

A água de irrigação, contida nos reservatórios, era completada sempre que apresentava uma variação significativa de nível. Esta verificação foi realizada visualmente, uma vez ao dia. O acionamento do sistema de irrigação era realizado automaticamente por um sistema eletrônico, responsável pelo monitoramento da quantidade de água nos tubetes e acionamento do sistema de irrigação.

#### **2.2.4 Manejo da irrigação**

O controle das irrigações aplicadas às mudas constituiu no monitoramento da quantidade de água contida no substrato, e na reposição de uma fração, previamente determinada, desta água, que era perdida por evapotranspiração. Desta forma, após as irrigações, a quantidade de água contida no substrato era igual à máxima que este consegue reter sob livre drenagem. A partir de então era contabilizada a quantidade de água perdida pelo substrato, devido ao processo de evapotranspiração. Quando esta variação atingia o nível de depleção da MCRA determinado como tratamento, era realizada uma nova irrigação, elevando-se novamente a quantidade de água no tubete ao nível máximo (100% da MCRA). A variação da umidade do substrato foi determinada por lisimetria, através de um conjunto de pesagem, constituído de 3 células de carga, que monitoraram o peso de um conjunto de 32 tubetes. Este conjunto de tubetes do lisímetro recebeu o mesmo manejo aplicado às parcelas do respectivo tratamento a que pertencia. Desta forma, para cada tratamento aplicado, existia um lisímetro. Todos os lisímetros estavam posicionados em um mesmo bloco experimental, evitando que diferenças ambientais, devido à

localização dos mesmos dentro da casa de vegetação, influenciem nas diferenças de valores existentes entre os níveis de reposição de água.

#### **2.2.4.1 Sistema Automático de Manejo da Irrigação (SAMI)**

Durante o desenvolvimento da pesquisa surgiu a necessidade de se ter um sistema automático de controle da subirrigação. O sistema ideal para a pesquisa deveria ser capaz de monitorar, em tempo real, a variação de peso dos tubetes com as mudas, resultante da perda de água por evapotranspiração, além de acionar o sistema de irrigação sempre que fosse necessária a reposição de água, conforme tratamentos aplicados. Após uma pesquisa junto ao mercado de sistemas eletrônicos para controle da irrigação, concluiu-se que não havia nenhum sistema que atendesse prontamente as necessidades da pesquisa. Frente a essa realidade, iniciou-se no mês de setembro do ano de 2004 o desenvolvimento de um sistema automático de controle da irrigação, denominado Sistema Automático de Manejo da Irrigação (SAMI). Inicialmente foi determinada a lógica de funcionamento que o sistema deveria atender, em seguida foram pesquisados e escolhidos os componentes necessários ao seu desenvolvimento e após esta etapa, foram elaborados os circuitos e o software que compõem o SAMI.

O sistema era composto por cinco lisímetros, um para cada tratamento aplicado, cinco Unidades de Amplificação e Conversão de Sinais (UAC), uma para cada lisímetro, uma Unidade de Controle do Fluxo de Sinais (UCF), uma Central de Controle (CC) e uma Unidade de Acionamento (UA).

#### **2.2.4.2 Lisímetros**

Para monitor a perda de água das mudas devido à evapotranspiração, foi utilizado um sistema de lisímetros de pesagem com células de carga eletrônicas. Desta maneira, a variação da quantidade de água nos tubetes foi relacionada com a variação da tensão de saída das células de carga utilizadas.

Cada lisímetro foi constituído de três células de carga, marca Alfa instrumentos, modelo GL 10, com capacidade máxima de carga de 10 kg e uma estrutura metálica especialmente desenvolvida para funcionar como base do lisímetro. As estruturas utilizadas como base,

apresentavam as seguintes dimensões: altura de 1,20 m, largura de 0,55 m e comprimento de 1,0 m. Elas possuíam ainda um sistema de nivelamento através de parafusos reguladores, instalados nos pés, que permitiam uma variação de  $\pm 0,05$  m na altura da estrutura, possibilitando assim uma perfeita posição de funcionamento das células de carga. Para suportar os tubetes com as mudas sobre as células de carga, foi construída uma grade, constituída de um quadro feito com cantoneiras metálicas, na qual foi soldada uma tela, também metálica, de malha 0,04 x 0,04 m. A posição de instalação das células de carga na estrutura base do lisímetro foi em formato triangular. Desta maneira, pôde-se garantir que o peso total (tela metálica, tubetes, mudas, substrato e água), estava distribuído somente entre as três células de carga. Na Figura 5 são apresentadas as células de carga e a estrutura que compõem um dos lisímetros utilizados.



Figura 5 - Lisímetro de pesagem utilizando células de carga

### 2.2.4.3 Unidade de Amplificação e Conversão de Sinais (UAC)

As células de carga utilizadas nos lisímetros apresentavam como sinal de saída uma tensão, que era variável em função do peso aplicado sobre elas e da tensão de alimentação. A faixa de variação da tensão na saída das células de carga era de 2,0 mV para cada volt aplicada na sua alimentação, sendo esta feita com 5,0 V. Desta maneira, quando a célula de carga estivesse suportando sua carga máxima (10 kg), o sinal de saída da mesma seria de 10,0 mV.

Como a grade dos lisímetros foi apoiada em três pontos, sendo cada um desses representado por uma célula de carga, o peso total estava distribuído entre as três células. Desta maneira, tinha-se então três diferentes valores de tensão, que somados, originavam o valor de tensão referente ao peso total sobre o lisímetro.

O que se tinha até então, era um valor de tensão, que representava um determinado valor de peso, porém era necessário transformar este valor de tensão, que era um sinal analógico, em um sinal digital, possível de ser entendido pela CC. Para tanto, utilizou-se cinco microcontroladores marca Totto, modelo Basic Step 1 (BS1), com conversor de sinais analógico/digital (AD) de cinco canais, sendo um BS1 para cada lisímetro. Cada microcontrolador recebia, separadamente, o sinal das três células de carga de cada lisímetro, utilizando assim três dos cinco canais do conversor AD. A partir da programação do BS1, os valores recebidos eram então somados e o valor de tensão resultante enviado para a UCF, que por sua vez o retransmitia para a CC.

A associação do microcontrolador com as células de carga utilizadas resultava em uma baixa sensibilidade do sistema, pois o conversor AD apresenta uma resolução de 10 “bits”, ou seja, 1024 ( $2^{10} = 1024$ ) “unidades digitais”, e a faixa de leitura de tensão era de 0 à 5000 mvolts. Com esta relação tinha-se uma resolução de 4,88 mvolts por “unidade digital”. Como as células de carga apresentavam uma faixa de variação de sinal de 0 à 10 mvolts, para uma faixa de variação de peso de 0 à 10000 gramas, tinha-se uma variação de 0,001 mvolts para cada grama de variação do peso sobre uma das três células de carga do lisímetro, porém, considerando-se a distribuição da carga entre as três células, verifica-se que uma célula suporta metade do peso e as outras duas a outra metade, visto que as células estavam distribuídas em formato triangular e a carga sobre elas (mudas e grade) distribuída em formato retangular. Desta maneira, se a variação de um grama ocorresse sobre o lisímetro, uma célula de carga apresentaria uma variação de

tensão de 0,0005 mvolts e as outras duas uma variação de 0,00025 mvolts. Estes valores não seriam capazes de promover uma variação de uma unidade digital em nenhum dos três canais do conversor AD. A sensibilidade do sistema, como um todo, seria de 9760 gramas, o que era insuficiente para atender as necessidades da pesquisa. Frente a esta situação, foi necessário amplificar os sinais recebidos das células de carga, para que estes pudessem ser significativos para o conversor AD. Para tanto, foi desenvolvido um sistema de amplificação de sinais para cada lisímetro, utilizando três amplificadores operacionais (AOs), um para cada célula de carga. Desta forma, o sinal de leitura de cada célula de carga foi “ampliado” por um Amplificador Operacional (AO), marca Burr-Brown, modelo INA 125PA, funcionando com ganho de 1280 vezes e só então transmitido para o conversor analógico digital do micro controlador. Com a inclusão do sistema de amplificação ao BS1, o circuito resultante foi então denominado de Unidade de Amplificação e Conversão de sinais (UAC), possibilitando ao SAMI apresentar uma nova sensibilidade, conforme eq. (1).

$$NS = \frac{SUD}{GA \times SCC} \times 2 \quad (1)$$

Em que:

NS – Nova sensibilidade (gr);

SUD – Sensibilidade por unidade digital do BS1 (mVolts.unidade digital<sup>-1</sup>);

GA – Ganho do amplificador (adimensional);

SCC – Sensibilidade da célula de carga (mVolts.gr<sup>-1</sup>)

Aplicando-se os respectivos valores aos termos da eq. (1) obteve-se o valor 7,62 gramas como nova sensibilidade do sistema, conforme demonstrado abaixo:

$$\text{Nova sensibilidade} = \frac{4,88 \text{ mVolts/ unid.dig.}}{1280 \text{ vezes}} = \frac{0,0038125 \text{ mVolts}}{0,001 \text{ mVolts/ gr}} \times 2 = 7,62 \text{ gr}$$

Desta forma a nova sensibilidade do sistema foi de 7,62 gramas (3,8125 para uma células de carga e mais 3,8125 gramas para as outras duas células de carga), o que foi considerado

satisfatório. Desta forma a capacidade máxima de carga de cada lisímetro, sem sobrecargas, foi de 7800 gramas (7,62 gramas x 1024 unidades digitais) sendo 3906 gramas suportado por uma célula de carga e 3906 gramas suportado pelas outras duas células de carga (1953 para cada uma).

Para inferir sobre a precisão das leituras apresentadas pelo sistema, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ), conforme sugerido por Montgomery e Runger (1999) e calculado pela eq. (2).

$$r = \frac{\left( \sum_{i=1}^n L_i P_i \right) - \frac{\left( \sum_{i=1}^n L_i \right) \left( \sum_{i=1}^n P_i \right)}{n}}{\left\{ \left[ \left( \sum_{i=1}^n L_i^2 \right) - \frac{\left( \sum_{i=1}^n L_i \right)^2}{n} \right] \left[ \left( \sum_{i=1}^n P_i^2 \right) - \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_i \right)^2}{n} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

Em que:

L – leitura de peso apresentada pelo sistema (gr);

P – Peso sobre o lisímetro (gr);

n – Número de leituras;

Para aferir a concordância entre os valores de peso e das suas respectivas leituras, determinando-se assim a exatidão apresentada pelo SAMI, utilizou-se o índice de concordância ( $d$ ) proposto por Willmott, Ckleson e Davis (1985), calculado pela eq. (3).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - L_i)^2}{\sum_{i=1}^n \left( |P_i - L_i| + |L_i - \bar{L}| \right)^2} \quad (3)$$

Em que:

L – leitura de peso apresentada pelo sistema (gr);

P – Peso sobre o lisímetro (gr);

n – Número de leituras;

Na Figura 6 é apresentada uma das UACs instalada junto a um lisímetro.

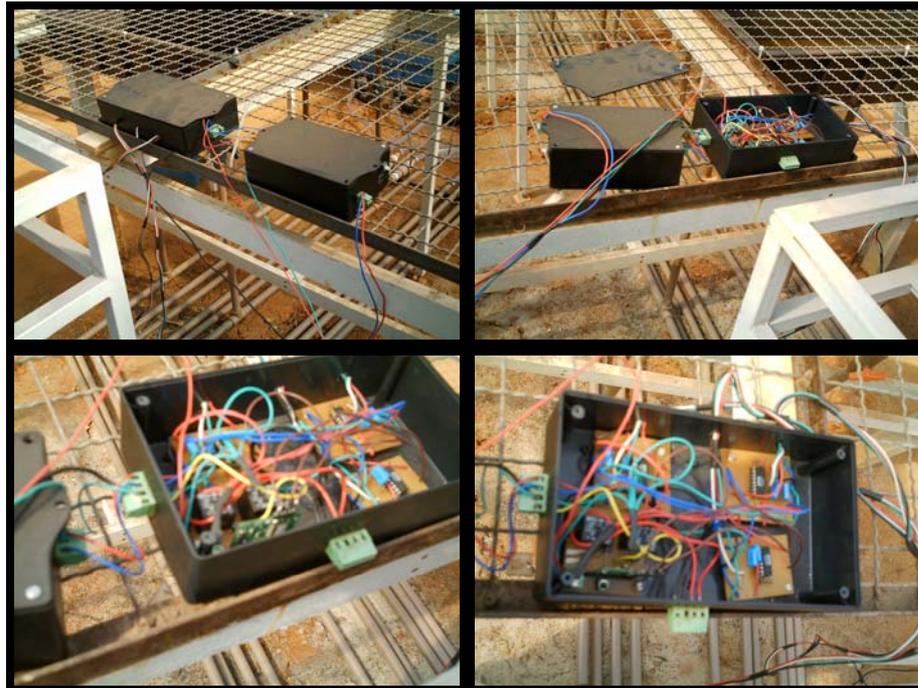


Figura 6 - Unidade de Amplificação e Conversão de Sinais

#### 2.2.4.4 Unidade de Controle do Fluxo de Sinais (UCF)

As leituras realizadas pelos lisímetro eram enviadas pelas UACs para a UCF, já em formato digital. Esta comunicação foi realizada através de um cabo com blindagem

eletromagnética, a fim de se evitar interferências no sinal transmitido. A função da UCF foi de organizar o recebimento de sinais pela CC, permitindo a retransmissão de somente um sinal por vez para a esta. Sem a realização desse controle, os sinais dos cinco lisímetros se misturariam ao chegar na CC, tornando-se impossível a leitura dos mesmos.

Inicialmente criou-se uma UCF utilizando-se somente um micro-processador BS1. O BS1 recebia simultaneamente o sinal dos lisímetros através de cinco dos sete pinos I/O (entrada ou saída), que possui. Cada um dos cinco pinos recebia o sinal de um lisímetro. Posteriormente, o BS1 retransmitia as cinco leituras, uma por vez, em um dos dois pinos restantes, para a CC. Apesar de nos testes preliminares este tipo de controle de fluxo de sinal ter apresentado bom funcionamento, ao ser reavaliado junto ao sistema completamente montado, apresentou interferência nos sinais, ou seja, os sinais que retransmitia apresentavam valores ligeiramente diferentes daqueles que recebia. Após várias verificações, não se conseguiu determinar com certeza a origem de tal comportamento. Em virtude do tempo disponível para o desenvolvimento do SAMI já se encontrar restrito, optou-se por utilizar outra metodologia para retransmissão dos dados. Nessa nova metodologia, utilizou-se um conjunto de cinco relés, controlados por um BS1. Cada relé recebia em sua entrada o sinal de um dos cinco lisímetros e as saídas de todos os relés foram ligadas a um mesmo cabo (interligadas). Este cabo teve sua outra extremidade ligada à porta serial do computador, sendo assim responsável pela condução dos sinais de leitura da UCF para a CC. Inicialmente todos os relés estavam desligados, não permitindo a passagem do sinal de leitura, advindo das UAC, para a central de controle, porém quando eram acionados pelo BS1, eles permitiam a passagem desse sinal. Como o BS1 foi programado para acionar um relé por vez, e seqüencialmente, os sinais eram retransmitidos da mesma forma, ou seja, um por vez e seqüencialmente.

Como o sinal enviado pelo BSI não era suficiente para acionar os relés, utilizou-se transistores para superar esta limitação. Desta maneira, o BS1 excitava a base dos transistores, e este permitia sob esta excitação, a passagem de corrente entre a sua entrada e saída, sendo esta ligada à bobina do relé. Por sua vez, quando tinha sua bobina acionada, pelo transistor, o relé permitia a passagem de corrente elétrica entre a sua entrada e saída, realizando assim o acionamento da respectiva bomba. A tensão aplicada na entrada dos transistores, para acionamento dos relés, foi de 12 volts. Na Figura 7 é apresentado a UCF, acoplada ao sistema e em pleno funcionamento.

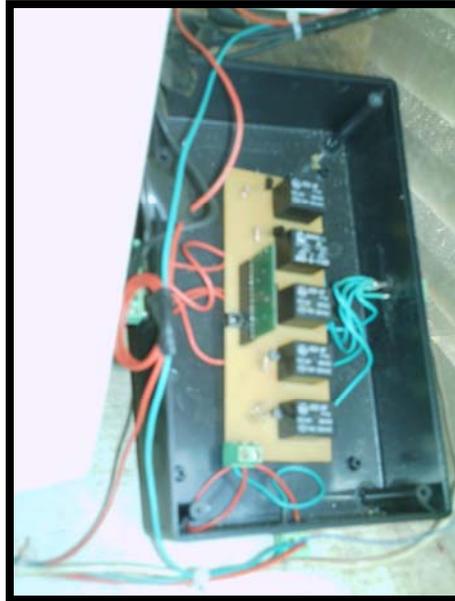


Figura 7 - Unidade de Controle do Fluxo de Sinais (UCF) já montada

#### 2.2.4.5 Central de Controle (CC)

A central de controle (CC) do SAMI era constituída de um computador e de um software, especialmente desenvolvido para administrar o sistema. Para funcionar como central de controle, o computador utilizado não sofreu nenhuma alteração de hardware, porém o mesmo já possuía uma porta serial e uma paralela, disponíveis para serem utilizadas na recepção dos dados e acionamento do sistema de irrigação, respectivamente.

A recepção das leituras, feita pelos lisímetros e reenviadas pelas UCF, foi realizada através da porta serial, no padrão RS232, utilizando os pinos 2 (RX- recepção) e 5 (GND - terra) do conector DB-9.

Na Figura 8 pode-se visualizar a CC dentro do abrigo utilizado para sua proteção.



Figura 8 - Central de Controle do sistema de irrigação (CC)

#### **2.2.4.6 Software de controle**

O Software utilizado para controle do sistema foi desenvolvido em linguagem Delphi, utilizando para tanto o programa Delphi, versão 3.0, da Borland. Este programa recebeu o mesmo nome do sistema do qual faz parte, ou seja, SAMI. As funções do software eram basicamente a de receber, identificar, organizar e armazenar os dados, bem como de acionar o sistema de irrigação, sempre que, a partir de uma análise dos dados recebidos, fosse considerado necessário.

A primeira ação do programa, após ser acionado, era filtrar os dados recebidos pela porta serial, eliminando dados incompletos, caracteres resultantes de “ruídos de comunicação” e marcadores de início e de final da informação válida.

O segundo passo do programa era identificar de qual tratamento provinha o dado recebido. Para tanto, foram enviados, juntamente com a leitura do lisímetro, um código específico do tratamento. Este procedimento consistiu em somar ao valor da leitura, ainda nas unidades de conversão e amplificação de sinais, um valor inteiro, muito maior que o máximo valor que o lisímetro poderia enviar. Quando a leitura chegava à central de controle, este valor somado identificava o tratamento e era então deduzido do valor total recebido, restando assim, somente o valor válido de leitura. Na Tabela 1 são apresentados os valores utilizados para identificar o tratamento.

Tabela 1 – Valores/código acrescentados às leituras dos lisímetros, para identificação do tratamento

Valor-Código adicionado à leitura	Nível de depleção (%)
10000	15
20000	30
30000	45
40000	60
50000	75

Após receber e organizar 150 valores de leitura de peso atual dos diferentes lisímetros, o programa fazia uma média desses valores. Estes valores médios eram então armazenados em um arquivo em formato PRN. Para tanto o programa abria o arquivo já existente, adicionava mais uma linha de dados referente aos valores médios das leituras instantâneas, salvava e fechava o arquivo.

O próximo procedimento do programa era verificar a necessidade ou não de irrigação em um ou mais tratamentos. Para tanto, o programa comparava o valor médio do peso atual do lisímetro, que acabara de ser armazenado, com o valor de peso de referência, abaixo do qual o sistema deveria proceder à irrigação do respectivo tratamento. Estes valores de peso de referência foram calculados com base nos valores de MCRA do substrato e da porcentagem de depleção da MCRA aplicada a cada tratamento. Caso o valor médio do peso atual fosse menor que o valor de peso de referência, o sistema iniciava o ciclo de irrigação do respectivo tratamento, caso contrário ele repetia o procedimento de verificação no próximo tratamento, e assim sucessivamente, até concluir a verificação em todos os 5 níveis de depleção.

O ciclo de irrigação foi distribuído em três fases. A primeira fase consistia no acionamento da bomba de adução, do respectivo tratamento, por um tempo necessário ao enchimento das 5 bandejas, sendo uma por bloco e mais uma do lisímetro. O tempo de enchimento das bandejas foi pré-calibrado, sendo diferente entre tratamentos. Após o enchimento das bandejas a CC iniciava a segunda fase do ciclo de irrigação, desligando as bombas de adução e aguardando o tempo necessário para o substrato reabsorver a água perdida, atingindo a condição de MCRA. Este tempo foi calibrado em função dos teste de laboratório realizados com o substrato, sendo o mesmo de 10 minutos. A terceira fase do ciclo iniciava-se com o acionamento das bombas de drenagem, pela CC, logo após terminar o tempo de reabsorção de

água pelo substrato. O tempo de drenagem das bandejas também foi pré calibrado, assim como o tempo de funcionamento das bombas de adução, porém nesse caso o tempo adotado foi o mesmo para todas os tratamentos. Os valores de tempo de adução, reabsorção e drenagem são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Tempo de funcionamento das bombas de adução, drenagem, e para reabsorção de água pelo substrato

Nível de depleção (%)	Tempo de adução	Tempo de reabsorção	Tempo de drenagem
15	9'20"	10'00"	6'00"
30	9'20"	10'00"	6'00"
45	8'25"	10'00"	6'00"
60	9'30"	10'00"	6'00"
75	8'45"	10'00"	6'00"

Após a drenagem completa das bandejas, a CC encerrava o ciclo de irrigação do tratamento e continuava verificando a necessidade de irrigação nos tratamentos subsequentes. Ao terminar a verificação no tratamento referente ao nível de depleção de 75%, o sistema retomava o monitoramento de peso dos lisímetros. Na Figura 9 é apresentada a Tela do software de controle do sistema de irrigação.

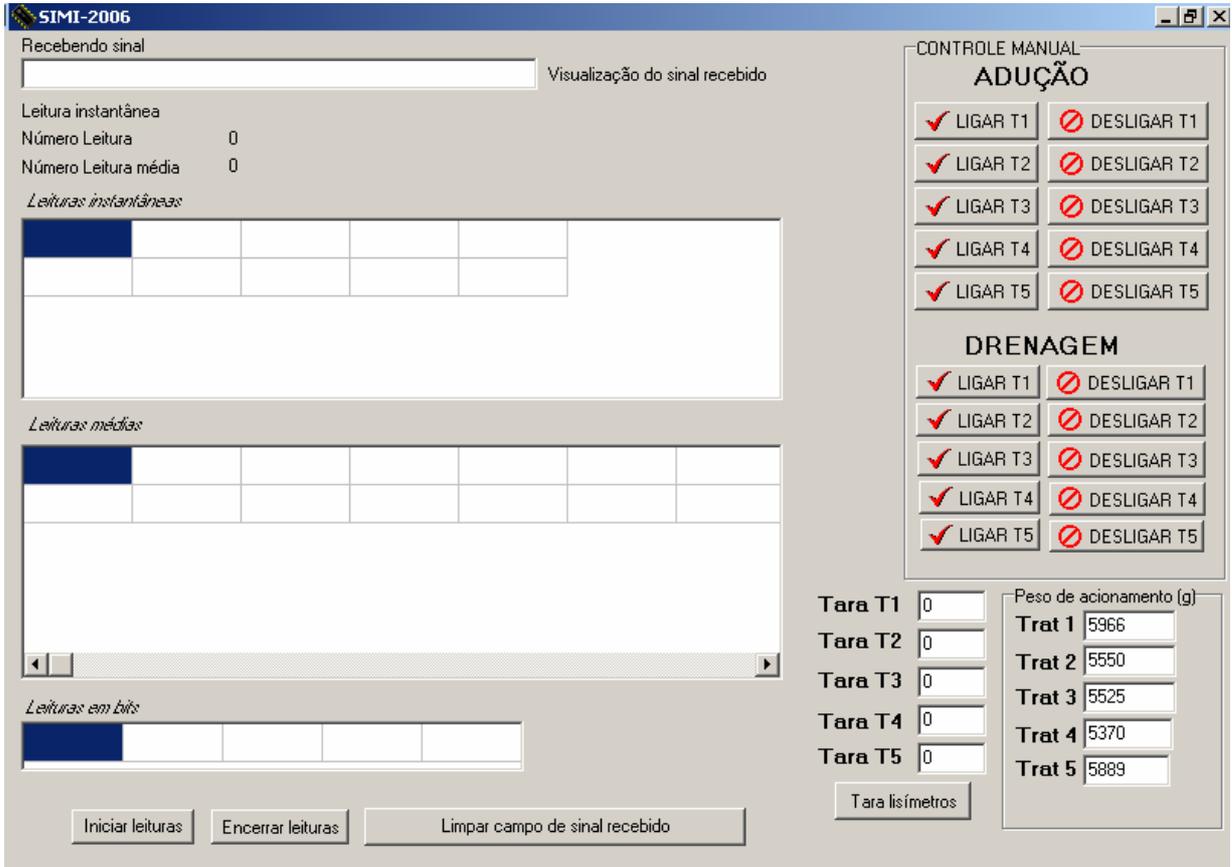


Figura 9 - Tela principal do software de monitoramento dos lisímetros e acionamento do sistema de irrigação

#### 2.2.4.7 Unidade de Acionamento (UA)

O sinal para acionamento do sistema de irrigação era enviado para a UA através da porta paralela, utilizando os oito pinos de dados (pinos de número 2 à 9 do conector DB25) e dois pinos de controle (1 e 14 do conector DB25), além dos pinos 18 à 25 que foram interligados e aterrados. Com o intuito de impedir danos à porta paralela do computador, foi utilizado um isolador óptico para cada pino de sinal (pinos 1, 2 à 9, e 14 do conector DB25), entre a porta paralela do computador e a UA.

A UA consistia de uma placa eletrônica especialmente desenvolvida para esta aplicação. Ela constava de 10 relés, alimentados com 12 volts e que permitiam a passagem de uma tensão de 220Volts, quando acionados pela CC. Cinco relés eram responsáveis pelo acionamento das cinco bombas de adução e os outros cinco pelo acionamento das bombas de drenagem. Como o sinal

enviado pela porta paralela não era suficiente para acionar os relés, utilizou-se transistores para superar esta limitação. Desta maneira, a porta paralela excitava a base dos transistores, e este permitia, sob excitação, a passagem de corrente entre a sua entrada e saída, sendo esta ligada à bobina do relé. Por sua vez, quando tinha sua bobina acionada, pelo transistor, o relé permitia a passagem de corrente entre a sua entrada e saída, realizando assim o acionamento da respectiva bomba. A tensão aplicada na entrada dos transistores foi de 12 volts e na entrada dos relés foi de 220 volts.



Figura 10 - Placa eletrônica da Unidade de Acionamento

### 2.2.5 A cultura

As mudas utilizadas no experimento foram de cafeeiro da espécie *Coffea arabica* L., da cultivar Catuaí Vermelho, variedade LCH-2077-2-5-99, comercialmente conhecida por “Catuaí 99”. A escolha se deu por ser esta variedade bem difundida, podendo ser utilizada tanto em plantios convencionais quanto em plantios adensados. Além disso, ela apresenta porte baixo e boa produtividade, não sendo muito tolerante a condições de estresse, principalmente hídrico. A elevada exigência com relação ao suprimento de água apresentada por esta cultivar, a tornava interessante para esta pesquisa, pois os resultados obtidos podem ser considerados em estudos para cultivares menos exigentes. As mudas foram produzidas por semeadura direta, evitando-se problemas de desvios de arquitetura das raízes das mudas (“Pião torto”) e facilitando o plantio

das mudas. Apesar desta opção ter levado à uma relativa desuniformidade de crescimento das mudas, em função das diferentes datas de germinação das sementes, este problema foi contornado com uma pré-seleção e redistribuição das mudas antes de se iniciar a aplicação dos tratamentos. Desta forma, as mudas foram agrupadas em cinco lotes, uma para cada faixa de tamanho de muda. Cada lote era então formado por mudas de tamanho semelhante. Após a formação destes lotes, seguiu-se a composição das parcelas do experimento. Na composição das parcelas, foram distribuídas as mudas de cada lote, em número semelhante, entre as diferentes parcelas que compunham o experimento. Desta maneira, ao final da distribuição, todas as parcelas tinham o mesmo número de mudas de um determinado tamanho. Para amenizar ainda mais as diferenças causadas pela germinação desuniforme, durante a retirada das mudas que serviriam para análise, foram escolhidas uma muda de cada tamanho, diluindo ainda mais as influências geradas pela diferença de tamanho entre as mudas. A semeadura das sementes foi realizada no dia 8 setembro de 2006 e a germinação das mesmas ocorreu entre o dia 20 de outubro e o dia 29 de novembro de 2006. Após esta data, foi realizada a seleção e redistribuição das mudas. Até o dia 8 de dezembro de 2006 as mudas estavam submetidas à mesma condição hídrica e a partir desta data os tratamentos começaram a ser aplicados.

### **2.2.6 Variáveis analisadas**

Para se quantificar os efeitos dos tratamentos aplicados, foram avaliadas mensalmente as seguintes características de desenvolvimento das mudas: altura e diâmetro do ramo ortotrópico, medidos com um paquímetro digital e sempre nas mesmas plantas, área foliar, pelo método dos discos, e matéria seca da parte aérea e do sistema radicular, com auxílio de uma balança de precisão e uma estufa. Para tanto, foram destruídas cinco plantas de cada uma das parcelas dos cinco tratamentos. As variáveis foram analisadas durante 3 períodos (janeiro à fevereiro, fevereiro à março e março à abril de 2007).

### **2.2.7 Caracterização do substrato**

Para produção das mudas foi utilizado um substrato orgânico comercial, denominado Plantmax-Café<sup>®</sup>. Este substrato é um composto estabilizado, que possui em sua mistura, cascas processadas, Vermiculita expandida, Perlita expandida e Turfa processada. Este composto

apresenta, segundo o fabricante, umidade em torno de 50 a 60 %, (base peso), capacidade de retenção de água em torno de 150 %, condutividade elétrica (com relação de extração de 1:2 base volume) variando de 0,5 a 1,3 dS m<sup>-1</sup>, e pH na faixa de 5,5 a 6,2.

Esta mistura comercial foi submetida a testes para determinação da taxa de absorção de água do substrato dentro do tubete nas condições de subirrigação, a fim de se quantificar o tempo de submersão do tubete, necessário para reabsorção da água que seria perdida por evapotranspiração, bem como o tempo necessário para drenagem da água em excesso após a irrigação. Após os testes, pôde-se concluir que um tempo de submersão de 10 minutos era suficiente para o substrato reabsorver toda a água perdida na condição do tratamento que apresentava o maior nível de depleção da MCRA, ou seja 75%. Frente a este fato e com a intenção de simplificar a operação do sistema, adotou-se o mesmo tempo de submersão para todos os tratamentos. Com relação ao tempo de drenagem, observou-se pelos testes que o tempo necessário para a drenagem do excesso de água do substrato, após a irrigação, poderia ser desconsiderado, visto que o intervalo de aquisição das cento e cinqüenta leituras instantâneas utilizadas para compor a leitura média, que era de 30 minutos, foi bem superior ao tempo necessário para ocorrer a drenagem do substrato, que era de 6 minutos. Desta forma, a influência dos primeiros valores de leitura instantânea, sobre a média final, das cento e cinqüenta leituras, era pequeno, podendo assim sere desconsiderada. É importante ressaltar ainda, que nesta pesquisa não se teve o objetivo de contabilizar a evapotranspiração da cultura através do lisímetro, mas somente utilizar este instrumento para indicar o momento de acionamento do sistema de irrigação, por isso, o valor exato de peso dos tubetes, logo após a irrigação, não era de interesse para o composição da pesquisa.

### **2.2.8 Adubação**

A aplicação de fertilizantes foi realizada por adição de Osmocote 15-09-12 mais micronutrientes ao substrato, como tradicionalmente é realizada na produção de mudas de cafeeiro em tubetes. Esta medida tem por finalidade manter níveis adequados de nutrientes para as mudas durante todo o período em que estiverem no viveiro. O Osmocote foi misturado ao substrato, antes do plantio, na proporção de 300 gramas por saco de substrato (25 kg), com auxílio de uma Betoneira por um tempo de 5 minutos, a fim de se obter uma boa uniformidade do

substrato final. Apesar de recomendado pelo fabricante a adição de água ao substrato durante o enchimento dos tubetes, este procedimento não foi realizado, visto que acarretava uma desuniformidade na mistura do substrato com o adubo, além de dificultar o enchimento dos tubetes.

## **2.3 Resultados e discussão**

Os dados obtidos a partir do experimento com as mudas de cafeeiro foram subdivididos em duas análises. A primeira tem como objetivo relatar o comportamento do sistema automático de irrigação utilizado no experimento, durante a instalação e calibrações do mesmo. A segunda análise refere-se ao comportamento das características de desenvolvimento das mudas frente aos diferentes níveis de depleção da máxima capacidade de retenção de água (MCRA) do substrato, objetivando-se com isso encontrar o manejo mais adequado, da subirrigação, para a produção de mudas de cafeeiro em tubetes.

### **2.3.1 Desempenho do Sistema Automático de Manejo da Irrigação (SAMI)**

#### **2.3.1.1 Sensibilidade do SAMI**

Segundo Campeche (2002), a calibração e coleta de dados em lisímetros de pesagem envolvem erros de medidas, usados para qualificar os dados analisados. Segundo o mesmo autor esses erros são exatidão, precisão, sensibilidade e resolução. Bloon (1992) descreve exatidão como sendo a quantidade que a medida difere do valor verdadeiro, relatando ainda que estatisticamente pode ser descrita como sendo a dispersão dos valores lidos em relação à reta 1:1 que representa os valores reais. A precisão segundo o mesmo autor, consiste na repetibilidade da medida de um valor constante. A sensibilidade é a menor variação da grandeza detectada que provoca uma mudança de leitura do sistema, já a resolução consiste na menor escala da divisão ou menor dígito que pode ser lido.

A associação do Basic Step 1 às células de carga utilizadas na construção dos lisímetros, não apresentou uma boa sensibilidade ao sistema, sendo este valor de 9760 gramas. Após a inclusão do sistema de amplificação ao SAMI, o mesmo teve sua sensibilidade alterada para 7,62 gramas, sendo considerada aceitável para o objetivo proposto. A resolução do sistema, que consiste no menor dígito que pode ser lido, foi de 1 grama.

Considerando-se esta sensibilidade e que o diâmetro dos tubetes utilizados era de 0,037 m, a área de substrato por tubete, exposta à evaporação, foi de 0,001075 m<sup>2</sup> e conseqüentemente a

área total do lisímetro, exposta à evaporação, foi de  $0,0344 \text{ m}^2$ , pois os mesmos suportavam 32 tubetes. Relacionando esta área total com a sensibilidade do lisímetro, em peso, tem-se uma sensibilidade, em lâmina de água, para o lisímetro em questão, de  $0,2215 \text{ mm}$ . Este valor se aproxima muito do encontrado por Campeche (2002), trabalhando com lisímetros de pesagem com células de carga eletrônicas, e Silva (2005), trabalhando com lisímetros de pesagem hidráulica, que encontraram, respectivamente, valores de sensibilidade de  $0,23 \text{ mm}$  e  $0,245 \text{ mm}$ .

### **2.3.1.2 Determinação da equação de calibração dos lisímetros**

A calibração dos lisímetros foi realizada na casa de vegetação onde foi desenvolvida a pesquisa, de forma a se determinar o comportamento dos mesmos numa condição semelhante àquela que se teria durante o experimento. O processo de calibração dos lisímetros consistiu na adição de pesos conhecidos, sobre os mesmos, e posterior leitura dos valores de unidades digitais (Count) apresentados pelo sistema. Para se obter valores conhecidos de peso, foram utilizados volumes conhecidos de água, sendo encontrados os seus respectivos pesos, relacionando-se estes volumes com o peso específico da água. Em função do fenômeno de histerese, a calibração também foi realizada no sentido de decréscimo dos valores de peso, ou seja, subtraindo-se valores conhecidos de peso e realizando-se posteriormente a leitura. Foram realizadas, para determinação da equação de calibração dos lisímetros, um total de 22 leituras em ambos os sentidos (acrécimo e decréscimo de peso).

Os valores obtidos durante o processo de calibração das células de carga foram ajustados por análise de regressão, gerando uma equação que descreve o comportamento do sinal dos lisímetros em função da variação de peso sobre as células de carga. Esta equação foi então incorporada à rotina do Software SAMI, para conversão dos sinais em valores de peso. As equações obtidas, bem como os seus respectivos coeficientes de determinação são apresentados nas Figuras 11, 12, 13, 14 e 15

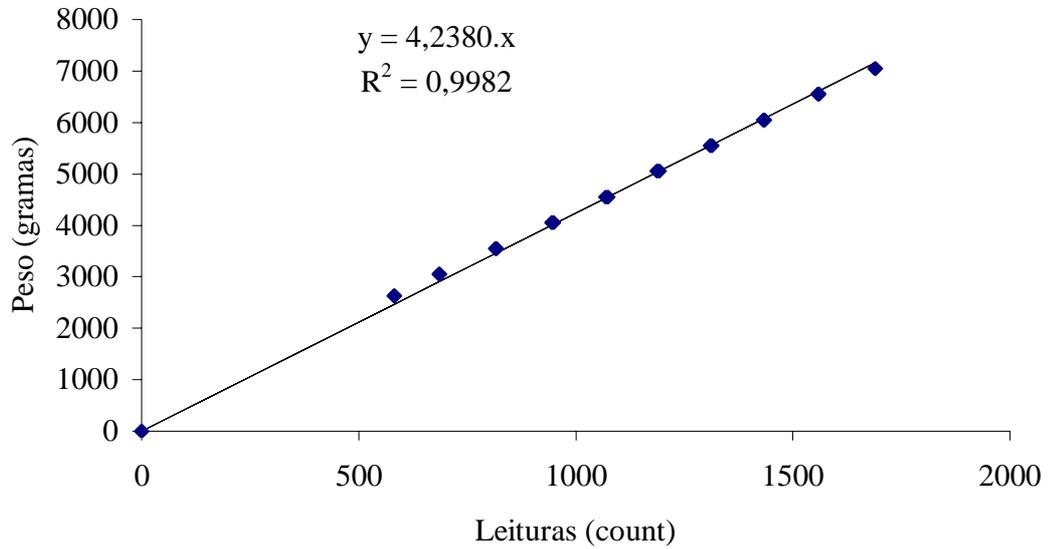


Figura 11 - Equação de calibração das células de carga do lisímetro referente ao nível de depleção de 15%

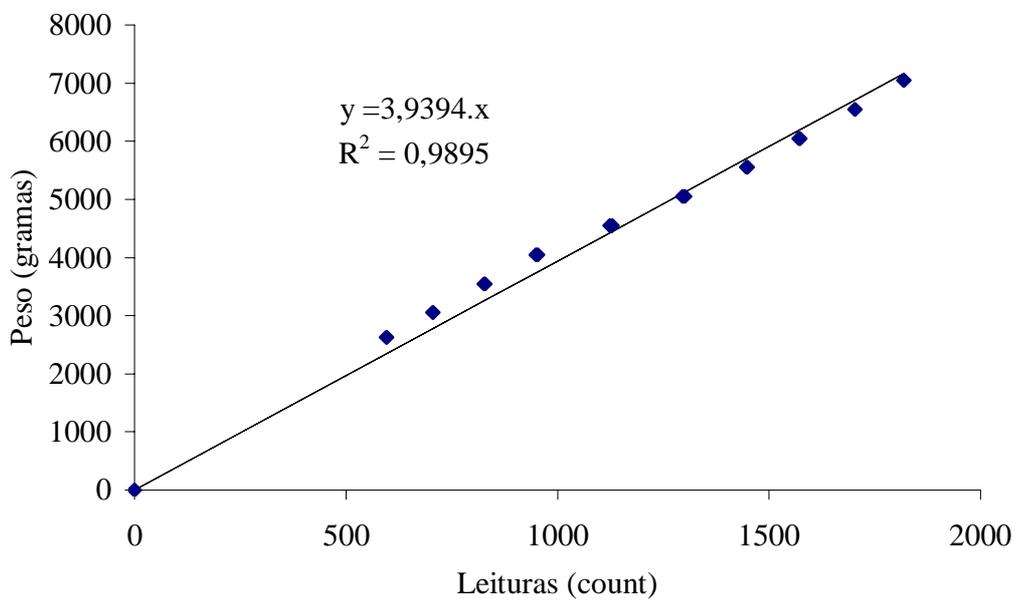


Figura 12 - Equação de calibração das células de carga do lisímetro referente ao nível de depleção de 30%

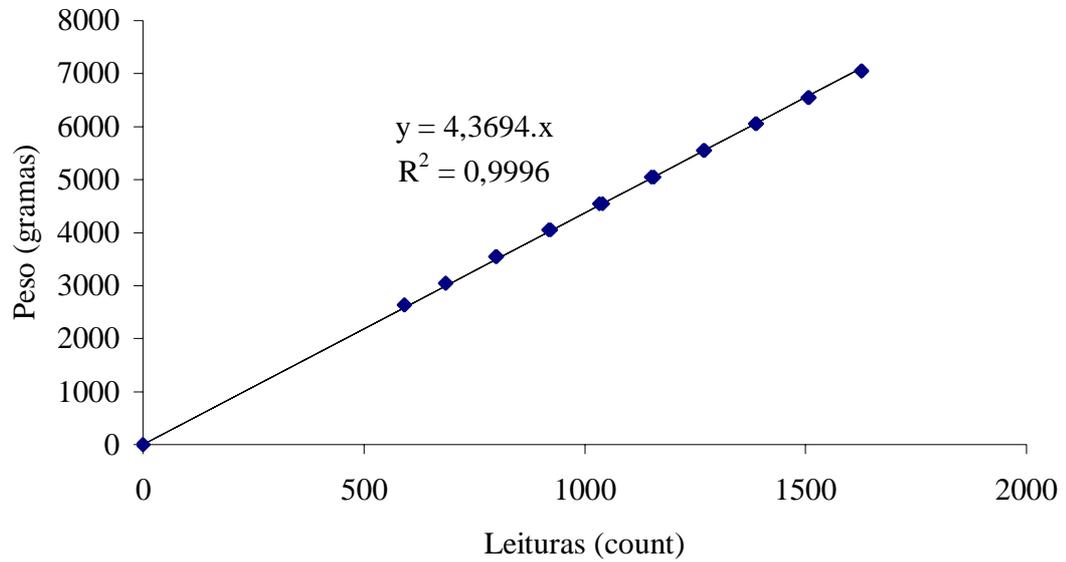


Figura 13 - Equação de calibração das células de carga do lisímetro referente ao nível de depleção de 45%

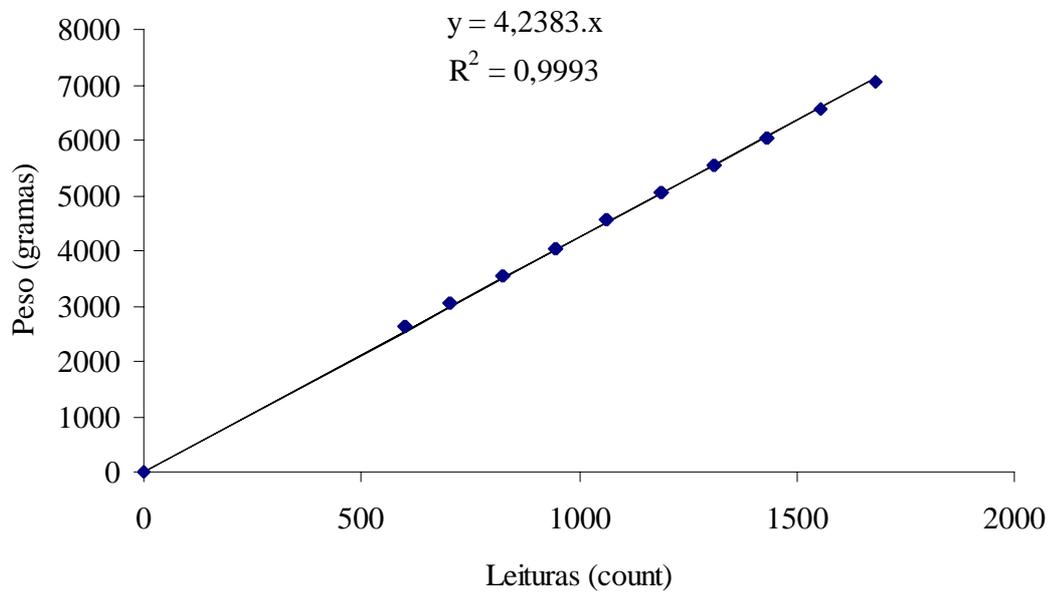


Figura 14 - Equação de calibração das células de carga do lisímetro referente ao nível de depleção de 60%

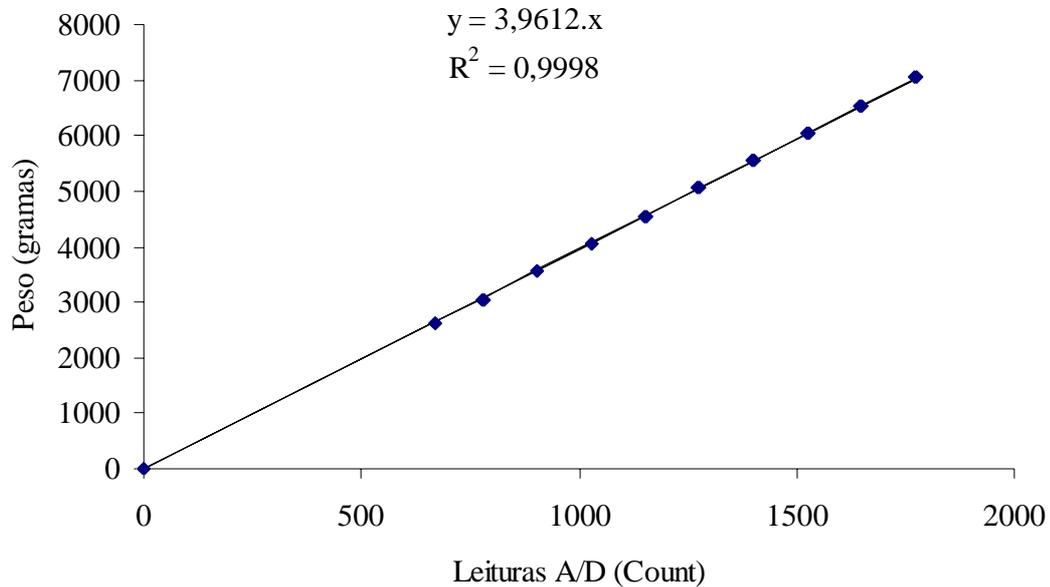


Figura 15 - Equação de calibração das células de carga do lisímetro referente ao nível de depleção de 75%

Através das equações obtidas, determinou-se o valor de peso em função da leitura, apesar da calibração ter sido realizada de maneira contrária, ou seja, obtendo-se valores de leitura em função dos pesos sobre o lisímetro. Adotou-se este procedimento, com o objetivo de se obter as equações já prontas para serem incorporadas ao Software do SAMI e como a função dessas equações era de determinar os valores de peso sobre os lisímetros a partir dos valores de leitura recebidos pelo computador, optou-se por já realizar o ajuste das equações de calibração dos lisímetros de forma inversa.

Verifica-se pelas Figuras 11, 12, 13, 14 e 15 que o modelo linear descreveu satisfatoriamente a relação entre leituras do A/D e pesos de calibração, tendo-se em vista os elevados coeficientes de determinação obtidos. Outra observação importante que se verifica nessas figuras, diz respeito a histerese apresentada pelas células de carga durante a calibração, a qual foi insignificante.

### 2.3.1.3 Desempenho do sistema

Após a calibração dos lisímetros, as equações que relacionavam leituras de Count com pesos sobre os lisímetros, foram inseridas ao Software do SAMI, de modo que as leituras recebidas pelo computador fossem convertidas em valores de peso. Concluída esta etapa, realizou-se a aferição do desempenho final do sistema. O procedimento adotado neste processo, foi semelhante ao utilizado na calibração dos lisímetros, porém as leituras obtidas eram em valores de peso e o número total de leituras realizadas foi de 26, em ambos os sentidos (acréscimo e decréscimo de peso). Deste modo, foram obtidos os valores de peso, lidos pelo sistema, em função dos pesos presentes sobre os lisímetros.). O desempenho do sistema é apresentado nas Figuras 16, 17, 18, 19 e 20.

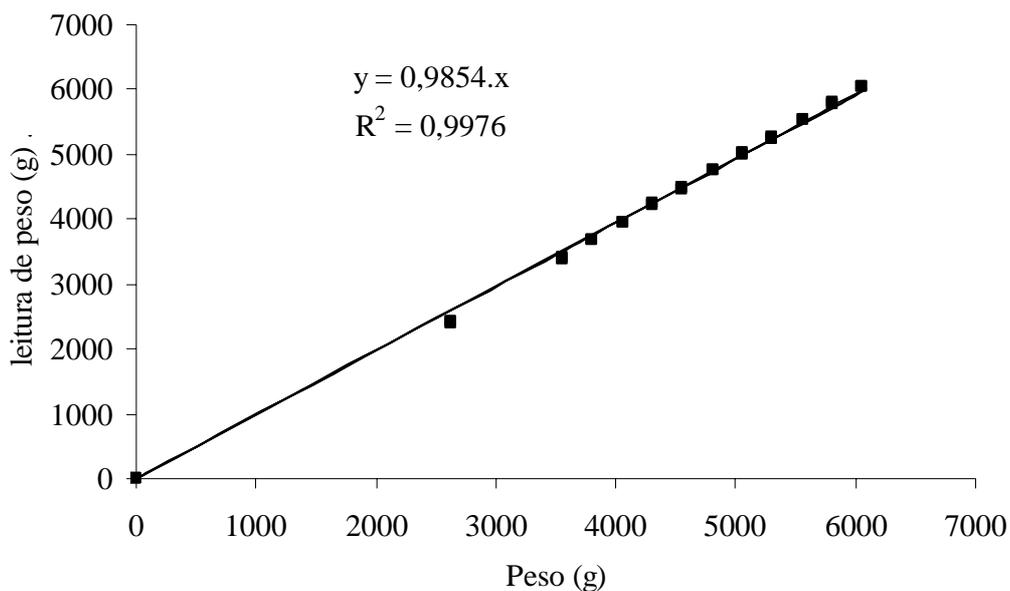


Figura 16 - Desempenho do sistema - Leituras do lisímetro referente ao nível de depleção de 15%

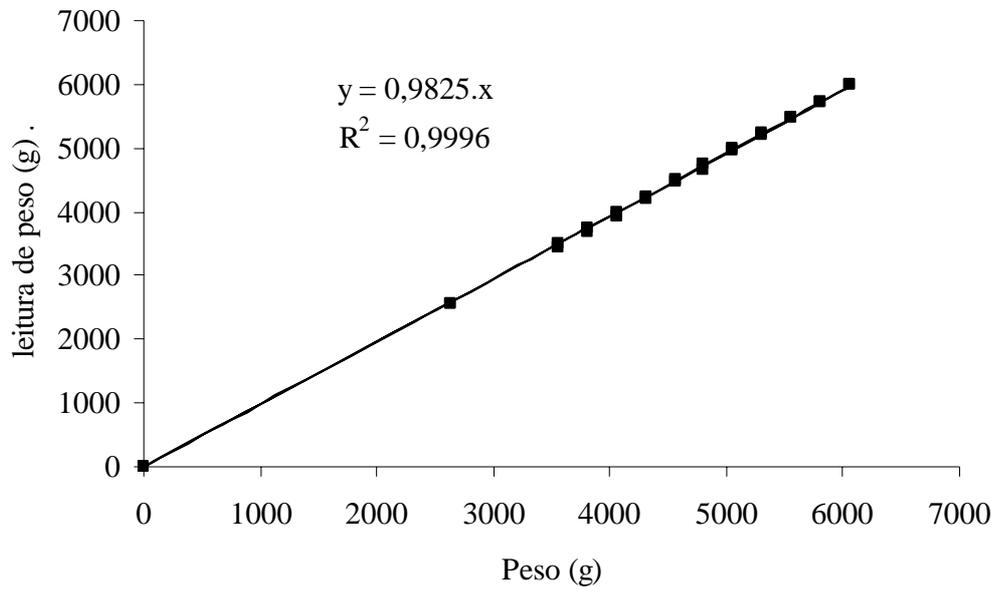


Figura 17 - Desempenho do sistema - Leituras do lisímetro referente ao nível de depleção de 30%

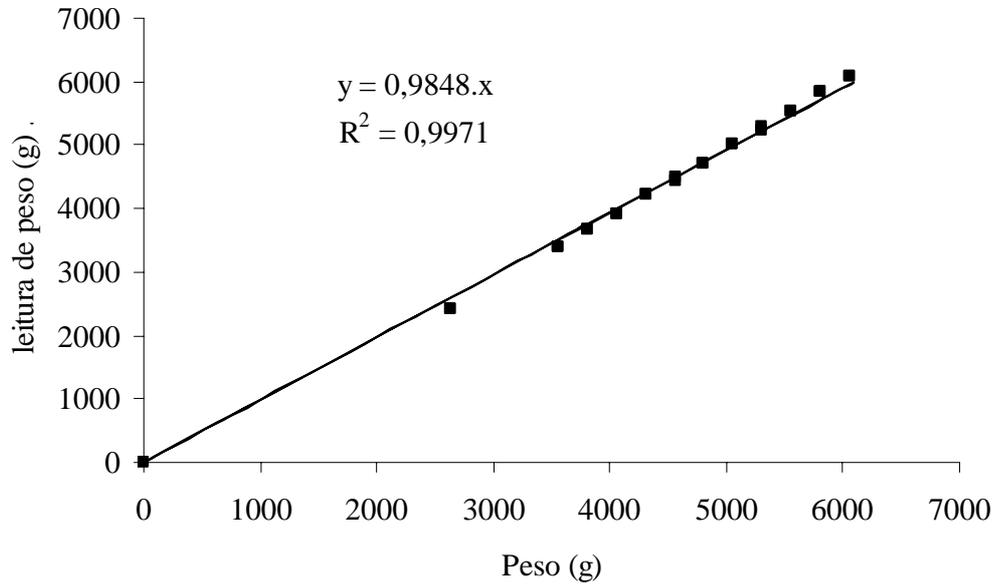


Figura 18 - Desempenho do sistema - Leituras do lisímetro referente ao nível de depleção de 45%

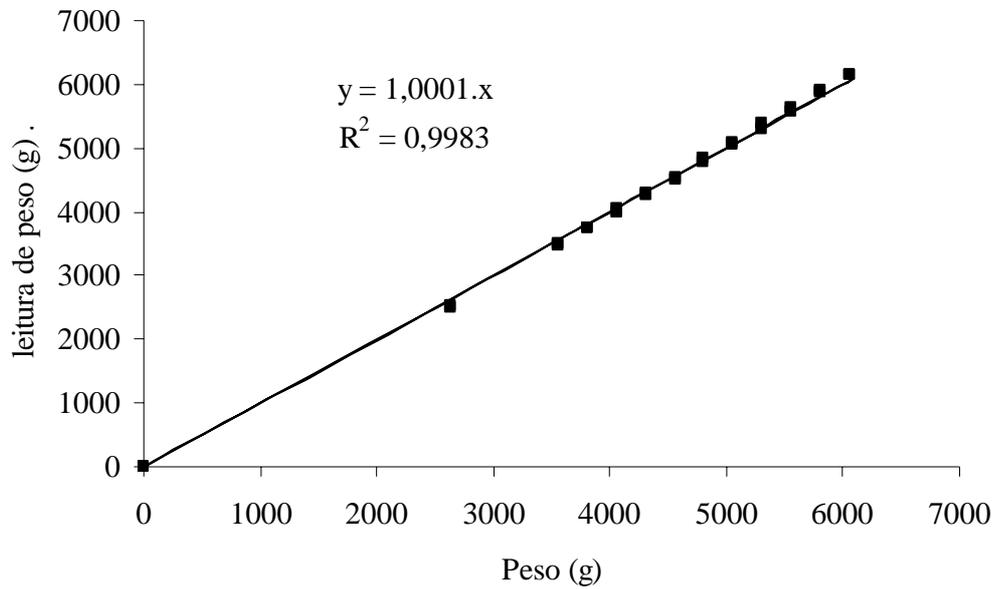


Figura 19 - Desempenho do sistema - Leituras do lisímetro referente ao nível de depleção de 60%

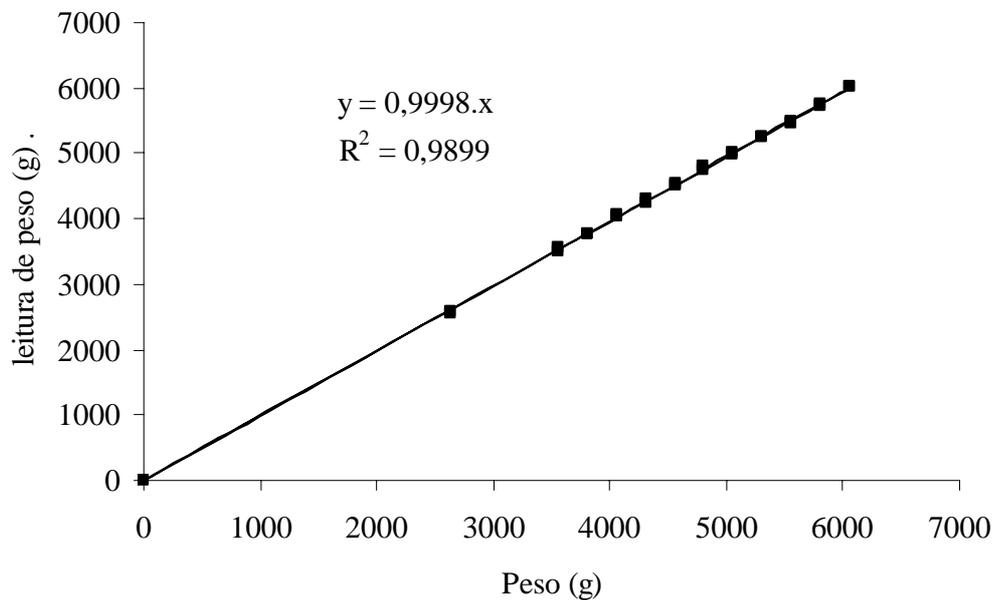


Figura 20 - Desempenho do sistema - Leituras do lisímetro referente ao nível de depleção de 75%

Observa-se nas Figuras 16 à 20 que o modelo linear apresentou um bom ajuste para a relação entre leituras de peso e valores de peso sobre os lisímetros, sendo esse fato evidenciado pelos elevados coeficientes de determinação alcançados.

Os valores de coeficientes de correlação encontrados para os cinco lisímetros do sistema foram de 0,9991, 0,9998, 0,9990, 0,9994 e 0,9999, respectivamente, para os lisímetros referentes aos níveis de depleção de 15, 30, 45, 60 e 75%. Estes resultados refletem a excelente precisão do sistema, visto que os graus de relação linear entre os valores lidos nos lisímetros do sistema e os observados foram bem elevados. Pode-se a partir do exposto considerar que o grau de precisão do sistema variou de 0,9990 à 0,9999,

Os valores do índice de concordância encontrados para os cinco lisímetros do sistema foram de 0,9989, 0,9992, 0,9987, 0,9995 e 0,9997, respectivamente, para os lisímetros referentes aos níveis de depleção de 15, 30, 45, 60 e 75%. Estes resultados refletem a excelente exatidão do sistema, visto que os graus de concordância entre os valores lidos pelos lisímetros do sistema e os observados foram bem elevados. De acordo com esses parâmetros, pode-se considerar o SAMI como um sistema capaz de determinar com excelente precisão e exatidão, através da variação de peso, a variação de umidade no substrato sobre os lisímetros.

#### **2.3.1.4 Desempenho do Basic Step**

O sistema funcionou durante 2856 horas, continuamente, apresentando falhas de envio de sinal de leitura por 49 vezes. Em todas essas falhas de leitura, detectou-se que a fonte de erro estava no funcionamento do microcontrolador BS1. A falha apresentada pelo BS1, consistia na parada da rotina pré-programada no mesmo, sem motivo aparente. Este problema era contornado, religando-se o BS1, através do botão de “reset”, instalado junto às placas que suportavam o microprocessador. Após orientação do fabricante, tentou-se encontrar a fonte deste erro, testando-se a estabilidade da tensão de alimentação dos circuitos e especificamente do BS1, porém nenhuma alteração foi detectada. Após novo contato com o fabricante, o mesmo afirmou não haver outro motivo para este comportamento, solicitando então que fosse testados BS1 de outro lote de fabricação, mas novamente ocorreu o mesmo erro. Em virtude do escasso tempo para desenvolvimento do projeto, bem como do baixo índice de ocorrência do problema, optou-se por dar seguimento à pesquisa, visto que o acompanhamento do funcionamento do sistema era feito regularmente, não havendo portanto risco de longos períodos sem leitura.

### **2.3.1.5 Comportamento do Software**

O Software desenvolvido para controlar o sistema apresentou excelente comportamento, visto que durante as 2856 horas de funcionamento, o mesmo não apresentou interrupções de funcionamento. Todas as vezes em que ocorreu erros no recebimento das leituras, por determinado período, o Software, que possuía uma rotina de programação para isto, se auto desligava, reiniciando o computador, bem como a si mesmo. Esta foi a solução encontrada para que o sistema conseguisse se auto-restaurar nos períodos em que não houvesse acompanhando do seu funcionamento, como por exemplo, no período noturno. Este procedimento apresentou excelentes resultados, pois em todas as vezes em que houve falhas no recebimento do sinal de leitura, não geradas por travamentos dos Basic Steps, o mesmo conseguia se auto-restaurar. Em virtude deste comportamento adequado, apresentado pelo Software, o mesmo foi considerado apto para ser utilizado no controle do sistema automático de irrigação.

### **2.3.2 Desenvolvimento das mudas**

As características de desenvolvimento das mudas foram avaliadas durante três períodos que se seguiram após o início da aplicação dos tratamentos, sendo eles: janeiro à fevereiro (período 1), fevereiro à março (período 2) e março à abril (período 3). Cada valor, utilizado nas análises estatísticas das diferentes características de desenvolvimento, representa a média de cinco plantas. As plantas do tratamento referente ao nível de depleção de 75% da MCRA, não suportaram a condição hídrica a qual foram expostas e morreram logo no primeiro período avaliado, sendo portanto descartado o tratamento cinco das análises e considerado inaplicável à produção de mudas de cafeeiro sob as condições utilizadas nesta pesquisa.

#### **2.3.2.1 Altura do ramo ortotrópico**

Na Figura 21 é apresentado o desenvolvimento das mudas, com relação à altura do ramo ortotrópico, sob os diferentes tratamentos ao longo dos três períodos de avaliação. Os valores apresentados nessa figura representam a altura média de vinte plantas, sendo cinco de cada parcela dos tratamentos, com quatro repetições de cada tratamento (uma por bloco).

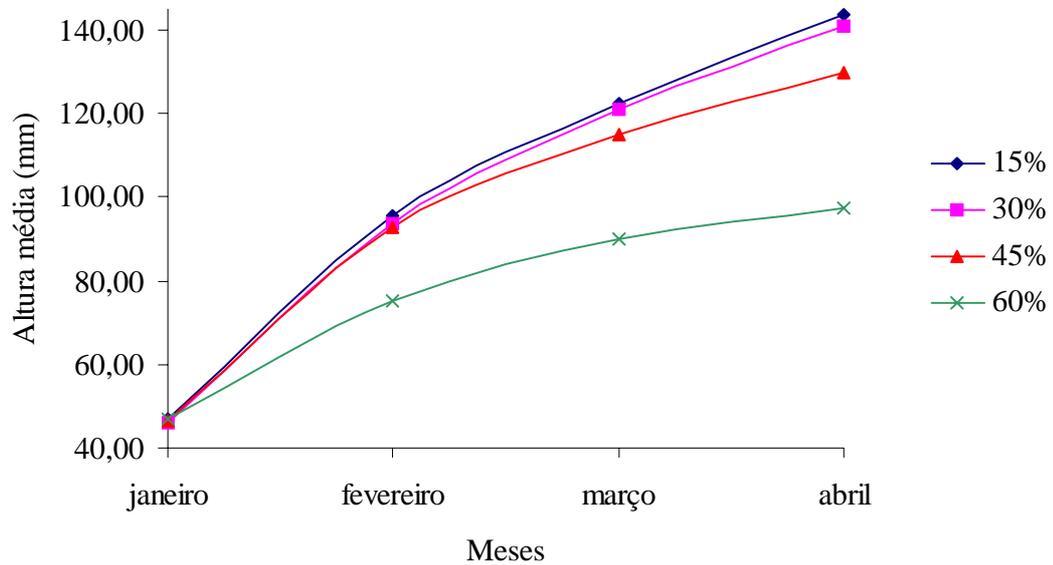


Figura 21 - Variação da altura do ramo ortotrópico, das mudas, ao longo dos períodos avaliados

Observa-se na Figura 21 que o tamanho médio inicial das mudas dos diferentes tratamentos era praticamente igual ( $46,45 \pm 0,40$  mm), porém, já no primeiro período, o tratamento referente a 60% de depleção apresentou uma taxa de crescimento menor, representado pela menor inclinação da curva neste intervalo de tempo. Este comportamento se estende até o fim do experimento, inclusive com uma gradativa diminuição da taxa de crescimento. Comportamento semelhante ocorre com a tratamento referente à 45% de depleção, porém em proporções menores, ficando o mesmo não muito distante dos outros dois tratamentos (15% e 30% de depleção) ao final do experimento. Apesar de ser possível observar na Figura 21 uma diferença de crescimento entre as plantas dos diferentes tratamentos, só é possível afirmar que essa diferença foi significativa ou não, com o auxílio da análise estatística dos dados, a qual tem seu resumo apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância, por período e total, da característica altura do ramo ortotrópico das mudas

FV	GL	Período			Total
		1 (Jan/Fev)	2 (Fev/Mar)	3 (Mar/Abr)	
		FC	FC	FC	
Blocos	3	0.65 <sup>(NS)</sup>	0.14 <sup>(NS)</sup>	0.47 <sup>(NS)</sup>	0.65 <sup>(NS)</sup>
Depleções	3	16.86 *	7.52*	8.83*	27.25*
Erro	9	..	..	..	..
total	15	..	..	..	..
CV (%)	..	10.92	17.71	26.66	10.11

<sup>(NS)</sup> Não significativo à 5% de probabilidade pelo teste F.

\* Significativo à 5%.

Nota – Sinal convencional utilizado

.. Não se aplica a dado numérico.

Os valores utilizados na análise estatística referem-se ao incremento médio na altura do ramo ortotrópico das mudas. Na Tabela 3, pode-se observar que os incrementos de altura apresentados pelos diferentes tratamentos foram significativamente diferentes à 5% de probabilidade ( $P < 0,05$ ), tanto para os três períodos avaliados quanto para o período total.

Nas Figuras 22 e 23 são apresentadas as curvas obtidas com as regressões geradas na análise estatística para os incrementos ocorridos em cada período do experimento, bem como para aqueles obtidos durante todo o experimento (total). As equações obtidas a partir da análise estatística dos dados coletados e que representam os incrementos na altura das mudas sob os diferentes níveis de depleção, são apresentadas, com seus respectivos coeficientes de determinação, na Tabela 4.

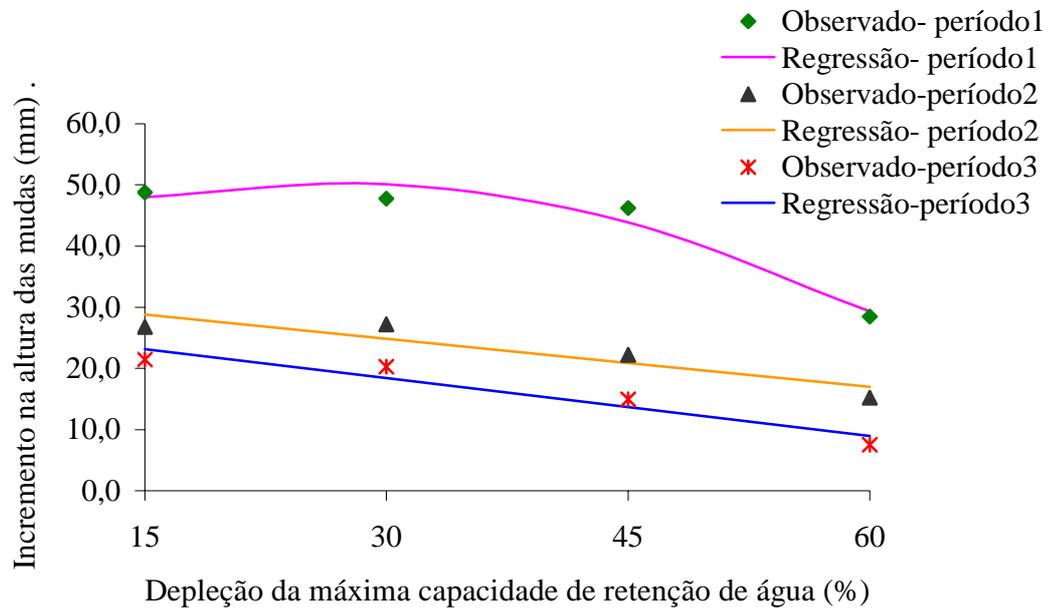


Figura 22 - Incremento da altura do ramo ortotrópico, das mudas, em cada período de avaliação

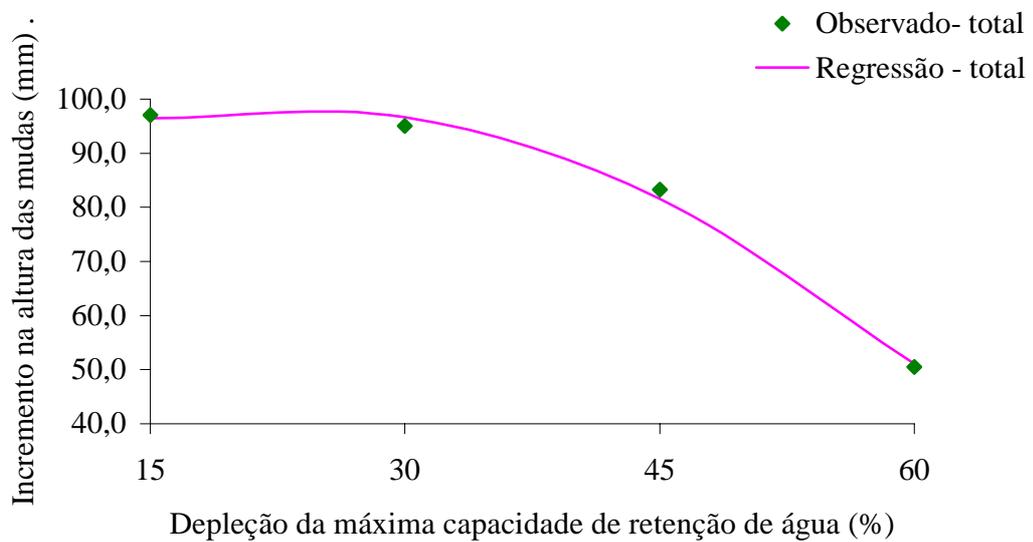


Figura 23 - Incremento total da altura do ramo ortotrópico, das mudas, ao final do experimento

Tabela 4 – Equações e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), obtidos com as regressões geradas pela análise estatística dos incrementos de altura do ramo ortotrópico das mudas

Período	Equação ajustada	$R^2$ (%)
1 - Jan/Fev	$-0,018x^2 + 0,98x + 37,43$	95,51
2 - Fev/Mar	$-0,26x + 32,75$	84,17
3 - Mar/Abr	$-0,31x + 27,87$	91,84
Total	$-0,034x^2 + 1,55x + 80,81$	99,54

Nota – Equações obtidas para nível de significância de 5% pelo teste F.

Na Figura 22 fica nítido o maior incremento da característica altura, na fase inicial de desenvolvimento das mudas, e posterior declínio deste com o decorrer do tempo. O valor de incremento no período 2 (fev/mar) chega a ser 45% menor que o apresentado no período 1 (jan/fev) para o tratamento referente à 15% de depleção. Considerando o mesmo tratamento, porém analisando a variação de incremento do período 1 (jan/fev) para o 3 (mar/abr), observa-se uma redução de 56%. Esta redução do incremento de altura das mudas, para um mesmo nível de depleção, mostra que a fase inicial de desenvolvimento das mudas é mais influenciada pela disponibilidade hídrica e que com o desenvolvimento das mudas, esta influência diminui. Outra informação importante que pode ser obtida tanto na Figura 22, quanto na Figura 23, é que o maior incremento ocorreu no tratamento com depleção de 15%, seguido pelo tratamento de 30%, o qual não apresentou grande variação em relação ao primeiro, sendo somente ligeiramente menor, porém, a partir do tratamento com 45% de depleção, houve uma queda drástica no incremento total da altura do ramo ortotrópico, principalmente no período 1. Este fato mostra a elevada influência que a disponibilidade hídrica tem sobre o crescimento das mudas, e que depleções acima de 45% podem limitar o desenvolvimento das mudas de cafeeiro. Considerando-se o ponto de máximo incremento para as equações ajustadas como sendo o ótimo, tem-se como depleção ideal para os três períodos 27%, 15% e 15%, respectivamente e para o período total a depleção de 22%. Apesar dos valores do ponto de máximo das equações serem diferentes, quando se analisa as Figuras 22 e 23, pode-se observar que uma depleção de 27% promoveria um incremento de altura excelente para todos os períodos avaliados.

### 2.3.2.2 Diâmetro do ramo ortotrópico (DRO)

Na Figura 24 são apresentados os incrementos no diâmetro do ramo ortotrópico (DRO) das mudas, sob os diferentes tratamentos ao longo dos três períodos de avaliação. Os valores apresentados nesta figura representam o DRO médio de vinte plantas, sendo cinco de cada parcela dos tratamentos, com quatro repetições de cada tratamento (uma por bloco).

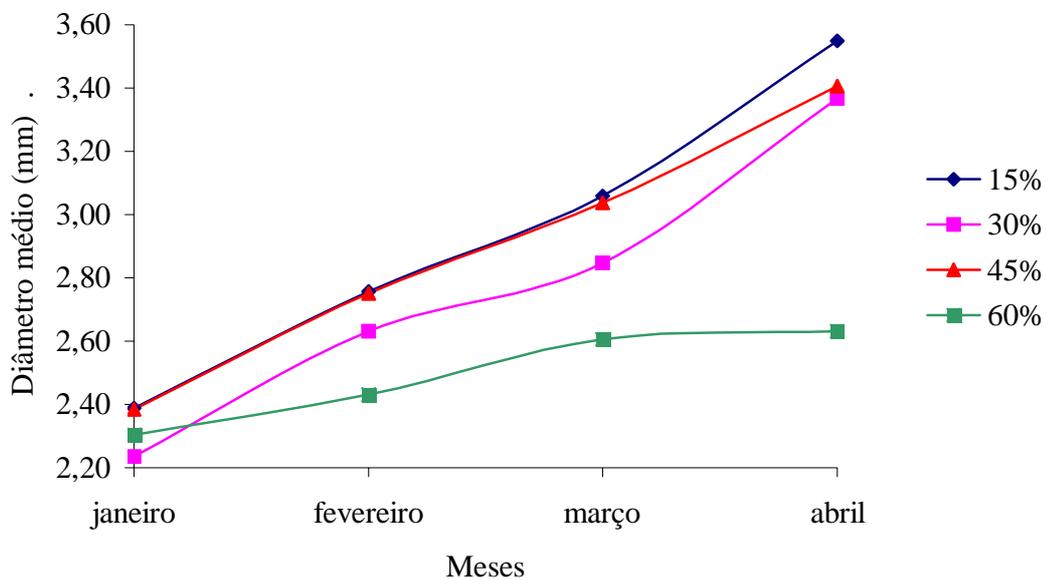


Figura 24 - Variação do diâmetro do ramo ortotrópico das mudas ao longo dos períodos avaliados

Observa-se na Figura 24 que a média do DRO inicial das mudas dos diferentes tratamentos apresentava uma variação menor que 10%, porém já no primeiro período (jan/fev) o tratamento referente a 60% de depleção apresenta uma taxa de incremento do DRO inferior às demais, o que pode ser verificado pela menor inclinação da curva neste intervalo de tempo. Esta menor taxa de aumento do DRO apresentada por este tratamento, estende-se até o fim do experimento, inclusive com uma acentuada diminuição dessa taxa, no período 3 (mar/abr). Isto mostra que a depleção de 60%, assim como para a característica altura do ramo ortotrópico, também limitou o desenvolvimento das mudas, no tocante ao aumento do DRO. O tratamento referente à 45% de depleção, apresenta uma taxa de aumento do DRO muito próxima à apresentada por aquele referente à 15% de depleção, nos dois primeiros períodos, sendo inclusive

maior que a apresentada pelo tratamento de 30% de depleção. Somente no último período é que o tratamento de 45% de depleção apresenta uma diminuição da taxa de aumento do DRO. Em uma análise inicial pode-se notar pouca diferença no aumento de DRO entre os níveis 15%, 30% e 45% de depleção, principalmente quando se compara os valores finais dessa característica, apresentados pelos três níveis de depleção.

Para determinar se as diferenças entre os tratamentos foram significativas, realizou-se a análise de variância com os valores de incremento médio de DRO das mudas. O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo da análise de variância, por período e total, da característica diâmetro do ramo ortotrópico das mudas

FV	GL	Período			Total
		1 (Jan/Fev)	2 (Fev/Mar)	3 (Mar/Abr)	
		FC	FC	FC	
Blocos	3	2,22 <sup>(NS)</sup>	0,82 <sup>(NS)</sup>	8,46 <sup>(NS)</sup>	2,54 <sup>(NS)</sup>
Depleções	3	7,38 *	1,56 <sup>(NS)</sup>	56,92*	17,48*
Erro	9	..	..	..	..
total	15	..	..	..	..
CV (%)	..	29,02	39,85	17,13	20,66

<sup>(NS)</sup> Não significativo à 5% de probabilidade pela teste F.

\* Significativo à 5%.

Nota – Sinal convencional utilizado

.. Não se aplica a dado numérico.

Na Tabela 5, observa-se que os incrementos do DRO apresentados pelos diferentes tratamentos foram significativamente diferentes à 5% ( $P < 0,05$ ), nos períodos 1 e 3, bem como no período total.

Nas Figuras 25 e 26 são apresentadas as curvas obtidas com as regressões geradas na análise estatística para os incrementos nos períodos 1 e 3 e para o incremento total. Como no período 2 não houve diferença estatística entre os incrementos do DRO dos diferentes níveis de depleção, não foi gerada uma curva para essa característica no referido intervalo de tempo. As equações obtidas a partir da análise estatística dos dados e que representam os incrementos no

DRO das mudas sob os diferentes níveis de depleção, são apresentadas, com seus respectivos coeficientes de determinação, na Tabela 6.

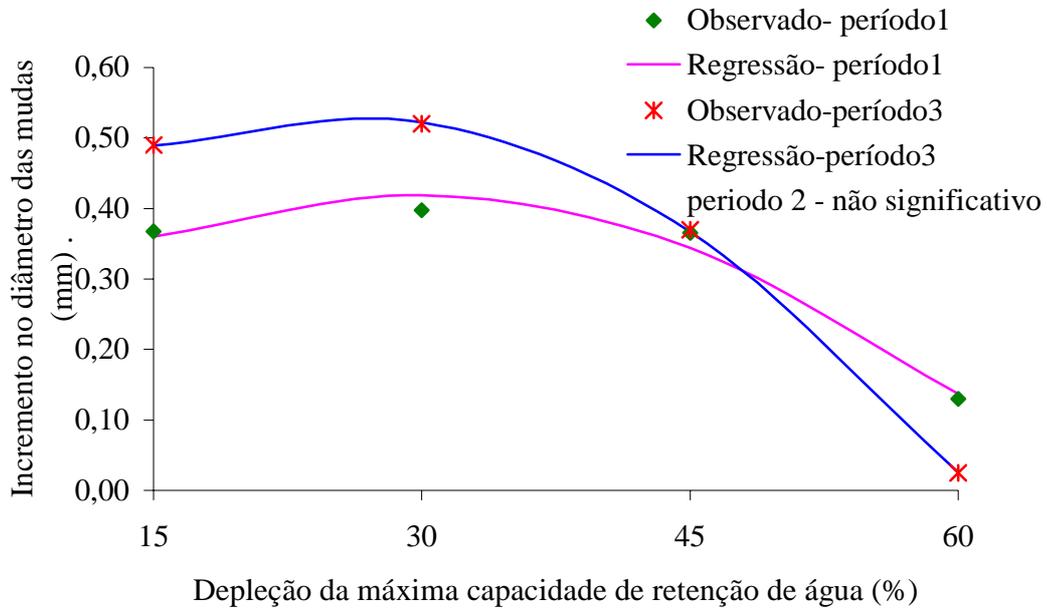


Figura 25 - Incremento do diâmetro do ramo ortotrópico, das mudas, por período

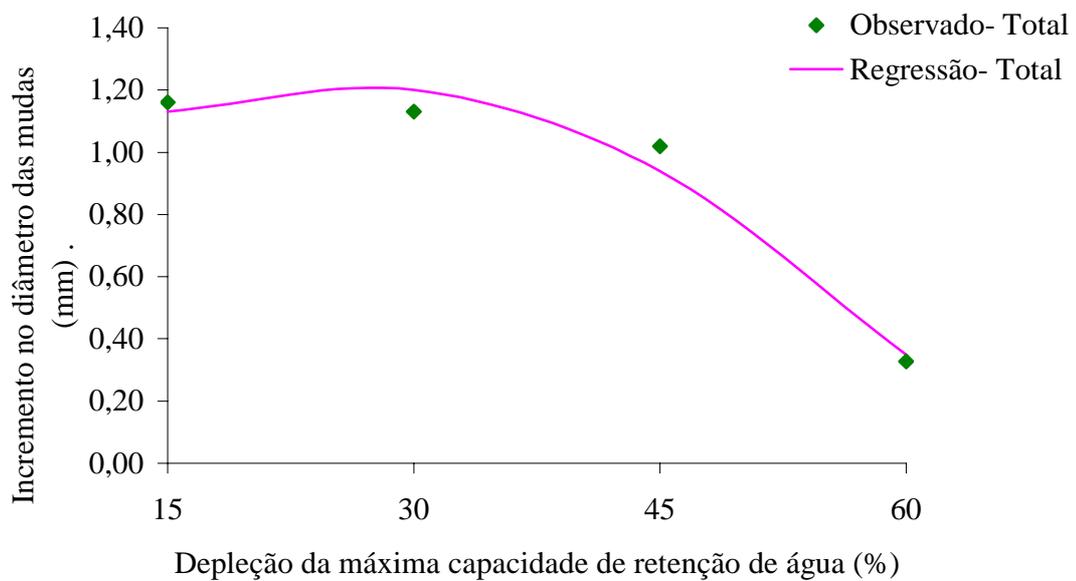


Figura 26 - Incremento total do diâmetro do ramo ortotrópico, das mudas, ao final do experimento

Tabela 6 – Equações e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), obtidos com as regressões geradas pela análise estatística dos incrementos de diâmetro do ramo ortotrópico das mudas

Período	Equação ajustada	$R^2$ (%)
1 - Jan/Fev	$-0,00029x^2 + 0,017x + 0,17$	97,88
2 - Fev/Mar	NS	..
3 - Mar/Abr	$-0,00041x^2 + 0,02x + 0,268$	99,99
Total	$-0,00074x^2 + 0,038x + 0,728$	97,28

Nota – Equações obtidas para nível de significância de 5% pelo teste F.

Na Figura 25 pode-se observar que no período 3 (mar/abr) a diferença de incrementos de DRO nas plantas dos diferentes tratamentos é mais acentuada que no período 1 (jan/fev), demonstrando que para essa característica a maior influência da disponibilidade hídrica ocorre na fase final do desenvolvimento das mudas, ao contrário do que ocorre com a característica altura do ramo ortotrópico. Apesar desta diferença entre as duas características, com relação ao período de maior influência da disponibilidade hídrica, analisando-se as Figuras 22 e 25, observa-se que para ambas, o tratamento com 60% de depleção apresentou um incremento bem inferior aos demais. Esta afirmação é reforçada ao se analisar as Figuras 23 e 26, onde fica mais nítida ainda a considerável discrepância do incremento total de altura e DRO entre as plantas submetidas a 60% de depleção e aquelas submetidas aos demais níveis de depleção. Comparando-se ainda, os incrementos de DRO ocorridos na depleção de 45% com os ocorridos na depleção de 60%, observa-se que as plantas submetidas à 60% de depleção apresentaram um incremento 62% menor que as plantas submetidas à 45% de depleção. Fica claro a partir dessas considerações que valores acima de 45% de depleção limitaram o desenvolvimento das mudas.

Calculando-se o ponto de máximo incremento de DRO pelas equações ajustadas, para os períodos 2 e 3, encontra-se, respectivamente, 29,31% e 24,39% de depleção. Já com relação ao período total, o valor de máximo incremento de DRO seria de 25,67% de depleção. A partir desses valores e analisando-se as Figuras 25 e 26, pode-se observar que uma depleção de 27%, assim como para a característica altura, promoveria um incremento de DRO excelente para todos os períodos avaliados.

### 2.3.2.3 Área Foliar (AF)

Na Figura 27 são apresentados os incrementos de área foliar (AF) das mudas, sob os diferentes tratamentos ao longo dos três períodos de avaliação. Os valores apresentados nesta figura representam a AF média de vinte plantas, sendo cinco de cada parcela dos tratamentos, com quatro repetições de cada tratamento (uma por bloco).

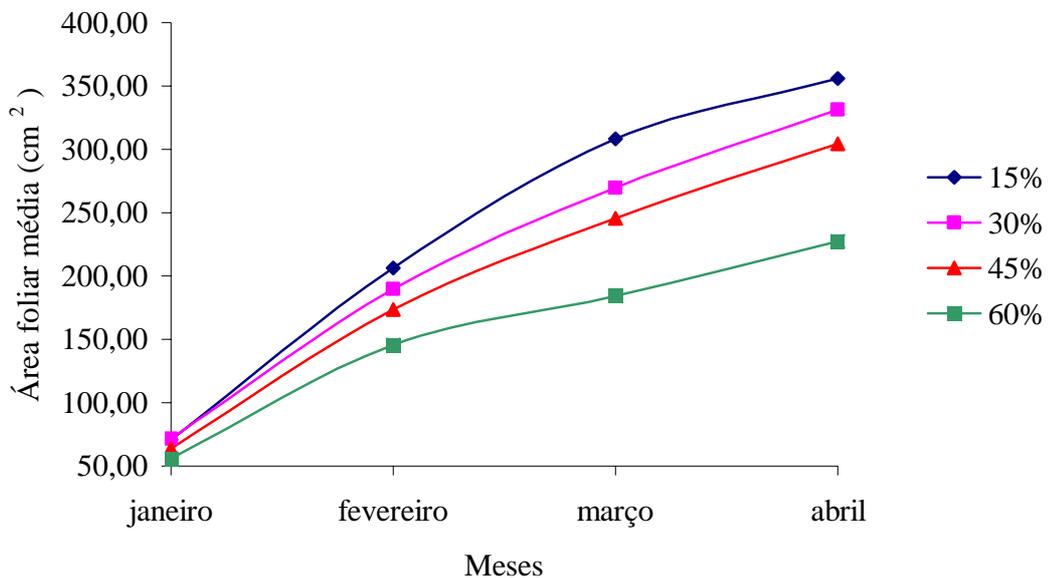


Figura 27 - Variação da área foliar, das mudas, ao longo dos períodos avaliados

Observa-se na Figura 27 que no período 1 (jan/fev) o tratamento referente a 15% de depleção apresenta uma taxa de incremento de AF superior às demais, o que pode ser verificado pela maior inclinação de sua curva neste intervalo de tempo. Este comportamento se repetiu no período 2 (fev/mar) e somente no período 3 (mar/abr) a depleção de 15% proporcionou uma taxa de incremento da AF ligeiramente menor que as demais. De maneira contrária, na curva referente à depleção de 60% observa-se que no período 1 houve uma taxa de incremento de AF inferior à apresentada pelos demais níveis de depleção, comportamento este que se evidencia ainda mais nos períodos subsequentes. Isto mostra que, assim como para as características altura e diâmetro do ramo ortotrópico, a depleção de 60% limitou o desenvolvimento das mudas. As mudas submetidas aos tratamentos referentes à 30% e 45% de depleção, apresentaram taxas de

incremento da AF praticamente iguais ao longo dos períodos avaliados, porém, ao final do período de avaliação, aquelas submetidas à depleção de 45% apresentaram um valor médio de AF 8% menor que as submetidas a depleção de 30%. Comparando-se os valores médios de AF, ao final do período de avaliação, para os quatro níveis de depleção, verifica-se que as mudas referentes as depleções de 30% e 45%, apresentaram, respectivamente, uma AF 7% e 14% menor que as submetidas a depleção de 15%, enquanto que as mudas submetidas à depleção de 60% apresentaram um valor final de AF 36% menor que as submetidas à depleção de 15%. Esses resultados vem reforçar a constatação que as depleções superiores à 45% limitam o desenvolvimento das mudas de cafeeiro.

Para determinar se as diferenças entre os tratamentos foram significativas, realizou-se a análise de variância com os valores de incremento médio de AF das mudas. O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância, por período e total, da característica área foliar das mudas

FV	GL	Período			Total
		1 (Jan/Fev)	2 (Fev/Mar)	3 (Mar/Abr)	
		FC	FC	FC	FC
Blocos	3	0,342 <sup>(NS)</sup>	0,18 <sup>(NS)</sup>	0,237 <sup>(NS)</sup>	0,156 <sup>(NS)</sup>
Depleções	3	1,316 <sup>(NS)</sup>	7,13 *	0,306 <sup>(NS)</sup>	5,65 *
Erro	9	..	..	..	..
total	15	..	..	..	..
CV (%)	..	29,54	26,73	61,11	17,13

<sup>(NS)</sup> Não significativo à 5% de probabilidade pela teste F.

\* Significativo à 5%.

Nota – Sinal convencional utilizado

.. Não se aplica a dado numérico.

Na Tabela 7, observa-se que os incrementos de AF apresentados pelos diferentes tratamentos foram significativamente diferentes à 5% ( $P < 0,05$ ), somente nos períodos 2 e total.

Nas Figuras 28 e 29 são apresentadas as curvas obtidas com as regressões geradas na análise estatística para os incrementos no período 2 e para o incremento total. Como nos períodos 1 e 3 não houve diferença estatística entre os incrementos de AF dos diferentes níveis de

depleção, não foram geradas curvas para essa característica no referido intervalo de tempo. As equações obtidas a partir da análise estatística dos dados e que representam os incrementos de AF das mudas sob os diferentes níveis de depleção, são apresentadas, com seus respectivos coeficientes de determinação, na Tabela 8.

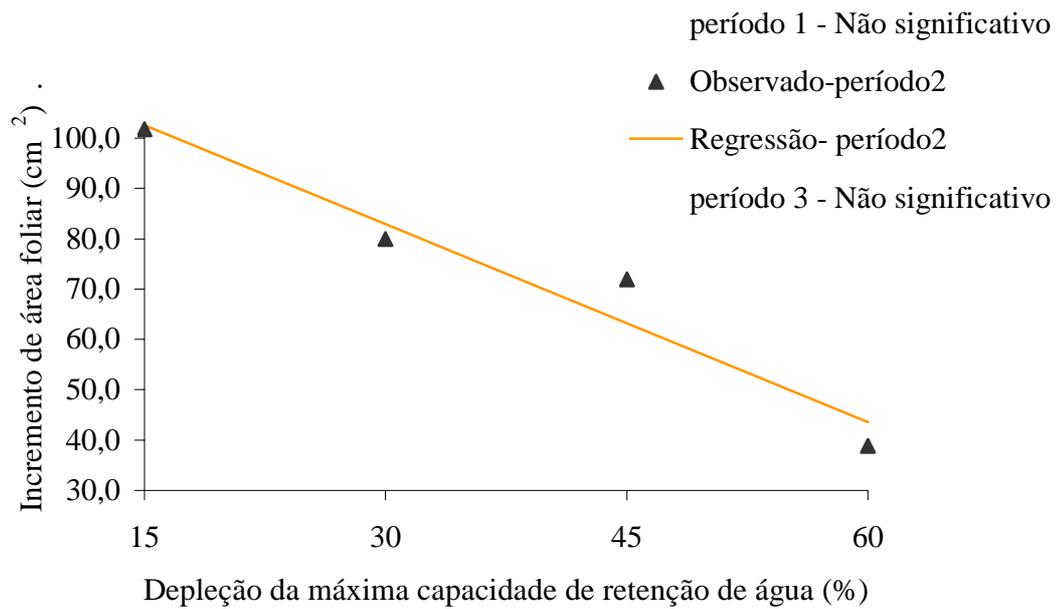


Figura 28 - Incremento da área foliar, das mudas, no período 2 (fev/mar)

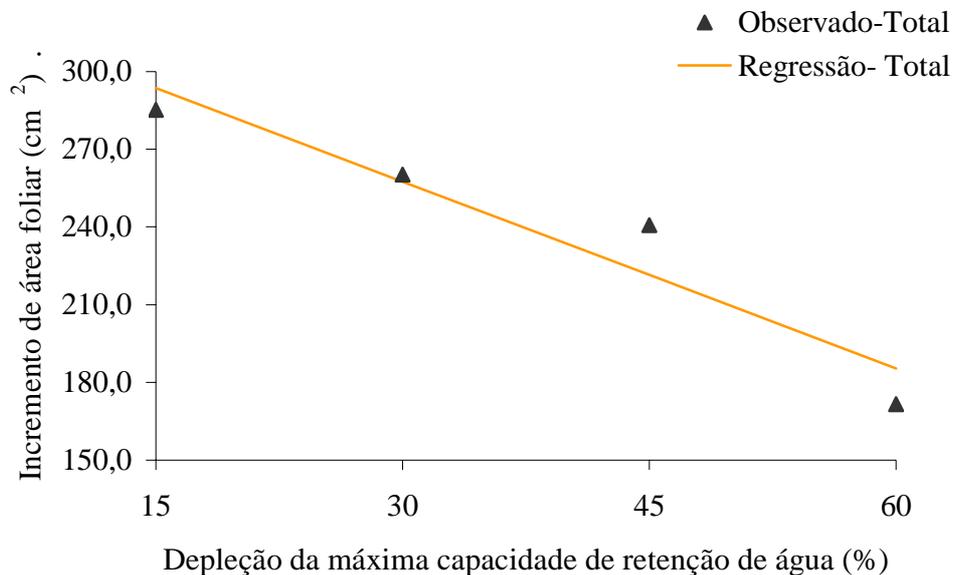


Figura 29 - Incremento total da área foliar, das mudas, ao final do experimento

Tabela 8 – Equações e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), obtidos com as regressões geradas pela análise estatística dos incrementos de área foliar das mudas

Período	Equação ajustada	$R^2$ (%)
1 - Jan/Fev	NS	..
2 - Fev/Mar	$-1,31x + 122,62$	94,73
3 - Mar/Abr	NS	..
Total	$- 2,40x + 329,5$	91,07

Nota – Equações obtidas para nível de significância de 5% pelo teste F.

Na Figura 28 pode-se observar que o tratamento com 60% de depleção apresentou um incremento bem inferior aos demais. Comparando-se os incrementos ocorridos na mudas submetidas ao nível de depleção de 45%, o qual proporcionou o segundo menor incremento de AF, com os ocorridos com as mudas submetidas ao nível de depleção de 60%, observa-se que os incrementos ocorridos sob a depleção de 60%, foram 46% menores que as ocorridos sob a depleção de 45%. Porém, comparando-se os incrementos sob a depleção de 45% com os ocorridos sob a depleção de 15%, a qual promoveu o maior incremento, observa-se que a depleção de 45% proporcionou um incremento de AF nas mudas 29% menor que a depleção de

15%. Com essas comparações fica evidente que as mudas submetidas à depleção de 60% apresentaram um incremento de AF bem inferior aos demais tratamentos.

Como as equações ajustadas pela regressão foram lineares e descendentes, o valor de depleção que apresenta o maior incremento de AF é de 15%. Apesar disso, comparando-se, pela equação de incremento total, a depleção de 15% com a de 27%, encontrar-se-ia para a depleção de 27% um incremento 9,8% menor que o apresentado pela depleção de 15%. A partir desses valores pode-se observar que uma depleção de 27%, apesar de não ser a que promoveria o maior incremento de AF, não acarretaria severos prejuízos ao incremento desta característica. Desta forma, para as características altura, DRO e AF, a depleção de 27% se mostra uma boa opção no manejo da subirrigação, para as mudas de cafeeiro produzidas em tubetes sob as condições estabelecidas nesse experimento.

#### **2.3.2.4 Peso seco da parte aérea das mudas (PPA)**

Na Figura 30 são apresentados os incrementos de peso seco da parte aérea (PPA) das mudas, sob os diferentes tratamentos ao longo dos três períodos de avaliação. Os valores apresentados nesta figura representam PPA médio de vinte plantas, sendo cinco de cada parcela dos tratamentos, com quatro repetições de cada tratamento (uma por bloco).

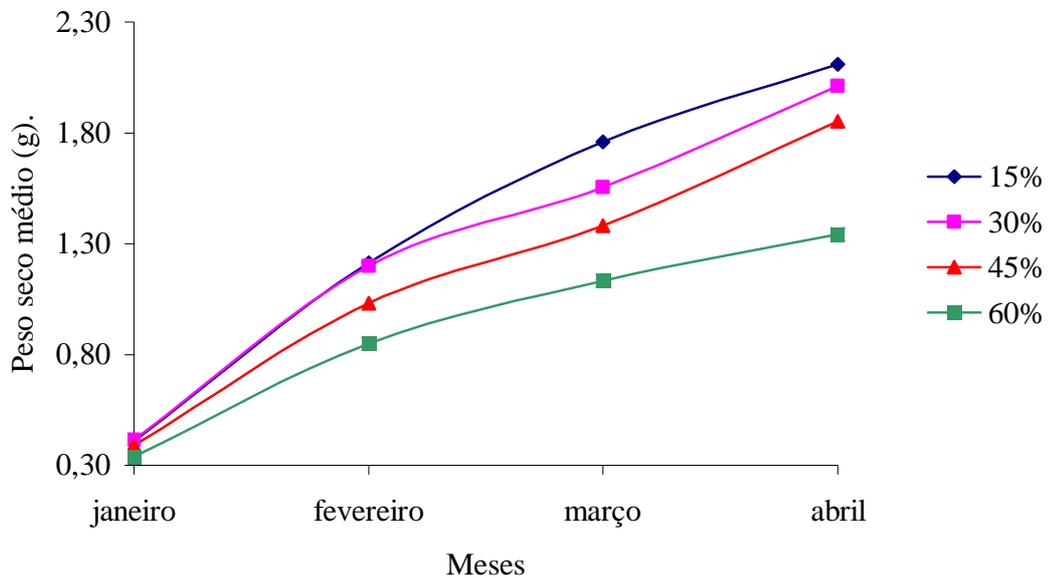


Figura 30 - Variação do PPA das mudas ao longo dos períodos avaliados

Observa-se na Figura 30 que no período 1 (jan/fev) os tratamentos referentes a 15 e 30% de depleção apresentaram uma taxa de incremento de PPA superior às demais, o que pode ser verificado pela maior inclinação de suas curvas neste período. Este comportamento se repetiu no período 2 (fev/mar) para a depleção de 15%, mas no período 3 (mar/abr) este nível de depleção apresentou uma taxa de incremento do PPA inferior as depleções de 30 e 45%. Estes dois níveis de depleção (15 e 30%) tiveram uma considerável recuperação desta taxa no período 3. Este fato mostra que a disponibilidade hídrica tem elevada influência sob o incremento desta característica no período 2 e ao contrário, no período três a disponibilidade hídrica não é tão influente sob o incremento do PPA. A curva referente à depleção de 60% apresentou para o período 1 uma taxa de incremento do PPA inferior às demais, comportamento este que se evidencia ainda mais nos períodos subsequentes. Isto mostra que, a depleção de 60% não proporcionou uma boa condição, com relação à disponibilidade hídrica, para o desenvolvimento das mudas, pois mesmo no período 3, quando então a disponibilidade hídrica não foi tão influente sob o incremento de PPA, este nível de depleção não apresentou um aumento na taxa de incremento. Assim como para as características altura do ramo ortotrópico e área foliar, ao se comparar as taxas de incremento dos diferentes níveis de depleção ao longo do período de avaliação, nota-se uma tendência de diminuição da influência da disponibilidade hídrica sobre a característica PPA. Este fato é

evidenciado pela diminuição da diferença de inclinação das curvas de depleção, no decorrer do período de avaliação, ou seja, ao se subtrair o valor da inclinação da curva de depleção de 60% do valor da inclinação da curva de depleção de 15% no período 1, encontra-se um valor  $0,29 \text{ g.mês}^{-1}$ , porém ao se realizar a mesma subtração para o período 3, obtém-se um valor de  $0,14 \text{ g.mês}^{-1}$ .

Comparando-se os valores médios do PPA, ao final do período de avaliação, para os quatro níveis de depleção, verifica-se que as mudas referentes as depleções de 30 e 45%, apresentaram, respectivamente, um PPA 5% e 12% menores que as submetidas a depleção de 15%, enquanto que as mudas submetidas à depleção de 60% apresentaram um valor final de PPA 36% menor que as submetidas à depleção de 15%. Mais uma vez, os resultados obtidos reforçam a constatação que as depleções superiores à 45% limitam o desenvolvimento das mudas de cafeeiro.

Para determinar se as diferenças entre os tratamentos foram significativas, realizou-se a análise de variância com os valores de incremento médio do PPA das mudas. O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resumo da análise de variância, por período e total, da característica peso seco da parte aérea das mudas

FV	GL	Período			Total
		1 (Jan/Fev)	2 (Fev/Mar)	3 (Mar/Abr)	
		FC	FC	FC	FC
Blocos	3	0,254 <sup>(NS)</sup>	0,182 <sup>(NS)</sup>	0,105 <sup>(NS)</sup>	0,15 <sup>(NS)</sup>
Depleções	3	2,298 <sup>(NS)</sup>	3,449 <sup>(NS)</sup>	1,583 <sup>(NS)</sup>	7,563 <sup>(NS)</sup>
Erro	9	..	..	..	..
total	15	..	..	..	..
CV (%)	..	26,43	31,23	51,60	15,54

<sup>(NS)</sup> Não significativo à 5% de probabilidade pela teste F.

\* Significativo à 5%.

Nota – Sinal convencional utilizado

.. Não se aplica a dado numérico.

Apesar de se observar na Figura 30 uma diferença nos valores de PPA entre as mudas submetidas aos diferentes níveis de depleção, não se constatou, pela análise estatística, que essas diferenças foram significativas. Gervásio (2003) testando diferentes lâminas de irrigação na

produção de mudas de cafeeiro, também não encontrou diferença significativa no desenvolvimento das mudas, com relação ao PPA.

### 2.3.2.5 Peso seco do sistema radicular (PSR)

Na Figura 31 são apresentados os incrementos de peso seco do sistema radicular (PSR) das mudas, sob os diferentes tratamentos ao longo dos três períodos de avaliação. Os valores apresentados nesta figura representam PSR médio de vinte plantas, sendo cinco de cada parcela dos tratamentos, com quatro repetições de cada tratamento (uma por bloco).

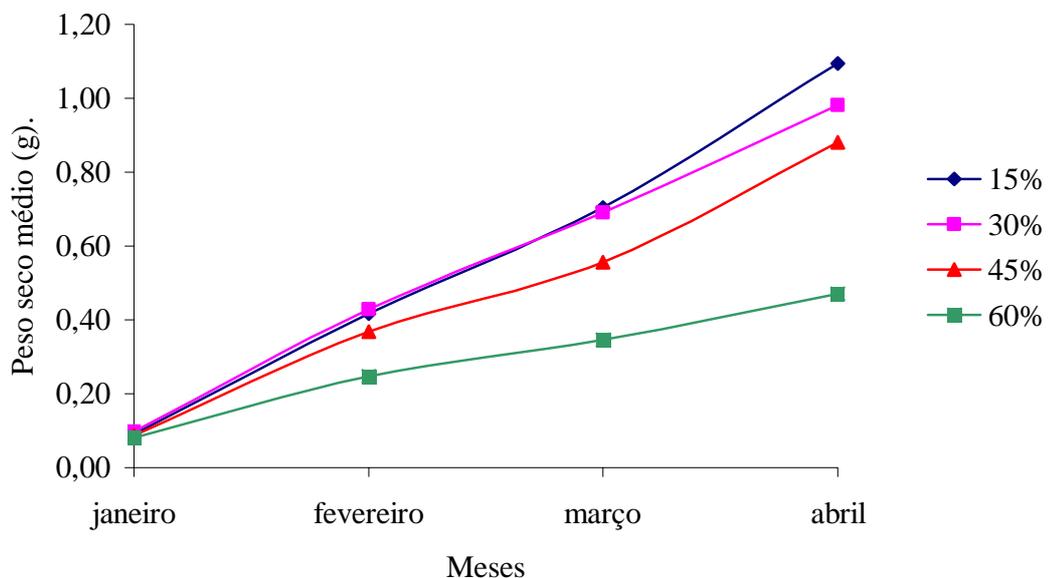


Figura 31 - Variação da peso seco do sistema radicular, das mudas, ao longo dos períodos avaliados

Observa-se na Figura 31 que nos períodos 1 (jan/fev) e 2 (fev/mar) os tratamentos referentes a 15 e 30% de depleção apresentaram uma taxa de incremento de PSR superior às demais, o que pode ser verificado pela maior inclinação de suas curvas nestes períodos. Este comportamento também se repetiu no período 3 (fev/mar) para a depleção de 15%. No período 3 (mar/abr) a depleção de 45% apresentou um aumento da taxa de incremento do PPA enquanto a depleção de 30% apresentou uma ligeira redução dessa taxa. Analisando o comportamento dessa

característica ao longo dos períodos de avaliação, pode-se observar, mais uma vez, que a disponibilidade hídrica tem maior influência sob o desenvolvimento das mudas nos períodos iniciais e que esta influência diminui com o decorrer do tempo. Desta maneira, fica claro que é imprescindível uma atenção especial às condições hídricas que as mudas estão expostas na fase inicial de produção, para que as mesmas possam expressar seu máximo potencial de desenvolvimento. A curva referente à depleção de 60% apresentou para o período 1 uma taxa de incremento do PSR inferior às demais, comportamento este que se evidencia ainda mais nos períodos subsequentes.

Comparando-se os valores médios do PSR, ao final do período de avaliação, para os quatro níveis de depleção, verifica-se que as mudas referentes as depleções de 30% e 45%, apresentaram, respectivamente, um PSR 10% e 19% menor que as submetidas a depleção de 15%, enquanto que as mudas submetidas à depleção de 60% apresentaram um valor final de PSR 57% menor que as submetidas à depleção de 15%. Esses resultados obtidos, assim como para as demais características avaliadas, levam a constatação que as depleções superiores à 45% limitam o desenvolvimento das mudas de cafeeiro.

Para determinar se as diferenças entre os tratamentos foram significativas, realizou-se a análise de variância com os valores de incremento médio do PSR das mudas. O resumo da análise de variância é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Resumo da análise de variância, por período e total, da característica Peso seco do sistema radicular das mudas

FV	GL	Período			Total
		1 (Jan/Fev)	2 (Fev/Mar)	3 (Mar/Abr)	
		FC	FC	FC	
Blocos	3	0,1 <sup>(NS)</sup>	0,095 <sup>(NS)</sup>	0,49 <sup>(NS)</sup>	0,65 <sup>(NS)</sup>
Depleções	3	12,40 *	90,49 *	3,57 <sup>(NS)</sup>	23,85 *
Erro	9	..	..	..	..
total	15	..	..	..	..
CV (%)	..	15,82	26,49	41,99	14,28

<sup>(NS)</sup> Não significativo à 5% de probabilidade pela teste F.

\* Significativo à 5%.

Nota – Sinal convencional utilizado

.. Não se aplica a dado numérico.

Na Tabela 10, observa-se que os incrementos de PSR apresentados pelos diferentes tratamentos foram significativamente diferentes à 5% ( $P < 0,05$ ), nos períodos 1, 2 e total.

Nas Figuras 32 e 33 são apresentadas as curvas obtidas com as regressões geradas na análise estatística para os incrementos nos períodos 1 e 2, bem como para o incremento total. Como no período 3 não houve diferença estatística entre os incrementos de PSR dos diferentes níveis de depleção, não foi gerada curva para essa característica no referido intervalo de tempo. As equações obtidas a partir da análise estatística dos dados e que representam os incrementos de PSR das mudas sob os diferentes níveis de depleção, são apresentadas, com seus respectivos coeficientes de determinação, na Tabela 11.

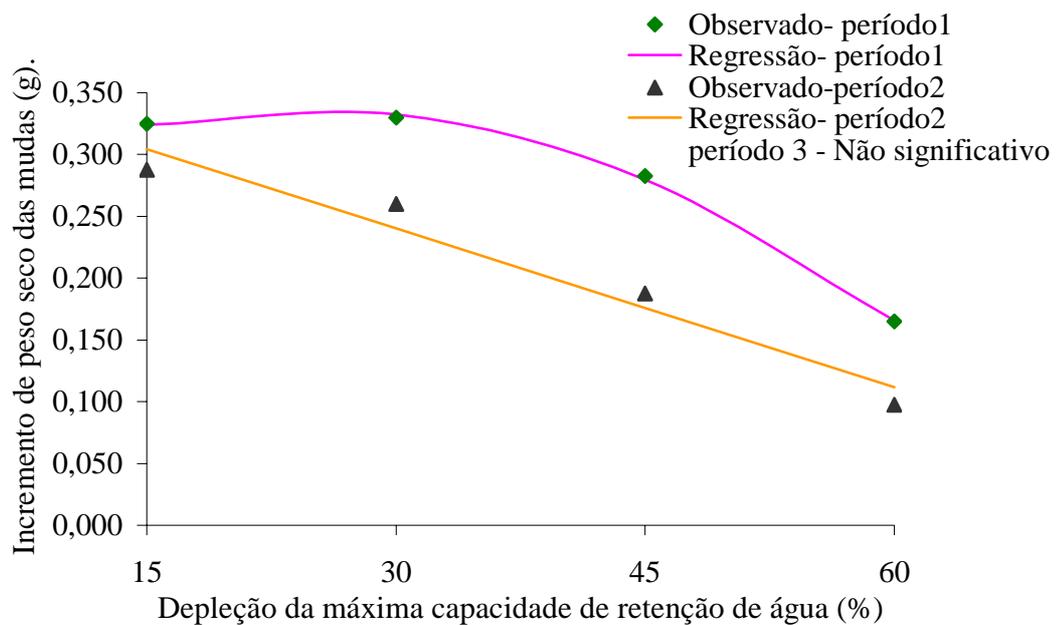


Figura 32 - Incremento de peso seco do sistema radicular, das mudas, nos períodos 1 e 2 .

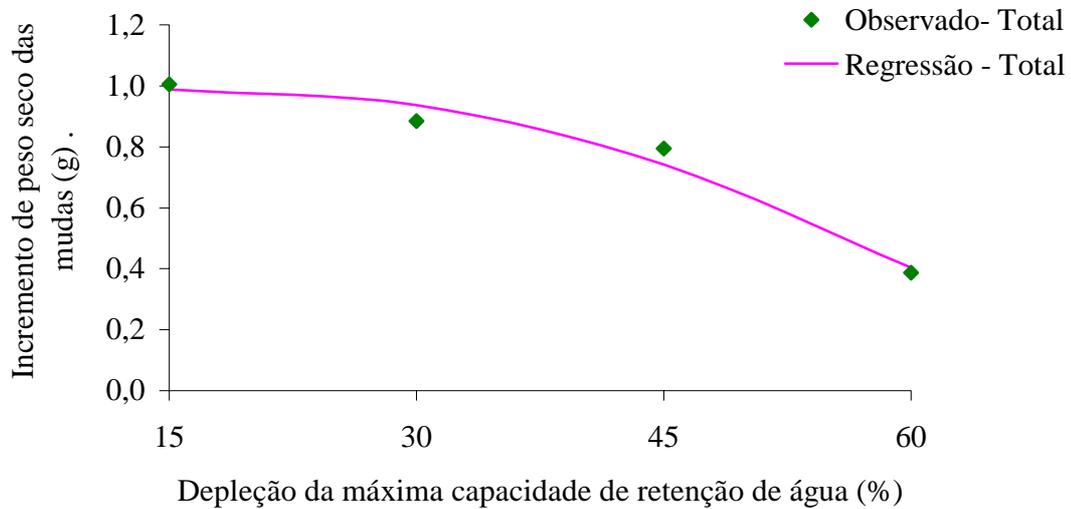


Figura 33 - Incremento total do peso seco do sistema radicular, das mudas, ao final do experimento

Tabela 11 – Equações e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), obtidos com as regressões geradas pela análise estatística dos dados de peso seco do sistema radicular

Período	Equação ajustada	$R^2$ (%)
1 - Jan/Fev	$-0,000136x^2 + 0,0066x + 0,254$	99,91
2 - Fev/Mar	$-0,0042x + 0,368$	95,32
3 - Mar/Abr	NS	..
Total	$-0,000319x^2 + 0,011x + 0,894$	97,20

Nota – Equações obtidas para nível de significância de 5% pelo teste F

Na Figura 32 pode-se observar que os valores de incrementos do PSR das plantas sob os diferentes níveis de depleção foram maiores no período 1 (jan/fev) que no período 2 (fev/mar), demonstrando que para essa característica a maior influência da disponibilidade hídrica ocorre na fase inicial do desenvolvimento das mudas, assim como para a característica altura do ramo ortotrópico, AF e PPA. Analisando-se as curvas da Figura 32, observa-se que a partir da depleção 30%, no sentido de aumento das depleções, ocorre uma drástica queda dos valores de incremento do PSR, mostrando que depleções superiores a este valor não são adequadas para promover um bom desenvolvimento das mudas, no tocante à característica PSR. Este fato fica mais evidente

quando se calcula, a partir das equações ajustadas na regressão, o ponto de máximo incremento do PSR, obtendo-se para os períodos 1, 2 e total, respectivamente, 24,26%, 15% e 17,24%.

A partir desses valores e analisando-se as Figuras 32 e 33, pode-se observar que uma depleção de 27%, assim como para a característica altura, DRO e AF, promoveria um incremento adequado com relação ao PSR.

Considerando-se, conjuntamente, o comportamento de todas as características avaliadas, sob os diferentes níveis de depleção aplicados, pode-se verificar que a depleção de 27% da MCRA do substrato, apresenta um desempenho adequado ao manejo da subirrigação na produção de mudas de cafeeiro em tubetes, promovendo, de maneira geral, um desenvolvimento satisfatório.

### **3 CONCLUSÕES**

- O sistema de subirrigação manejado por lisimetria apresentou-se viável, tecnicamente, para a produção de mudas de cafeeiro produzidas em tubetes, sendo porém necessária uma readequação do recipiente, a fim de se facilitar o enchimento dos mesmos e eliminar a perda de substrato.
  
- O sistema automático de manejo da irrigação, mostrou-se adequado para monitorar e controlar a irrigação nas mudas de cafeeiro produzidas em tubetes, necessitando porém de microprocessadores mais robustos.
  
- Os níveis de depleção, da máxima capacidade de retenção de água pelo substrato, acima de 45% se mostraram limitantes ao desenvolvimento das mudas de cafeeiro produzidas em tubetes, sendo considerada como ideal para o desenvolvimento dessas mudas o nível de depleção de 27%.

## REFERÊNCIAS

ABAD, M.; MARTÍNEZ-HERRERO, M. D.; MARTÍNEZ-GARCIA, P. F.; MARTÍNEZ-CORTE, J. Evaluación agronómica de los substratos de cultivo. **Actas de Horticultura**, Córdoba, v. 11, p. 141-154, 1992.

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lisymeters**. Rome: FAO, 1982. 68 p. (Irrigation and Drainage Paper, 39).

ANDRADE NETO, A. de. **Avaliação de substratos alternativos e tipos de adubação para a produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes**. 1998. 65 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1998.

BLOON, A. J. Principles of instrumentation for physiological ecology. In: PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J. R.; MOONEY, H. A. (Ed) **Plant physiological ecology: field methods and instrumentation**. London: Chapman and Hall, 1992. chap. 1, p. 1-13.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 2, n. 2, p. 48-54, Feb. 1997.

CAMPINHOS JÚNIOR, E.; IKEMORI, Y.K. Novas técnicas para produção de mudas de essências florestais. **IPEF**, Piracicaba, n.23, p. 47-52, 1983.

CAMPOS, K. P. de. **Produção de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes espaçamentos, substratos, adubações e tamanhos de tubetes**. 2002. 90 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2002.

CAMPECHE, L. F. de S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida “Tahiti” (*Citrus latifolia* tan.)**. 2002. 68 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2002.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, G. M. B.; MELO, B. de; REIS, E. H. S. Produção de mudas de café em diferentes substratos e doses crescentes de fertilizantes de liberação lenta (Osmocote) em tubetes. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, 27, 2001, Uberaba-MG. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: Maara/Procafé, 2001. p. 107-109.

COSTA, A. C. M.; GONÇALVES, W.; GUERREIRO FILHO, O.. Mudas em tubetes: novos componentes e misturas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, 26, 2000, Marília. **Anais...** Rio de Janeiro: Maara/Procafé, 2000. p. 230.

- FALCO, L.; GUIMARÃES, R.J.; CARVALHO, G.R.; GERVÁSIO, E.S.; MANGINI, D. Avaliação da resistência ao déficit hídrico de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.), produzidas por diferentes métodos: saquinho, tubete e raiz nua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/EMBRAPA, 1997. p. 178-180.
- FARIA, J. M. R. Produção de mudas de espécies nativas em tubetes. In: WORKSHOP SOBRE AVANÇOS NA PROPAGAÇÃO DE PLANTAS LENHOSAS, 2, 1999, Lavras. **Anais...**Lavras: UFLA, 1999. p. 9-13.
- FARIA, M. A.; REZENDE, F. C. **Irrigação na cafeicultura**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 110 p.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. Café. In: As perspectivas continuam boas até 2008. **Agrianual 2006**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2006. p. 209-223.
- GERVÁSIO, E. S.; LIMA, L. A. Desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função de diferentes lâminas de água aplicadas durante a fase inicial de formação da lavoura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISAS EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1, 1998, Uberlândia. **Resumos...** Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998. p. 75-78.
- GERVÁSIO, E. S. **Efeito de lâminas de irrigação e doses de condicionadores, associadas a diferentes tamanhos de tubetes, na produção de mudas de cafeeiro**. 2003. 105 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2003.
- GONÇALVES, S. M. **Faixas críticas de teores foliares de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.
- GUALBERTO, R.; OLIVEIRA, P. S. R.; FAVORETO, A. J.; MOTTA FILHO, C. Avaliação de substratos comerciais na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 26, 2000, Marília. **Anais...** Rio de Janeiro: Maara/Procafé, 2000. p. 327.
- GUIMARÃES, P.T.G.; CARVALHO, M.M.; MENDES, A.N.G.; BÁRTHOLO, G.F. Produção de mudas de café: coeficientes técnicos da fase de viveiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 5-10, 1989.
- GUIMARÃES, R. J. **Formação de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.): efeitos de reguladores de crescimento e remoção do pergaminho na germinação de sementes e do uso de N e K em cobertura, no desenvolvimento de mudas**. 1995. 133 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1995.

- GUIMARÃES, P. T. G.; ANDRADE NETO, A. de; BALLINI JÚNIOR, O.; ADÃO, W.A.; SILVA, E.M. da. A produção de mudas de cafeeiros em tubetes. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 98-109, 1998.
- GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S. **Cafeicultura**. Lavras: UFLA, 2002. 317 p.
- HARTMAN, H.T.; KESTER, D. E. **Propagação de plantas: Principio y Práticas**. México: Companhia Editorial Continental, 1994, 760 p.
- HU, Y.; SCHIMIDHALTER, U. Spatial distribution of inorganics ions and carbohydrates contribuinting to osmotic adjustment in the elongation wheat leaf under saline conditions. **Australian Journal Plant Physiology**, Melbourne, v. 25, n. 5, p. 591-597, 1998.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requeriments**, New York: ASCE, 1990. 332 p. (Manuals and Reports on Engineering Practice, 70).
- KAMPF, A. N. O uso de substrato em ambiente protegido no agronegócio brasileiro. In: FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; ABREU, C. A.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 2002. p. 1-6. (Documentos IAC, 70).
- LIMA, J. E. O. de. Novas técnicas de produção de mudas cítricas. **Laranja**, Cordeirópolis, v. 2, n. 7, p. 463-468, nov. 1986.
- LOPES, P. S. N. **Propagação sexuada do maracujazeiro azedo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.) em tubetes: efeito da adubação nitrogenada e substratos**. 1996. 52p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1996.
- MARTIM, S. A. **Pulverização do cafeeiro com açúcar: Potencial de uso em mudas submetidas à deficiência hídrica e na recuperação de plantas atingidas por Glyphosate**. 2003. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.2003.
- MATTA, F. M.da; **Alguns aspectos das relações hídricas em cultivares de *Coffea arábica* L. e *Coffea canephora***. 1991. 145 p. Dissertação (Mestradoem Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1991.
- MATIELLO,J.B.; BARROS, U.V. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.
- MATIELLO, J.B.; SILVA, C. M.; DALLORA, F. Pré germinação de sementes de café causando problemas no sistema radicular de mudas de tubetes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24, 1998. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Maara/Procafé, 1998. p. 38.

MATIELLO, J. B.; BARROS, U. V.; BARBOSA C. M. Viabilidade de produção de mudas de café em espuma fenólica, novo conceito de hidroponia, sem lâmina de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26, 2000. Marília. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 2000a. p. 74-76.

MATIELLO, J. B.; BARROS, U. V.; BARBOSA C. M. Modos de plantio de mudas de café em tubetes plásticos, em comparação com mudas de sacolas, na Zona da Mata de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 26, 2000. Marília, **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 2000b. p. 21-23.

MELO, B. **Estudos sobre produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes: Tipos de fertilização e diferentes substratos na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em tubetes.** 1999. 119 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1999.

MELO, B. de; MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Doses crescentes de fertilizantes de liberação lenta na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Bioscience Journal**. Uberlândia, V. 17, n. 1, p. 97-113. Jun 2001.

MILNER, L. Manejo de irrigação e fertirrigação em substratos. In: FURLANI, A. M. C.; BATAGLIA, O. C.; ABREU, C. A.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; MINAMI, K. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas.** Campinas: Instituto Agrônomo, 2002. p. 45-51. (IAC. Documentos, 70).

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenharia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1999. 463 p.

MORII, A. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; DUTRA, M. R.; MONTEIRO, J. V.; PAIVA, L. C. Aplicação de granulados de solo na formação de mudas de cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/EMBRAPA, 1997. p. 243-245.

SILVA, E. M. da; CARVALHO, G. R.; ROMANIELLO, M. M. **Mudas de cafeeiros: tecnologias de produção.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 56 p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 60).

SILVA, N.; GONZALES, R.; RIOS, M.; LOPEZ, A. V. Manejo del riego en viveros de café en el Tercer Frente, Santiago de Cuba. **Revista Baracoa**, Ciudad de Habana, v. 21, n. 2, p. 7-21, 1991.

SILVA, T. J. A. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de maracujazeiros determinados pelo método do balanço de radiação e lisimetria de pesagem.** 2005. 99 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.

SILVA, T. J. A.; MONTENEGRO, A. A.; RODRIGUES, J. J. V., BONFIM, E. M. S. Aplicação de lisímetro de pesagem hidráulica na determinação da evapotranspiração de referência, em Petrolina – PE. **Engenharia agrícola**, Botucatu, n. 23, n. 3, p. 511-520, 2003.

SILVA JÚNIOR, A.A.; MACEDO, S. G.; STUKER, H. **Utilização de esterco de peru na produção de mudas de tomateiro**. Florianópolis: EPAGRI, 1995. 28 p. (Boletim técnico, 73).

SIMÕES, J. W. Problemática da produção de mudas em essências florestais. **IPEF**, Piracicaba, v. 4, n. 13, p. 1-29, dez. 1987 (Série Técnica).

SOUZA, C. A. S.; PAIVA, L. C.; MONTE RASO, B. S.; MELO, L. Q.; GUIMARÃES, R. J.; PERREIRA, C. A. Uso de substrato alternativo para produção de mudas de cafeeiro em sacolas de polietileno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27, 2001, Uberaba. **Resumos...** Rio de Janeiro: MAARA/PROCAFE, 2001. p. 357.

THEODORO, V. C. A.; CARVALHO, J.G.; ASSIS, M.P.; GUIMARÃES, R.J.; SILVA, E.B.; FERREIRA, L. Uso do vermicomposto na produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/SDR/PROCAFE/EMBRAPA, 1997. p.164-166.

VICHIATO, M. **Influência da fertilização do porta enxerto tangerina (*Citrus reshni* Host ex. Tan. Cv. Cleópatra) em tubetes, até a repicagem**. 1996. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1996.

VILELA, L. C. S.; GUIMARÃES, R. J.; CORRÊA, J. B. D.; PAIVA, L. C. Influência do déficit hídrico aplicado a diferentes tipos de mudas de cafeeiro e diferentes substratos, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28, 2002, Caxambu. **Trabalhos Apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 228-230.

WENDLING, I; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 2002. 165 p. (Série produção de mudas ornamentais).

WILLMOTT, C. J.; CKLESON, S. G.; DAVIS, R. E. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5, p.8995-9005, 1985.