

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

**Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros – ES**

**Maurice Barcellos da Costa**

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

**Piracicaba  
2006**

Maurice Barcellos da Costa  
Engenheiro Agrônomo

**Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros – ES**

Orientador:  
Prof. Dr. **TARLEI ARRIEL BOTREL**

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

**Piracicaba**  
**2006**

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

Costa, Maurice Barcellos da

Avaliação da irrigação por pivô central na cultura do café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros - ES / Maurice Barcellos da Costa. - - Piracicaba, 2005.  
88 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Café 2. Irrigação por pivô central – Avaliação 3. Mamão 4. Manejo I. Título

CDD 633.73

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

**Ao meu pai (*in memoriam*),  
minha mãe, irmãos, amigos  
e mestres.**

**OFEREÇO**

**À minha esposa, Luciana Meneghel  
da Costa, pelo apoio, compreensão e  
afeto. Aos filhos Arthur, Ricardo e  
Eduardo, pelo estímulo.**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Ao nosso regente universal, pela presença constante;

Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade na realização do curso de doutorado:

Ao Departamento de Engenharia Ambiental, ao Centro Tecnológico e à Universidade Federal do Espírito Santo, pelo apoio concedido.

Ao professor Dr. Tarlei Arriel Botrel, pela acolhida, orientação, ensinamentos e amizade;

Aos Professores Dr. José Antônio Frizzone, Dr. Sergio Nascimento Duarte, Dr. Rubens Duarte Coelho, e demais professores, que direta ou indiretamente, contribuíram na minha formação acadêmica e na realização deste trabalho;

Ao Dr. José Geraldo Ferreira da Silva, pela co-orientação e apoio de campo;

Ao professor Dr. Edmilson Teixeira, do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, pelo apoio e amizade;

À ASSIPES – Associação dos Irrigantes do Estado Espírito Santo, especialmente aos produtores irrigantes do município de Pinheiros, pelo apoio e liberação de suas propriedades;

Ao HIAB – Instituto Hidrográfico e Ambiental da Bacia do Itaúnas, na pessoa de Wanderson Giacomim, pelo apoio logístico;

Ao GEARH – Grupo de Estudos e Ações em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Espírito Santo, na pessoa de Célio Bartole, pelo apoio e amizade;

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, Denis César Cararo, Miguel Angel Isaac Toledo del Pino e Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza, pelo convívio e amizade.

## BIOGRAFIA

**Maurice Barcellos da Costa**, filho de Euzébio Soares da Costa e Edna Barcellos da Costa, nascido em 1º de janeiro de 1963 em Santa Tereza-ES.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo em 1985 e em março de 1986, iniciou o curso de mestrado em Irrigação e Drenagem na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, concluindo-o em setembro de 1989.

Ingressou como Professor Assistente no Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES em abril de 1994.

Em maio de 2002, transferiu-se para o Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da UFES, sendo liberado para cursar o doutorado, retornando à ESALQ/USP onde iniciou o curso em agosto de 2002.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	12
2.1 Revisão Bibliográfica.....	12
2.1.1 A cafeicultura irrigada.....	12
2.1.2 A cultura do mamoeiro irrigado.....	13
2.1.3 Irrigação por pivô central.....	14
2.1.4 Uniformidade de distribuição de água em pivô central.....	16
2.1.5 Parâmetros de desempenho.....	22
2.1.6 Manejo da irrigação.....	24
2.1.7 Programa IRRIGA 1.55.....	26
2.2 Material e Métodos.....	28
2.2.1 Localização e caracterização dos sistemas avaliados.....	28
2.2.2 Uniformidade de distribuição de água.....	30
2.2.3 Avaliação das irrigações.....	30
2.2.4 Avaliação do manejo.....	36
2.2.5 Simulação do manejo.....	37
2.3 Resultados e Discussão.....	38
2.3.1 Irrigação na cultura do mamoeiro.....	38
2.3.1.1 Caracterização e condições de operação dos pivôs avaliados.....	38
2.3.1.2 Uniformidade de distribuição de água.....	39
2.3.1.3 Manejo da irrigação.....	45
2.3.1.4 Parâmetros de eficiência de irrigação.....	49
2.3.1.5 Análise do manejo praticado.....	51
2.3.1.6 Análise do manejo simulado.....	56
2.3.2 Irrigação na cultura do café.....	60
2.3.2.1 Caracterização e condições de operação dos pivôs avaliados.....	60

2.3.2.2 Uniformidade de distribuição de água.....	61
2.3.2.3 Manejo da irrigação.....	66
2.3.2.4 Parâmetros de eficiência de irrigação.....	69
2.3.2.5 Análise do manejo praticado.....	71
2.3.2.6 Análise do manejo simulado.....	76
5 CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	82



## RESUMO

Avaliação da irrigação por pivô central na cultura café (*Coffea canephora* L.) e na cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.) no município de Pinheiros – ES

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o manejo de irrigação adotado por produtores de mamão (*Carica papaya* L.) e de café (*Coffea canephora* L.), no município de Pinheiros – ES, região norte do Espírito Santo, que utilizam o sistema de irrigação por pivô central. Foram selecionados oito pivôs cultivados com mamão e seis pivôs cultivados com café. Os dados climáticos foram monitorados por uma estação climatológica próxima a região e os sistemas de irrigação foram avaliados utilizando o programa computacional IRRIGA 1.55 (2004). Os parâmetros estudados foram: uniformidade de aplicação de água, eficiência de irrigação, perda por percolação, área adequadamente irrigada e o manejo da irrigação. Durante um período de seis meses foi realizado um acompanhamento das irrigações praticadas, para análise do manejo. Para os pivôs cultivados com mamão os resultados permitiram concluir que: 1) os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen variaram de 81,09 a 88,61%. Segundo a NBR 14244 (1998) classificaram-se três pivôs como regulares e cinco como bons; 2) As lâminas determinadas no momento de realização dos testes de uniformidade, mostraram que três pivôs foram acionados fornecendo lâminas excessivas, ocasionando perdas por percolação entre 78,38 e 90,76% e cinco pivôs foram acionados fornecendo lâmina deficitária, com coeficiente de déficit variando entre 19,38 e 78,20%; 3) o valor de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto foi, em média, de 83,20%, indicando que para atingir o nível ideal de umidade do solo em 80% da área, deve-se acrescer a lâmina requerida em 20,19%; 4) A análise do manejo praticado revelou que as lâminas médias aplicadas durante o período foram inferiores às lâminas requeridas, estando a umidade do solo abaixo do nível crítico. Para os pivôs cultivados com café os resultados permitiram concluir que: 1) Os valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen variaram de 71,52 a 87,52%. Segundo a NBR 14244 (1998), quatro pivôs que apresentaram valores abaixo de 80% estão operando fora do recomendado. Um pivô apresentou valor considerado regular e apenas um pivô apresentou valor considerado bom; 2) As irrigações praticadas no dia em que foi realizado o teste de uniformidade foram deficientes em todos os pivôs, nos quais o coeficiente de déficit variou entre 1,44 a 84,99%; 3) O valor de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto foi em média 76,76%, indicando que para atingir o nível ideal de umidade do solo em 80% da área, deve-se acrescer a lâmina requerida em 30,27%; 4) A análise do manejo praticado revelou que as lâminas médias aplicadas durante o período foram inferiores às lâminas requeridas para todos os pivôs, mesmo estando a umidade do solo dentro da faixa entre a capacidade de campo e a umidade crítica.

Palavras-chave: Pivô central; avaliação; manejo; mamão; café

## ABSTRACT

Evaluation of the irrigation for central pivot in the coffee (*Coffea canephora* L.) crop and papaya (*Carica papaya* L.) crop in the municipal district of Pinheiros-ES

The objective of the present work was to evaluate the irrigation management adopted for papaya (*Carica papaya* L.) and coffee (*Coffea canephora* L.) production in the municipal district of Pinheiros at the north of Espírito Santo. Central pivot irrigation systems are used in the area. Eight pivots cultivated with papaya and six pivots cultivated with coffee were selected. Climatic data were monitored by a climatological station next to the area and the irrigation systems were evaluated using the software IRRIGA 1.55 (2004). The studied parameters were: water application uniformity, irrigation efficiency, percolation loss, appropriately irrigated area and the management of the irrigation. Data was collected during 6 months for management analyses. For the pivots cultivated with papaya the results showed that: 1) Christiansen uniformity coefficient varied from 81,09 to 88,61%, which according to NBR 14244 (1998) three pivots were classified as regular and five as good; 2) Water depths determined at the moment of the uniformity tests, showed that three pivots supplied excessive depths, causing percolation losses between 78,38 and 90,76% and five pivots had deficit coefficient varying between 19,38 and 78,20%; 3) Irrigation efficiency for the appropriately irrigated area was, on average, 83,20%, indicating that to reach the ideal humidity level of the soil in 80% of the area, it is necessary to increase the requested depths in 20,19%; 4) Analyses of the practiced management revealed that the medium depth applied during the experimental period were inferior to the requested water depths, resulting in soil humidity below the critical levels. For the pivots cultivated with coffee the results showed that: 1) Christiansen uniformity coefficients varied from 71,52 to 87,52%, which according to NBR 14244 (1998), four pivots presented values below 80%, operating below recommended, one pivot presented a regular value and one pivot presented a good value; 2) Irrigations practiced at days that the uniformity test was performed were deficient in all pivots, with deficit coefficient between 1,44 and 84,99%; 3) Irrigation efficiency for appropriately irrigated area of experiment was 76,76% on average, indicating that to reach the ideal soil humidity level in 80% of the area, it is necessary to increase the requested depth in 30,27%; 4) Analyses of the practiced management revealed that the medium depth applied during the experimental period were inferior to requested water depths for all pivots. However, soil humidity was between field capacity and critical humidity.

keywords: Central pivot; evaluation; management; papaya; coffee

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura e a fruticultura irrigada constituem-se nas duas principais atividades agrícolas no Espírito Santo, o qual apresenta condições favoráveis de clima e solo para a produção de grande variedade de frutas tropicais. A região Norte do Estado propiciou a implantação da cultura do mamoeiro em larga escala transformando o estado do Espírito Santo no segundo maior produtor e primeiro exportador, em nível nacional.

Para o sucesso da agricultura irrigada, diversos fatores estão envolvidos, sendo a água o fator principal, que tem se tornado em várias regiões, limitante à implantação de novas áreas irrigadas por falta da disponibilidade dos recursos hídricos. Torna-se, portanto, imprescindível a adoção de medidas que possibilitem o uso adequado dos recursos hídricos disponíveis para irrigação através da melhoria da eficiência do uso da água.

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é uma etapa fundamental para que qualquer estratégia de manejo de irrigação seja implementada, pois é com base nesses resultados que será possível avaliar e adequar o equipamento e a sua utilização, em relação aos requerimentos de água das lavouras irrigadas, considerando-se a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição de água do sistema.

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um parâmetro de grande importância a ser definido, pois a desuniformidade na lâmina de água aplicada sobre uma área conduz a resultados insatisfatórios, com redução da eficiência de aplicação de água e conseqüências no rendimento dos cultivos e nos custos com energia.

A uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação por pivô central é influenciada, principalmente, pelo tipo de perfil de distribuição do aspersor, pela relação entre a pressão e o diâmetro do bocal, pelo espaçamento entre aspersores, pela variação de pressão no sistema e pela velocidade e direção do vento.

Para os sistemas por aspersão, a eficiência de irrigação é função das perdas de água que ocorrem na condução da água do ponto de captação até o de emissão, das

perdas por evaporação e deriva da água a partir da saída do emissor até alcançar a superfície do solo, das perdas por escoamento superficial para fora da área irrigada; e das perdas por percolação abaixo do sistema radicular.

Na Região Extremo Norte do Espírito Santo, vários sistemas de irrigação têm sido usados na cafeicultura e na cultura do mamoeiro, destacando-se a irrigação por aspersão, do tipo pivô central. Porém, o emprego destes sistemas de irrigação nem sempre tem seguido padrões corretos de dimensionamento e manejo.

Tal situação motivou a realização do presente trabalho, cujos objetivos gerais consistiram em avaliar, do ponto de vista da engenharia e do manejo, sistemas de irrigação por pivô central empregados na cafeicultura e cultura do mamoeiro no município de Pinheiros, determinando-se a uniformidade de distribuição de água, as eficiências de irrigação, a perda por percolação, a área adequadamente irrigada e o manejo praticado.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Revisão Bibliográfica

#### 2.1.1 A cafeicultura irrigada

A cafeicultura tem sido por décadas, uma das mais importantes atividades agrícolas no Brasil, colocando-o como maior produtor mundial e sendo responsável pela incorporação de novas fronteiras agrícolas. Atualmente, os principais estados produtores são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia (FNP, 2005).

O café foi cultivado até recentemente, em regiões propícias nas quais as condições climáticas, principalmente relacionadas à disponibilidade hídrica dispensavam a suplementação pela irrigação. A cafeicultura irrigada desenvolveu-se com o avanço da atividade em áreas com excelentes condições de solo e clima, mas com severas restrições hídricas, destacando-se áreas de cerrados em Minas Gerais, extremo norte do Espírito Santo e sudoeste da Bahia (MATIELLO, 1991).

Superando a questão do déficit hídrico, o café conilon (*Coffea canephora L.*), objeto deste estudo, é atualmente a espécie mais plantada no estado do Espírito Santo, sendo cultivada em mais de 35 mil propriedades, sobretudo em regime de agricultura familiar. O parque cafeeiro está inserido em 330 mil hectares, cuja produtividade média é de 22,5 sacas beneficiadas por hectare e produção de 6,4 milhões de sacas em 2002, mais de 13% do café brasileiro e 5,3% do café do mundo. A disponibilização de resultados de pesquisa e transferência de tecnologias tem garantido a profissionalização dos cafeicultores, permitindo que muitos alcancem produtividades superiores a 40 sc benef ha<sup>-1</sup> em lavouras sem irrigação e produtividade em torno de 120 sc benef ha<sup>-1</sup> em lavouras irrigadas (FERRÃO et al., 2004).

Na cafeicultura irrigada, destacam-se os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão, aspersão convencional, autopropelido, pivô central e métodos alternativos com mangueiras. Na definição ou escolha do sistema são considerados,

principalmente, os custos fixos dos equipamentos, os custos operacionais ou variáveis, a disponibilidade de mão-de-obra e de água em quantidade e qualidade.

### **2.1.2 Cultura do mamoeiro irrigado**

A cultura do mamoeiro no Estado do Espírito Santo situa-se, predominantemente, sobre solos dos ecossistemas dos Tabuleiros Costeiros. Os Tabuleiros Costeiros são áreas expressivas do território nacional, com largura variável e distribuídas ao longo do litoral a partir do estado do Rio de Janeiro, estendendo-se pelo Espírito Santo e estados Nordestinos, nos quais, as condições térmicas ao longo do ano mostram-se favoráveis à exploração de culturas tropicais. Contudo ao lado da constância térmica, existe grande variabilidade no regime hídrico, ocasionando áreas úmidas e áreas com déficit hídrico acentuado (SALGADO; COSTA, 2003).

Segundo Marin et al. (1995) o cultivo do mamoeiro deve se dar em solos areno-argilosos, profundos, bem drenados, ricos em matérias orgânicas e de relevo plano, garantindo boa retenção de umidade e maior disponibilidade de nutrientes para cultura. Avaliando a distribuição do sistema radicular do mamoeiro em solos do Tabuleiro Costeiro na região Norte do Espírito Santo, Costa et al. (2003) verificaram que o sistema radicular se concentrava em um raio inferior a 0,60 m do tronco e profundidade de 30 cm, sendo que a maior parte das raízes encontravam-se até 0,35 m do tronco e a medida em que aumentou o teor de argila, diminuindo o teor de areia grossa, o sistema radicular apresentou menor desenvolvimento.

De acordo com Silva e Coelho (2003), o mamoeiro é muito exigente em água, mas não tolera o excesso. Desta forma, em regiões com veranicos prolongados ou déficit hídrico acentuado durante o ano, tornam obrigatório o uso da irrigação, principalmente, no caso dos solos da região produtora do Norte do Estado do Espírito Santo, em que na sua maioria são rasos e arenosos, com baixa capacidade de armazenamento de água, característicos dos Tabuleiros Costeiros.

O mamoeiro responde significativamente ao uso da irrigação suplementar em regiões com precipitações inferiores a 1500 mm por ano, ou mesmo em regiões com precipitações superiores a 1500 mm, distribuídas irregularmente. Segundo Bernardo;

Carvalho e Souza (1996) o uso da irrigação é fundamental em regiões com precipitações inferiores a 1000 mm por ano para o cultivo do mamoeiro de forma racional e econômica.

Por ser uma planta exigente em água atribui-se ao mamoeiro um consumo de água variando entre 1200 e 3125 mm por ano, dependendo das condições climáticas. Campos Araújo (1988); Goyal (1989); Oliveira et al. (1994) Apud Silva e Coelho (2003). Almeida (2003), analisando o crescimento e produção do mamoeiro sob irrigação na região Norte Fluminense observou que a lâmina total de água equivalente a 2937 mm foi a que promoveu a maior produção de frutos.

Segundo Silva e Coelho (2003), os dados relatados até o momento, mostram que ainda não existe uma definição sobre as necessidades hídricas do mamoeiro, sendo consensual que esta planta é muito sensível tanto ao déficit quanto ao excesso de água, concluindo que não se pode permitir que o potencial matricial da água no solo atinja valores inferiores a 0,02 MPa e que a taxa evapotranspirativa da cultura esteja próxima a 120% da evapotranspiração potencial. Porém, a diversidade edafoclimática entre as regiões pesquisadas sugerem o desenvolvimento de mais pesquisas no sentido de ajustar valores.

### **2.1.3 Irrigação por pivô central**

A aplicação de água no solo, com a finalidade de oferecer às plantas cultivadas a umidade ideal para o seu desenvolvimento, pode ser feita por diversos métodos. Dentre estes, os pressurizados são os mais utilizados; nestes a água é conduzida sob pressão em tubulações até o ponto de aplicação. Nesta categoria encontram-se os métodos de irrigação por aspersão e de irrigação localizada.

Entre os métodos pressurizados de irrigação, os que irrigam maior área no Brasil são os sistemas de irrigação por aspersão. De uma área total irrigada em 1999 estimada em 2,95 milhões de hectares, cerca de 1,08 milhões, o equivalente a 36,61%, eram irrigados por aspersão, enquanto que os sistemas de irrigação localizada irrigavam apenas 212,16 mil hectares, perfazendo 7,19% do total. No Espírito Santo, de

uma área irrigada estimada em 69,44 mil hectares, 49,01 mil eram irrigados por aspersão, sendo 70,58% do total, e 8,23 mil hectares irrigados por sistemas localizados, correspondendo a 11,85% (CHRISTOFIDIS, 2001).

Nas regiões produtoras de mamão, os sistemas por aspersão e localizados são os mais utilizados, contudo, devido ao maior controle no uso da água e aos altos custos de energia elétrica, tem aumentado a procura por sistemas localizados (SILVA; COELHO, 2003).

Entre os métodos que propiciam o uso mais racional de água e energia sem perda de produtividade da lavoura irrigada, destacam-se os métodos de irrigação localizada, mas diversos fatores devem ser analisados para selecionar-se o método mais adequado (SOUZA et al., 2002a).

Dentre os sistemas por aspersão, o pivô central vem sendo utilizado com relativo sucesso devido a menor demanda de mão-de-obra e possibilidade de redução no custo da energia elétrica com irrigações noturnas (SILVA; COELHO, 2003).

O pivô central é um sistema de movimentação mecânica, constituído de uma lateral móvel, com vários aspersores, suspensa por torres sobre rodas, que irriga uma área circular através da rotação da linha lateral de aspersão em torno de um ponto fixo. A parte da lateral móvel que se estende além da última torre é denominada lance em balanço e algumas vezes é dotada de um canhão final. Nos pivôs dotados de canhão final, é comum a instalação de uma bomba de reforço ou booster, que eleva a pressão da água aplicada pelo canhão final (COLOMBO, 2003).

Segundo Rodrigues et al. (2001) a irrigação por pivô central têm se expandido de forma mais significativa no Brasil, em especial nas regiões sudeste e centro-oeste, devido à alta uniformidade de distribuição da água quando bem dimensionado e com boa manutenção, fácil controle da lâmina d'água aplicada, menor dispêndio de mão-de-obra, marketing e possibilidade de fertirrigação e quimigação, além de se ter sempre livre as áreas para os tratos culturais.

No entanto, muitos problemas relacionados ao dimensionamento destes equipamentos, do seu sistema de bombeamento, bem como problemas ocasionados por falta de manutenção dos equipamentos, promovem a redução na uniformidade de distribuição de água às plantas.



Bernardo; Soares e Mantovani (2005), afirmam que a uniformidade tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação dos sistemas de irrigação.

Souza et al. (2002b), estudando o efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água em um sistema de irrigação tipo pivô central, concluíram pela possibilidade de uma economia de água de 25,9% quando o sistema passa de um coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC de 64,8 para 85,6%. Desta forma, para que haja um bom manejo destes sistemas, faz-se necessária uma avaliação da lâmina média aplicada pelo equipamento, bem como a determinação da uniformidade de distribuição de água. Segundo Dourado Neto; Jong Van Lier e Frizzone (1994), o conhecimento destes parâmetros é imprescindível para o manejo econômico do sistema.

Devido à crescente necessidade de uso racional dos recursos hídricos, aos elevados custos de energia e demais insumos empregados na produção agrícola, os sistemas de irrigação e os métodos de manejo da água devem proporcionar uma aplicação uniforme e eficiente (HEINEMANN et al., 1998). Além disso, com a recente aprovação da cobrança pelo uso da água, os produtores rurais irrigantes deverão priorizar a utilização precisa da quantidade de água a ser aplicada em cada operação.

#### **2.1.4 Uniformidade de distribuição de água em pivô central**

Para controle efetivo da lâmina de irrigação aplicada por equipamentos do tipo pivô central, ensaios de campo devem ser realizados com o intuito de avaliar a lâmina média e a uniformidade de distribuição de água, e, quando os resultados obtidos não forem satisfatórios, identificar os componentes que devem ser reparados ou substituídos. Cainelli et al. (1997) afirmam que além de reduzir o consumo de energia pelo sistema de bombeamento, a substituição dos componentes avariados aumenta a aproximação entre os volumes que se deseja aplicar e os efetivamente aplicados pelo equipamento.

A uniformidade de distribuição de água às plantas é fundamental para a obtenção da máxima produtividade da lavoura e/ou rentabilidade. Baixa uniformidade

significa que há sobra de água em certos pontos do campo e falta em outros. Para atender as necessidades hídricas das plantas localizadas em posição crítica, aumenta-se o consumo de água utilizada na irrigação da área. Desta forma, pode-se afirmar que quanto maior o valor do coeficiente de distribuição de água de um sistema, menor será a lâmina aplicada para se atingir uma máxima produção.

Os problemas hidráulicos de dimensionamento e operação de equipamentos de pivô central acarretam baixa uniformidade de distribuição de água às plantas, e conseqüentemente, afetam tanto a produção quanto à receita bruta do investimento.

Os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água podem ser classificados, segundo Heinemann et al. (1998), em climáticos e não climáticos. Entre os fatores climáticos citam-se: evaporação da água, temperatura do ar, umidade relativa e vento. Já os fatores não climáticos estão relacionados à correta operação dos equipamentos, podendo ser citados: a pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do pivô e a altura do emissor. A redução da altura do emissor em relação à cultura permite reduzir as perdas por evaporação e deriva.

Kruse (1977), apud Zocoler; Frizzone e Vanzela (2001), afirma que as perdas de água na irrigação resultam da sua evaporação, percolação profunda, deriva pelo vento e escoamento superficial da água para fora da área irrigada. Para elevar a eficiência de um sistema de irrigação, devem-se combater as perdas que embora sejam inerentes a qualquer método de irrigação, podem ser minimizadas em função de um manejo adequado dos equipamentos.

Cainelli et al. (1997) afirmam que os principais problemas relacionados ao pivô central são equipamentos desativados por falta de água em função de sistemas de bombeamento mal dimensionados, que não fornecem vazão e pressão necessárias para um bom desempenho do sistema. Estes autores relatam ainda que durante a avaliação de um equipamento de pivô central, houve entupimento parcial e total dos últimos emissores em virtude do acúmulo de areia.

Guerra (2004) chama a atenção para o fato de que, em sistemas intensivos de agricultura irrigada, os equipamentos de irrigação são utilizados por anos sem a devida manutenção dos sistemas de bombeamento e dos reguladores de pressão. Estes últimos possuem uma vida útil relativamente reduzida, em torno de 4 a 5 anos e devem

ser repostos simultaneamente em um mesmo equipamento. Rotores danificados, bem como o envelhecimento das paredes internas das tubulações, diminuem a eficiência do sistema. O autor recomenda que o equipamento seja revisado durante o período de chuvas, quando a demanda por irrigação diminui.

Para determinação da lâmina média de irrigação e da uniformidade de distribuição de água em áreas irrigadas por pivô central, faz-se necessário a realização de ensaios de campo. Estes ensaios, no Brasil, devem seguir a Norma Brasileira 14244 (1998) da ABNT. O ensaio consiste na coleta de água em recipientes plásticos de 0,08 m de altura e 0,06 m de diâmetro, instalados a uma determinada altura sobre a superfície do solo ao longo do raio do pivô. Desta forma cada volume coletado está associado a uma área irrigada, que será tanto maior, quanto maior for a distância do coletor ao centro do pivô. Os ensaios devem ocorrer, de preferência, sem ausência de ventos e a pressão de entrada na linha lateral do pivô deve ser registrada. Segundo a NBR 14244 (1998), os coletores devem ser dispostos em linhas radiais com espaçamento fixo entre 3 a 5 m, sendo o primeiro coletor colocado a uma distância do centro do pivô equivalente à metade do espaçamento. Assume-se, portanto, que a lâmina coletada em cada ponto é a própria lâmina média da faixa circular que o coletor representa, e que a lâmina média global do pivô é obtida através da média ponderada das lâminas coletadas em função das suas áreas representativas.

Segundo Dourado Neto; Jong Van Lier e Frizzone (1994), a lâmina coletada varia em função da pressão nos bocais dos emissores, diâmetro dos bocais, distância do solo aos emissores, topografia e intensidade do vento.

A lâmina média ( $\bar{L}$ , mm) aplicada pelo pivô central é calculada a partir da seguinte equação:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

em que:

$L_i$  – lâmina coletada no  $i$ -ésimo coletor em mm;

$S_i$  – distância do centro do pivô ao ponto  $i$  em m.

Conhecida a lâmina aplicada pelo pivô central, pode-se ajustar o temporizador no painel do equipamento para aplicação de uma lâmina ( $L$ , mm) desejada qualquer, através da eq.(2).

$$L = \bar{L}_{100\%} \frac{100}{RT} \quad (2)$$

em que:

$L_{100\%}$  – lâmina média aplicada com RT igual a 100%; mm.

RT – regulagem do temporizador; %

A uniformidade de distribuição de água é quantificada pelo cálculo dos coeficientes de uniformidade. Segundo Dourado Neto; Jong Van Lier e Frizzone (1994) para sistemas de irrigação por pivô central, os coeficientes mais recomendados são o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) proposto por Christiansen (1942) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), proposto por Criddle et al. (1956). Além desses dois coeficientes, os ensaios de equipamentos de pivô central podem fornecer o coeficiente de variação das lâminas, eficiência de aplicação e armazenagem, e apontar as áreas deficientemente irrigadas.

O coeficiente de uniformidade distribuição de Christiansen é determinado pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |x_i - \bar{x}|}{N \bar{x}} \right] \quad (3)$$

em que:

CUC – Coeficiente de distribuição de Christiansen, %;

$x_i$  – lâmina coletada no  $i$ -ésimo coletor, mm;

$\bar{x}$  – lâmina média, mm;

$N$  – número de coletores.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) é determinado pela equação a seguir:

$$CUD = \frac{\bar{X}_{(25)}}{\bar{x}} 100 \quad (4)$$

em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$\bar{X}_{(25)}$  – lâmina média dos 25% menores valores coletados, mm;

$\bar{x}$  – lâmina média, mm.

A equação desenvolvida por Christiansen (1942) aplica-se quando cada coletor representa áreas de mesmo tamanho, como é o caso da aspersão convencional. Na avaliação do pivô central, os coletores são equidistantes e posicionados ao longo de uma linha radial que vai do centro do pivô para a extremidade. Desta forma Heermann e Hein (1968), modificaram a equação original ponderando as lâminas coletadas em relação à área representada por cada coletor, apresentando a seguinte equação ajustada:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i \left| Li - \frac{\sum_{i=1}^n L_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right|}{\sum_{i=1}^n L_i S_i} \right] \quad (5)$$

em que:

$S_i$  – distância do centro do pivô ao ponto  $i$  em m.

$L_i$  – lâmina coletada no ponto  $i$  em mm.

$n$  – número total de pontos coletados

Da mesma forma que ocorreu a modificação na equação do CUC, o coeficiente de uniformidade de distribuição também foi ajustado (HEERMANN; HEIN, 1968) sendo o CUD definido por:

$$CUD = 100 \left[ \frac{\left( \frac{\sum_{i=p}^q L_i S_i}{\sum_{i=p}^q S_i} \right)}{\left( \frac{\sum_{i=p}^n L_i S_i}{\sum_{i=p}^n S_i} \right)} \right] \quad (6)$$

em que:

p – primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas;

q – elemento da série crescente correspondente à soma de  $\frac{1}{4}$  da área total.

A Tabela 1 apresenta a classificação dos sistemas de pivô central quanto ao valor do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen.

Tabela 1 - Classificação da uniformidade de distribuição de água em pivô central de acordo com a norma NBR 14244 (1998) da ABNT

<b>CUC (%)</b>	<b>Classificação</b>
<80	Ruim
80 a 84	Regular
85 a 89	Boa
>90	Muito Boa

Guerra (2004), afirma que, com a atual disponibilidade de reguladores de pressão e de bocais de melhor qualidade, é possível distribuí-los ao longo da linha, de modo a atingir coeficientes de uniformidade de distribuição de Christiansen superiores a 90%.

### 2.1.5 Parâmetros de desempenho

O principal objetivo ao se implantar um sistema de irrigação é proporcionar condições para se produzir economicamente, o que se consegue com aumento de produtividade e redução dos custos por unidade produzida. Neste aspecto, os parâmetros que expressam a qualidade e desempenho da irrigação devem ser entendidos como decisórios no planejamento e operação dos sistemas de irrigação (ZOCOLER; FRIZZONE e VANZELA, 2001).

Quando se aplica somente a lâmina de irrigação necessária em uma área, sendo esta uma lâmina média, acarretará inevitavelmente o excesso em parte da área e déficit em outra. Na fração em excesso, uma parte fica armazenada na zona das raízes, disponível as plantas e outra parte é perdida por percolação profunda, transportando consigo parte dos nutrientes daquela camada. Na fração com déficit, toda água infiltrada é considerada infiltrada na zona radicular, porém em quantidade inferior às necessidades hídricas das plantas (ZOCOLER; FRIZZONE e VANZELA, 2001).

Segundo Bonomo (1999) é de fundamental importância estabelecer o nível máximo em que se poderá suprir a área irrigada em função do retorno econômico que se poderá ter com o aumento da produção.

A razão entre a lâmina d'água armazenada em uma dada camada de solo e a lâmina d'água aplicada, nos fornece a "Eficiência de Aplicação de Água no Solo (Ea)" (MERRIAN; SHEARER e BURT, 1983). Esta relação indica a fração de água aplicada que é armazenada, em função de suas características físicas e umidade residual, fornecendo apenas uma idéia das perdas, já que em irrigações deficientes, pode alcançar valores de 100%, ou seja, toda água aplicada foi armazenada. Em consequência, a Ea não indica se a quantidade de água aplicada foi suficiente para suprir a água evapotranspirada pela cultura (BONOMO, 1999).

Com base no conceito de área adequadamente irrigada, incorporado ao de eficiência de irrigação através da eficiência de distribuição, Keller e Bliesner (1990) propuseram a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada, satisfazendo a necessidade de melhor interpretação e significado dos coeficientes de uniformidade.

Conceitualmente, considera-se área adequadamente irrigada, a porcentagem da área que durante uma irrigação, recebe uma lâmina d'água igual ou superior a lâmina real necessária (KELLER; BLIESNER, 1990). A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada é um parâmetro que combina os valores obtidos para uniformidade de aplicação de água, a adequação da irrigação e as perdas que normalmente ocorrem no sistema. Assim a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada congrega os efeitos devidos às perdas por desuniformidade de aplicação, perdas por percolação, perdas por evaporação e deriva e as perdas na condução, representadas pelas eficiências de distribuição, aplicação e condução, respectivamente.

Outro parâmetro importante que se apresenta na avaliação de desempenho dos sistemas de irrigação é a “Eficiência em Potencial em Aplicação de Água (Epa)”, que representa a razão entre a lâmina média coletada e a lâmina aplicada. Este parâmetro, descrito por Keller e Bliesner (1990), permite a estimativa da Epa para as condições médias do dia da avaliação, fornecendo um valor mais representativo das condições gerais. Bernardo, Soares e Mantovani (2005) descrevem a Epa por meio de medida direta no campo, considerando as perdas por evaporação e arraste pelos ventos, fornecendo um valor para as condições específicas do teste.

A Epa proposta por Bernardo; Soares e Mantovani (2005) é calculada através da equação:

$$Epa_{\text{Bernardo}} = 100 \frac{Lc}{Lapli} \quad (7)$$

em que:

$Epa_{\text{BERNARDO}}$  – Eficiência em Potencial de Aplicação de água, %;

$Lc$  – Lâmina média coletada, mm;

$Lapli$  – Lâmina aplicada, mm.



A determinação da Epa proposta por Keller e Bliesner (1990) é descrita pela seguinte equação:

$$Epa_{Keller} = 0,976 + 0,005 ETo - 0,00017 ETo^2 + 0,0012 Vv - CI (0,00043 ETo + 0,00018 Vv + 0,000016 ETo Vv) \quad (8)$$

em que:

$Epa_{Keller}$  – Eficiência em potencial de aplicação de água, %;

ETo – Evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

Vv – Velocidade do vento, km h<sup>-1</sup>;

CI – Coeficiente adimensional que caracteriza o potencial de evaporação e arraste.

### 2.1.6 Manejo da irrigação

Para que a implantação de um projeto de irrigação atinja seus objetivos, é necessário que, além de um projeto adequadamente dimensionado, haja também um manejo eficiente da irrigação e dos diversos fatores a ela relacionados, tais como: nutricionais, fitopatológicos, edáficos, climáticos e fitotécnicos. O conceito de manejo eficiente da irrigação é complexo e no seu sentido mais amplo, relaciona tanto o aspecto do manejo da água como também o manejo do equipamento, com o objetivo de adequar a quantidade de água a ser aplicada e o momento certo desta aplicação. O manejo adequado da irrigação não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, tendo por um lado o compromisso com a produtividade da cultura explorada e por outro, o uso eficiente da água, promovendo a conservação do meio ambiente. O manejo da irrigação de forma eficiente e precisa, definindo quanto e quando irrigar, deve se dar com a implantação de um programa com visão integrada, dentro de um conceito mais amplo, o qual permita a consideração de outros componentes, além dos aspectos de versatilidade e operacionalidade, considerando a avaliação e manutenção do sistema de irrigação, a fertirrigação, o controle fitossanitário e o manejo e condução da cultura. Implementar um programa de

manejo significa implantar um sistema de monitoramento via solo, clima, planta ou associação entre dois deles (BERNARDO; SOARES e MANTOVANI, 2005).

Muitos produtores avaliam o momento de se fazer a irrigação de forma visual, sem a utilização de um método de manejo que possibilite uma definição mais precisa. Jensen (1983) e Sousa et al. (2003) consideram que entre os fatores que levam os produtores a não adotarem um adequado método de manejo da irrigação, consta o baixo custo da água de irrigação em relação ao custo de implantação de um programa de manejo. Além disso, a redução na produtividade por atraso ou falta da irrigação e os impactos ambientais provocados pelo mau manejo da água, não costumam ser facilmente reconhecidos e quantificados.

Se não houver uma correta definição de quando e quanto de água aplicar, o irrigante estará fazendo um uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta. Quando a irrigação é excessiva, além do desperdício da água e o comprometimento na produção da lavoura, a ineficiência na irrigação contribui para um maior impacto ambiental sobre o solo e a qualidade dos mananciais que recebem o excesso de água aplicada. Quanto menor a lâmina de água aplicada na irrigação, menor o volume de água percolada e drenada que retorna aos mananciais, levando consigo parte dos insumos aplicados, como fertilizantes e agrotóxicos. Assim a quantidade de água a ser aplicada deve ser aquela que atenda as necessidades da planta, sem provocar excesso de água no solo.

Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2005) a implantação de um programa de manejo de irrigação requer conscientização, com visão integrada, tecnologia de ponta e operacionalidade, possibilitando a otimização do uso dos insumos, aumento da produtividade e rentabilidade e ampliação da área irrigada nos locais com limitação dos recursos hídricos, e ainda contribui para uma exploração agrícola sustentável, preservando o meio ambiente pela melhor utilização de água e energia, evitando-se a ocorrência de percolação profunda, acarretando a lixiviação de produtos químicos e conseqüente contaminação do lençol freático.

### **2.1.7 Programa Irriga 1.55**

O Departamento de Engenharia Agrícola/UFV, em parceria com a Secretaria de Recursos Hídricos/MMA, desenvolveu um sistema de apoio à decisão agrícola, com ênfase ao manejo adequado da irrigação e dos recursos hídricos, denominado SISDA. O sistema foi concebido considerando-se os seguintes aspectos: rigor científico aliado a praticidade na utilização; facilidade de comunicação e interação com o usuário, tanto no manuseio do programa quanto das informações; resultados e serviços prestados; gerenciamento integrado dos recursos hídricos, com visão ampla dos aspectos água, solo, clima, planta e sistemas de irrigação.

O programa, desenvolvido em linguagem DELPHI, tem como meta principal o manejo da irrigação em tempo real, permitindo também simulações de desenvolvimento da cultura durante todo seu ciclo fenológico para qualquer localidade do país, dispondo de uma base de dados e informações relacionadas com o clima, a planta, o solo, o sistema de irrigação, os equipamentos, localização de laboratórios para análise de água e solo, que facilitam a utilização do programa para usuários de diversos níveis técnicos.

O SISDA foi desenvolvido com base em dois objetivos: MANEJO e SIMULAÇÃO. No módulo MANEJO, o usuário alimenta periodicamente o programa com as informações climáticas e o sistema calcula a disponibilidade atual de água para cultura, fornecendo relatórios, gráficos e orientações padronizadas e personalizadas. Considerando uma base histórica de dados climáticos disponíveis no programa, o sistema faz a previsão de chuva e orienta o usuário quanto ao momento de irrigar e quanto à lâmina de água a ser aplicada, diminuindo as chances de perdas de água por aplicações desnecessárias. Tais previsões são úteis para outras aplicações como planejamento de pulverizações, tratamentos preventivos, preparo do solo, colheita etc. Aos interessados em previsão em tempo real, o sistema disponibiliza um atalho para comunicação com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), visando o acesso aos programas Visual-Clima e Visual-Tempo.

O SISDA dispõe de base de dados climáticos abrangendo todo território nacional. Com ajuda de um mapa do Brasil, o usuário acessa a uma base de 8834

localidades, identificando aquela em que está localizado o projeto, e imediatamente o programa identifica a latitude, longitude e altitude do local. Além disso, identifica as estações meteorológicas mais próximas para que o usuário selecione uma ou mais estações para o cálculo da evapotranspiração (MANTOVANI, 2003).

Este sistema foi muito utilizado para manejo de irrigações em trabalhos de pesquisas na cafeicultura, apresentando bons resultados. Sua aplicação também tem demonstrado importância para o uso racional dos recursos hídricos, pois segundo Boaretti (2001), apud Chamon (2002), em estudo de caso onde considerou os aspectos econômicos e ambientais para a cultura da banana no distrito de irrigação do Gorutuba - MG, concluiu que a adoção do SISDA poderia proporcionar uma economia de água de até 49% em relação aos métodos tradicionais, como o tensiômetro e o tanque Classe A, utilizados no manejo de água para irrigação.

Neste trabalho, foi utilizado uma versão atual do SISDA, denominado IRRIGA 1.55, que além dos módulos de MANEJO e SIMULAÇÃO, incorpora os módulos DECISÃO e AVALIA, permitindo o estudo e definição do momento adequado para se irrigar e a lâmina ou o tempo necessário de irrigação nos módulos Manejo e Decisão, avaliar e definir as condições de distribuição de água e perdas do sistema de irrigação no módulo Avalia e ainda, disponibiliza uma ferramenta para a criação de cenários no módulo Simula, que auxilia, no estudo de demanda hídrica (definição de lâmina de projeto), de consumo de água e energia, de intervalo entre irrigações para qualquer cultura, tipo de solo, sistema de irrigação e regiões do Brasil.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Localização e caracterização dos sistemas avaliados**

Este trabalho foi realizado no município de Pinheiros, que de acordo com a divisão regional do estado do Espírito Santo em macrorregiões de planejamento e microrregiões administrativas de gestão, situa-se na região Norte, microrregião Extremo Norte. Geograficamente, o distrito sede do município encontra-se localizado na latitude 18° 24' 44" S, longitude 40° 12' 55" W Greenwich com uma altitude de 120 m, possuindo uma área territorial de 970,85 Km<sup>2</sup> e distante 286 km da capital do Estado, no qual a cafeicultura irrigada e a fruticultura de mamão se destacam em importância econômica e em área plantada (A GAZETA, 2005).

A definição das propriedades e dos sistemas submetidos à avaliação foi realizada com base em informações da ASIPES (Associação dos Irrigantes do Estado do Espírito Santo), IHAB (Instituto Hidrográfico e Ambiental da Bacia do Rio Itaúnas) e INCAPER (Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural), após a realização do cadastro de irrigantes seguindo critérios de representatividade quanto à área, sistema de irrigação empregado, produção dentre outros. Foram definidas oito propriedades, perfazendo um total de quatorze sistemas, dos quais, oito sistemas cultivados com mamão e seis cultivados com café. Algumas características dos sistemas avaliados cultivados com mamão e café podem ser visualizados nas Tabela 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2 – Fabricante, ano de implantação, área total irrigada pelo equipamento e idade da lavoura para cada sistema cultivado com mamão

Pivô	Fabricante	Ano de Implantação	Área (ha)	Idade da Lavoura (meses)
1	Valley	2003	86,54	6
2	Valley	2004	33,53	5
3	Valley	2000	82,03	12
4	Valley	2003	35,81	12
5	Valley	2003	50,62	6
6	Valley	2003	29,31	6
7	Valley	2003	75,61	11
8	Valley	2003	35,66	11

Tabela 3 – Fabricante, ano de implantação, área total irrigada pelo equipamento e idade da lavoura para cada sistema cultivado com café

Pivô	Fabricante	Ano de Implantação	Área (ha)	Idade da Lavoura (meses)
1	Valley	2001	33,39	12
2	Valley	2001	59,64	12
3	Asbrasil	2000	35,81	10
4	Carborundum	2003	39,70	42
5	Carborundum	2003	39,70	48
6	Asbrasil	2003	82,00	48

### **2.2.2 Uniformidade de distribuição de água**

O teste de avaliação da uniformidade de distribuição de água pelos pivôs foi realizado dispondo-se duas linhas de coletores, paralelas e espaçadas entre si de 0,50 m. As linhas de coletores foram estabelecidas utilizando-se os carreadores principais, do centro para a extremidade final, com a distância entre coletores de 5,00 m. Nestes testes, foram utilizados o kits de avaliação da Fabrimar, composto de coletores com 8,0 cm de diâmetro, cuja área de coleta equivale a 50,265 cm<sup>2</sup> suspensos por hastes de alumínio de 70 cm de altura.

Os testes foram realizados de forma a não interferir na condução das irrigações pelos irrigantes, o que justificou a realização da maioria dos testes durante a madrugada, condicionados à irrigação noturna em função dos custos da energia. Visando minimizar os efeitos da evaporação nos coletores durante o ensaio, o volume de água em cada coletor foi medido e transcrito assim que o mesmo estivesse fora do alcance dos jatos d'água dos emissores, evitando-se realizar ajustes relativos as perdas por evaporação que viriam a ocorrer nos pluviômetros dispostos para este fim, tendo sido colocados no local de ensaio, três coletores com volume conhecido. Na medição da velocidade do vento, foi utilizado um termo anemômetro digital (marca Minipa. Modelo MDA-11).

Para a determinação da velocidade de deslocamento da última torre, procedeu-se a marcação de um determinado ponto, a partir do qual se verificou o tempo gasto para a torre percorrer a distância de dez metros. Uma vez que os testes foram realizados com o valor do percentímetro definido pelo irrigante, houve uma gama de valores distintos, que para efeito de comparação foram convertidos para velocidade de 100%.

### **2.2.3 Avaliação das irrigações**

Em um primeiro momento, todos os quatorze sistemas tiveram suas irrigações avaliadas, caracterizando assim o manejo praticado pelos irrigantes. Para tanto, as

avaliações foram realizadas sem interferência dos pesquisadores no tocante ao momento de irrigar e a velocidade do percentímetro.

A determinação dos parâmetros físico-hídricos dos solos cultivados foi realizada no laboratório do INCAPER, fornecendo as informações necessárias aos cálculos de disponibilidade de água.

As avaliações do manejo foram concomitantes com as de uniformidades de aplicação de água, de forma que no momento antes das irrigações foram coletadas amostras de solo com o objetivo de se obter a umidade no campo.

Foram definidos três locais ao longo da linha lateral para realização da amostragem visando obter-se o valor médio para a área cultivada. Os locais amostrados foram identificados por estacas e situaram-se a 1/6, 3/6 e 5/6 da linha lateral a partir do ponto do pivô. Nestes locais foram definidos três pontos para a retirada de amostras, tanto para o café como para o mamão, a partir de uma linha de plantio, cuja distância foi de 1/6, 3/6 e 5/6 da metade do espaçamento entre fileiras. Estas amostras foram retiradas nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm, anteriormente identificadas a partir da abertura de trincheiras, pelas quais procurou-se avaliar a profundidade efetiva do sistema radicular e a estratificação do solo. Estas trincheiras permitiram a coleta de amostras indeformadas para determinação da densidade global (dg) do solo e permitiram também a coleta de sub-amostras em cada profundidade, formando-se uma amostra composta para determinação da curva de retenção de água no solo.

Na avaliação dos pivôs foram necessários os seguintes dados de entrada:

- Vazão do sistema ( $m^3 h^{-1}$ ): vazão medida ou de projeto do sistema de irrigação;
- Tempo de revolução (h): Tempo necessário para que a linha lateral do pivô desse uma volta completa;
- Número de revoluções: número de revoluções da linha lateral do pivô em cada irrigação;
- Raio irrigado (m): somatório do comprimento da linha lateral e do raio do canhão final, quando existir;



- Área (ha): área irrigada pelo pivô central;
- Pressão no ponto do pivô (kPa);
- Pressão no final da linha lateral (kPa);
- Diâmetro do maior bocal (mm): diâmetro do maior bocal do aspersor;
- Diâmetro do menor bocal (mm): diâmetro do menor bocal do aspersor;
- Eficiência de condução do sistema de irrigação (decimal): expressa as perdas por vazamentos do sistema;
- Evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ ): parâmetro utilizado no cálculo da eficiência em potencial de aplicação de água, para as condições médias do dia da avaliação, conforme Keller e Bliesner (1990);
- Velocidade do vento ( $\text{Km h}^{-1}$ ): velocidade do vento. Foi também um parâmetro utilizado no cálculo da eficiência em potencial de aplicação de água, para as condições médias do dia da avaliação, conforme Keller e Bliesner (1990);
- Densidade global ( $\text{g cm}^{-3}$ ): necessária ao cálculo de água disponível no solo;
- Umidade de capacidade do campo (%): relação entre a massa de água e a massa de solo, na capacidade de campo;
- Umidade de solo antes da irrigação (%): relação entre a massa de água e a massa de solo, obtida em amostras de solos coletadas antes da irrigação;
- Profundidade radicular (cm): profundidade efetiva do sistema radicular da cultura irrigada;
- Índice para área adequadamente irrigada (%): índice utilizado para calcular a Eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada de projeto, conforme metodologia apresentada Keller e Bliesner (1990);
- Dados referentes à malha de coletores utilizadas no teste de uniformidade juntamente com os valores ou lâminas coletadas durante o mesmo.

Após processamento dos cálculos foram obtidos as lâminas e parâmetros de uniformidades a seguir:

IRN (mm): irrigação real necessária, isto é, a lâmina necessária para que a umidade do solo, antes da irrigação, seja elevada à umidade na capacidade de campo. Foi calculada pela equação:

$$\text{IRN} = (\text{Cc} - \text{Ua}) 10^{-1} \text{ dg Z} \quad (9)$$

em que

IRN – irrigação real necessária, mm;

Cc – umidade do solo na capacidade do campo, % em massa;

Ua – umidade do solo antes da irrigação, % em massa;

dg – densidade global do solo, g cm<sup>-3</sup>, e;

Z – profundidade do sistema radicular, cm.

Lâmina aplicada (mm): é a lâmina aplicada durante a irrigação. Foi calculada pela equação:

$$\text{Lapl} = 1000 \text{ Q nr T A}^{-1} \quad (10)$$

em que

Lapl – lâmina aplicada, mm;

Q – vazão do sistema, m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>;

nr – número de revoluções, adimensional;

T – tempo por revolução, h, e;

A – área irrigada pelo pivô, m<sup>2</sup>.

Lâmina média coletada (mm): Foi a média das lâminas coletadas no teste de uniformidade realizado no campo.

Lâmina armazenada na zona radicular (mm): Foi a parcela da lâmina aplicada que ficou na zona radicular.

Lâmina deficitária (mm): Foi a média da diferença entre lâmina armazenada na zona radicular e a IRN.

Lâmina percolada (mm): Foi a medida do excesso da lâmina aplicada em relação a IRN.

CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%): É o coeficiente que caracteriza a uniformidade de distribuição de água, dado pela eq.(5).

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%): Também caracteriza a uniformidade de distribuição de água, dado pela eq.(6).

O desempenho da irrigação praticada pode ser visualizado pelos seguintes parâmetros:

Pad – Porcentagem de área adequadamente irrigada (%): considerou-se área adequadamente irrigada aquela que durante o evento da irrigação recebeu uma quantidade de água igual ou maior que a IRN.

$E_{pa_{\text{Bernardo}}}$  (%): eficiência em potencial de aplicação de água, conforme Bernardo (2005), definida pela eq.(7).

$E_{pa_{\text{Keller}}}$  (%): eficiência em potencial de aplicação de água, conforme Keller e Bliesner (1990). Esta metodologia permite a estimativa da  $E_{pa}$  para as condições médias do dia avaliação, calculada pela equação (8).

Coeficiente de déficit (%): expresso pela razão entre a lâmina de água deficitária ( $L_{\text{def}}$ , mm) e a lâmina de irrigação real necessária (IRN, mm).

$$Cd = 100 L_{\text{def}} \text{ IRN}^{-1} \quad (11)$$

em que

$Cd$  = coeficiente de déficit , %;

$L_{\text{def}}$  = lâmina deficitária, mm, e;

IRN = Irrigação real necessária, mm.

Perdas por percolação (%): definida pela expressão:

$$P_p = 100 L_{per} L_{colm}^{-1} \quad (12)$$

em que

$P_p$  = perdas por percolação, %;

$L_{per}$  = lâmina percolada, mm, e;

$L_{colm}$  = Lâmina media coletada, mm.

$E_c$  – Eficiência de condução (decimal): expressa as perdas por vazamentos no sistema.

Eficiência de distribuição de projeto (%): segundo a metodologia apresentada por Keller e Bliesner (1990), foi calculado por:

$$E_{Dad} = 100 + (606 - 24,9Pad + 0,34 Pad^2 - 0,00186 Pad^3) (1 - CUC 100^{-1}) \quad (13)$$

em que

$E_{Dad}$  – eficiência de distribuição do projeto, %;

$Pad$  – porcentagem de área adequadamente irrigada, %. Escolhida pelo usuário conforme o nível de uniformidade que deseja, por exemplo, 80%, e;

$CUC$  – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %.

Eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (%): é o valor a ser utilizado na estimativa da lâmina a ser aplicada em uma condição de manejo adequado do sistema, com a aplicação de uma lâmina que possibilite atingir uma porcentagem de área adequadamente irrigada preestabelecida. É estimada pela seguinte expressão:

$$E_{ipad} = E_{Dad} E_{pa\_keller} E_c \quad (14)$$

em que:

$E_{ipad}$  – eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto, %;

$E_{Dad}$  – eficiência de distribuição de projeto, decimal; e

$E_c$  – eficiência de condução, decimal.

Eficiência de aplicação (%): calculada pela expressão:

$$Ea = 100 \frac{Larm}{Lapl} \quad (15)$$

em que

$Ea$  – eficiência de aplicação %;

$Larm$  – lâmina armazenada na zona radicular, mm, e;

$Lapl$  – lâmina aplicada, mm.

Os parâmetros citados permitem uma avaliação do manejo para a irrigação avaliada. Buscando uma avaliação mais completa, torna-se necessário fazer uma análise durante um período maior do ciclo da cultura.

#### **2.2.4 Avaliação do manejo**

Na avaliação do manejo, são dois os parâmetros básicos que quando determinados, indicam se a irrigação está sendo praticada de forma correta: primeiro, o momento de irrigar, e segundo, se a quantidade de água aplicada atende de forma satisfatória às necessidades da cultura, sem que ocorram perdas devido a aplicação excessiva. Um critério utilizado para determinar o momento de irrigar baseia-se no fator de disponibilidade de água do solo ( $f$ ), o qual determina uma faixa aceitável de umidade disponível à cultura, sem acarretar estresse hídrico à mesma, podendo então o irrigante proceder à irrigação quando a umidade aproximar-se do nível mínimo estabelecido pelo fator “ $f$ ”.

De forma complementar ao exposto no item anterior, para proceder a uma caracterização mais completa do manejo praticado pelos produtores de café e mamão através do sistema pivô central, utilizando-se o programa IRRIGA 1.55 foi estabelecido o acompanhamento do manejo em seis sistemas cultivados com mamão e seis sistemas cultivados com café. Dos oito sistemas cultivados com mamão, foram selecionados para acompanhamento do manejo os pivôs de número 1 a 6, sendo os pivôs 7 e 8 excluídos devido a falhas nos registros dos dados necessários ao

processamento dos cálculos. Nos sistemas cultivados com café, foram acompanhados os pivôs de números 1 a 6, perfazendo um total de 12 sistemas acompanhados.

Por um período de seis meses, compreendendo o período de agosto de 2004 a janeiro de 2005 (início da estiagem até meados do período chuvoso), foram monitoradas as irrigações praticadas, anotando-se para cada dia a ocorrência de irrigação e respectiva velocidade de deslocamento do sistema. Durante este período foram anotadas, também, as precipitações coletadas próximas às lavouras tendo sido instalados pluviômetros para este fim.

No processamento das informações, foram inseridos dados de campo levantados relativos ao solo e a cultura, bem como dados de clima, utilizando-se da estação climatológica mais próxima instalada no município de Boa Esperança - ES, distante aproximadamente, 15 km das áreas avaliadas.

Neste tipo de análise, tem-se uma visão mais abrangente no que diz respeito à disponibilidade hídrica para as lavouras, uma vez que é possível visualizar no decorrer do período estudado como se comportou o balanço hídrico no solo cultivado.

### **2.2.5 Simulação do manejo**

Após análise do manejo praticado pelos irrigantes, procedeu-se a simulação das irrigações através do programa IRRIGA 1.55 para os mesmos pivôs que tiveram seus manejos acompanhados, visando obter as irrigações recomendadas com base nas necessidades das lavouras e condições de solos já levantadas.

## 2.3 Resultados e Discussão

### 2.3.1 Irrigação na cultura do mamoeiro

#### 2.3.1.1 Caracterização e condições de operação dos pivôs avaliados

Na Tabela 4, são apresentados dados de caracterização e das condições de funcionamento dos pivôs cultivados com mamão em projeto, com velocidade de deslocamento da última torre igual a 100%.

Tabela 4 – Dados de caracterização dos pivôs cultivados com mamão em projeto: raio total (Rt), área (ha), horas por volta a 100% ( $h v^{-1}$  100%), velocidade de deslocamento a 100% (Vd 100%), lâmina aplicada a 100% (lapl 100%), tempo de operação (To), lâmina bruta (lbrut), vazão do sistema (Q)

Nº Pivô	Rt (m)	Área (ha)	$h v^{-1}$ 100% (h)	Vd 100% ( $m h^{-1}$ )	lapl 100% (mm)	To (h)	lbrut (mm)	Q ( $m^3 h^{-1}$ )
1	524,86	86,54	10,33	263,93	4,33	21	8,80	362,66
2	326,70	33,53	7,47	247,00	3,02	21	8,50	135,73
3	511,00	82,03	10,03	287,54	3,73	21	7,80	304,59
4	352,15	38,96	15,54	125,00	5,99	21	8,10	150,27
5	401,42	50,62	8,33	263,98	4,17	21	10,50	254,00
6	305,42	29,31	6,04	264,20	5,18	21	18,00	252,00
7	490,58	75,61	10,45	264,03	4,98	21	10,00	360,50
8	336,91	35,66	6,70	263,95	4,70	21	14,72	250,00

Pela Tabela 5, pode-se visualizar os dados coletados e calculados referentes às condições de operação dos pivôs no campo, no dia da avaliação.

Tabela 5 – Dados de caracterização dos pivôs cultivados com mamão nas condições de operação no dia da avaliação: raio da última torre (Rut), comprimento da circunferência (cc), percentímetro da velocidade (Pv), velocidade de deslocamento medida (Vdm), velocidade de deslocamento a 100% calculada (Vd 100%), horas por volta a 100% calculada ( $h v^{-1}$  100%), lâmina média coletada (l média (colet.)) e lâmina média de projeto (l média (proj.))

Nº pivô	Rut (m)	cc (m)	Pv (%)	Vdm ( $mh^{-1}$ )	Vd 100% ( $mh^{-1}$ )	$h v^{-1}$ 100%	l média (colet.) (mm)	l média (proj.) (mm)
1	473,41	2974,52	55	157,89	287,08	10,36	7,49	7,87
2	289,20	1817,10	30	75,00	250,00	7,27	8,91	10,10
3	459,00	2883,98	40	113,64	284,09	10,15	9,11	9,31
4	309,15	1942,45	75	101,18	134,91	14,40	7,54	7,99
5	349,97	2198,93	100	267,86	267,86	8,21	4,04	4,17
6	253,97	1595,74	37	98,36	265,84	6,00	13,51	13,98
7	439,13	2759,14	40	107,53	268,82	10,26	11,18	12,44
8	281,46	1768,47	35	83,10	277,01	6,38	12,77	13,71

### 2.3.1.2 Uniformidade de aplicação de água

Na Tabela 6, são apresentados os valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), velocidade do vento no momento do teste e umidade relativa, para os oito pivôs avaliados, cultivados com mamão.



Tabela 6 – Umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Nº pivô	UR (%)	Vv (km h <sup>-1</sup> )	CUC (%)	CUD (%)
1	85,00	4,32	87,56	77,80
2	85,00	3,96	88,61	80,92
3	85,00	6,48	86,88	78,07
4	77,00	5,40	84,81	77,19
5	70,00	0,00	85,62	69,40
6	70,00	0,00	81,09	63,60
7	74,00	4,68	86,57	75,38
8	74,00	0,00	83,59	66,28

Observa-se pela Tabela 6 que os valores de velocidade do vento medidos, em sua totalidade, não excederam a 7,2 km h<sup>-1</sup> ( 2 m s<sup>-1</sup>), devido ao horário de realização dos testes, obedecendo ao esquema de irrigações noturnas, que foram realizados em horário anterior a seis horas da manhã. Com a velocidade do vento nula, realizou-se os testes nos pivôs 5, 6 e 8. Com a velocidade inferior a 7,2 km h<sup>-1</sup>, realizou-se os testes nos pivôs 1, 2, 3, 4 e 7. Em relação à velocidade do vento, todos os testes foram realizados com valores abaixo de 3 m s<sup>-1</sup>, preconizado pela norma NBR 14244 (1998), que considera válido o ensaio na mensuração da uniformidade ou desempenho do conjunto de emissores se a velocidade do vento não ultrapassar este valor.

Os valores encontrados para o CUC, variaram de 81,09 a 88,61%, com valor médio igual a 85,59% considerado bom. Contudo, estes valores de CUC estão abaixo do recomendado por Bernardo; Soares e Mantovani (2005) que para pivô central, consideram apropriados valores acima de 90%, quando a cultura apresenta alto valor comercial e sistema radicular pouco desenvolvido.

Considerando a classificação dada pela norma NBR 14244 (1998) quanto ao CUC, foram obtidos três pivôs entre 80 e 85%, considerados regulares e cinco pivôs entre 85% e 90% considerados bons. Nas figura de 1 a 4, podem ser visualizados os gráficos dos perfis de distribuição das lâminas coletadas ao longo dos raios e a lâmina média ponderada para os oito pivôs avaliados.

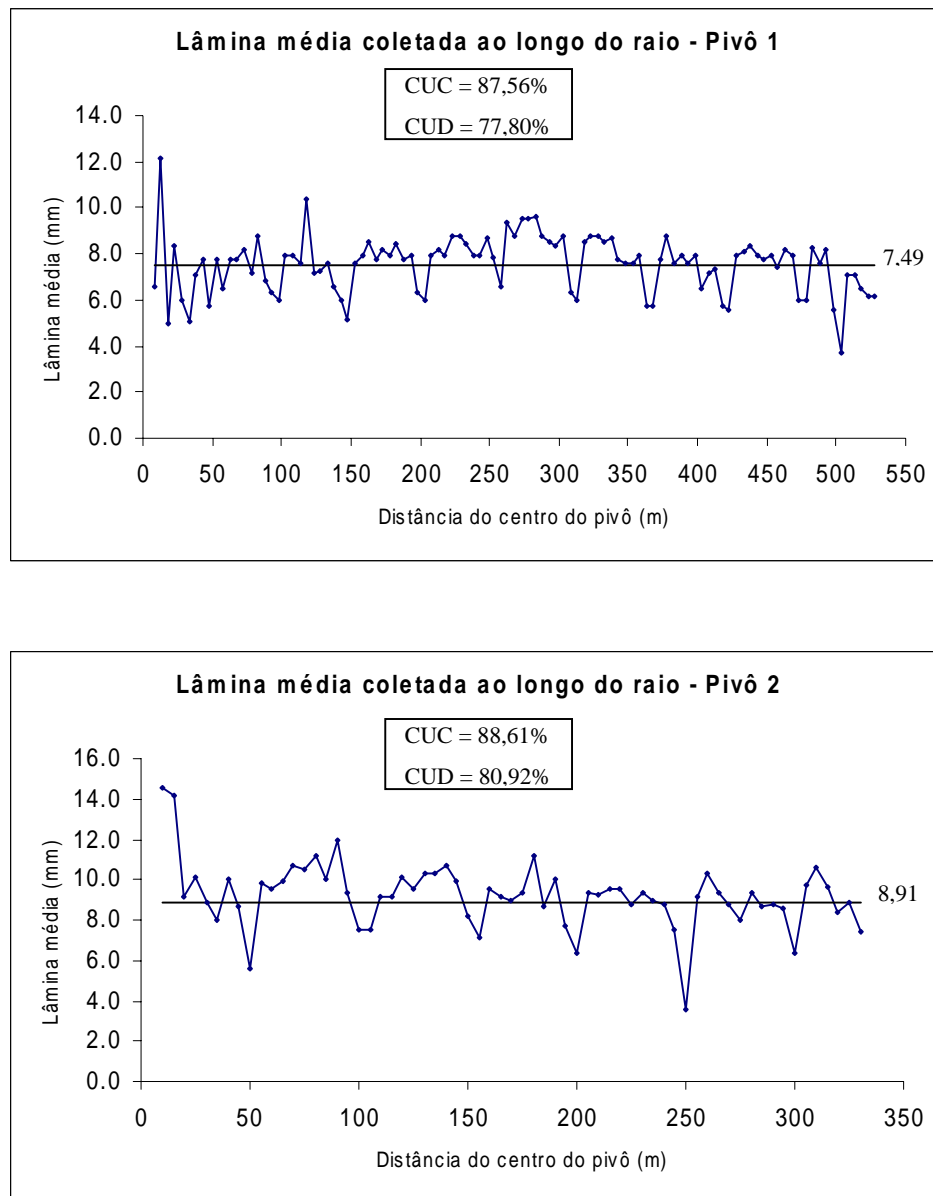


Figura 1 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 1 e 2

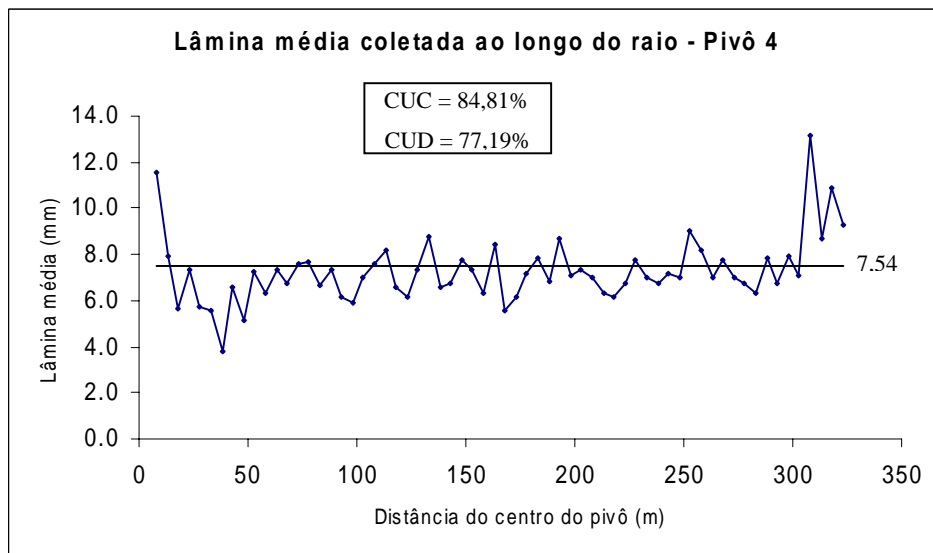
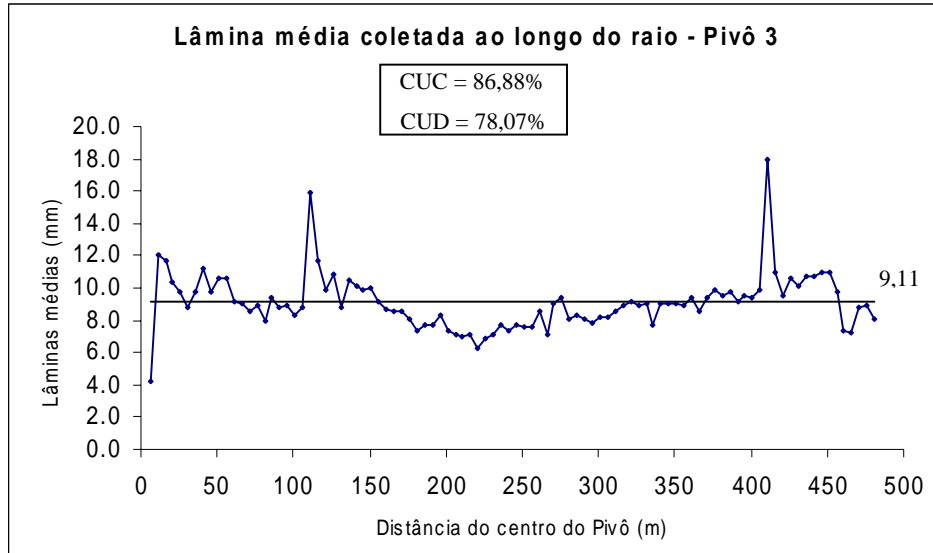


Figura 2 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 3 e 4

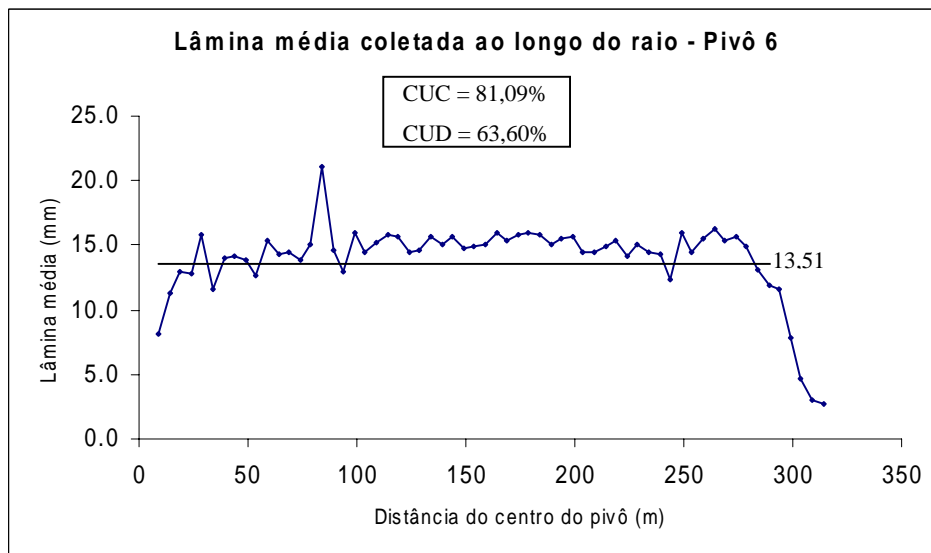
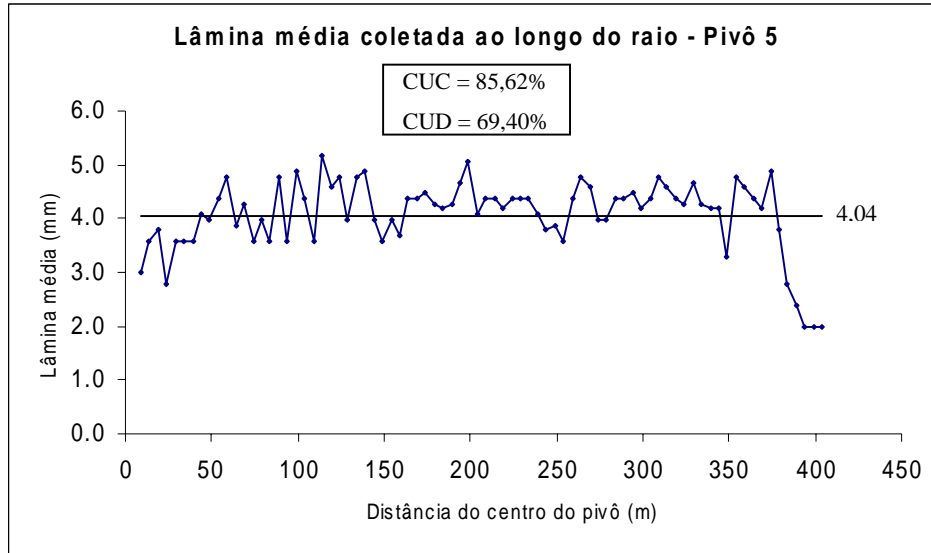


Figura 3 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 5 e 6

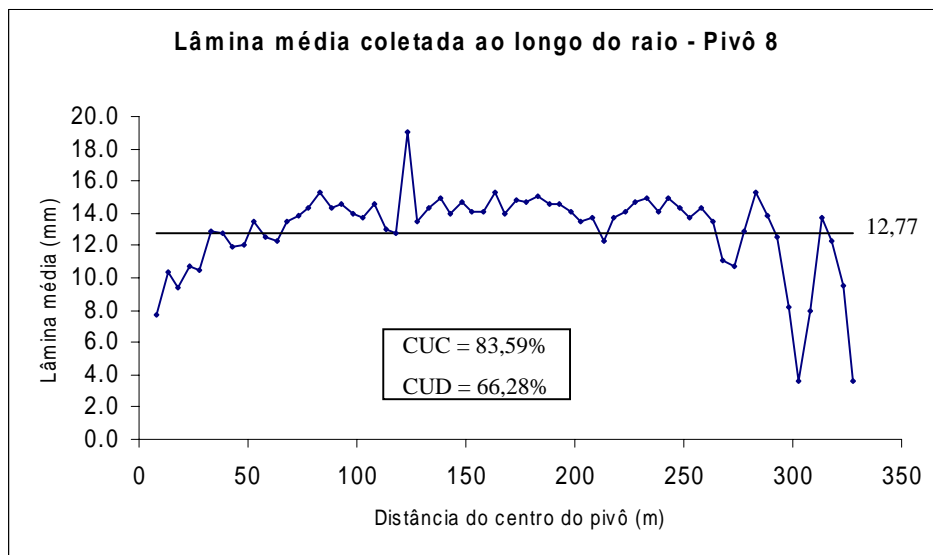
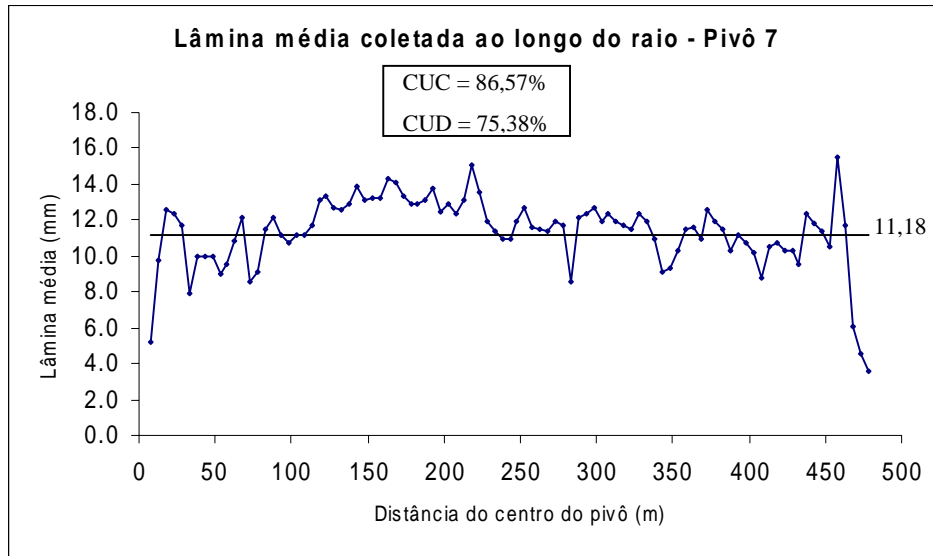


Figura 4 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 7 e 8

### 2.3.1.3 Manejo da irrigação

Na Tabela 7, tem-se os resultados das análises texturais nas quais se observa uma tendência característica e solos dos Tabuleiros Costeiros, com a presença de um horizonte mais argiloso de espessura e profundidade variáveis. Esta tendência confere a estes solos uma camada adensada, que pode dificultar a drenagem natural, mesmo possuindo um alto teor de areia nas camadas superiores, gerando uma enorme dificuldade de manejo da irrigação, pois ao mesmo tempo em que a planta pode sofrer um estresse hídrico, pode haver problemas de encharcamento, causando a morte das mesmas por doenças ou afogamento das raízes, principalmente dos mamoeiros que não são tolerantes ao excesso de umidade.

Na Tabela 8, estão apresentados os valores dos parâmetros físico-hídricos dos solos para os sistemas avaliados. Observa-se que os valores da capacidade de campo variaram de 7,04 a 27,18% e o ponto de murcha de 2,91 a 17,92%. Os valores de densidade global encontrados variaram de 1,24 a 1,56 g cm<sup>-3</sup> estando dentro da faixa de valores apresentados para solos coesos, de acordo com Cintra (2005), com valores médios na faixa de 1,2 a 1,4 g cm<sup>-3</sup>, nos horizontes superficiais e 1,5 a 1,8 g cm<sup>-3</sup>, nas camadas coesas. Os valores disponibilidade total de água (DTA) variaram de 0,50 a 1,18 mm cm<sup>-1</sup>, sendo em sua maioria menores que 1,0 mm cm<sup>-1</sup>, característica dos solos arenosos coesos e com baixa capacidade de retenção de água (SILVA; COELHO, 2003).

Nos sistemas tipo pivô central, normalmente a lâmina diária aplicada não ultrapassa muito a evapotranspiração da cultura, devendo via de regra, ser acionado para repor as perdas diárias, pois caso ocorra um déficit acumulado, será muito difícil repor este déficit a fim de alcançar a capacidade de campo. Junto a este fato, existe a condição de irrigações noturnas devido aos custos menores de energia, fazendo com que o produtor adote um turno de rega de dois dias, irrigando apenas meio pivô por noite.

Tabela 7 – Análise textural dos solos cultivados com mamão nos sistemas avaliados

Pivô	Camada (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação Textural
1	0-20	56	18	-	26	Franco argilo arenoso
	20-40	47	24	3	26	Franco argilo arenoso
	40-60	31	19	2	48	Argila arenosa
2	0-20	25	18	9	48	Argila
	20-40	24	18	9	49	Argila
	40-60	20	16	8	56	Argila
3	0-20	57	29	-	14	Areia franca
	20-40	59	27	-	14	Areia franca
	40-60	41	32	3	24	Franco argilo arenoso
4	0-20	38	18	3	41	Argila arenosa
	20-40	31	17	8	44	Argila arenosa
	40-60	27	17	6	50	Argila
5	0-20	60	20	-	20	Franco arenoso
	20-40	55	24	1	20	Franco arenoso
	40-60	38	22	2	38	Argila arenosa
6	0-20	55	21	7	17	Franco arenoso
	20-40	45	23	5	27	Franco argilo arenoso
	40-60	35	21	5	39	Argila arenosa
7	0-20	56	30	2	10	Areia franca
	20-40	57	30	1	11	Areia franca
	40-60	53	30	1	13	Areia franca
8	0-20	56	32	2	7	Areia
	20-40	53	30	2	13	Areia franca
	40-60	47	28	1	21	Franco arenoso

Tabela 8 – Umidade na capacidade de campo (CC), umidade no ponto de murcha permanente (PMP), umidade do solo antes da irrigação (Ua), densidade global do solo (dg) e disponibilidade total de água (DTA)

Pivô	Camada (cm)	CC (%)	PMP (%)	Ua (%)	dg (g cm <sup>-3</sup> )	DTA (mm cm <sup>-1</sup> )
1	0-20	12,27	7,87	8,73	1,27	0,56
	20-40	12,96	7,65	10,82	1,34	0,71
	40-60	21,51	13,86	13,34	1,54	1,18
2	0-20	24,17	15,80	15,49	1,24	1,04
	20-40	24,26	17,42	17,87	1,32	0,90
	40-60	27,18	17,92	18,65	1,31	1,21
3	0-20	7,62	3,87	7,60	1,38	0,52
	20-40	8,20	4,15	9,15	1,54	0,62
	40-60	12,66	6,96	10,75	1,56	0,89
4	0-20	19,24	12,32	15,54	1,29	0,89
	20-40	22,37	14,51	16,18	1,46	1,15
	40-60	24,09	15,85	16,11	1,42	1,17
5	0-20	9,96	5,83	7,78	1,51	0,62
	20-40	10,32	6,80	7,61	1,5	0,53
	40-60	16,56	10,57	10,85	1,48	0,89
6	0-20	11,45	7,18	14,52	1,32	0,56
	20-40	14,57	9,42	7,93	1,48	0,76
	40-60	18,08	12,59	11,42	1,41	0,77
7	0-20	7,04	2,91	6,11	1,34	0,55
	20-40	7,36	3,45	7,20	1,42	0,56
	40-60	9,30	5,35	9,56	1,35	0,53
8	0-20	7,26	3,55	8,06	1,35	0,50
	20-40	7,85	4,19	7,64	1,43	0,52
	40-60	11,89	7,75	10,57	1,45	0,60



Na avaliação do manejo de irrigação, visando analisar o momento em que foi realizada a irrigação e se a quantidade de água aplicada foi aquela adequada para atender a necessidade da cultura, adotou-se para definir o momento de se efetuar a irrigação o fator de disponibilidade de água no solo (f), o qual indica o valor limite da umidade do solo, a partir do qual, a cultura pode estar submetida à condição de estresse hídrico.

O valor de “f” adotado foi de 0.20, considerando o alto valor comercial da cultura e sua grande exigência em água, sendo recomendado para o mamão um valor máximo igual a 0,25 (COELHO et al., 2003).

Considerando o critério citado, observa-se na Tabela 9, que o déficit de água no solo não havia sido atingido nos pivôs 3, 7 e 8, nos quais a lâmina coletada excedeu a requerida, caracterizando irrigações excessivas. Nos demais pivôs, as irrigações foram realizadas quando o valor da umidade do solo já havia ultrapassado o valor limite, gerando após as irrigações, lâminas deficitárias cujos percentuais de déficit variaram de 19,38 a 77,25%.

Tabela 9 – Resultados dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação dos oito pivôs: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), capacidade total de armazenamento de água (CTA), água disponível considerando o fator f (AD), irrigação real necessária (IRN), lâmina coletada (Lcol), lâmina deficitária (L def) e déficit de água no solo (Def)

Nº pivô	Z (cm)	CTA (mm)	AD (mm)	IRN (mm)	L col (mm)	L def (mm)	Def (%)
1	35	21,85	4,37	13,74	7,49	6,25	45,49
2	35	34,3	6,68	33,78	8,91	24,87	73,62
3	40	22,82	4,56	1,97	9,11	0,00	0,00
4	40	40,8	8,16	33,14	7,54	25,60	77,25
5	35	20,39	4,08	18,53	4,04	14,49	78,20
6	35	22,71	4,54	16,71	13,51	3,24	19,38
7	35	19,4	3,88	1,34	11,18	0,00	0,00
8	35	17,87	3,57	1,18	12,77	0,00	0,00

### 2.3.1.4 Parâmetros de eficiência de irrigação

Na Tabela 10 encontram-se os valores dos resultados relativos aos parâmetros da avaliação de desempenho da irrigação, em que se evidencia nos pivôs 3, 7 e 8, um percentual de área adequadamente irrigada ( $P_{ad}$ ) igual a 100%, caracterizada pelo coeficiente de déficit nulo e perdas por percolação profunda cujos valores foram 78,38, 88,01 e 90,76%, refletindo na baixa eficiência de aplicação de água, cujos valores foram 21,15, 10,77 e 8,77%, respectivamente.

Em contra partida, os pivôs 1, 2, 4, 5 e 6 apresentaram percentagem de área adequadamente irrigada igual ou próximo de zero, devido às lâminas aplicadas serem inferiores às lâminas requeridas para elevar a umidade do solo à capacidade de campo, com perdas por percolação profunda nulas, coeficientes de déficit variando de 19,38 a 78,20% e eficiências de aplicação de água elevadas, variando entre 88,41 e 97,00%, em função de terem sido nulas as perdas por percolação profunda.

Os valores das eficiências em potencial de aplicação, proposto por Bernardo; Soares e Mantovani (2005), calculados pela lâmina média aplicada, considerando a vazão de projeto dos sistemas, ( $E_{pa_{Bernardo}}$ ), variaram de 88,41 a 97,81%. Os valores obtidos pela metodologia proposta por Keller e Bliesner (1990), ( $E_{pa_{Keller}}$ ), variaram entre 96,81 e 98,17%, com perdas por evaporação e arraste pelos ventos entre 3,19 e 1,83%. Já as perdas por evaporação e arraste pelos ventos calculadas por meio da  $E_{pa_{Bernardo}}$ , variaram de 2,19 a 11,59% e considerando o fato dos testes terem sido realizados em horários com velocidade dos ventos inferiores a  $2 \text{ m s}^{-1}$ , maiores valores de perdas por evaporação e arraste através da metodologia proposta por Bernardo; Soares e Mantovani (2005), podem ser devido às incertezas nos valores da vazão de projeto utilizada nos cálculos.

Não ocorrendo perdas por percolação profunda, ou seja, a lâmina que atinge o solo fica armazenada e os valores de eficiência de aplicação ( $E_a$ ) se tornam idênticos aos valores de eficiência em potencial de aplicação ( $E_{pa_{Bernardo}}$ ), observados nos pivôs 1, 2, 4, 5 e 6, o que não ocorreu nos pivôs 3, 7 e 8, nos quais houve perdas por percolação profunda acentuadas.

Os valores de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto ( $E_{ip_{80}}$ ), calculados em função da  $E_{pa_{Keller}}$ , da eficiência de condução adotada como 100% baseada em observações de campo e da eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada ( $ED_{80}$ ), variaram de 78,69 a 86,24. Portanto, considerando estes valores de  $E_{ip_{80}}$ , a lâmina requerida de irrigação deverá ser acrescida de 27 e 16% respectivamente.

Tabela 10 – Resultados dos parâmetros de avaliação de eficiência de irrigação para os pivôs centrais avaliados: lâmina de irrigação requerida (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), percentagem de área adequadamente irrigada (Pad), eficiência potencial de aplicação (Epa), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação (Pp), eficiência de distribuição de projeto ( $ED_{80}$ ), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto ( $E_{ip_{80}}$ ) e eficiência de aplicação (Ea)

Parâmetro	Unidade	Pivôs							
		1	2	3	4	5	6	7	8
IRN	mm	13,74	33,78	1,97	33,14	18,53	16,71	1,34	1,18
Lapl	mm	7,87	10,08	9,31	7,99	4,17	13,99	12,44	13,42
Lcol	mm	7,49	8,91	9,11	7,54	4,04	13,51	11,18	12,77
Larm	mm	7,49	8,91	1,97	7,54	4,04	13,47	1,34	1,18
Ldef	mm	6,25	24,87	0,00	25,60	14,49	3,24	0,00	0,00
Lper	mm	0,00	0,00	7,14	0,00	0,00	0,04	9,84	11,59
Pad	%	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	2,71	100,00	100,00
$E_{pa_{Bernardo}}$	%	95,17	88,41	97,81	94,41	97,00	96,55	89,87	95,17
$E_{pa_{Keller}}$	%	97,90	97,18	97,72	96,81	98,11	98,17	97,88	98,17
Cd	%	45,49	73,62	0,00	77,25	78,20	19,38	0,00	0,00
Pp	%	0,00	0,00	78,38	0,00	0,00	0,30	88,01	90,76
$ED_{80}$	%	86,97	88,07	86,26	84,10	84,94	80,19	85,93	82,82
$E_{ip_{80}}$	%	85,15	86,24	84,46	82,30	83,35	78,69	84,14	81,30
Ea	%	95,17	88,41	21,15	94,41	97,00	96,27	10,77	8,79

### 2.3.1.5 Análise do manejo praticado

Neste estudo, procedeu-se o cálculo das entradas e saídas de água nos solos cultivados com mamão nos pivôs 1, 2, 3, 4, 5 e 6, cuja caracterização da cultura encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Idade, profundidade da raiz, coeficiente de cultura, espaçamento de plantio e população de plantas ha<sup>-1</sup>

Sistema	Cultura	Idade (meses)	Prof. Raiz (m)	Kc	Espaçamento	Pop. de plantas ha <sup>-1</sup>
Pivô 1	mamão	6	0,35	1	3,80 x 1,80	1460
Pivô 2	mamão	5	0,35	1	3,80 x 1,80	1460
Pivô 3	mamão	12	0,40	1,25	3,80 x 1,80	1460
Pivô 4	mamão	12	0,40	1,25	3,80 x 1,80	1460
Pivô 5	mamão	6	0,35	1	3,80 x 1,80	1460
Pivô 6	mamão	6	0,35	1	3,80 x 1,80	1460

Na avaliação do manejo da irrigação, efetuado pelos produtores durante o período de acompanhamento das irrigações pelo programa IRRIGA 1.55, observa-se na Tabela 12 que as irrigações praticadas aproximaram-se do déficit pluviométrico expresso pela diferença entre a precipitação efetiva e a evapotranspiração da cultura. Na totalidade dos sistemas avaliados, os valores de ET<sub>c</sub> apresentaram-se reduzidos quando comparados com os valores de ET<sub>o</sub>, decorrente dos baixos valores de umidade do solo, não atendendo plenamente as necessidades hídricas da cultura. Coelho et al. (2003) recomenda para o mamão uma lâmina diária entre 2 a 8 mm dia<sup>-1</sup>, em condições de baixa e alta demanda evapotranspirométrica, respectivamente.

As irrigações ao longo do período proporcionaram uma lâmina diária média entre 0,87 e 3,79 mm. Em cinco dos pivôs avaliados, a lâmina média aplicada ficou abaixo de 2 mm dia<sup>-1</sup> e mesmo o pivô número 4, com lâmina média de 3,79 mm dia<sup>-1</sup>, não atendeu as reais necessidades da cultura durante aproximadamente todo o período

avaliado, no qual visualizando as Figuras 5, 6 e 7, verifica-se que a umidade do solo esteve permanentemente abaixo do nível crítico recomendado.

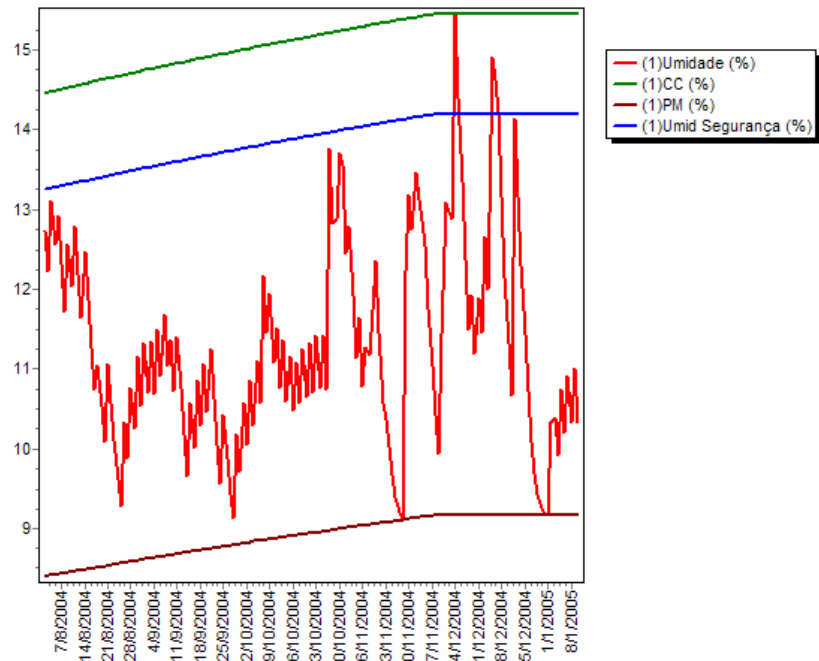
Na Tabela 12 são apresentados os dados do manejo executado pelos irrigantes, obtidos pelo programa IRRIGA 1.55, durante o período de acompanhamento do manejo compreendido entre agosto de 2004 e janeiro de 2005.

Tabela 12 – Evapotranspiração potencial total (Eto total), evapotranspiração total da cultura (ETc total), evapotranspiração média da cultura (ETc média), precipitação efetiva (Prec. Efet), irrigação realizada, déficit pluviométrico (Pe - Etc total), lâmina média aplicada (Lâm. média) e período

Parâmetro	Unidade	Pivô 1	Pivô 2	Pivô 3	Pivô 4	Pivô 5	Pivô 6
ETo total	mm	826,44	826,44	919,34	932,92	858,91	865,84
ETc total	mm	591,79	426,46	584,05	860,76	452,58	381,36
ETc média	mm	3,65	2,63	3,32	4,89	2,78	2,33
Prec. Efet. (Pe)	mm	284,88	253,3	245,09	244,67	247,33	247,32
Irrigação	mm	306,93	184,71	342,48	666,78	238,15	142,74
Pe – Etc total	mm	-306,91	-173,16	-338,96	-616,09	-205,25	-134,04
Lâm. média	mm	1,89	1,14	1,95	3,79	1,46	0,87
Período	dias	162	162	176	176	163	164

Nas Figuras 5, 6 e 7, estão apresentados os gráficos nos quais se visualiza os valores de umidade do solo à capacidade de campo, ponto de murcha permanente, umidade de segurança ou nível crítico considerando o fator “f” e a variação da umidade do solo no período considerado para os seis pivôs cultivados com mamão. Em todos os pivôs avaliados, em vários momentos a umidade do solo chega próxima ao ponto de murcha permanente.

## Pivô 1



## Pivô 2

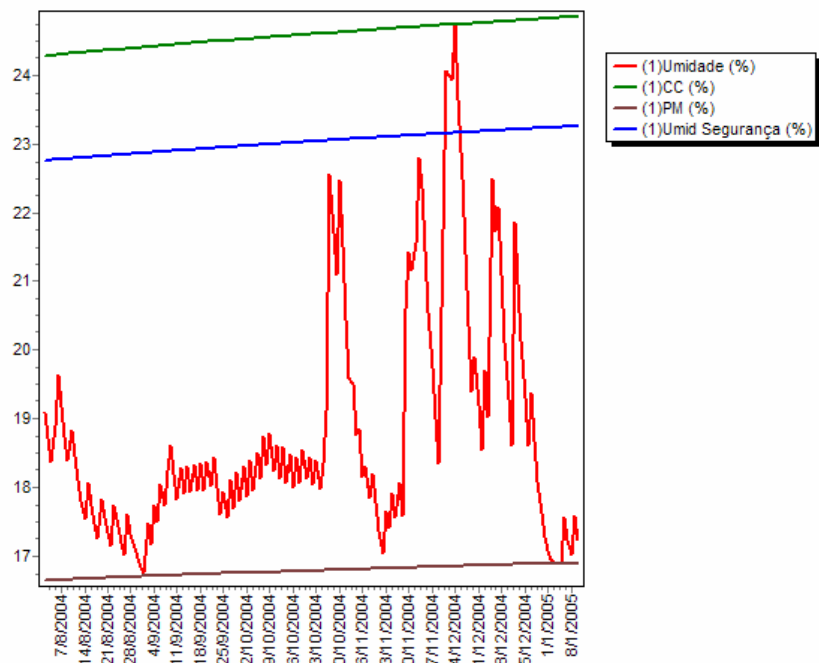
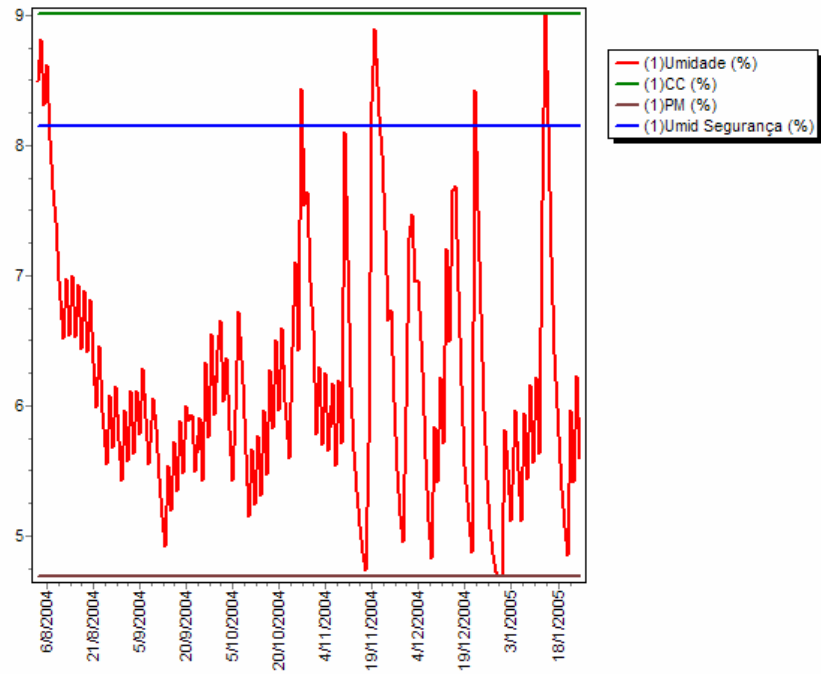


Figura 5 – Variação da umidade do solo nos manejos dos pivôs 1 e 2

## Pivô 3



## Pivô 4

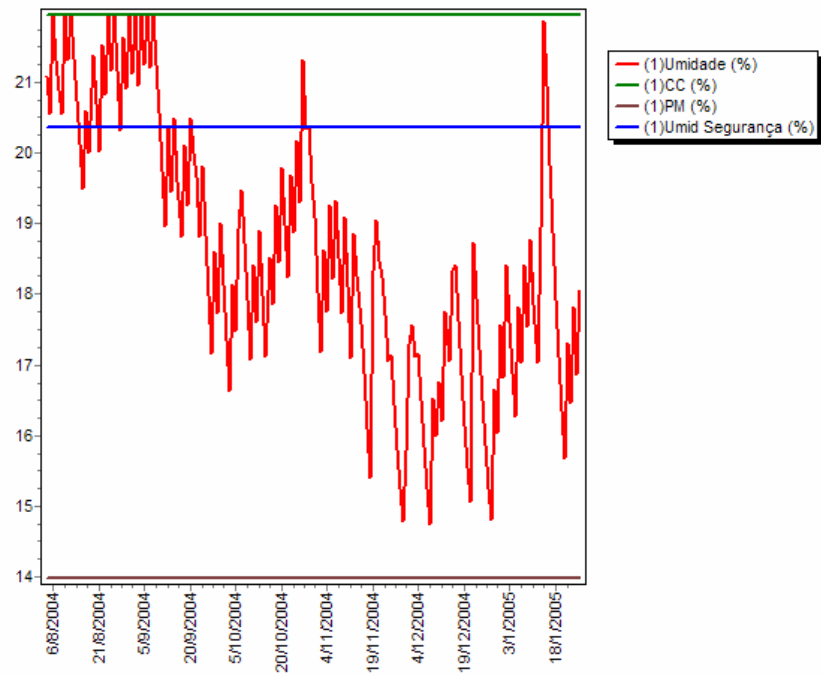
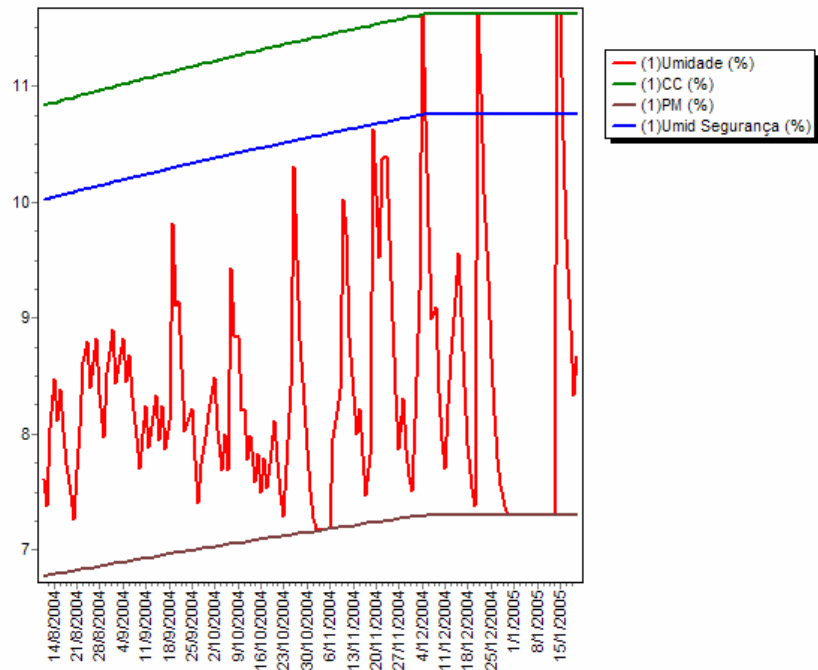


Figura 6 – Variação da umidade do solo nos manejos dos pivôs 3 e 4

## Pivô 5



## Pivô 6

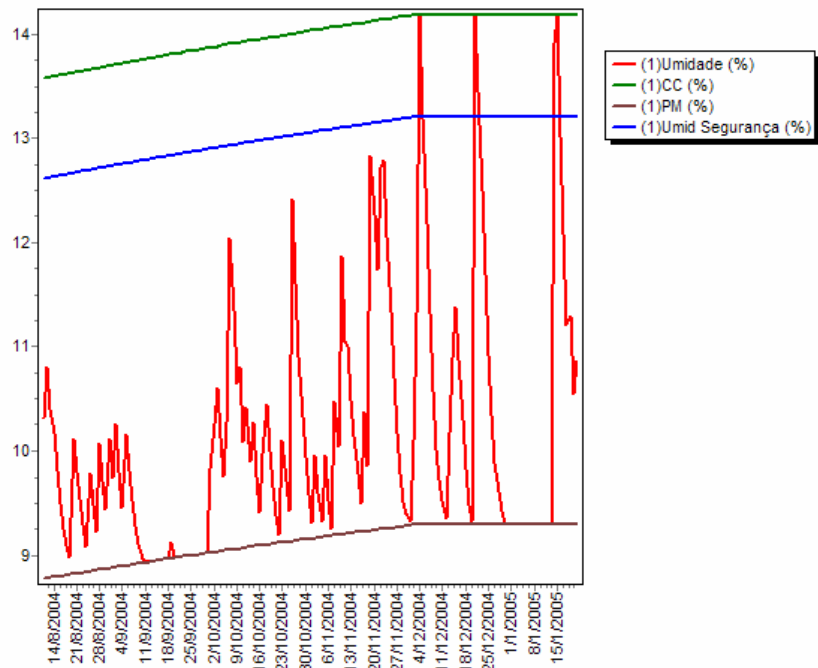


Figura 7 – Variação da umidade do solo nos manejos dos pivôs 5 e 6



### 2.3.1.6 Análise do manejo simulado.

Na Tabela 13, estão apresentados os dados para o manejo simulado obtidos pelo programa IRRIGA 1.55, durante o período de acompanhamento do manejo compreendido entre agosto de 2004 e janeiro de 2005. Observa-se que as lâminas aplicadas variaram de 949,59 a 1386,89 mm, enquanto que a ETc variou de 902,35 a 1107,10 mm. Estes valores quando comparados com os obtidos através do manejo praticado pelos produtores, evidenciam um déficit acentuado, pois em valores médios, a diferença na lâmina aplicada foi de 794,31 mm.

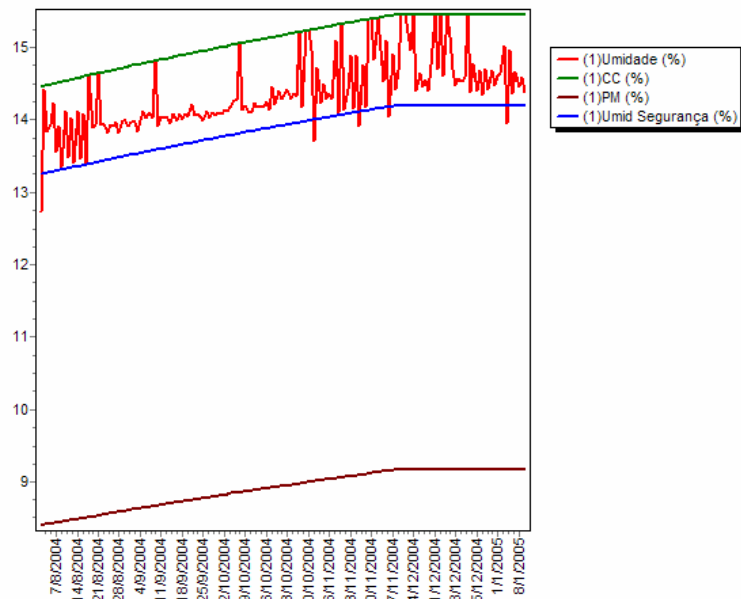
A lâmina média diária aplicada variou de 5,86 a 7,88 mm, equivalendo a um consumo anual de 2138,90 e 2876,20 mm, respectivamente. Portanto dentro da faixa de consumo apresentada por Silva e Coelho (2003), segundo os quais, atribui-se ao mamoeiro um consumo de água variando entre 1200 a 3125 mm, dependendo das condições climáticas. Os valores encontrados na simulação estão compatíveis com a lâmina de 2937 mm, que segundo Almeida (2003), foi a que proporcionou maior produtividade em experimento conduzido na região Norte Fluminense.

Tabela 13 – Evapotranspiração potencial total (ETo total), evapotranspiração total da cultura (ETc total), evapotranspiração média da cultura (ETc média), precipitação efetiva (Prec. Efet), irrigação realizada, déficit pluviométrico (Pe - Etc total), lâmina média aplicada (Lâm. média) e período

Parâmetro	Unidade	Pivô 1	Pivô 2	Pivô 3	Pivô 4	Pivô 5	Pivô 6
ETo total	mm	826,44	826,44	919,34	932,92	858,91	865,84
ETc total	mm	942,25	902,35	1067,42	1107,10	948,93	972,53
ETc média	mm	5,82	5,57	6,06	6,29	5,82	5,93
Prec. Efet. (Pe)	mm	283,66	252,55	243,29	242,94	237,5	237,19
Irrigação	mm	949,59	951,57	1097,35	1386,89	1124,46	1137,77
Pe - Etc total	mm	-658,59	-649,8	-824,13	-864,16	-711,43	-735,34
Lâm. média	mm	5,86	5,87	6,23	7,88	6,90	6,94
Período	dias	162	162	176	176	163	164

Nas Figuras 8, 9 e 10, observa-se que os valores da umidade do solo mantiveram-se acima do valor crítico, possibilitando o atendimento das demandas da cultura durante todo o período analisado.

Pivô 1



Pivô 2

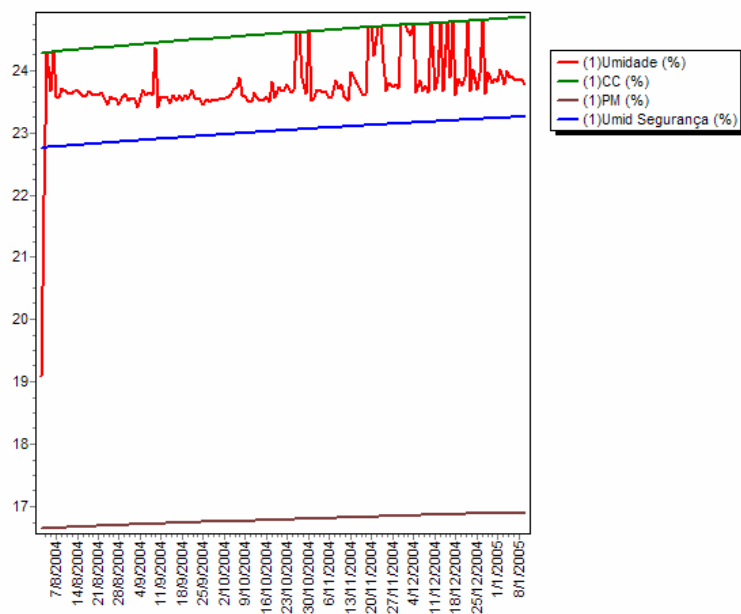
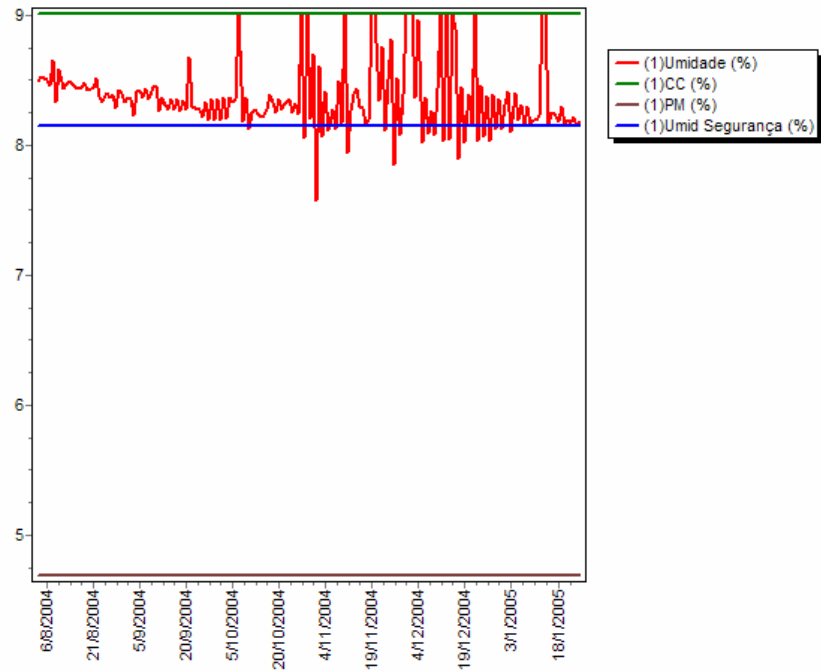


Figura 8 – Variação da umidade do solo nas simulações dos pivôs 1 e 2

## Pivô 3



## Pivô 4

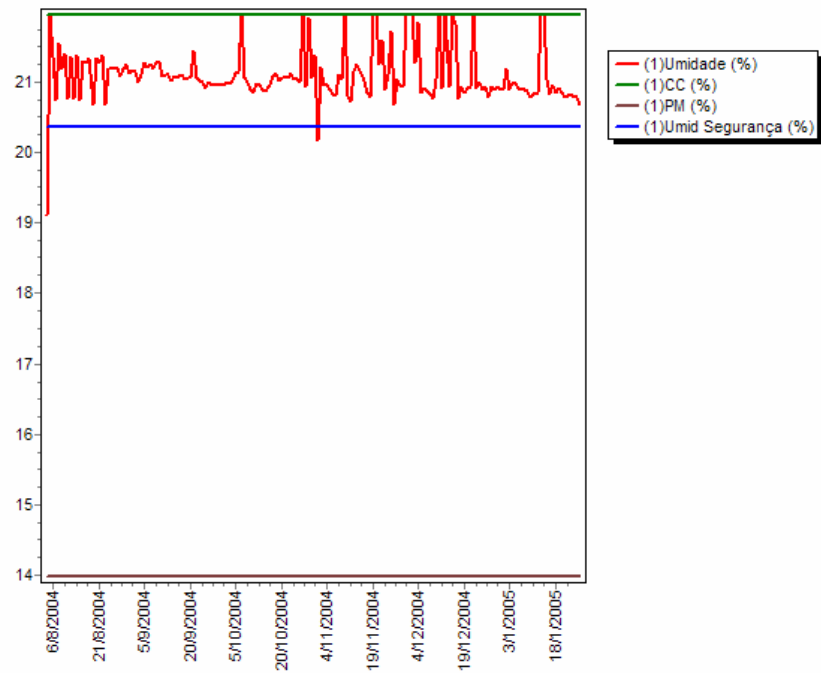
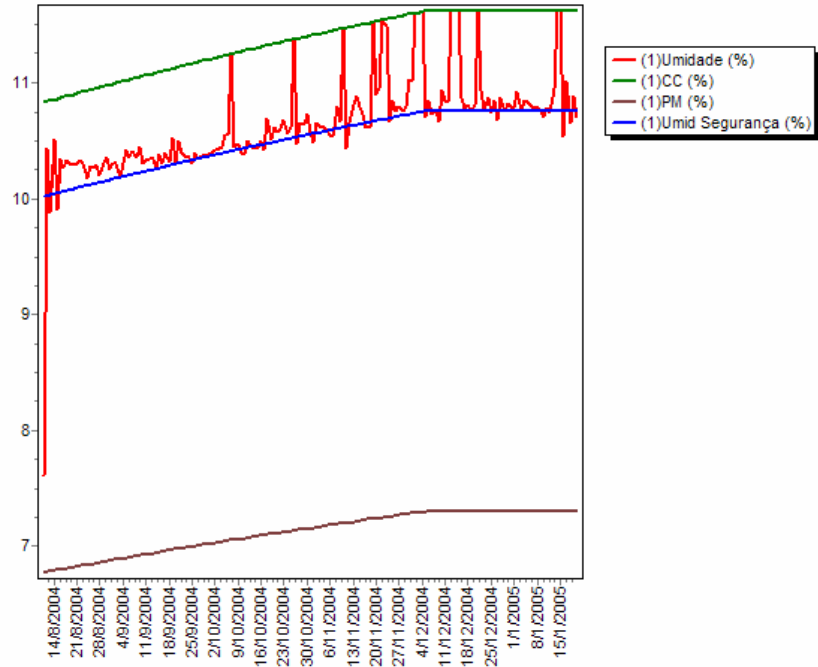


Figura 9 – Variação da umidade do solo nas simulações dos pivôs 3 e 4

## Pivô 5



## Pivô 6

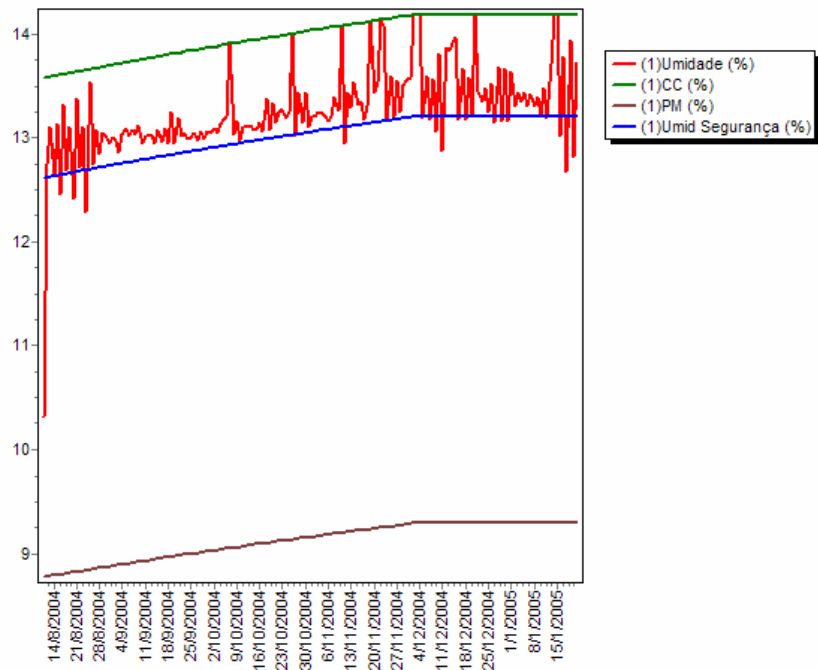


Figura 10 – Variação da umidade do solo nas simulações dos pivôs 5 e 6

## 2.3.2 Irrigação na cultura do café

### 2.3.2.1 Caracterização e condições de operação dos pivôs avaliados

A semelhança do trabalho conduzido com a cultura do mamão, foram adotados os mesmos procedimentos para a cultura do café. Portanto, na Tabela 14 são apresentados os dados de caracterização dos pivôs cultivados com café para as condições de funcionamento dos mesmos em projeto, com velocidade de deslocamento da última torre igual a 100%.

Tabela 14 – Dados de caracterização dos pivôs cultivados com café em projeto: raio total (Rt), área (ha), horas por volta a 100% ( $h\ v^{-1}\ 100\%$ ), velocidade de deslocamento a 100% ( $vd\ 100\%$ ), lâmina aplicada a 100% ( $lapl\ 100\%$ ), tempo de operação ( $To$ ), lâmina bruta ( $lbrut$ ), vazão do sistema ( $Q$ )

Nº Pivô	Rt (m)	Área (ha)	$h\ v^{-1}\ 100\%$ (h)	$Vd\ 100\%$ ( $m\ h^{-1}$ )	$lapl\ 100\%$ (mm)	$To$ (h)	$lbrut$ (mm)	$Q$ ( $m^3\ h^{-1}$ )
1	326,00	33,39	6,53	264,17	3,27	21	10,50	167,10
2	435,72	59,64	9,15	263,87	4,14	21	9,50	269,82
3	337,63	35,81	7,32	251,48	3,49	21	10,00	170,50
4	355,60	39,70	16,47	125,00	8,23	21	10,50	198,60
5	355,60	39,70	16,47	125,00	9,02	21	11,50	217,50
6	510,80	82,00	23,63	126,00	7,88	21	7,00	273,20

Na Tabela 15 são apresentados os dados determinados e calculados em nível de campo, representativos das condições de operação dos sistemas no dia da avaliação.

Tabela 15 – Dados de caracterização dos pivôs cultivados com café nas condições de operação no dia da avaliação: raio da última torre (Rut), comprimento da circunferência (cc), Percentímetro da velocidade (Pv), velocidade de deslocamento medida (Vdm), velocidade de deslocamento a 100% calculada (Vd 100%), horas por volta a 100% calculada ( $h v^{-1}$  100%), lâmina média coletada (l média (colet.)) e lâmina média de projeto (l média (proj.))

Nº pivô	Rut (m)	cc (m)	Pv (%)	Vdm ( $m h^{-1}$ )	Vd 100% ( $m h^{-1}$ )	Hv <sup>-1</sup> 100% (h)	l média (colet.) (mm)	l média (proj.) (mm)
1	274,55	1725,05	60	163,04	271,74	6,35	5,18	5,44
2	384,27	2414,44	95	255,32	268,76	8,98	4,22	4,36
3	292,98	1840,85	43	110,70	257,44	7,15	7,93	8,11
4	327,60	2058,37	100	126,32	126,32	16,30	6,32	8,25
5	327,60	2058,37	100	128,48	128,48	16,02	6,81	9,03
6	473,80	2976,97	100	132,74	132,74	22,43	5,81	7,88

### 2.3.2.2 Uniformidade de distribuição de água

Na Tabela 16 são apresentados os valores de CUC e CUD, velocidade do vento no momento do teste e umidade relativa para os seis pivôs cultivados com café avaliados. Os valores de umidade relativa, variando entre 72 e 79%, são considerados elevados conforme Doorembos e Kassan (1979). Os valores de velocidade dos ventos foram nulos nos pivôs 2, 3, 5 e 6; no pivô 1 foi de 3,60  $km h^{-1}$  e no pivô 4 foi de 5,04  $km h^{-1}$ . Portanto, estão de acordo com a recomendação da NBR 14244 (1998), cujo valor limite para a velocidade do vento é 3  $m s^{-1}$  ou 10,8  $km h^{-1}$ , a partir do qual os testes perdem a validade. Estes valores de umidade relativa e velocidade dos ventos, foram obtidos em função da condução dos testes nas primeiras horas da manhã, fato que intervêm de forma positiva na execução das avaliações de uniformidade de distribuição.

Os valores de CUC observados variaram de 71,52 a 87,52%, sendo que nos pivôs de números 1, 4, 5 e 6 os valores de CUC foram menores que 80%, no pivô 2 foi

87,52% e no pivô 3 foi 84,86%. Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2005), apenas dois pivôs estão dentro da faixa recomendada, acima de 80%, quando a cultura apresenta sistema radicular médio (CUC de 85 a 90%) e sistema radicular profundo (CUC de 80 a 85%). O que se observa em nível de campo é que devido às menores exigências hídricas do café, quando comparado a do mamão, os sistemas cultivados com café, geralmente, são mais velhos e não recebem a devida manutenção, principalmente com relação a troca de reguladores de pressão e desentupimento dos bocais.

Tabela 16 – Umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Nº pivô	UR (%)	Vv (km h <sup>-1</sup> )	CUC (%)	CUD (%)
1	79,00	3,60	73,16	53,59
2	75,00	0,00	87,52	76,56
3	73,00	0,00	84,86	75,62
4	79,00	5,04	79,10	67,59
5	79,00	0,00	79,35	65,69
6	72,00	0,00	71,52	57,53

De acordo com a classificação dada pela NBR 14244 (1998), quatro pivôs que apresentaram valores de CUC abaixo de 80% são considerados ruins, um pivô entre 80 e 84%, é considerado regular e um pivô entre 85% e 90%, é considerado bom. Nas figuras 11, 12 e 13, podem ser visualizados os gráficos dos perfis de distribuição das lâminas coletadas ao longo dos raios e a lâmina média ponderada para os seis pivôs avaliados.

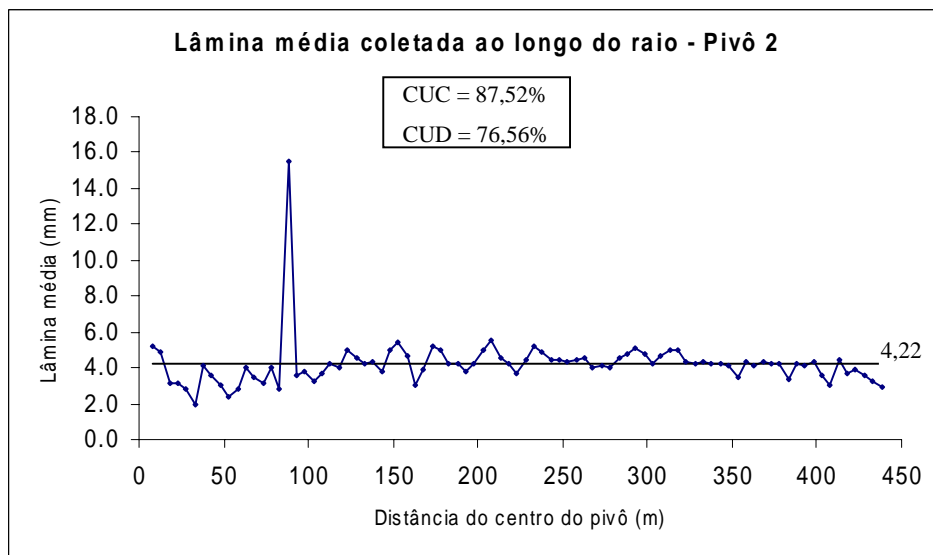
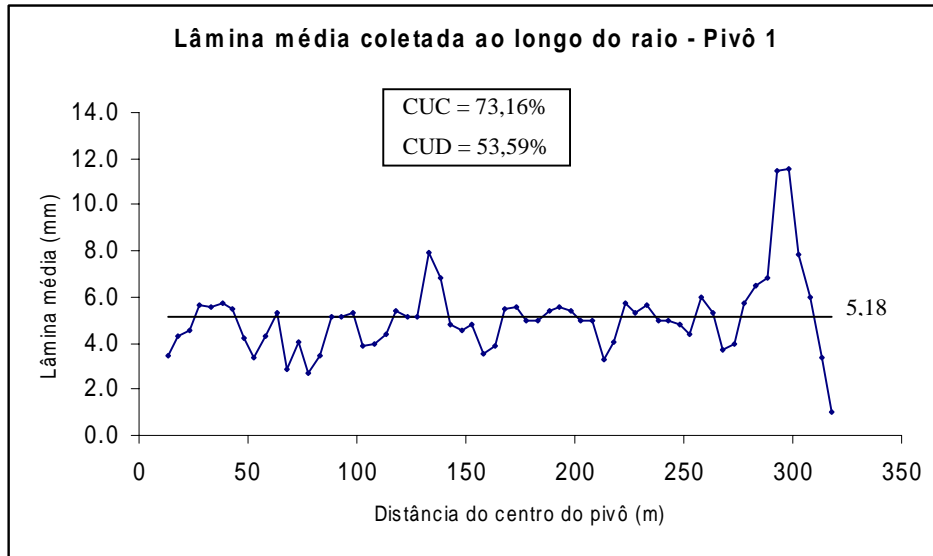


Figura 11 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 1 e 2



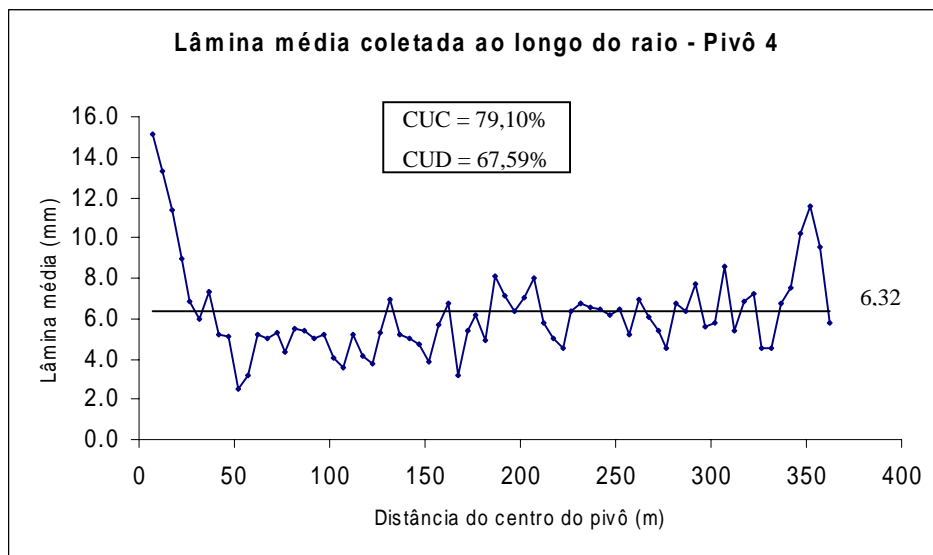
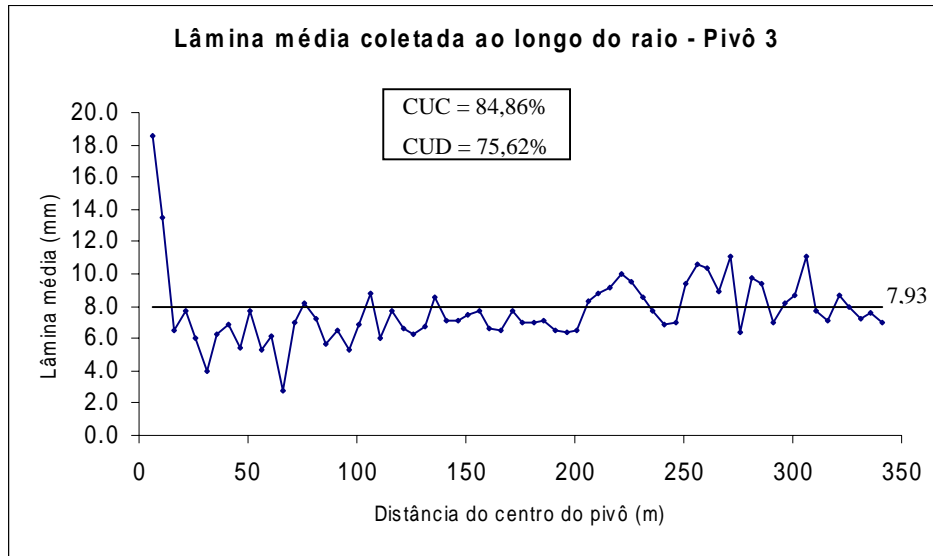


Figura 12 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 3 e 4

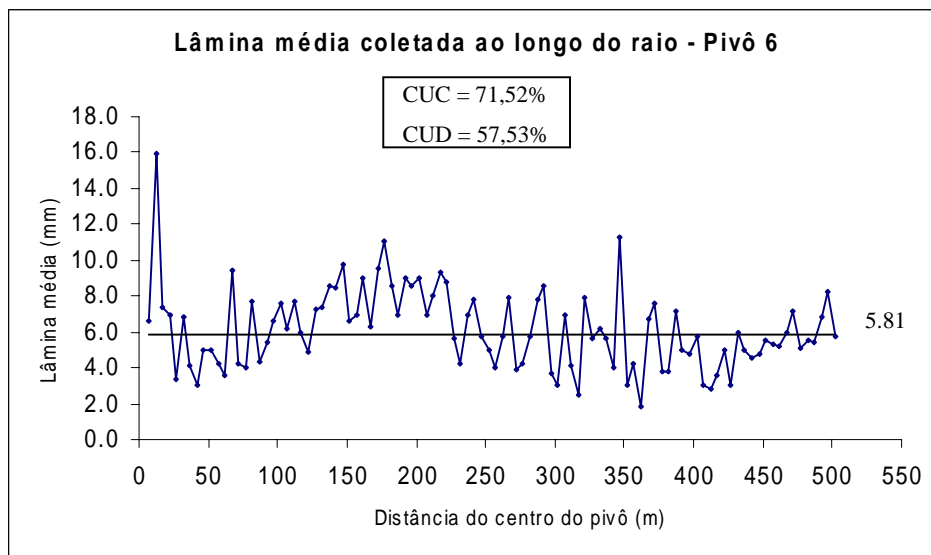
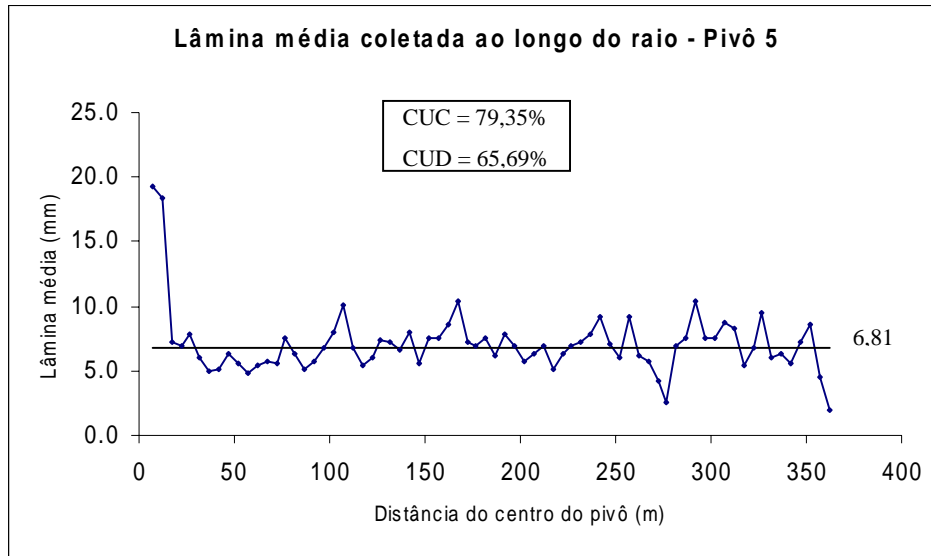


Figura 13 – Perfis de distribuição das lâminas coletadas e lâmina média nos pivôs 5 e 6

### 2.3.2.3 Manejo da irrigação

Na Tabela 17, tem-se os resultados das análises texturais dos solos cultivados com café em que se observa, a exemplo do constatado nos solos cultivados com mamão, a presença de um horizonte mais argiloso de espessura e profundidade variáveis. Sendo estes solos considerados solos com baixa capacidade de retenção de água, devido ao elevado teor de areia nas camadas superiores, todavia, não podem receber lâminas excessivas devido à dificuldade na drenagem natural, o que alterna momentos de déficit elevados com o encharcamento e falta de aeração na zona radicular em períodos de intensa precipitação, que tem causado a morte de cafeeiros por afogamento das raízes.

Tabela 17 – Análise textural dos solos cultivados com café nos sistemas avaliados

Pivô	Camada (cm)	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação Textural
1	0-20	37	18	3	42	Argila arenosa
	20-40	34	16	9	42	Argila arenosa
	40-60	31	14	7	48	Argila
2	0-20	51	25	2	22	Franco argilo arenoso
	20-40	44	27	5	24	Franco argilo arenoso
	40-60	36	28	4	38	Argila arenosa
3	0-20	47	29	2	22	Franco argilo arenoso
	20-40	44	28	2	26	Franco argilo arenoso
	40-60	40	29	1	38	Argila arenosa
4	0-20	47	23	2	28	Franco argilo arenoso
	20-40	36	23	3	38	Argila arenosa
	40-60	35	23	2	40	Argila arenosa
5	0-20	41	23	2	34	Franco argilo arenoso
	20-40	27	21	8	44	Argila arenosa
	40-60	22	22	4	52	Argila
6	0-20	50	17	1	32	Franco argilo arenoso
	20-40	37	17	2	44	Argila arenosa
	40-60	34	17	3	46	Argila arenosa

Os valores relativos aos parâmetros físico-hídricos dos solos nos sistemas avaliados cultivados com café, são apresentados na Tabela 18. Observa-se que os valores da capacidade de campo variaram de 12,36 a 24,28% e o ponto de murcha permanente de 6,71 a 16,33%. Os valores de densidade global variaram de 1,41 a 1,74%, considerados altos, mantendo a característica comum aos solos da região.

Os valores da disponibilidade total de água (DTA) variaram entre 0,65 e 1,28  $\text{mm cm}^{-1}$ , característicos dos solos de texturas grossa e média, que segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2005) apresentam densidade global entre 1,40 e 1,80  $\text{g cm}^{-3}$ , capacidade de campo entre 10 e 27% e disponibilidade total de água entre 0,60 e 1,50  $\text{mm cm}^{-1}$ .

Tabela 18 – Umidade à capacidade de campo (Cc), umidade no ponto de murcha permanente (PMP), umidade antes da irrigação (Ua), densidade global do solo (dg) e disponibilidade total de água (DTA)

Pivô	Camada (cm)	Cc (%)	PMP (%)	Ua (%)	dg ( $\text{g cm}^{-3}$ )	DTA ( $\text{mm cm}^{-1}$ )
1	0-20	21,00	13,48	19,07	1,5	1,13
	20-40	22,72	14,01	20,27	1,47	1,28
	40-60	24,17	15,51	21,51	1,48	1,28
2	0-20	11,63	6,71	12,03	1,56	0,77
	20-40	12,36	8,04	13,25	1,51	0,65
	40-60	15,88	9,60	15,04	1,41	0,89
3	0-20	12,57	7,02	8,33	1,74	0,97
	20-40	13,76	7,48	13,35	1,57	0,99
	40-60	17,55	9,57	15,30	1,58	1,26
4	0-20	14,57	8,48	13,53	1,6	0,97
	20-40	19,19	11,66	14,82	1,49	1,12
	40-60	20,02	11,23	18,76	1,54	1,35
5	0-20	16,58	10,33	15,53	1,64	1,03
	20-40	22,80	14,94	19,39	1,56	1,23
	40-60	24,28	16,33	21,25	1,45	1,15
6	0-20	15,97	9,97	10,41	1,71	1,03
	20-40	19,94	13,43	13,75	1,61	1,05
	40-60	20,32	13,64	14,02	1,52	1,02

Na Tabela 19 são identificados os parâmetros que permitem avaliar o momento no qual foi realizada a irrigação. Nela são observados os valores das lâminas requeridas e as coletadas, bem como lâminas deficitárias e o percentual de déficit após a execução das irrigações.

A determinação da água disponível (AD) deu-se com base no fator de disponibilidade “f”, adotado como 0,5 para o café, este valor foi usado por Chamon (2002), estando de acordo com Bonomo (1999) e Espíndula Neto (2002) que recomendam como limite máximo para a disponibilidade de água no solo para o cafeeiro, o valor de 60%.

Baseado neste critério, observa-se que apenas no pivô 6 a lâmina requerida estava acima do limite máximo admitido. Neste pivô, a lâmina disponível calculada foi de 20,74 mm, e a lâmina requerida foi de 38,70 mm. Nos demais pivôs, a irrigação foi efetuada antes que fosse consumida toda a água considerada disponível, todavia, apenas no pivô 2 a lâmina coletada excedeu a requerida, sendo que nos pivôs restantes, a lâmina coletada não foi suficiente para atender a IRN, ocorrendo portanto irrigações deficitárias, cujos percentuais variaram de 41,17 (pivô 3) a 84,99% (pivôs 6).

Tabela 19 – Resultados dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação dos seis pivôs: profundidade efetiva do sistema radicular (Z), capacidade total de armazenamento de água (CTA), água disponível considerando o fator f (AD), irrigação real necessária (IRN), lâmina coletada (Lcol), lâmina deficitária (L def) e déficit de água no solo (Def)

Nº pivô	Z (cm)	CTA (mm)	AD (mm)	IRN (mm)	Lcol (mm)	Ldef (mm)	Def (%)
1	35	41,72	20,86	11,42	5,18	6,24	54,64
2	35	25,14	12,57	3,48	4,22	0,05	1,44
3	35	34,1	17,05	13,48	7,93	5,55	41,17
4	40	41,93	20,97	13,68	6,32	7,36	53,80
5	40	45,02	22,51	15,5	6,81	8,69	56,06
6	40	41,48	20,74	38,70	5,81	32,89	84,99

#### 2.3.2.4 Parâmetros de eficiência de irrigação

Os valores dos resultados obtidos para os parâmetros de avaliação do desempenho das irrigações encontram-se na Tabela 20. Observa-se que a área adequadamente irrigada foi zero ou tendeu a zero nos pivôs 1, 3, 4, 5 e 6, e no pivô 2 este valor foi 86,74%. Portanto, em cinco dos seis pivôs avaliados a lâmina aplicada foi inferior a requerida, apresentando lâminas deficitárias variando de 5,55 a 32,89 mm.

As eficiências de aplicação apresentaram valores que variaram entre 74,49 e 97,83%, caracterizando o armazenamento da água no solo nestas proporções.

Os valores da eficiência em potencial de aplicação de água proposto por Bernardo; Soares e Mantovani (2005) apresentaram valores variando entre 74,49 e 97,83%, justificados pela metodologia de cálculo que considera a vazão de projeto, o que pode acarretar diferenças elevadas entre a lâmina coletada e a lâmina aplicada calculada.

Os valores da eficiência em potencial de aplicação obtidos através da metodologia proposta por Keller e Bliesner (1990), variaram entre 97,91 e 98,18%, caracterizando perdas por evaporação e arraste pelo vento entre 2,09 e 1,82%. Portanto, valores menores que os obtidos pela metodologia proposta por Bernardo; Soares e Mantovani (2005), cujos valores de perdas por evaporação e arraste pelo vento variaram entre 25,51 e 2,17%.

Os valores de eficiência da aplicação foram idênticos aos de eficiência em potencial de aplicação  $E_{pa_{\text{Bernardo}}}$  nos pivôs 1, 3, 4, 5 e 6, nos quais as perdas por percolação profunda foram nulas ou próximas de zero.

Os valores da eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto ( $E_{ip_{80}}$ ), variaram de 68,88 a 85,33%, determinando um acréscimo na lâmina de irrigação requerida entre 45 e 17%, respectivamente.

Tabela 20 – Resultados dos parâmetros de avaliação de eficiência de irrigação para os seis pivôs centrais avaliados: lâmina de irrigação requerida (IRN), lâmina aplicada (Lapl), lâmina coletada (Lcol), lâmina armazenada (Larm), lâmina deficitária (Ldef), lâmina percolada (Lper), percentagem de área adequadamente irrigada (Pad), eficiência potencial de aplicação (Epa), coeficiente de déficit (Cd), perdas por percolação (Pp), eficiência de distribuição de projeto (ED<sub>80</sub>), eficiência para área adequadamente irrigada de projeto (Eip<sub>80</sub>) e eficiência de aplicação (Ea)

Parâmetro	Unidade	Pivôs					
		1	2	3	4	5	6
IRN	mm	11,42	3,48	13,48	13,68	15,50	38,70
Lapl	mm	5,44	4,36	8,11	8,23	9,02	7,88
Lcol	mm	5,18	4,22	7,93	6,32	6,81	5,81
Larm	mm	5,18	3,43	7,93	6,31	6,80	5,81
Ldef	mm	6,24	0,05	5,55	7,37	8,70	32,89
Lper	mm	0,00	0,79	0,00	0,01	0,01	0,00
Pad	%	3,66	86,74	0,18	0,14	0,31	0,00
Epa <sub>Bernardo</sub>	%	95,19	96,85	97,83	76,76	75,52	74,49
Epa <sub>keller</sub>	%	97,92	98,18	98,12	97,91	98,12	98,17
Cd	%	54,64	1,44	41,17	53,86	56,13	84,99
Pp	%	0,00	18,72	0,00	0,16	0,15	0,00
ED <sub>80</sub>	%	71,89	86,94	84,15	78,11	78,38	70,17
Eip <sub>80</sub>	%	70,41	85,33	82,62	76,48	76,91	68,88
Ea	%	95,19	78,72	97,83	76,64	75,41	74,49

### 2.3.2.5 Análise do manejo praticado

Neste estudo foram efetuados os cálculos das entradas e saídas de água no solo, buscando analisar a disponibilidade de água para a cultura, em função do manejo adotado. A caracterização da cultura nos pivôs analisados encontra-se na Tabela 21..

Tabela 21 – Cultura, idade, profundidade da raiz, coeficiente de cultura, espaçamento de plantio e população de plantas ha<sup>-1</sup>

Sistema	Cultura	Idade (meses)	Prof. Raiz (m)	Kc	Espaçamento	Pop. de plantas ha <sup>-1</sup>
Pivô 1	café	12	0,35	0,65	1,90 x 1,40	3660
Pivô 2	café	12	0,35	0,65	1,90 x 1,40	3660
Pivô 3	café	10	0,35	0,65	1,90 x 1,50	3510
Pivô 4	café	42	0,40	0,80	1,50 x 1,60	4160
Pivô 5	café	48	0,40	0,80	1,50 x 1,60	4160
Pivô 6	café	48	0,40	0,80	3,80 x 1,00	2630

Os dados apresentados na Tabela 22 foram obtidos pelo programa IRRIGA 1.55, para o manejo da irrigação praticado pelos produtores durante o período de acompanhamento do manejo compreendido entre agosto de 2004 e janeiro de 2005. Observa-se que as irrigações praticadas mantiveram-se acima do déficit pluviométrico existente no período, dado pela diferença entre a precipitação efetiva e a evapotranspiração da cultura. As irrigações efetuadas durante o período analisado, proporcionaram uma lâmina diária média entre 1,19 e 1,94 mm, resultando valores inferiores a ETc diária média, que apresentou valores entre 2,47 e 3,36 mm dia<sup>-1</sup>, não sendo atendidas as reais necessidades da cultura ao longo do período analisado.

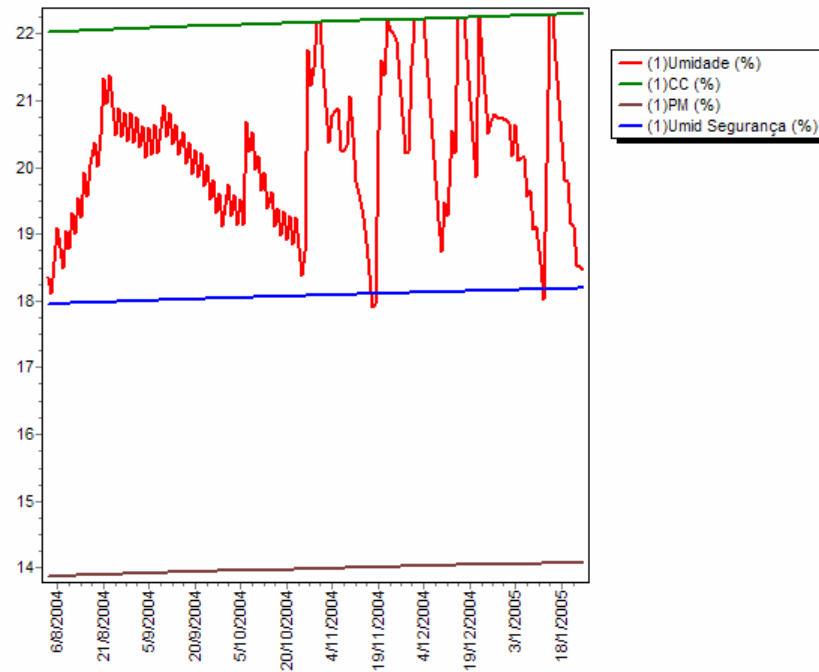


Tabela 22 – Evapotranspiração potencial total (ETo total), evapotranspiração total da cultura (ETc total), evapotranspiração média da cultura (ETc média), precipitação efetiva (Prec. Efet.(Pe)), irrigação realizada, déficit pluviométrico (Pe - ETc), lâmina média aplicada (Lâm. média) e período

Parâmetro	Unidade	Pivô 1	Pivô 2	Pivô 3	Pivô 4	Pivô 5	Pivô 6
ETo total	mm	919,34	926,96	902,29	824,99	824,99	889,63
ETc total	mm	574,65	436,49	433,74	530,76	518,11	490,60
ETc média	mm	3,26	2,47	2,51	3,36	3,28	2,92
Prec. Efet.(Pe)	mm	343,14	325,75	273,51	273,45	274,46	262,36
Irrigação	mm	310,33	261,18	206,35	285,73	306,15	309,45
Pe - ETc	mm	-231,51	-110,74	-160,23	-257,31	-243,65	-228,24
Lâm. média	mm	1,76	1,48	1,19	1,81	1,94	1,84
Período	dias	176	177	173	158	158	168

A variação da umidade do solo ao longo do período analisado pode ser visualizada nas Figuras 14, 15 e 16. Na Figura 14 observa-se que o pivô 1 apresentou uma variação da umidade do solo dentro da faixa recomendada, entre a capacidade de campo e a umidade estabelecida pelo limite definido em função do fator “f”, nos demais pivôs a umidade do solo oscilou entre os valores estabelecidos para a capacidade de campo e valores abaixo do nível crítico recomendado.

## Pivô 1



## Pivô 2

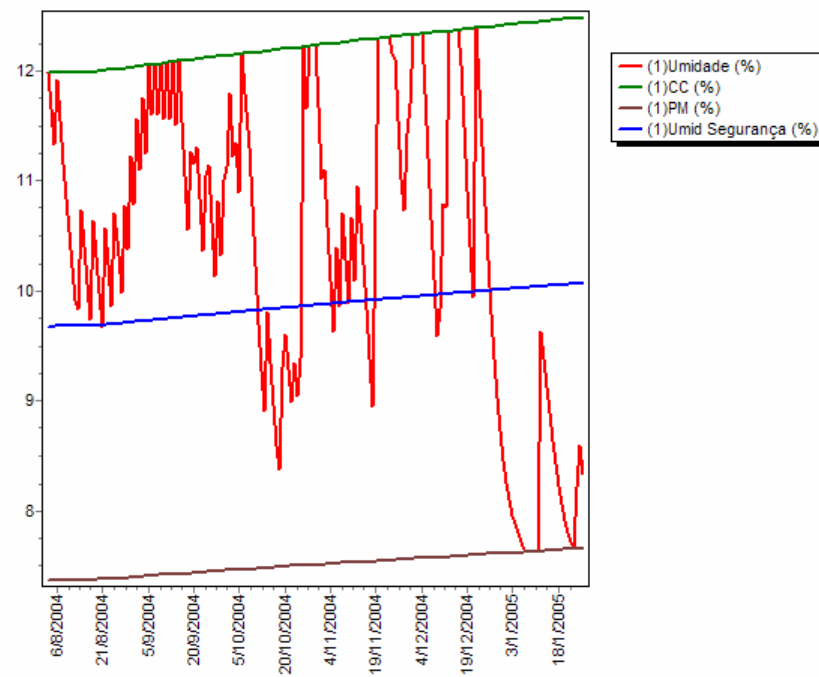
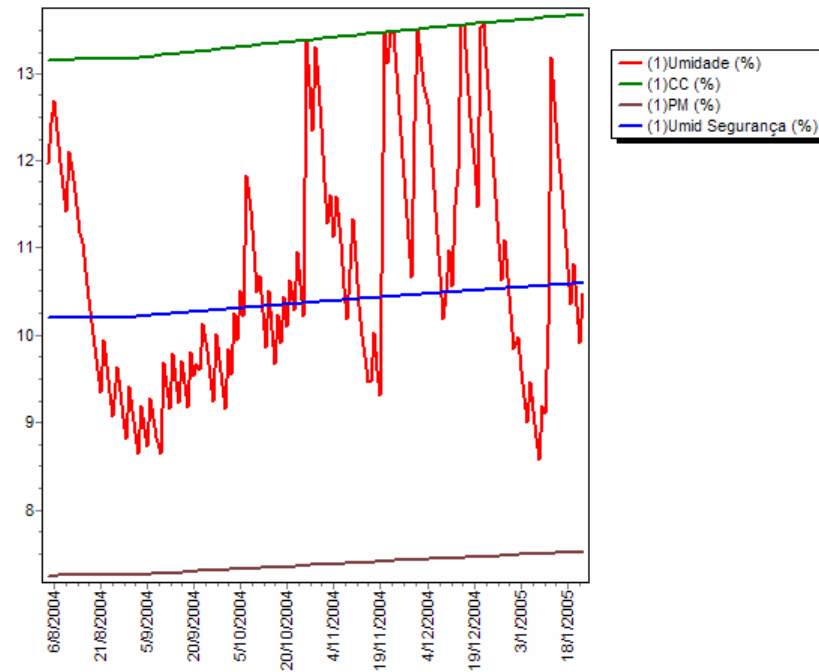


Figura 14 – Variação da umidade do solo nos manejos dos pivôs 1 e 2

## Pivô 3



## Pivô 4

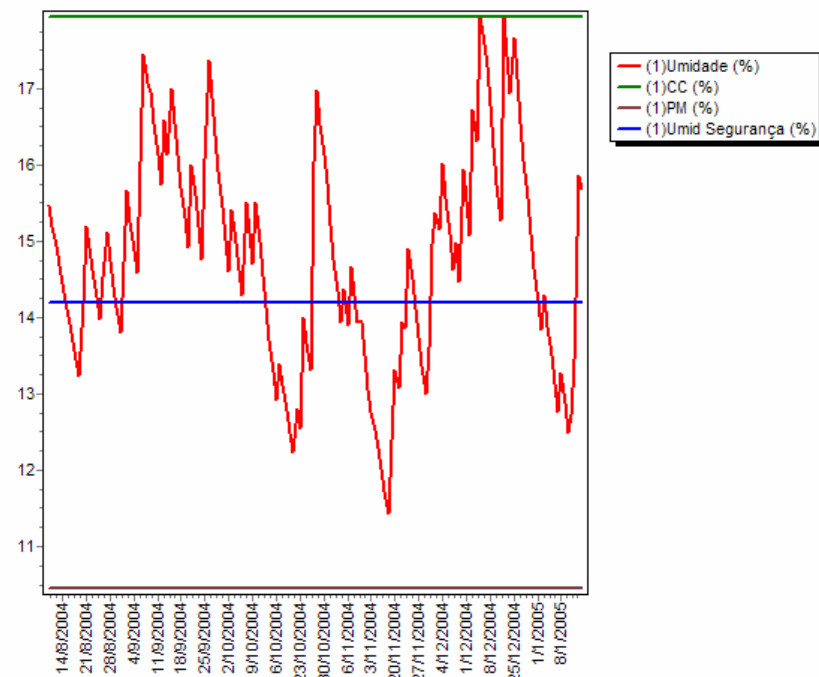
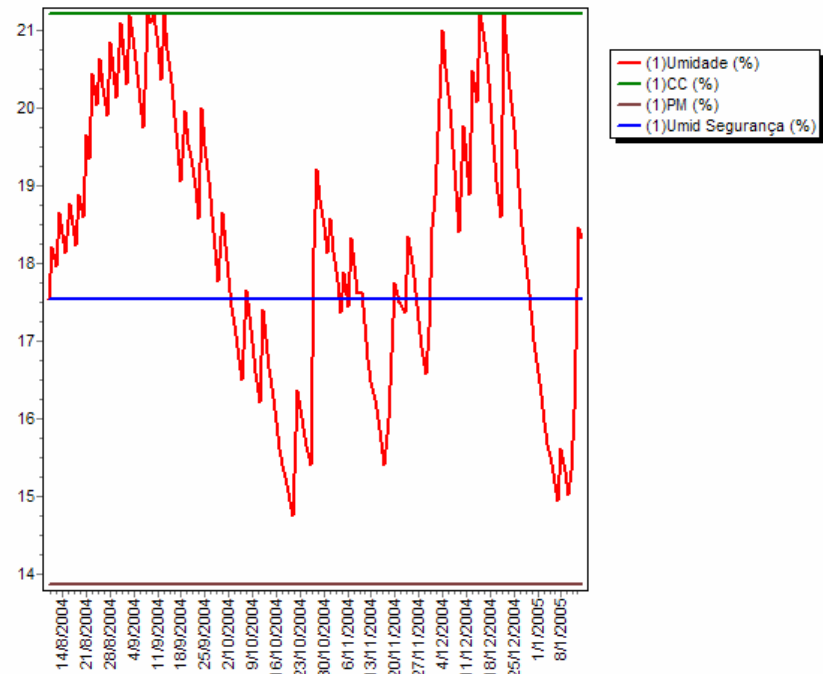


Figura 15 – Variação da umidade do solo nos manejos dos pivôs 3 e 4

## Pivô 5



## Pivô 6

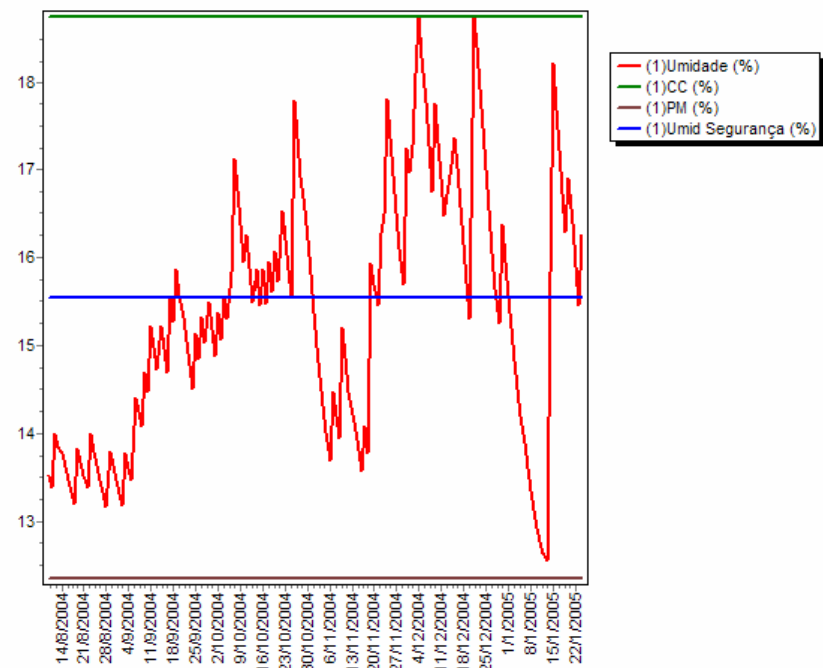


Figura 16 – Variação da umidade do solo nos manejos dos pivôs 5 e 6

### 2.3.2.6 Análise do manejo simulado

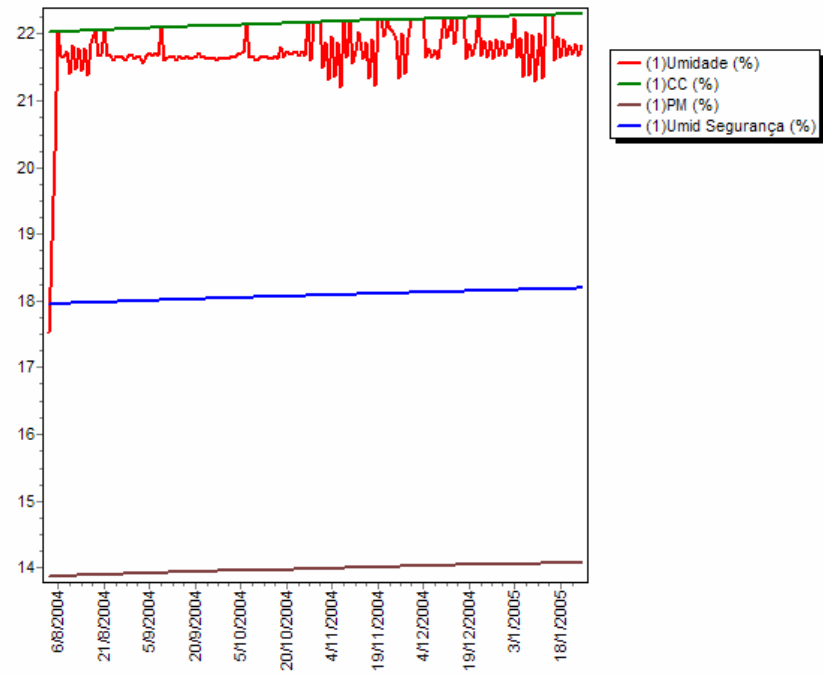
Na Tabela 23, são apresentados os dados obtidos para a simulação do manejo com a utilização do programa IRRIGA 1.55, durante o período de acompanhamento do manejo compreendido entre agosto de 2004 e janeiro de 2005. Observa-se que as lâminas aplicadas variaram entre 552,45 e 705,02 mm, enquanto a ETc variou de 568,24 a 691,03 mm. Houve neste caso, pivôs com lâminas aplicadas inferiores à ETc, como os pivôs 2 e 4. Os demais pivôs apresentaram lâminas aplicadas superiores à ETc. Em valores médios para os seis pivôs, a lâmina total aplicada foi 636,01 mm, estando bem próxima ao valor da ETc total média que foi 620,33 mm, propiciando valores diários médios para a lâmina aplicada igual a 3,79 mm e para a ETc, 3,70 mm.

Tabela 23 – Evapotranspiração potencial total (ETo total), evapotranspiração total da cultura (ETc total), evapotranspiração média da cultura (ETc média), precipitação efetiva (Prec. Efet.(Pe)), irrigação realizada, déficit pluviométrico (Pe - ETc), lâmina média aplicada (Lâm. média) e período

Parâmetro	Unidade	Pivô 1	Pivô 2	Pivô 3	Pivô 4	Pivô 5	Pivô 6
ETo total	mm	919,34	926,96	902,29	824,99	824,99	889,63
ETc total	mm	608,90	570,65	568,24	642,09	641,05	691,03
ETc média	mm	3,46	3,22	3,28	4,06	4,05	4,11
Prec. Efet.(Pe)	mm	342,56	324,35	271,05	269,58	269,64	252,92
Irrigação	mm	658,28	552,45	606,99	636,97	656,34	705,02
Pe - ETc	mm	-266,34	-246,3	-297,19	-372,51	-371,41	-438,11
Lâm. média	mm	3,74	3,12	3,51	4,03	4,15	4,20
Período	dias	176	177	173	158	158	168

Nas Figuras 14, 15 e 16, observa-se que na simulação, os valores da umidade do solo mantiveram-se acima dos valores críticos e bem próximos à capacidade de campo, possibilitando o atendimento das demandas da cultura durante todo o período analisado.

## Pivô 1



## Pivô 2

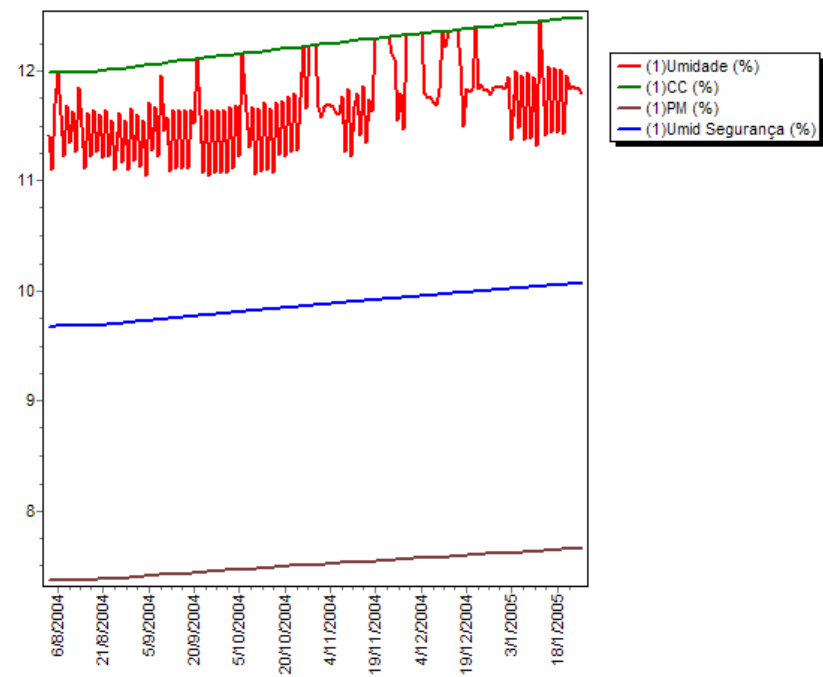
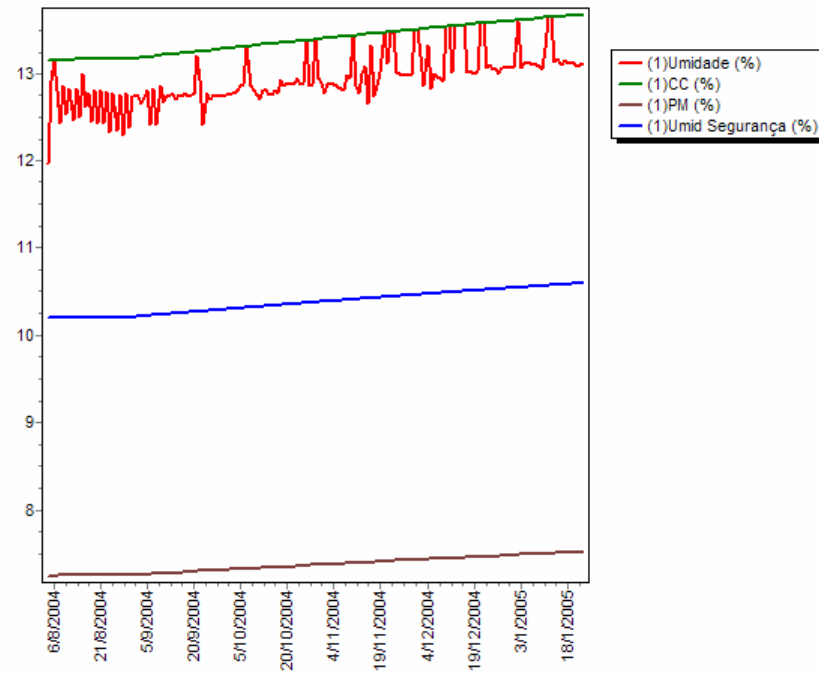


Figura 17 – Variação da umidade do solo nas simulações dos pivôs 1 e 2

## Pivô 3



## Pivô 4

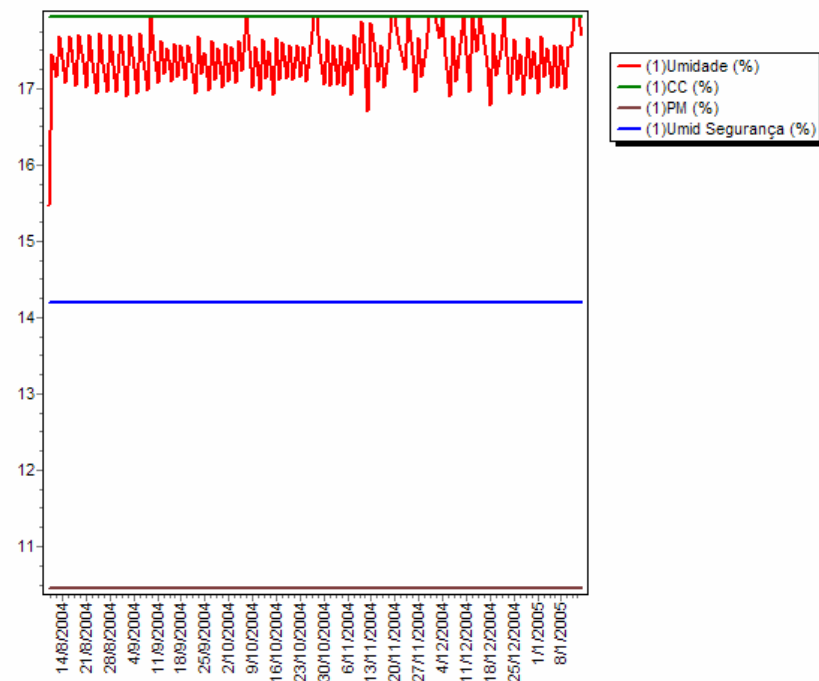
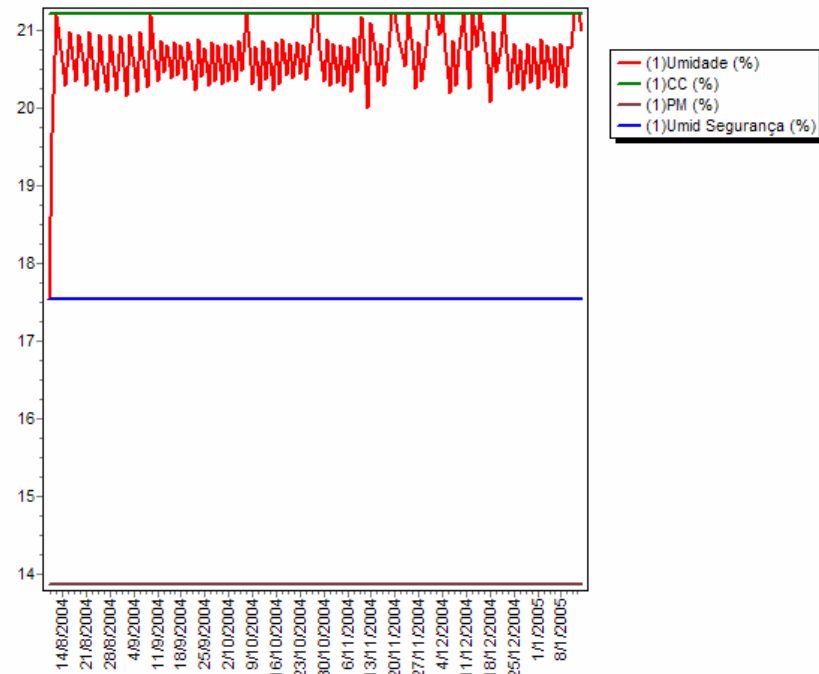


Figura 18 – Variação da umidade do solo nas simulações dos pivôs 3 e 4

## Pivô 5



## Pivô 6

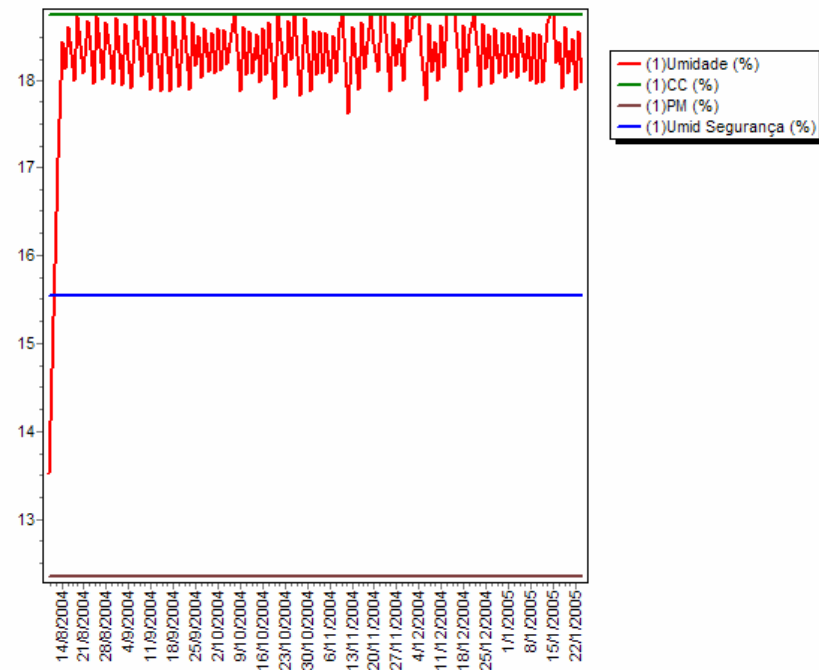


Figura 19 – Variação da umidade do solo nas simulações dos pivôs 5 e 6



## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliados durante os meses de agosto de 2004 a janeiro de 2005, quatorze sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central, em propriedades localizadas no município de Pinheiros-ES. Oito deles cultivados com mamão e seis cultivados com café.

Foram realizados testes de campo para determinação dos coeficientes de uniformidade de distribuição de água nos quatorze pivôs e determinados os parâmetros físico-hídricos dos solos cultivados, que em conjunto com os dados das culturas, permitiram determinar as eficiências das irrigações e o manejo.

Pelo período de seis meses, doze pivôs, sendo seis cultivado com mamão e seis cultivado com café, foram acompanhados utilizando-se o programa IRRIGA 1.55 para que fossem analisados os manejos praticados pelos produtores e fossem efetuadas as simulações das irrigações para o manejo ideal, permitindo assim, comparar as situações encontradas, sendo uma real e outra considerada ideal em relação ao suprimento de água para as culturas.

Nas condições em que foram conduzidos os trabalhos, considerando-se separadamente os sistemas cultivados com mamão e os cultivados com café, chegou-se as seguintes conclusões:

- Nos sistemas cultivados com mamão:

Os valores de CUC variaram de 81,09 a 88,61%. Segundo a NBR 14244 (1998), três pivôs classificaram-se como regulares e cinco pivôs como bons.

Em função da não adoção de nenhum critério de manejo, as irrigações praticadas foram excessivas nos pivôs 3, 7 e 8, com perdas por percolação de 78,38, 88,01 e 90,76%, respectivamente, e deficientes nos demais pivôs, nos quais o coeficiente de déficit variou entre 19,38 e 78,20%.

Os valores de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto ( $E_{ip80}$ ) foi em média 83,20%, indicando que para atingir o nível ideal de umidade do solo em 80% da área, deve-se crescer a lâmina requerida em 20,19%.

A análise do manejo praticado revelou que as lâminas médias aplicadas durante o período foram inferiores às lâminas requeridas, com a umidade do solo abaixo do nível crítico.

Considerando o manejo simulado, as lâminas aplicadas estiveram condizentes com as demandadas, de forma a manter os níveis de umidade do solo dentro da faixa definida pelo sistema.

- Nos sistemas cultivados com café:

Os valores de CUC variaram de 71,52 a 87,52%. Segundo a NBR 14244 (1998) quatro pivôs, que apresentaram valores abaixo de 80%, estão operando fora do recomendado, um pivô apresentou valor considerado regular e um pivô apresentou valor considerado bom.

Em função da não adoção de nenhum critério de manejo, as irrigações praticadas foram deficientes em todos os pivôs, nos quais o coeficiente de déficit variou entre 1,44 a 84,99%.

Os valores de eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada de projeto ( $E_{ip80}$ ) foi em média 76,76%, indicando que para atingir o nível ideal de umidade do solo em 80% da área, deve-se acrescer a lâmina requerida em 30,27%.

A análise do manejo praticado revelou que as lâminas médias aplicadas durante o período foram inferiores às lâminas requeridas para todos os pivôs, mesmo com a umidade do solo estando dentro da faixa definida pelo sistema.

Considerando o manejo simulado, as lâminas aplicadas estiveram condizentes com as demandadas, de forma a manter os níveis de umidade do solo próximo à capacidade de campo.

## REFERÊNCIAS

A GAZETA. **Anuário do Espírito Santo**. Vitória, 2005. 312 p.

ALMEIDA, F.T. de. **Resposta do mamoeiro (*Carica papaya* L.) do grupo solo a diferentes lâminas de irrigação no Norte Fluminense**. 2000. 125 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual Norte Fluminense, Campos, RJ. 2000.

ALMEIDA, F.T. de; BERNARDO, S.; SOUSA, E.F. de; MARIN, S.L.D.; GRIPPA, S. Crescimento e produção do mamoeiro sob irrigação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 419-424, maio/jun, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244**: Equipamentos de irrigação mecanizada – Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos – Determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, 1998. 11 p.

BERNARDO, S. Impacto ambiental da irrigação no Brasil. In: SILVA, D.D. da; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA, SRH, ABEAS, UFV, 1997. cap. 5, p. 79-88.

BERNARDO, S.; CARVALHO, J.A.; SOUSA, E.F. **Irrigação do mamoeiro**. Campos de Goytacazes: UENF, 1996. 20 p. (Boletim técnico, v. 1, n. 5)

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. **Manual de irrigação**. 7 ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611 p.

BRAGA, B.; BARBOSA, P.S.F.; NAKAYAMA, P.T. Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 56-62, jul./set 1998.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1999.

BURT, C.M.; CLEMENS, A.J.; STRELKOFF, T.S.; SOLOMON, K.H.; BLIESNER, R.D.; HARDY, L.A.; HOWELL, T.A.; EISENHAVER, D.E. Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.123, n. 6, p. 423-442, nov./dec. 1997.

CAINELLI, V.H; ROBAINA, A.D.; CARLESSO, R.; DOTTO, C.R.D. Desempenho e uniformidade da distribuição de água de um pivô central. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 35-40, jul./ago. 1997.

CIENTEC. **Irriga 1.55**. Viçosa, MG. 2004. 1 CD-ROM.

CINTRA, F.L.D. Reflexões sobre o efeito dos horizontes coesos no movimento d água no solo e na distribuição do sistema radicular. In: MARTINS, D. dos S. **Papaya Brasil: mercado e inovações tecnológicas para o mamão**. Vitória, ES: INCAPER, 2005. cap. 8, p. 101-107.

CHAMON, O. **Estudo comparativo da demanda de água e do manejo em sistemas de irrigação em lavouras de café**. 2002. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 2002.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item Irrigação**, Brasília, n. 49, p. 8-13, jan./mar. 2001.

COELHO, E.F.; SANTOS, M.R.; COELHO FILHO, M.A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n.1, p. 175-178, abr. 2005.

COELHO, E.F.; SILVA, J.G.F. da; ALVES, A.A.C; CRUZ, J.L. **Irrigação do mamoeiro**. Cruz das Almas, BA: EMBRAPA, 2003. 8 p. (Circular técnica, 54).

COLOMBO, A. Pivô central. In: MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. cap. 11 v.2, p. 209-258.

COSTA, A. de F.S. da; COSTA, A.N. da; SANTOS, F.A.M. dos; BARRETO, F.C.; ZUFFO, V.J. Plantio, formação e manejo da cultura. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F.S. da. **A cultura do mamoeiro: tecnologia de produção**. Vitória, ES: INCAPER, 2003. cap. 6, p. 124-159.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHUCKELY, D.G. **Methods for evaluation irrigation systems**. Washington: USDA, 1956. 24 p. (Agricultural Handbook, 82).

DADALTO, G.G.; BARBOSA, C. **Zoneamento agroecológico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG, 1997. 67 p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q. de; FRIZZONE, J.A. Determinação da lâmina média de irrigação em pivô central. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 188-190, jan./abr. 1994.

DUKE, H.R.; HEERMANN, D.F.; DAWSON, L.J. Appropriate depths of application for scheduling center pivot irrigations. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 5, p. 1457-1464, sept./oct. 1992.

EMBRAPA. **Irrigação: alternativas atuais**. Brasília: EMBRAPA, 1982. 40 p. (Série, 23).

ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e de energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 108 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2002.

FEDRA K. **Decision support for natural resources management: Models, GIS e Expert Systems**. 1995. Disponível em: <[www.ess.co.at/docs/papers/dssb.html](http://www.ess.co.at/docs/papers/dssb.html)>. Acesso em: 18 Fev. 2004.

FNP CONSULTORIA E COMÉRCIO. **Agrianual 2005: Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo, 2005. 500 p.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.E.; FERRÃO, M.A.G.; DEMUNER, L.H.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S.; MARQUES, E.M.G.; ZUCATELI, F. **Café conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória: INCAPER, 2004. 60 p.

FRIZZONE, J.A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003. cap. 15, v. 2, p. 573-651.

GUERRA, A.F. **Adequação e manejo das irrigações por aspersão por pivô central no cerrado**. Agronline.com.Br, 2004. Disponível em: <<http://www.agronline.com.Br/artigos/artigo.php?id=141>>. Acesso em: 22 maio 2004.

HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinkler irrigation systems. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 11, n. 1, p. 11-15, jan./feb. 1968.

HEERMANN, D.F.; DUKE, H.R.; SERAFIM, A.M.; DAWSON, L.J. Distribution functions to represent center-pivot water distribution. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 35, n. 5, p. 1465-1472, sept./oct. 1992.

HEINEMANN, A.B.; FRIZZONE, J.A.; PINTO, J.M.; FEITOSA FILHO, J.C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487-1493, set. 1998.

JENSEN, M. E. **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**. St. Joseph, Madison: ASAE, 1983. 829p.

JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE, 1990. 332 p. (Manual and reports on engineering practice, 70).

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R.; VICENTE, M.R.; MUDRIK, A. Viabilidade de irrigação na cultura do café. In: MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R. **Irrigação do cafeeiro**: informações técnicas e coletâneas de trabalhos. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, UFV, 2003. p. 47-78. (Boletim técnico, 8).

MARIN, S.L.D.; GOMES, J.A.; SALGADO, J.S.; MARTINS, D. dos S.; FULLIN, E.A. **Recomendações para a cultura do mamoeiro dos grupos solo e formosa no estado do Espírito Santo**. 4 ed. Vitória: ENCAPA, 1995. 57 p.

MATIELO, J.B. **O café**: do cultivo ao consumo. São Paulo: GLOBO, 1991. 320 p.

MERRIAM, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation**: A guide for management. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, Utah State University, Logan, Utah. 1978. 221 p.

MERRIAN, J.L.; SHEARER, M.N.; BURT, C.M. Evaluating irrigation systems and practices. In: JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation systems**. St Joseph. ASAE, 1983. p 721-762. (Monograph, 3)

MONTENEGRO, A.A.T.; BEZERRA, F.M.L.; LIMA, R.N. de. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do mamoeiro para a região litorânea do Ceará. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p.464-472, maio/ago. 2004.

RODRIGUES, T.R.I., BATISTA, H.S., CARVALHO, J.M., GONÇALVES, A.O., MATSURA, E.E. Uniformidade de distribuição de água em pivô central, com a utilização da técnica TDR na superfície e no interior do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 187-191, maio/ago. 2001.

SALGADO, J.S.; COSTA, A.N. da. Solos cultivados com mamoeiro. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F.S. da. **A cultura do mamoeiro**: tecnologia de produção. Vitória, ES: INCAPER, 2003. cap. 5, p. 117-124.

SAMPAIO, S.C.; KOBAYASHI, K.M.; CORRÊA, M.M. Uniformidade de aplicação de água por microaspersores operando em posição invertida. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 25, n. 6, p. 1350-1369, nov./dez. 2001.

SILVA, J.G.F. da. **Efeitos de diferentes lâminas e freqüências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do mamoeiro (*Carica papaya L.*)**. 1999. 134 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1999.

SILVA, J.G.F. da; COELHO, E.F. Irrigação do mamoeiro. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. de F.S. da. **A cultura do mamoeiro: tecnologia de produção**. Vitória, ES: INCAPER, 2003. cap. 7, p. 161-197.

SOARES, J.M., COSTA, F.F., SANTOS, C.R. **Manejo de irrigação em fruteiras**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas, MG. **Resumos...** Lavras: UFLA, SBEA, 1998. p. 281-310.

SOUSA, M.B.A. de; MANTOVANI, E.C.; SILVA, J.G.F. da; SOARES, A.A. Estudo das necessidades hídricas do cafeeiro adulto, irrigado por pivô central na região norte do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. p.116-120.

SOUSA, M.B.A. de; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, L.O.C. de; BUFFON, V. B.; BONOMO, R. Avaliação de irrigação em propriedades de café conilon no norte do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos...** Brasília: EMBRAPA, 2000. p. 876-877.

SOUSA, M.B.A. de; MANTOVANI, E.C.; CORDEIRO, É.A.; SOARES, A.A.; SILVA, J.G.F. da. Análise do manejo da irrigação em sistemas por pivô central utilizados na cafeicultura irrigada no norte do Espírito Santo. In: MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.R. **Irrigação do cafeeiro: informações técnicas e coletâneas de trabalhos**. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais, UFV, 2003. p. 146-154. (Boletim técnico, 8).

SOUZA FILHO, A.F. Aplicação de um sistema de suporte à decisão à alocação de água: o SSD da COGERH. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 1999. p. 32-45.

SOUZA, J.A.A. de; CORDEIRO, É.A.; MEDEIROS, S.S.; NETO, D.E.; RAMOS, M.M. Efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água e energia em um sistema de irrigação do tipo gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador, BA. **Irrigação: trabalhos...** Salvador: SBEA, 2002a. 1 CD-ROM.



SOUZA, J.A.A. de; MEDEIROS, S.S.; NETO, D.E.; RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C. Efeito da uniformidade de distribuição de água no consumo de água e energia em um sistema de irrigação do tipo pivô central. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002b. p.105-109.

SOUZA, L.O.C. **Análise técnica de sistemas de irrigação por gotejamento utilizado na cafeicultura irrigada.** 2000. 79 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2000.

ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A.; VANZELA, L.S. Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30. 2001. Foz de Iguaçu. **Irrigação:** trabalhos. Foz de Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.