

HENRIQUE QUEIROZ BORGES

**AVALIAÇÃO DO SISDA (SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO
AGRÍCOLA) PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO
DE ARAÇUAÍ – MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
MAIO – 2000**

HENRIQUE QUEIROZ BORGES

**AVALIAÇÃO DO SISDA (SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO
AGRÍCOLA) PARA MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA REGIÃO
DE ARAÇUAÍ – MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 13 de agosto 1999.

Prof. Everardo Chartuni Mantovani
(Conselheiro)

Prof. Luiz Cláudio Costa
(Conselheiro)

Prof. Maurício Bernardes Coelho

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. Antonio Alves Soares
(Orientador)

AGRADECIMENTO

A Deus, em primeiro lugar, por dar forças e saúde para prosseguir sempre.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pelo acolhimento e pela oportunidade de realização do curso.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Antônio Alves Soares, pela orientação, pelos ensinamentos, pela confiança, disponibilidade, dedicação, pelas valiosas sugestões e pela amizade.

Aos professores Everardo Chartuni Mantovani, Luiz Cláudio Costa, Maurício Bernardes Coelho e Márcio Mota Ramos, pelas suas valiosas colaborações e pelos valiosos conselhos.

A todos os professores, funcionários e técnicos do DEA, pelos ensinamentos, pela atenção e oportunidade do convívio diário.

À GTZ (Sociedade Alemã de Cooperação Técnica), na pessoa do Sr. Rainer Schröer, pelo fornecimento de equipamentos necessários ao experimento, pelo custeio de despesas e pela amizade.

À EMATER-MG, pela disponibilização de sua estrutura. A todos os funcionários, especialmente à equipe do ESLOC de Araçuaí, ao amigo Carlos do Carmo Rodrigues e a João Carlos Guimarães, pela atenção e amizade.

À CEMIG, pela concessão do veículo necessário ao acompanhamento do experimento e pelo total apoio, especialmente da equipe da CM/CE, assim como ao pessoal do Distrito de Araçuaí.

Ao Engenheiro Antônio Carlos Barreto, pelo companheirismo e pelas sugestões.

Aos meus colegas João Hélio, Roberto, Gomes, Paulo, Lucimar, Daniel, Sandra, Nazareno, Gregório, Frederico, Victor, Silvana, José Geraldo, Harold, Coutinho e demais colegas do curso de Eng. Agrícola, pela colaboração e amizade.

Ao colega e programador Brauliro, que sempre se prontificou a nos atender, pelas sugestões, pela colaboração e pela amizade.

Aos companheiros Harllen, Gilson, Ronaldo, Luiz, moradores e ex-moradores da república 54, à Solange, Celeste e Patrícia, pela sincera amizade.

A Dona Ana, Humberto, Lourdes, Geraldo, Donizete, que são minha segunda família em Viçosa, pela amizade e pelo indispensável apoio.

Ao Sr. Heinrich e à sua esposa Cleide, pela amizade e acolhida em Araçuaí.

Aos produtores das UD's do Projeto Uso Racional de Energia na Agricultura, especialmente a José Marcos, Marcilene e Ailton, pelo apoio na obtenção dos dados.

De forma especial, a Hélio Fernandes Borges e Susana Queiroz Borges, meus queridos pais, aos meus avós Divino (in memoriam) e Maria, aos manos Hélio, Hosana e Heliana, a todos os tios e primos, em especial ao tio Lázaro, que sempre nos transportou nas idas a Patos de Minas, e à minha querida esposa Vanessa Borges, pela compreensão, pelo apoio e pelo incentivo nos momentos difíceis.

Enfim, a todos com os quais convivi durante este período e que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

HENRIQUE QUEIROZ BORGES, filho de Hélio Fernandes Borges e Susana Queiroz Borges, nasceu em Patos de Minas, MG, em 5 de maio de 1972.

Cursou o primeiro grau na E. E. “Dr. Marcolino de Barros” e o segundo grau na E. E. “Prof. Zama Maciel” e no Colégio Anchieta, em Patos de Minas, MG.

Em março de 1991, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, MG, graduando-se em dezembro de 1995.

No período de abril a dezembro de 1992, participou do programa de iniciação científica do Departamento de Solos, e, de março de 1994 a dezembro de 1995, atuou como Monitor I da disciplina ENG 440 – Irrigação e Drenagem, no Departamento de Engenharia Agrícola.

Em março de 1996, ingressou no Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Irrigação e Drenagem, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em agosto de 1999.

Em março de 1998, foi contratado pela EMATER-MG, atuando como extensionista agropecuário.

CONTEÚDO

EXTRATO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
INTRODUÇÃO.....	1
 CAPÍTULO 1 – AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADOS EMPREGADOS NA FRUTICULTURA EM ARAÇUAÍ – MG	 4
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1. Irrigação por aspersão convencional.....	7
2.2. Irrigação localizada.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Irrigação real necessária.....	23
3.2. Parâmetros de desempenho.....	26
3.2.1. Irrigação por aspersão convencional.....	26
3.2.1.1. Uniformidade.....	28
3.2.1.2. Eficiência do sistema.....	30
3.2.2. Irrigação localizada.....	31
3.2.2.1. Uniformidade.....	31
3.2.2.2. Eficiência do sistema.....	35

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Considerações gerais sobre os solos	36
4.2. Manejo da irrigação.	39
4.2.1. Irrigação por aspersão convencional.	41
4.2.2. Irrigação localizada.....	41
4.3. Uniformidade.	43
4.3.1. Irrigação por aspersão convencional	43
4.3.2. Irrigação localizada.....	46
4.4. Parâmetros de desempenho.....	47
4.4.1. Irrigação por aspersão convencional.	47
4.4.2. Irrigação localizada.....	49
5. RESUMO E CONCLUSÕES	53
CAPÍTULO 2 – MANEJO DE IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O SISDA NA	
REGIÃO DE ARAÇUAÍ.	55
1. INTRODUÇÃO.	55
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	58
2.1. Métodos de manejo de irrigação.....	58
2.2. Evapotranspiração.....	61
2.3. A cultura da banana irrigada.....	63
2.4. A cultura do abacaxi irrigado	67
2.5. Softwares desenvolvidos para manejo de irrigação.....	71
3. MATERIAL E MÉTODOS.	77
3.1. Caracterização do sistema de irrigação por aspersão	78
3.2. Caracterização do sistema de irrigação por microaspersão	80
3.3 Manejo do sistema.	80
3.4. Avaliação do desempenho do SISDA.....	86
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.1. Área irrigada por aspersão.	93
4.2 Área irrigada por microaspersão.....	93
5. RESUMO E CONCLUSÕES	102

RESUMO E CONCLUSÕES.	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
APÊNDICES.....	112

EXTRATO

BORGES, Henrique Queiroz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2000. **Avaliação do SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola) para manejo de irrigação na região de Araçuaí-MG.** Orientador: Antonio Alves Soares. Conselheiros: Luiz Cláudio Costa e Everardo Chartuni Mantovani.

No período de maio a agosto de 1998, utilizou-se o SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola) para fazer o manejo de irrigação em duas culturas: abacaxi irrigado por aspersão fixa e banana irrigada por microaspersão. O modelo é baseado no balanço de água no solo. Dado as características do sistema de irrigação e as condições iniciais de umidade do solo, o modelo simula a evapotranspiração da cultura, a precipitação efetiva e a umidade atual do solo, determinando a hora de irrigar e quanto de água aplicar, usando dados climáticos. A evapotranspiração de referência foi estimada utilizando-se o método de Penman-Montieth, FAO 1991. Inicialmente avaliaram-se os sistemas de irrigação, determinando-se os parâmetros físico-hídricos do solo e os parâmetros de desempenho correspondentes a uniformidade de aplicação de água e eficiências de irrigação e de bombeamento. No cálculo da evapotranspiração utilizou-se o método Penman-Monteith FAO 1991. Os valores de evaporação do Tanque Classe A foram medidos para determinação do coeficiente de tanque para a região. A umidade do solo foi determinada semanalmente, utilizando o método-

padrão de estufa, e os resultados foram comparados com os valores obtidos da simulação com o SISDA. Analisou-se o desempenho do SISDA, considerando o manejo durante todo o experimento sem corrigir os valores de umidade simulada e corrigindo-os a cada duas semanas e a cada quatro semanas. Nas avaliações, as irrigações foram realizadas no momento certo nas duas áreas; entretanto, as lâminas aplicadas foram insuficientes para elevar o teor de umidade à capacidade de campo, nos dois sistemas. Os valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen encontrados foram inferiores a 75% para a aspersão convencional e superiores a 90% para a microaspersão, e os coeficientes de uniformidade de distribuição foram inferiores a 65% para a aspersão convencional e superiores a 88% para a microaspersão. A perda por percolação profunda foi pequena nas duas áreas avaliadas, uma vez que as lâminas aplicadas foram menores que a necessária. As eficiências potenciais de aplicação foram de 81 e 98%, e as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento foram de 18,9 e 1,6% para a aspersão convencional e a microaspersão, respectivamente. As eficiências de condução foram de 100%, nos dois sistemas, em virtude da não-constatação de nenhum vazamento. O cálculo da eficiência, baseado na metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990), superestimou os valores da eficiência potencial de aplicação e subestimou a perda por evaporação e arrastamento pelo vento. A eficiência de aplicação foi de 76,8% para a aspersão convencional e 90,7% para a microaspersão. A eficiência da bomba do sistema de aspersão convencional foi de 47,8%, e a do sistema de microaspersão, de 42,7%. Os valores de ETo para o ano de 1998 foram maiores que os referentes à série histórica. O valor de kt foi de 0,69 para o Tanque Classe A instalado em superfície com bordadura de solo nu, velocidade do vento fraca e umidade relativa média alta. Os valores de umidade do solo simulados pelo SISDA foram iguais ou inferiores aos valores observados na área irrigada por aspersão convencional, enquanto na irrigada por microaspersão eles foram iguais ou superiores. O SISDA superestimou a evapotranspiração da cultura do abacaxi e subestimou a da banana. Pode-se utilizar o SISDA com segurança para manejo de irrigação na região de Araçuaí-MG.

ABSTRACT

BORGES, Henrique Queiroz, M.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2000.
Evaluation of the Agricultural Decision Support System – SISDA, for irrigation schedduling in the Jequitinhonha Valley – Brazil. Adviser: Antonio Alves Soares. Committee Members: Luiz Cláudio Costa and Everardo Chartuni Mantovani.

From May to August of 1998 the Agricultural Decision Support System – SISDA was used for irrigation schedduling a pineapple sprinkler irrigation system and a banana microsprinkler irrigation system in the Jequitinhonha Valley. The model is based on the soil water volume balance. Given the irrigation system characteristics and the soil moisture initial conditions the model simulates the crop evapotranspiration, the effective precipitation and the actual soil moisture, and shows the farmer when to irrigate and how much water to apply, using the climate data as input. The reference evapotranspiration was estimated using the Penman-Montieth FAO 1991 method. The soil moisture was determined weekly using the standard method and the results were compared with those simulated by the model. The soil moisture simulated by the model can be corrected any time. Therefore, the performance of the model was analyzed considering the irrigation management during all the experiment without any correction in the soil moisture simulated, correcting it every four weeks and

every two weeks. Initially, the soils characteristics were determined and the irrigation systems were evaluated, for two irrigation events. The irrigation were made in the right moment, but irrigation depths were not enough to bring the soil moisture to field capacity. The Christiansen's uniformity coefficients were bellow 75% por the sprinkler irrigation system and above 90% for the microsprinkler irrigation system. The distribution uniformities were bellow 65% and above 88% for the sprinkler and the microsprinkler irrigation systems, respectively. The deep percolation losses were negligible for both systems, due to the low irrigation depth applied. The evaporation and wind drift losses were 18.9% and 1.6% for the sprinkler and the microsprinkler systems, respectively. The Keller and Bliesner methodology underestimated the evaporation and wind drift losses. The application efficiency was 76.8% for the sprinkler irrigation system and 90.7% for microsprinkler. The pump efficiency was 47.8% in sprinkler irrigation system and 42.7% in the microsprinkler. The reference evapotranspiration values for 1998 were higher than the historical ones. The coefficient for a class A pan installed in a bare soil area was approximately 0.69 during the experiment for a low wind speed and high relative humidity. The soil moisture values simulated by the model were equal or lower than the real values for the sprinkler irrigation system and equal or higher than the real values for the microsprinkler system. The soil moisture during all the experiment was kept between the field capacity and the minimum values recommended for the crops studied, even when no actualization was made in the soil moisture during the experiment, showing that the model can be recommended for irrigation management in the Jequitinhonha Valley, Brazil.

1. INTRODUÇÃO

No mundo, o uso da água na agricultura representa cerca de 70% de toda a água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos, enquanto a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano consome 7%. Segundo CARDOSO et al. (1998), estima-se que, no Brasil, metade do consumo de água ocorra na agricultura. Apesar do grande consumo, a irrigação é fundamental para que a produção de alimentos atenda à demanda das populações.

A área irrigada no mundo corresponde, atualmente, a 17% da área total agricultada e é responsável por 40% da produção total de alimentos. O Brasil demonstra grande potencial, com 5% de área cultivada irrigada, respondendo por cerca de 16% da produção total e por 35% do valor desta produção (SANTOS, 1998).

Considerando o consumo total de água de 400 m³/habitante-ano e o fato de o Brasil ter disponibilidade média de 38.000 m³/habitante/ano, verifica-se que essa disponibilidade é satisfatória. Apesar disso, a escassez regional de água já tem atingido o País, uma vez que 80% das águas superficiais ocorrem em regiões ocupadas por apenas 5% da população, enquanto os 20% restantes das vazões devem abastecer 95% da população (BERNARDO, 1998).

A distribuição irregular de precipitações, típica em regiões como o nordeste mineiro, torna necessária a utilização da irrigação para garantir o seu

desenvolvimento agrícola. A irrigação provoca grande impacto nas disponibilidades hídricas dos corpos d'água, porque grande parte da água extraída destes é efetivamente consumida pelo sistema agrícola, resultando em depleção da fonte de onde é retirada (RODRIGUEZ, 1991). Esse problema torna-se mais grave em regiões com baixa disponibilidade hídrica, principalmente na época da seca (COSTA, 1991). Além disso, os cursos d'água vêm sofrendo contínua e crescente degradação, resultante da utilização inadequada dos recursos naturais existentes, comprometendo a disponibilidade de água para irrigação e abastecimento de cidades (ASSAD e SANO, 1993).

Considerando a necessidade de utilização mais eficiente da água, uma vez que ela é essencial à sobrevivência, a Universidade Federal de Viçosa (UFV), com o apoio da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) e do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), desenvolveu um sistema informatizado especialista, denominado SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola), voltado para o monitoramento de áreas irrigadas, visando dar sustentabilidade à irrigação em áreas agrícolas, possibilitando o uso mais eficiente dos recursos hídricos e racionalizando o uso da água em lavouras irrigadas.

O SISDA visa atender a todas as regiões do Brasil, e, como a agricultura brasileira apresenta grande diversidade tecnológica, social e ambiental, seria de grande importância o seu uso no campo, utilizando informações regionais para verificação de seu desempenho.

A região do Vale do Jequitinhonha, sobretudo a microrregião de Araçuaí, é vista hoje como uma área de grande potencial para irrigação, principalmente quando se trata de fruticultura irrigada, visto que apresenta condições climáticas favoráveis, disponibilidade de mão-de-obra, energia e recursos hídricos suficientes, com a regularização da vazão do rio Jequitinhonha, com a construção da hidrelétrica de Irapé e a já construída barragem do Calhauzinho, no rio Calhauzinho.

Para se fazer o manejo do sistema irrigado, alguns parâmetros relacionados a cultura, clima, solo, água e sistema de irrigação são

indispensáveis, os quais podem ser obtidos na literatura especializada ou determinados no local.

O capítulo 1 deste trabalho trata da avaliação em campo dos sistemas de irrigação por aspersão convencional e microaspersão utilizados no cultivo do abacaxi e da banana, respectivamente.

O capítulo 2 trata da utilização do SISDA para auxiliar na tomada de decisão, para fins de manejo de irrigação, considerando as condições de Araçuaí.

CAPÍTULO 1

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO PRESSURIZADOS EMPREGADOS NA FRUTICULTURA EM ARAÇUAÍ – MG

1. INTRODUÇÃO

A água, insumo indispensável também para produzir alimentos, tem se tornado limitante, principalmente devido ao aumento da área irrigada e à expansão da fronteira agrícola. No Brasil, apenas 2,7 milhões de hectares (5% da área cultivada) são irrigados, embora esta área seja responsável por 16% da produção agrícola (SANTOS, 1998); portanto, há grande potencial de expansão.

Do total de água no mundo, 2,5% são de água doce, dos quais 79% estão sob a forma de gelo nas calotas polares, 20% são de água subterrânea e 1% é de água superficial de fácil acesso; deste total (1%), 52% estão distribuídos nos lagos, 38% encontram-se armazenados no solo, 8% estão sob a forma de vapor na atmosfera, 1% é água de constituição dos seres vivos e apenas 1% se encontra nos rios (COSTA et al., 1999; BERNARDO, 1998). Além de ser baixa, a

percentagem de água de fácil acesso ainda é mal distribuída, enfatizando a necessidade de se usar eficientemente este recurso.

O uso da água na agricultura representa, em nível mundial, cerca de 70% de toda a água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos, enquanto a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano consome 7%. Segundo CARDOSO et al. (1998), estima-se que, no Brasil, metade da água consumida ocorra na agricultura irrigada; no entanto, apesar do grande consumo, a irrigação representa a maneira mais eficiente e produtiva de obter alimentos.

A irrigação, cuja finalidade principal é atender as necessidades hídricas das culturas, de forma a garantir sua produtividade, pode ser dividida em três grandes grupos: irrigação por superfície, por aspersão e localizada. A escolha de um dos sistemas deve levar em conta aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

O Vale do Jequitinhonha tem clima caracterizado por condições adversas no que diz respeito ao regime pluvial, ocorrendo chuvas intensas e mal distribuídas, resultando em déficits hídricos acentuados na maior parte do ano e também em veranicos na época chuvosa, ocasionando baixas produtividades e tornando a exploração agrícola um investimento de grande risco, limitando, dessa forma, o desenvolvimento da agricultura na região.

Como alternativa para esses problemas tem-se a irrigação, que potencializa o aumento da produtividade dos cultivos da região, permitindo a intensificação da atividade agrícola, proporcionando maior giro de capital e melhor remuneração dos produtores e trabalhadores e reduzindo o sério problema social da região.

Não se deve concordar com aqueles que preconizam a paralisação do desenvolvimento de novos projetos de irrigação, em virtude de possíveis problemas ecológicos, porém também não se pode concordar com os que desconsideram totalmente os impactos ambientais relacionados a esses projetos, apoiando-se somente na relação financeira entre benefício e custo. Ambos os lados analisam, exclusivamente, uma única face do problema. Acredita-se que,

na maioria dos casos, é possível compatibilizar o desenvolvimento da irrigação com a preservação do meio ambiente (BERNARDO, 1998).

No Brasil, infelizmente, a irrigação ainda não está sendo praticada com boa eficiência. Todavia, com a competição cada vez maior por água entre os vários setores da sociedade, associada aos movimentos ecológicos, conscientizando a população sobre a importância de um meio ambiente mais saudável e menos poluído, haverá, sem dúvida, pressão para que a irrigação seja conduzida com maior eficiência, de modo a reduzir impactos no meio ambiente, notadamente no que diz respeito à disponibilidade e qualidade da água destinada a múltiplas atividades.

O manejo do sistema irrigado é um conjunto de ações, dentre as quais as principais são definir o momento e a quantidade de água a ser aplicada. Para isso, são indispensáveis informações relacionadas a cultura, clima, solo, água e sistema de irrigação; dessa forma, a avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é fundamental para auxiliar na tomada de decisão e para traçar a melhor estratégia de manejo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar um sistema de irrigação por aspersão convencional e um sistema de microaspersão utilizados na irrigação das culturas do abacaxi e da bananeira, respectivamente, no município de Araçuaí – MG.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Irrigação por aspersão convencional

A irrigação por aspersão é um método de aplicação de água às plantas em forma de chuva artificial, por meio de dispositivos especiais, abastecidos com água sob pressão. Estes dispositivos especiais, denominados aspersores, têm a função de pulverizar os jatos d'água, que saem das tubulações, e devem assegurar uma distribuição adequada da precipitação que cai sobre a superfície do terreno cultivado.

Segundo KELLER e BLIESNER (1990) e GOMES (1997), este método apresentou maior desenvolvimento a partir da metade deste século, com o advento das tubulações metálicas leves com engate rápido, que deram origem aos primeiros sistemas portáteis. Também, com o desenvolvimento de melhores aspersores e maior eficiência do sistema de bombeamento, os custos foram reduzidos, promovendo rápida expansão deste sistema de irrigação.

Posteriormente, para diminuir a exigência de mão-de-obra, foram surgindo os sistemas fixos, que empregam maior quantidade de tubulações e aspersores. A partir dos anos 60, começaram a aparecer diferentes sistemas de aspersão mecanizados, e hoje se utiliza também o recurso da automação, para controlar algumas aplicações especiais da irrigação.

Atualmente a irrigação por aspersão constitui-se num dos métodos mais utilizados no mundo, destacando-se dos demais por sua versatilidade, facilidade de manejo e pela possibilidade de aplicação em quase todo o tipo de cultura, solo e topografia do terreno. Suas instalações são bastante variáveis e compreendem desde os sistemas portáteis convencionais, que habitualmente irrigam áreas de poucos hectares, até os sistemas mecanizados com funcionamento automático, freqüentemente utilizados para irrigar superfícies de dezenas de hectares (PENAFORTE et al., 1996; GOMES, 1997).

Para o funcionamento da irrigação por aspersão, é necessária a existência de uma ampla infra-estrutura de distribuição de água, que começa na fonte de abastecimento e termina nos aspersores. Normalmente, é necessária a pressurização do sistema, utilizando um conjunto motobomba, cuja magnitude dependerá das condições requeridas pelo projeto a ser implantado, como: vazão do sistema, condições altimétricas, topológicas, etc. (GOMES, 1997).

Nos sistemas fixos, também conhecidos como permanentes, as tubulações de distribuição e as linhas laterais cobrem toda a superfície da parcela a ser irrigada. Há diversas variantes dos sistemas fixos ou permanentes. Numa delas, as irrigações se dão em faixas transversais à tubulação da linha lateral, onde são montados aspersores fixos. Este sistema é bastante racional, porque permite que as tubulações laterais sejam dimensionadas com diâmetros menores, pelo fato de funcionar apenas um aspersor de cada vez em cada linha lateral.

O sistema fixo de tubos enterrados, quando acionado, permite o funcionamento de qualquer aspersor, uma vez que todos são independentes; para isso, há um registro no tubo de alimentação ou subida de cada aspersor, tomando-se o cuidado de colocar em funcionamento apenas um aspersor por linha. Em comparação com sistemas convencionais portáteis e semiportáteis, os sistemas fixos oferecem vantagens quando a cultura a ser irrigada dificulta os deslocamentos manuais das linhas laterais, ou quando o custo dos outros sistemas mais a mão-de-obra supera o custo de implantação do sistema fixo.

Segundo MOURTHÉ (1991), no sistema de tubos enterrados, utiliza-se aspersor de baixa vazão, no máximo de 2 m³/hora, para proporcionar baixa

precipitação, por dois motivos principais: a) para que o tempo de operação por posição seja maior, não necessitando de operações noturnas; e b) para que os tubos possam ser de pequeno diâmetro, não inviabilizando, economicamente, o sistema.

Nesses sistemas, pode-se irrigar somente parte da área de cada vez, o que viabiliza o plantio de diversas culturas em um mesmo sistema de irrigação. Em muitos casos, um sistema pode ser acionado por duas ou mais motobombas de menor porte, ligadas paralelamente, podendo cada uma atender a um determinado número de aspersores.

Quando a cultura instalada, em alguma fase de desenvolvimento, dificultar a movimentação para abrir e fechar registros por ocasião das mudanças de posição, devem-se deixar carregadores para facilitar o acesso aos aspersores.

De acordo com BERNARDO (1995) e GOMES (1997), há vários tipos de aspersores, que podem ser classificados de acordo com o ângulo de inclinação do jato com a horizontal, com a pressão de funcionamento e com a mobilidade. A maioria dos sistemas convencionais emprega os aspersores rotativos de média pressão (200 a 400 kPa), baixa velocidade de rotação (0,25 a 3 rpm), com um ou dois bocais de diâmetros compreendidos entre 4 e 7 mm e vazão de 1 a 6 m³.h⁻¹. Normalmente são utilizados com espaçamento que varia de 12 a 36 metros.

Eficiência de aplicação, perdas de água por evaporação e por arrastamento

Antes de implementar qualquer estratégia de manejo, é fundamental que se proceda a uma avaliação de desempenho do sistema de irrigação. A partir desses resultados, será possível avaliar a adequação do equipamento, em relação aos requerimentos de água dos cultivos utilizados, e a eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (BONOMO, 1999).

A avaliação de um sistema de irrigação por aspersão consiste na determinação de parâmetros que refletem as perdas de água resultantes da evaporação e deriva, do escoamento superficial para fora da área do projeto, da percolação profunda e dos vazamentos em tubulações e engates, estando estas

perdas relacionadas com a uniformidade de aplicação de água, com a velocidade do vento e com a capacidade evaporativa do ar, bem como com a operação de montagem e manutenção adequada do sistema (KELLER e BLIESNER, 1990; MERRIAN e KELLER, 1978).

Os parâmetros de desempenho utilizados para se avaliar a eficiência de irrigação de um sistema por aspersão são o coeficiente de uniformidade de Christiansen, a eficiência potencial de aplicação e a eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada (MERRIAN e KELLER, 1978; KELLER e BLIESNER, 1990), que serão descritos a seguir.

A uniformidade de aplicação de água é um parâmetro utilizado para medir a variabilidade da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação por aspersão. CHRISTIANSEN (1942) apresentou um coeficiente para determinar a uniformidade em sistemas de aspersão (equação 1).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{n L_m} \right) * 100 \quad (1)$$

em que

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

L_i – lâmina coletada no ponto "i", mm;

L_m – lâmina média de todas as observações, mm; e

n – número de observações;

Outro parâmetro utilizado para medir a uniformidade de aplicação de água é o coeficiente de uniformidade de distribuição, definido pela equação 2:

$$CUD = \left(\frac{L_m}{L_m} \right) 100 \quad (2)$$

em que l_m é a lâmina média do menor quartil, ou seja, dos 25% do total de observações com menores lâminas.

A variação da pressão de operação dos aspersores do sistema pode ser utilizada para se determinar a uniformidade de distribuição do sistema, utilizando as equações 3 e 4 (BERNARDO, 1995; KELLER e BLIESNER, 1990):

$$CUC_s = CUC \frac{1 + \frac{P_n}{P_a}}{2} \quad (3)$$

$$CUD_s = CUD \frac{1 + 3 \frac{P_n}{P_a}}{4} \quad (4)$$

em que

CUCs – coeficiente de uniformidade de Christiansen para o sistema (%);

CUDs – coeficiente de uniformidade de distribuição para o sistema (%);

P_n – pressão mínima nos aspersores (kPa); e

P_a – pressão média nos aspersores (kPa).

A eficiência potencial de aplicação é a razão entre o volume de água que alcança a superfície do solo ou cultura e o volume de água que sai do aspersor (equação 5). Esse parâmetro reflete as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento (BERNARDO, 1995; SOARES, 1998). KELLER e BLIESNER (1990) sugeriram o uso das equações 6 e 7 para estimar a eficiência potencial de aplicação.

$$E_{pa} = \frac{L_m S_1 S_2}{q_{ti}} * 100 \quad (5)$$

em que

E_{pa} – eficiência potencial de aplicação, %;

L_m – lâmina média coletada, mm;

S1 – espaçamento entre aspersores, m;

S2 – espaçamento entre laterais, m;

q – vazão média do aspersor, L.h⁻¹; e

t_i – tempo de irrigação, h.

$$E_{pa} = 0,976 + 0,005 E_{to} - 0,00017 E_{to}^2 + 0,0012 V_v - CI (0,00043 E_{to} + 0,00018 V_v + 0,000016 E_{to} V_v) \quad (6)$$

$$CI = 0,032 P^{1/3} D_b^{-1} \quad (7)$$

em que

E_{to} – evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹);

V_v – velocidade do vento (km.h⁻¹);

CI – coeficiente característico da evaporação de arraste (adimensional);

D_b – diâmetro do bocal do aspersor (mm); e

P – pressão de serviço (kPa).

Valores de CI entre 7 e 17 podem ser substituídos diretamente na equação 6. Para valores de CI < 7, assumir que CI = 7, e para CI > 17, assumir que CI = 17.

A eficiência de aplicação do sistema é a razão entre a lâmina de água armazenada na zona radicular e a lâmina média aplicada (equação 8):

$$E_a = \frac{L_{azr}}{L_{ap}} * 100 \quad (8)$$

em que

E_a – eficiência de aplicação (%);

L_{azr} – lâmina de água armazenada na zona radicular (mm); e

L_{ap} – lâmina média de água aplicada (mm).

KELLER e BLIESNER (1990) definiram eficiência de distribuição considerando a percentagem de adequação da área irrigada (EDpa) (equação 9), por exemplo ED80 é a relação entre a lâmina mínima coletada por pelo menos 80% da área irrigada entre quatro aspersores (L80), ou seja, em 80% da área a lâmina coletada é maior ou igual a L80, e a lâmina média coletada. Esse parâmetro pode ser determinado conhecendo-se o perfil ou as lâminas coletadas entre quatro aspersores obtidas num teste de avaliação utilizando a equação 9, ou estimado utilizando a equação 10. A percentagem de adequação da área irrigada é função do valor econômico da cultura, sendo recomendado 90%, 80% e 70% para culturas de alto, médio e baixo valor econômico, respectivamente.

$$ED_{AD} = \frac{L_{AD}}{L_{COL}} 100 \quad (9)$$

em que

ED_{AD} – eficiência de distribuição para AD% de área adequadamente irrigada (%);

L_{AD} – lâmina de água coletada mínima na área adequadamente irrigada (mm); e

L_{COL} – lâmina média de água coletada (mm).

$$ED_{AD} = 100 + 606 - 24,9Pa + 0,349 Pa^2 - 0,00186 Pa^3 \left(1 - \frac{CUC}{100} \right) \quad (10)$$

em que

ED_{AD} – eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada (%); e

Pa – percentagem de área adequadamente irrigada (%).

Na realidade, a eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada reflete a perda de água por percolação, área em déficit e, logicamente, a área adequadamente irrigada. Quanto maior o coeficiente de uniformidade, para

uma dada percentagem de área adequadamente irrigada, menores serão as perdas por percolação e, conseqüentemente, maior será a eficiência de distribuição. Para uma determinada uniformidade, quanto maior a percentagem de área adequadamente irrigada, maior será a perda por percolação.

A eficiência de irrigação, que é o produto da eficiência de aplicação pela eficiência de condução, é difícil de ser determinada no campo, sendo pouco utilizada em aspersão, devido à dificuldade de se determinar a eficiência de aplicação. Logo, KELLER e BLIESNER (1990) definiram uma eficiência de irrigação também com base na percentagem de área adequadamente irrigada, conforme a equação 11.

$$Ei_{AD} = ED_{AD} Epa Ec \quad (11)$$

em que

ED_{AD} – eficiência de distribuição para uma percentagem de área adequadamente irrigada (%);

Epa – eficiência potencial de aplicação (%); e

Ec – eficiência de condução (decimal).

Observa-se que o parâmetro ED_{AD} reflete as perdas por percolação e a área adequadamente irrigada, Epa reflete as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento e Ec as perdas por vazamento na condução da água até os aspersores. Portanto, Ei_{AD} é uma estimativa da tradicional eficiência de irrigação que leva em conta a uniformidade do sistema e a área adequadamente irrigada.

SOARES (1998) define eficiência de armazenamento como a razão entre a lâmina de água armazenada na zona radicular e a irrigação real necessária ou lâmina requerida (equação 12):

$$Es = \frac{Lazr}{Lreq} * 100 \quad (12)$$

em que

Es – eficiência de armazenamento (%);

Lazr – lâmina de água armazenada na zona radicular (mm); e

Lreq – lâmina de água requerida (mm).

Segundo KELLER e BLIESNER (1990), as perdas por arrastamento pelo vento e evaporação podem ser de pouca equação quando se irriga uma cultura com dossel vegetativo completo em condições de pouco vento. Sob condições mais comuns, as perdas por arrastamento e evaporação variam de 5 a 10%; entretanto, sob condições muito severas, essas perdas podem ser consideravelmente maiores.

A perda por evaporação e arrastamento pelo vento aumenta com o aumento da temperatura do ar, a velocidade do vento, o fracionamento do jato de água e, conseqüentemente, com a pressão de operação do aspersor e com a redução da umidade relativa, podendo ser determinada utilizando a equação 13 (BERNARDO, 1995; SOARES, 1998):

$$Pea = 100 - Epa \quad (13)$$

em que Pea é a perda por evaporação e arrastamento pelo vento (%).

Outro parâmetro utilizado para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão é o coeficiente de déficit, definido como a razão entre a lâmina de água deficitária e a lâmina requerida (equação 14), ou irrigação real necessária, podendo ser determinado por meio dos gráficos que relacionam a área adequadamente irrigada com o déficit de água no solo antes da irrigação. Pode também ser determinada, subtraindo-se de 100, a eficiência de armazenamento (Es) em percentagem, expressando a parte da área irrigada, com déficit.

$$Cd = \frac{Ldef}{Lreq} \quad (14)$$

em que

C_d – coeficiente de déficit;

L_{def} – lâmina de déficit (mm); e

L_{req} – lâmina requerida (mm).

A perda por percolação pode ser determinada pela razão entre a lâmina percolada e a lâmina aplicada, conforme a equação 15.

$$P_p = \frac{L_{perc}}{L_{ap}} * 100 \quad (15)$$

em que

P_p – perda por percolação;

L_{perc} – lâmina percolada (mm); e

L_{ap} – lâmina aplicada (mm).

2.2. Irrigação localizada

Dentre os métodos de irrigação, atualmente o de localizada vem sendo um dos mais utilizados. O grande interesse despertado pelo sistema deve-se à sua aplicação, molhando apenas uma fração da superfície do solo, com pequenas vazões, mas com alta frequência, de modo a manter a umidade do solo sempre próxima à capacidade de campo, favorecendo, assim, a economia de água, a fertirrigação e o aumento na produção (BERNARDO, 1995).

Basicamente, são dois os processos empregados neste método de irrigação: a microaspersão e o gotejamento. A microaspersão cobre uma área molhada por emissor maior que a do gotejamento, operando normalmente com pressões entre 100 e 300 kPa e fornecendo vazões entre 40 e 120 litros por hora. Como o microaspersor possui um orifício de saída maior que o do gotejador, é menos propenso ao entupimento (SAMPAIO et al., 1996).

AZEVEDO (1986) e BERNARDO (1995) afirmam que, na irrigação localizada, a área máxima molhada não deve ser superior a 55% da área sombreada pela planta, enquanto a área mínima molhada é de 20% nas regiões úmidas e de 30% nas regiões de clima semi-árido.

Os sistemas de irrigação por microaspersão normalmente são constituídos de estação de bombeamento, cabeçal de controle (filtros de areia e discos, injeção de fertilizantes, medição, proteção, comando e controle), linha principal, linhas de distribuição, linhas laterais e microaspersores. Este sistema possibilita completa automação, proporcionando grandes vantagens, como: permitir irrigar em horários em que a tarifa de energia elétrica é reduzida; maximizar o número de horas de funcionamento por dia; utilizar tubulações de menor bitola; e demandar menores vazões e, conseqüentemente, menores motobombas (COSTA et al., 1999). Este sistema apresenta custo relativamente elevado, por isso deve ser utilizado somente para culturas nobres, como as fruteiras e algumas olerícolas.

BERNARDO (1995) cita várias vantagens da irrigação localizada, destacando-se a eficiência de uso da água, pelo fato de este sistema permitir melhor controle da lâmina d'água aplicada e baixas perdas por evaporação, por percolação e por escoamento superficial. Entretanto, se o manejo e a operação desses sistemas não forem executados com um controle eficiente e racional, eles podem vir a apresentar baixas eficiências de irrigação, situação freqüente na maioria dos projetos em operação no Brasil.

Tendo em vista o que foi exposto anteriormente, a avaliação de campo nos sistemas de irrigação localizada freqüentemente se faz necessária, e Bralts (1986) e Bralts et al. (1987), citados por ALMEIDA (1997), apresentam os seguintes motivos:

- fornece informações importantes para o manejo do sistema;
- permite determinar com que eficiência o sistema está sendo operado e se as especificações de uniformidade de vazão dos emissores previstas em projeto estão sendo obtidas;

- permite o monitoramento do desempenho do sistema, quando realizada periodicamente;
- possibilita a determinação da eficiência com que o sistema pode chegar a operar e se ela pode ser melhorada;
- é uma ferramenta de diagnóstico da operação do sistema e seus componentes e, ainda, uma ferramenta para adoção de medidas corretivas, se necessário;
- fornece informações que auxiliam os projetistas no dimensionamento de outros sistemas; e
- fornece informações que permitem comparar vários métodos, sistemas e procedimentos operacionais, como base para decisões econômicas.

Em avaliação de eficiência do uso da água em sistemas de irrigação, a estimativa precisa da uniformidade do sistema é, provavelmente, o indicador mais importante do seu desempenho (ALMEIDA, 1997), assim como informações referentes à vazão dos emissores e sua uniformidade são essenciais para o dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação localizada.

Assim, como a determinação da uniformidade de água no solo é muito complexa, a sua determinação justifica-se apenas em áreas experimentais, com o intuito de fornecer parâmetros de correlação com a uniformidade da superfície, sendo a avaliação em campo dos sistemas de irrigação normalmente determinada pela uniformidade de aplicação de água na superfície (ALMEIDA, 1997).

Uniformidade de aplicação de água

De acordo com ALMEIDA (1997), a uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação localizada depende dos seguintes fatores:

- variação de pressão na rede hidráulica, ocasionada pelas perdas de carga e diferenças de nível da área;
- desuniformidade de fabricação dos emissores;

- número de emissores por planta;
- resposta do emissor à variação de temperatura e pressão da água;
- variação das características do emissor por entupimentos e, ou, envelhecimento;
- variação espacial e temporal da temperatura da água;
- efeito do vento, quando os emissores utilizados são microaspersores; e
- variação de fabricação dos reguladores de pressão, quando utilizados.

O entupimento dos emissores, o número de emissores por planta e a variação devido ao processo de fabricação são os fatores que influem significativamente na uniformidade de sistemas de irrigação localizada, assim como a variação de pressão na rede hidráulica afeta a uniformidade do sistema, principalmente quando não se usam emissores autocompensantes (Bralts, 1986, citado por ALMEIDA, 1997 e SOLOMOM, 1985).

A variação devido ao processo de fabricação pode ser expressa pelo coeficiente de variação (equação 16), considerando que a variação da vazão dos emissores segue uma distribuição Gauss (SOLOMON, 1979).

É fator fundamental para atingir níveis predeterminados de eficiência a adequada seleção dos emissores, visto que a variação devido ao processo de fabricação influi severamente na uniformidade de distribuição de água. Essa variação pode ser expressa pelo coeficiente de variação, conforme a equação 16:

$$CVF = \left[\frac{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n q_i - nq_m^2 \right) / (n-1)}}{q_m} \right] * 100 \quad (16)$$

em que

CVF – coeficiente de variação de fabricação;

q_i – vazão média de cada emissor ($L.h^{-1}$);

q_m – vazão média dos emissores ($L.h^{-1}$); e

n – número de emissores do lote de amostragem.

O microaspersor Naan 7110, bocal vermelho de 1,1 mm, empregado nos projetos avaliados, foi testado por SAMPAIO et al. (1996), que encontraram valores de CVF inferiores a 3%, independentemente da pressão de funcionamento. NETO et al. (1997), também testando microaspersores Naan 7110, encontraram CVF igual a 0,49%, classificando-os como excelentes. Emissores com coeficiente de variação menores que 5%, entre 5 e 7%, entre 7 e 11%, entre 11 e 15% e maiores que 15% são classificados como excelente, médio, marginal, deficiente e inaceitável, respectivamente (ASAE, citado por KELLER e BLIESNER, 1990).

O desempenho dos sistemas de irrigação localizada é usualmente analisado em função da uniformidade de aplicação de água pelos emissores. A primeira metodologia de determinação do coeficiente de uniformidade foi a mesma desenvolvida para avaliar a irrigação por aspersão convencional (equação 17) (CHRISTIANSEN, 1942). Posteriormente, outras metodologias foram elaboradas, mas, ainda hoje, a de Christiansen é uma das mais utilizadas (BERNARDO, 1995).

Pelo método de Christiansen, para se determinar a uniformidade de distribuição d'água de um sistema de irrigação localizada, é preciso medir a vazão dos emissores ao longo de todas as linhas laterais e a pressão de funcionamento no início das linhas de derivação, requerendo muito tempo e muita mão-de-obra. Para simplificar o trabalho e o tempo necessário, recomenda-se determinar o CUC por linha lateral, escolhendo quatro linhas laterais em cada unidade operacional, sendo o CUC do sistema a média dos CUC das linhas (BERNARDO, 1995).

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |Q_i - Q_m|}{nQ_m} \right) * 100 \quad (17)$$

em que

Q_i – vazão coletada em cada microaspersor ($L.h^{-1}$);

Q_m – média das vazões coletadas de todos os microaspersores ($L.h^{-1}$); e

n – número de microaspersores analisados.

KELLER e KARMELI (1974) propuseram originalmente o conceito de uniformidade de emissão, que tem sua definição baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores, sendo a obtenção das vazões por meio de quatro pontos ao longo da linha lateral, simetricamente distribuídos. Segundo Bralts et al. (1987), citados por ALMEIDA (1997), esse conceito é uma forma modificada do sistema de avaliação recomendado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, sendo definido como o coeficiente de uniformidade de distribuição.

$$CUD = 100 * \left(\frac{q}{Q} \right) \quad (18)$$

em que

q – média de 25% do total de microaspersores com as menores vazões (L/h); e

Q – média das vazões coletadas de todos os microaspersores (L/h).

Na atualidade, é mais recomendado o uso do coeficiente de uniformidade de distribuição, uma vez que ele reflete melhor as condições das plantas que recebem menor lâmina de água (BONOMO, 1999).

Para determinar a uniformidade de irrigação de um sistema de irrigação localizada, começa-se por selecionar um determinado número de plantas. MERRIAM e KELLER (1978) recomendam o número de 16 plantas. Para isso, pode-se seguir o seguinte critério: escolhe-se a subunidade a estudar e nela selecionam-se quatro linhas laterais: a primeira, a situada a 1/3 da origem, a situada a 2/3 e a última. Em cada linha lateral, selecionam-se quatro pontos com o mesmo critério (primeiro, 1/3, 2/3 e último) e mede-se a vazão em cada emissor. Além disso, convém medir a pressão de funcionamento de cada emissor.

DENÍCULI (1979), analisando um sistema de irrigação por gotejamento instalado no campo experimental do Departamento de Engenharia Agrícola, por supor que quatro pontos em cada linha lateral era um número pequeno de pontos,

determinou o coeficiente de uniformidade utilizando oito pontos por lateral, verificando valores com menores variâncias que o método proposto por MERRIAM e KELLER (1978).

Autores citados por BONOMO (1999) sugerem, para o cálculo da uniformidade, o uso da metodologia proposta por DENÍCULI (1979) para irrigação por gotejamento, e para a microaspersão indicam a metodologia desenvolvida por MERRIAM e KELLER (1978).

Parâmetros de desempenho

De acordo com MERRIAM e KELLER (1978), na avaliação de um sistema de irrigação localizada, as medições necessárias são: deficiência hídrica no solo antes da irrigação, tempo de aplicação, vazão dos emissores, taxa de infiltração e uniformidade de aplicação.

Usualmente, avaliam-se sistemas de irrigação por microaspersão através da uniformidade de distribuição de água dos emissores. Todavia, na irrigação por microaspersão em bananeiras, é comum um emissor por quatro covas, tornando-se importante também a uniformidade por quadrante molhado ou por cova.

Assim, segundo KELLER e BLIESNER (1990), a avaliação dos sistemas de irrigação por microaspersão pode ser realizada, como na avaliação dos sistemas por aspersão, por meio dos parâmetros de eficiência de distribuição para uma área adequadamente irrigada, perdas por evaporação e arraste, perdas por vazamentos, perdas por percolação e coeficientes de déficit.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Irrigação real necessária

Este projeto foi realizado no município de Araçuaí, localizado na região do médio Jequitinhonha, a nordeste do Estado de Minas Gerais, distante da capital 620 km. As coordenadas geográficas são: latitude 16° 51' sul, longitude 42° 04' oeste e altitude 284 m, onde foi implantado um projeto piloto de fruticultura irrigada, com oito unidades demonstrativas, que são parte integrante do Projeto “Uso Racional de Energia na Agricultura”, tendo como parceiros a GTZ (Sociedade Alemã de Cooperação Técnica), a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e a EMATER-MG (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais).

Como base para a operacionalização dos trabalhos, foram utilizadas duas das unidades demonstrativas, localizadas dois quilômetros a montante da barragem de Calhauzinho, na margem direita do lago, estando esta distante dezessete quilômetros da cidade de Araçuaí. Em uma delas foi cultivado o abacaxi variedade pérola, irrigado pelo sistema de irrigação convencional fixo de tubos enterrados, e na outra cultivada a banana cultivar prata-anã, irrigada por microaspersão, ambas com área de 1,74 ha.

Foram escolhidas estas áreas por serem trabalhadas com culturas e sistemas de irrigação diferentes e por estarem próximas do local onde foi montada a estação climática para coleta de dados necessários na avaliação e no manejo dos sistemas irrigados.

Os testes foram realizados nos meses de janeiro e fevereiro de 1998, logo após a montagem dos sistemas de irrigação e o plantio. Previamente aos testes, foram retiradas amostras para determinação da massa específica do solo, da curva de retenção de água do solo e umidade, para cálculo do déficit hídrico e da lâmina necessária na irrigação.

Foram retirados dois tipos de amostras de solo: uma indeformada, extraída com trado tipo Uhland, para determinação da massa específica, e outra extraída com trado holandês, para determinação do déficit de água no solo e da curva de retenção de água do solo. As amostras foram extraídas nos pontos de controle, sendo dois pontos em cada sistema, com duas repetições, e em duas camadas do solo (0 a 10 cm e 10 a 20 cm para o abacaxi, no sistema irrigado por aspersão convencional; e 0 a 20 cm e 20 a 40 cm para a banana, no sistema irrigado por microaspersão).

As amostras para determinação de umidade e massa específica do solo foram pesadas e secas, utilizando os devidos equipamentos, nas dependências do escritório local da EMATER-MG, em Araçuaí. Para determinação da massa específica, foram medidas as dimensões e foi determinado o volume do anel do trado Uhland, sendo utilizados os valores do peso seco das amostras e do volume do anel. As amostras para determinação da curva de retenção de água no solo foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório de água e solo do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, onde foram homogeneizadas, peneiradas e saturadas para determinação da umidade nas tensões de 10, 33,3, 100, 300, 500 e 1.500 kPa. Em relação aos solos argilosos, foram consideradas as tensões de 33,5 e 1.500 kPa, para a capacidade de campo e ponto de murcha permanente, respectivamente.

Os dados meteorológicos (velocidade e direção do vento, umidade relativa do ar, insolação, radiação, temperatura e pluviosidade), necessários para

estimativa da evapotranspiração e dos parâmetros de avaliação do sistema, foram obtidos em uma estação climatológica automática instalada a 50 m da área de microaspersão e a aproximadamente 1.000 m da área de aspersão convencional. A irrigação real necessária foi determinada utilizando as equações 19 a 22, a seguir:

$$DTA = \frac{Cc - Pm}{100} \rho \quad (19)$$

$$DRA = DTA \cdot f \quad (20)$$

$$CRA = DRA \cdot Z \quad (21)$$

$$IRN = CRA - Pe \quad (22)$$

em que

DTA – disponibilidade total de água no solo (mm.mm⁻¹);

Cc – capacidade de campo (% em peso);

Pm – ponto de murcha (% em peso);

ρ – massa específica do solo (g.cm⁻³);

DRA – disponibilidade real de água no solo (mm.mm⁻¹);

f – fator de disponibilidade;

CRA – capacidade real de água no solo (mm);

Z – profundidade efetiva das raízes (mm);

IRN – irrigação real necessária (mm); e

Pe – precipitação efetiva (mm).

O fator de disponibilidade utilizado para determinar a umidade mínima ou umidade crítica do solo para cada cultura é função da própria cultura e da demanda evapotranspirométrica da região, tendo sido utilizado para o abacaxi o valor de 0,6 e, para a banana, de 0,35.

Para o controle da água evaporada dos pluviômetros durante a realização dos testes, instalaram-se três pluviômetros próximo à área de teste, com volume de 50 ml de água cada (aproximadamente igual ao coletado). Após o teste por diferença, calculava-se a lâmina evaporada, que foi somada aos valores das lâminas coletadas nos pluviômetros.

3.2. Parâmetros de desempenho

3.2.1. Irrigação por aspersão convencional

O levantamento de dados do sistema de irrigação foi realizado registrando-se todas as características dos componentes, da captação até os aspersores. Foi feito o levantamento planialtimétrico da área, determinando-se a cota de cada aspersor. Foram medidas também a vazão, pressão de funcionamento e velocidade de rotação de todos os aspersores.

Os dados coletados para determinação dos parâmetros de desempenho do sistema foram baseados na distribuição de água em torno de um aspersor representativo, em relação a vazão e pressão de funcionamento do sistema. Foram realizados dois testes em dois aspersores individualmente, com tempo de uma hora de duração, o que permite simular para tempos variados de irrigação a lâmina aplicada, sendo possível também, no caso do sistema de irrigação convencional fixo, simular a uniformidade de aplicação e determinar parâmetros de desempenho e lâmina para diferentes espaçamentos entre aspersores, visando verificar o mais adequado.

Na Figura 1, é apresentado o croqui da área com o sistema de aspersão convencional fixo de tubos enterrados, o espaçamento, a posição dos aspersores e os locais onde se realizaram as avaliações.

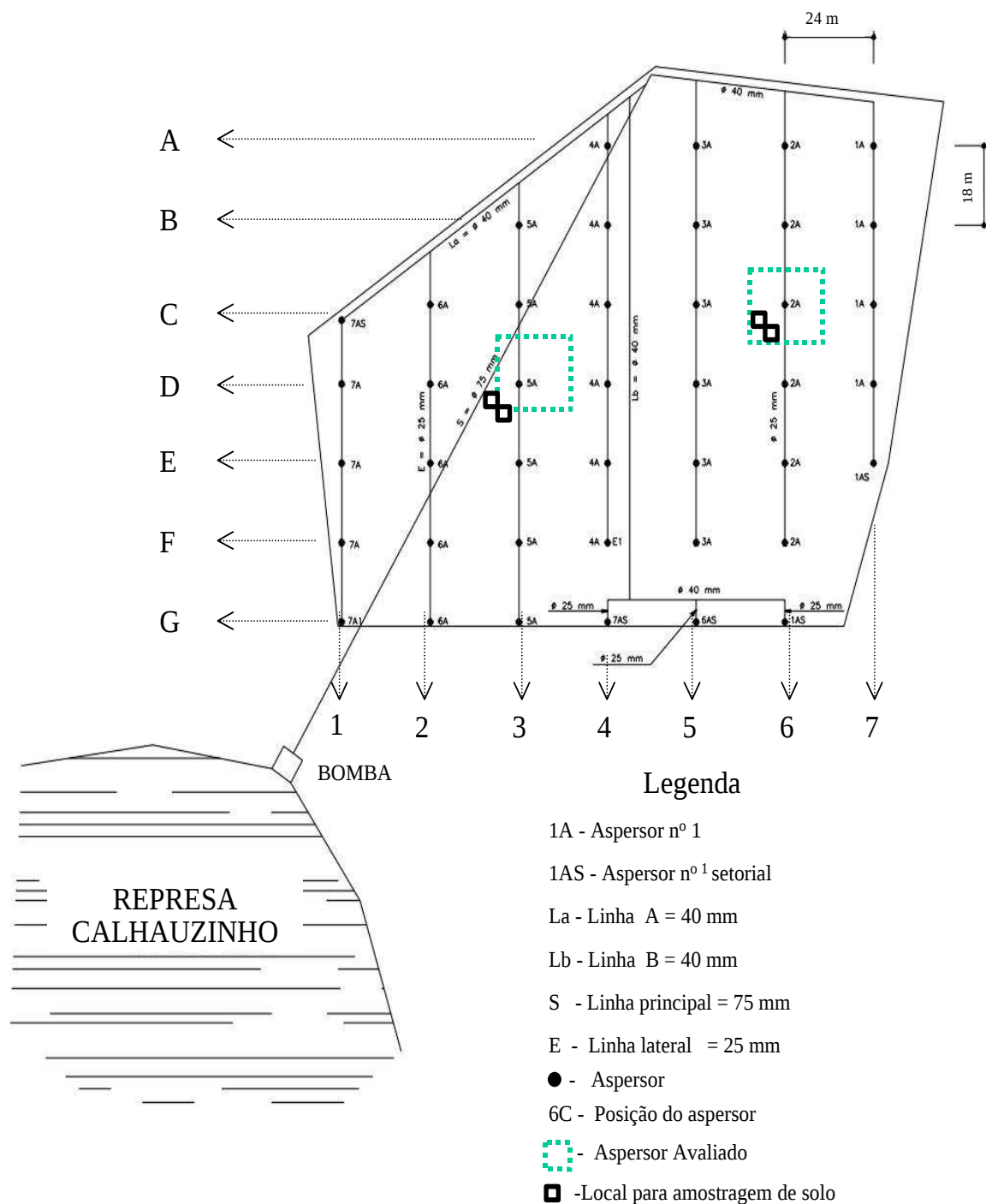


Figura 1 – Esquema da área com sistema de irrigação por aspersão convencional fixa com tubos enterrados.

Para a coleta de precipitação dos aspersores, foram distribuídos pluviômetros com diâmetro de 81 mm de área de coleta, instalados em um suporte com 70 cm de altura, numa malha de 3 por 3 m, em torno do aspersor, conforme apresentado na Figura 2. A medição da vazão dos aspersores foi feita pelo método direto, sendo realizadas duas repetições no início e final de cada teste.

A pressão de funcionamento de todos os aspersores do sistema foi medida utilizando um tubo pitot colocado a aproximadamente 1 mm de distância do bocal, no centro do jato.

3.2.1.1. Uniformidade

Os dados de precipitação de cada teste de aspersor foram sobrepostos, para simular o espaçamento real no campo, de 18 por 24 m, e os resultados foram utilizados para determinar o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de distribuição (CUD), usando-se as equações 9 e 10.

Foram determinados também o coeficiente de uniformidade de Christiansen para o sistema (CUCsist) e o coeficiente de distribuição para o sistema (CUDsist), utilizando-se as equações 23 e 24. Para efeito de comparação, estes coeficientes foram estimados empregando-se as equações 3 e 4.

$$CUC_{sist} = CUC (1 - cv) \quad (23)$$

$$CUD_{sist} = CUD (1 - cv) \quad (24)$$

em que

CUCsist – coeficiente de uniformidade do sistema;

CUDsist – coeficiente de distribuição do sistema; e

cv – coeficiente de variação da pressão de operação dos aspersores do sistema.

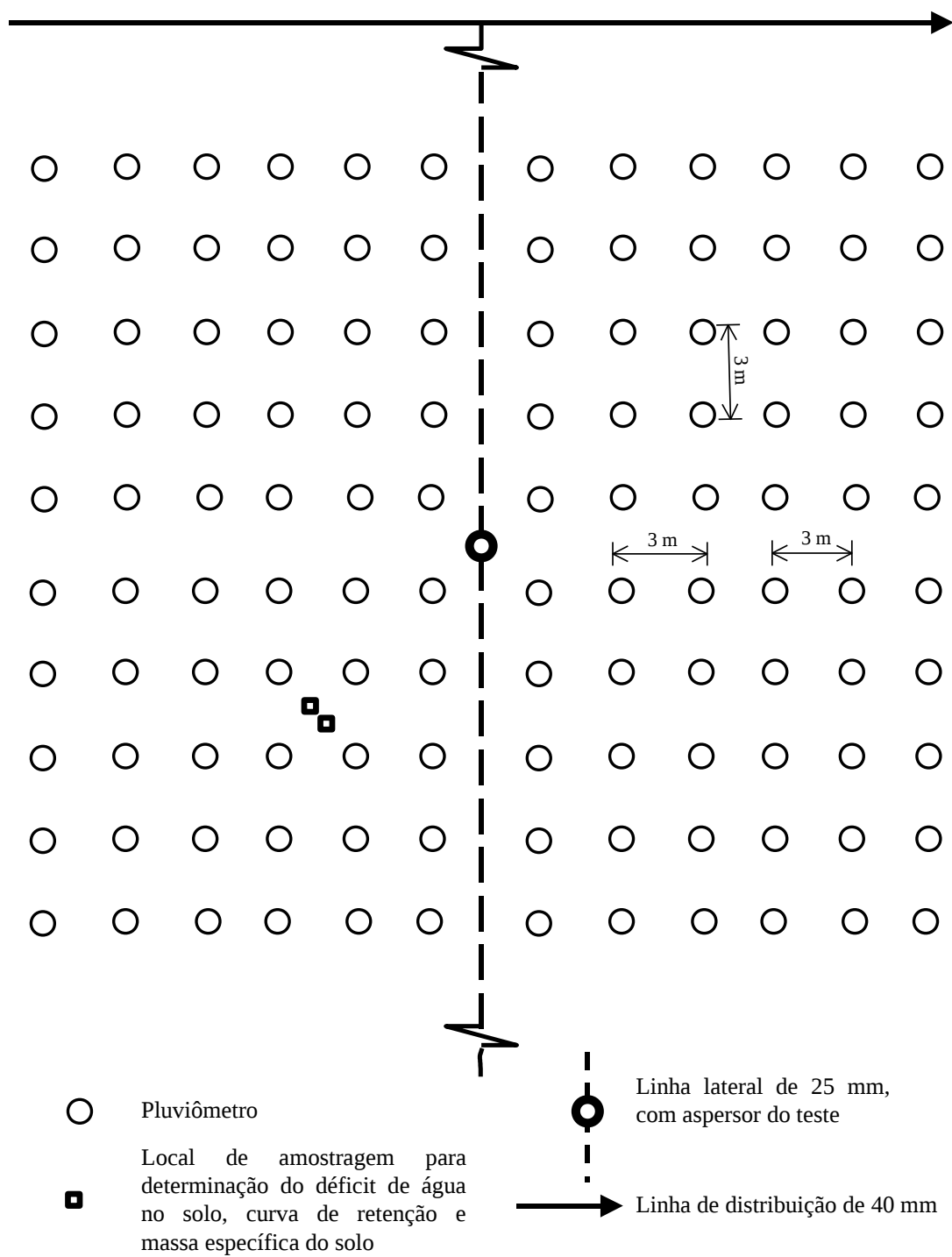


Figura 2 – Esquema da área de teste no sistema de irrigação por aspersão convencional fixo de tubos enterrados.

3.2.1.2. Eficiência do sistema

A eficiência potencial de aplicação foi determinada utilizando-se a equação 5 e estimada empregando as equações 6 e 7. A eficiência de distribuição foi calculada utilizando a equação 9 e estimada empregando a equação 10. Adotou-se um índice de 80% para área adequadamente irrigada na cultura do abacaxi e de 90% para a da banana.

A eficiência de irrigação foi estimada segundo KELLER e BLIESNER (1990), utilizando a equação 12.

Foram determinados também a perda por evaporação e arrastamento pelo vento, o coeficiente de déficit (Cd) e a perda por percolação (Pp), utilizando-se as equações 13, 14 e 15, respectivamente.

Foi instalado um medidor de energia exclusivo para o conjunto motobomba, assim como um horímetro, no qual era registrado o tempo de funcionamento do sistema, permitindo, dessa forma, o cálculo da sua eficiência. Para estimar a potência consumida pela bomba (equação 20), foi assumida uma eficiência de 90% para o motor, a fim de determinar o rendimento da bomba. A eficiência da bomba foi determinada utilizando a equação 21.

$$P_b = P_m E_{\text{motor}} \quad (25)$$

$$E_{\text{bomba}} = \frac{\gamma Q_s H_m}{75 P_b} 100 \quad (26)$$

em que

P_b – potência disponível à bomba (cv);

P_m – potência do motor (cv);

E_{motor} – eficiência do motor (%);

E_{bomba} – eficiência da bomba (%);

γ – massa específica da água ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$);

Q_s – vazão do sistema ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$); e

H_m – altura manométrica (m.c.a.).

3.2.2. Irrigação localizada

Foi realizado o levantamento de todos os componentes do sistema, desde o conjunto motobomba montado sobre uma balsa até os microaspersores. Na Figura 4 é apresentado o croqui do sistema de irrigação por microaspersão.

O sistema é automatizado, necessitando apenas que o irrigante programe o tempo de irrigação e acione a bomba para eliminar a possibilidade do funcionamento sem escorva. Visando monitorar o tempo de irrigação e lâmina aplicada, foram instalados um hidrômetro e um horímetro e, para acompanhar o consumo de energia, um medidor exclusivo para o sistema de bombeamento.

3.2.2.1. Uniformidade

A determinação do coeficiente de uniformidade foi feita por meio da medição de vazão e pressão de serviço dos emissores, conforme apresentado na Figura 4, e pela coleta de precipitação de água dos emissores por meio de uma malha de pluviômetros eqüidistantes de 1,0 m, conforme apresentado na Figura 5. Tal procedimento foi adotado porque um microaspersor irriga quatro plantas, interessando, assim, avaliar a sua distribuição espacial da lâmina em torno desta.

Foram selecionadas duas das quatro unidades para a realização da avaliação, sendo esta realizada nas unidades 2 e 4, uma vez que funcionam simultaneamente, onde foram medidas as vazões no início, a um terço, a dois terços e no final de cada linha lateral, e em quatro posições, localizadas no início, a um terço, a dois terços e no final de cada linha de derivação, conforme apresentado na Figura 4. A vazão de cada microaspersor foi determinada pelo método direto, com três repetições, por meio da coleta de um volume de água igual a quinhentos mililitros, em uma proveta graduada de dois em dois mililitros, sendo para isso utilizado um coletor adaptado (Figura 6). As vazões medidas foram utilizadas no cálculo do coeficiente de uniformidade do sistema e do coeficiente de uniformidade de distribuição do sistema, empregando as equações 17 e 18, respectivamente.

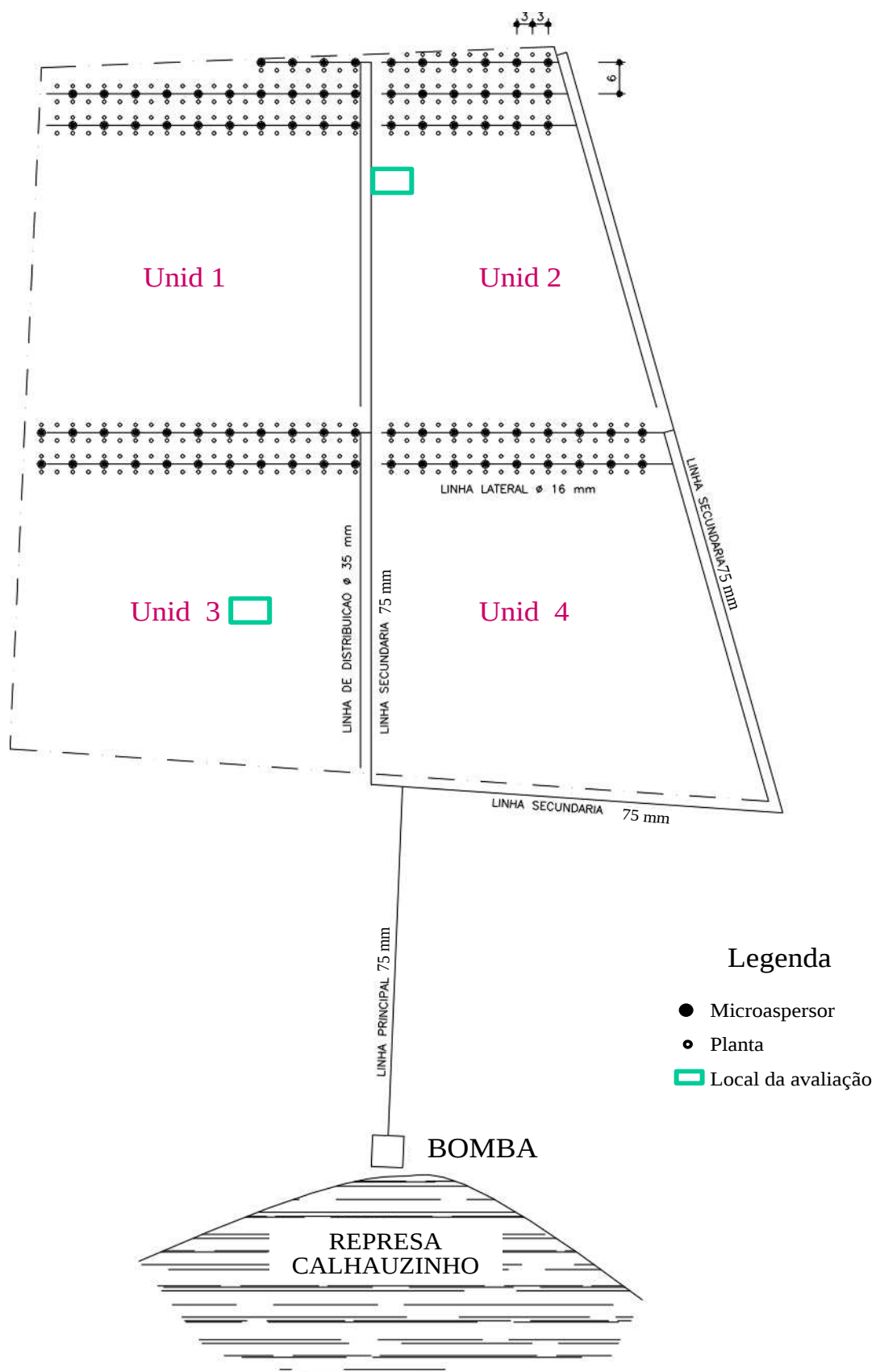


Figura 3 – Esquema da área com irrigação localizada por microaspersão.

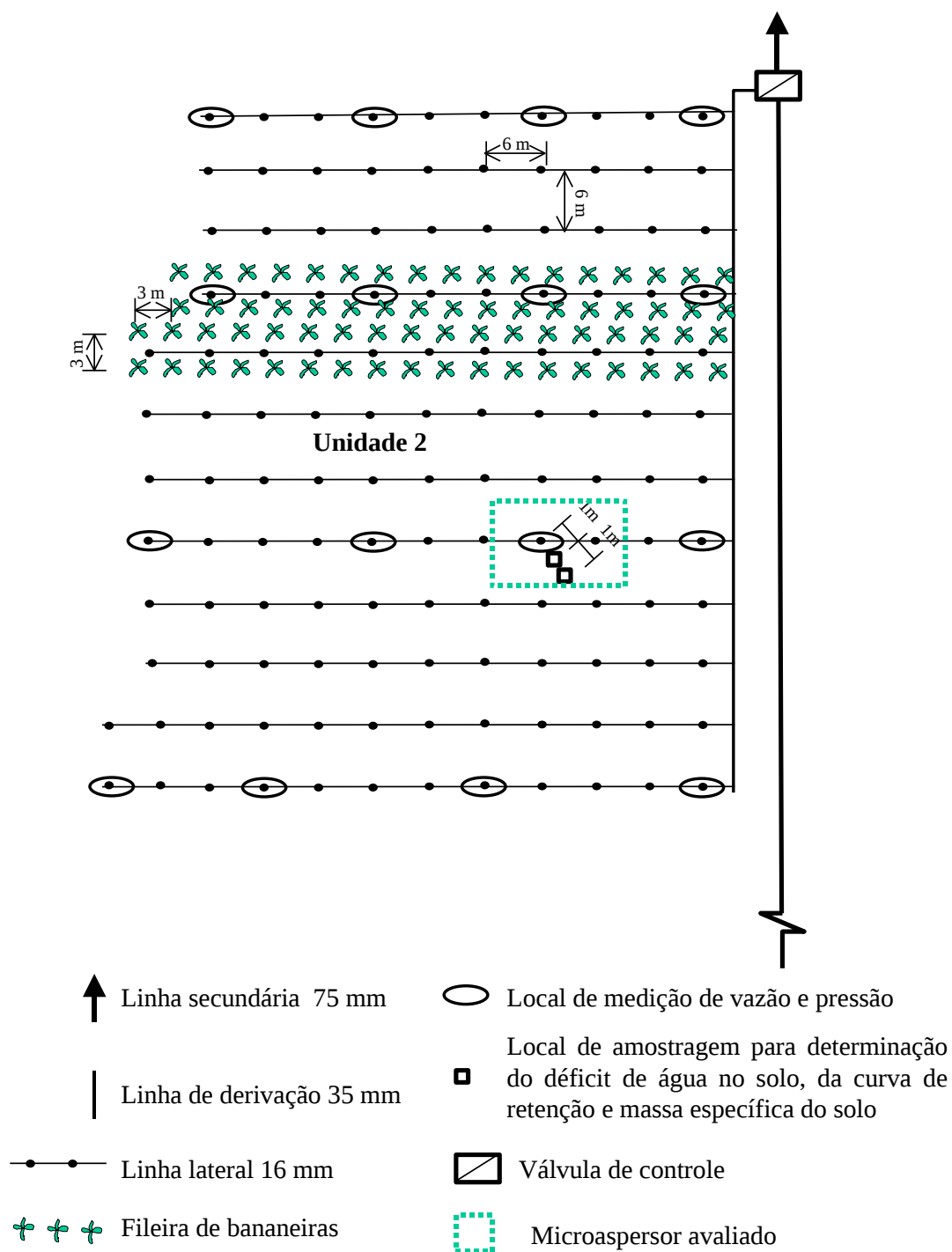


Figura 4 – Esquema dos locais de avaliação na área do sistema de irrigação por microaspersão.

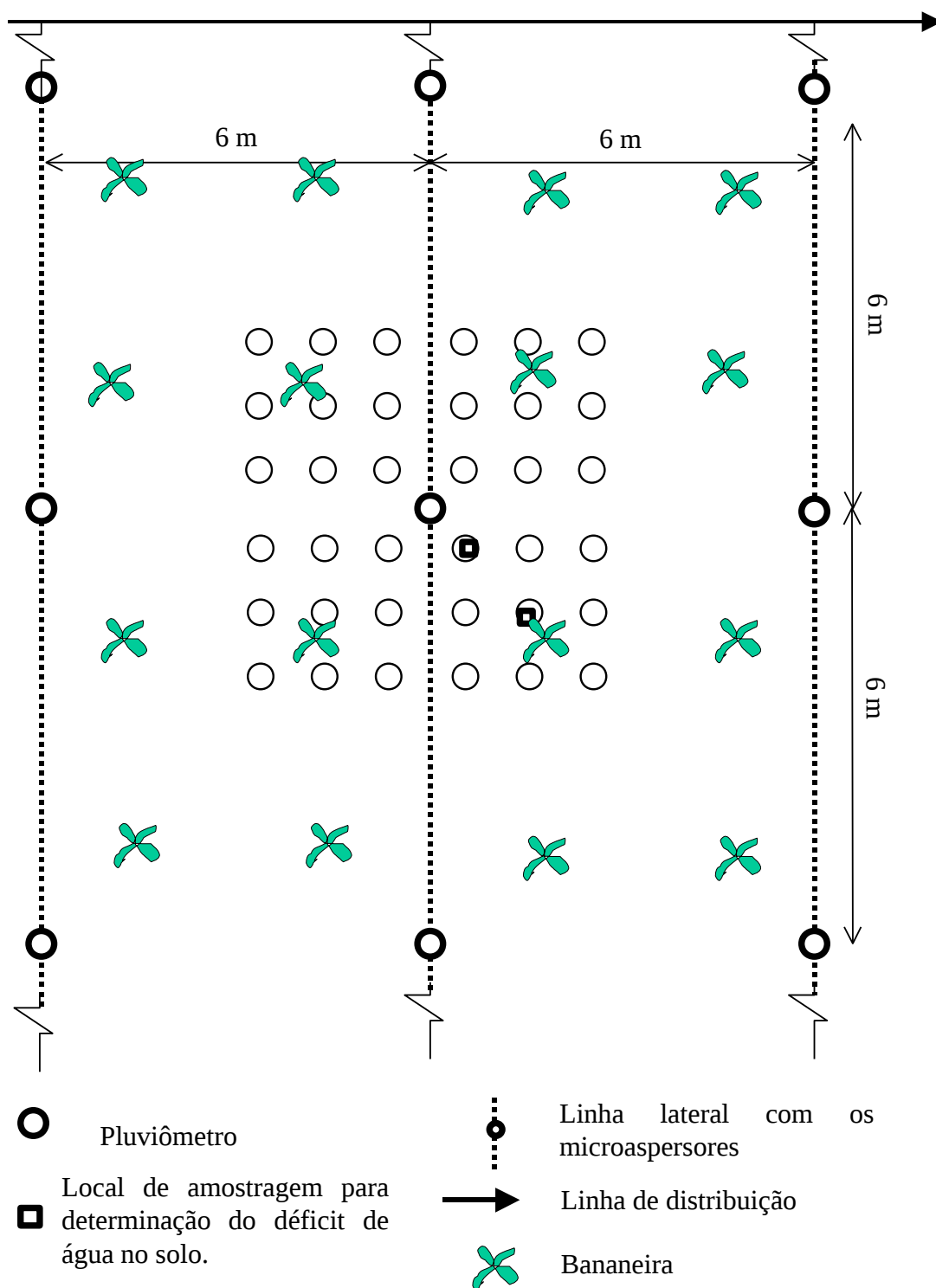


Figura 5 – Esquema da metodologia dos coeficientes de uniformidade convencionais, utilizada nos sistemas por microaspersão.

Ao mesmo tempo em que se media a vazão do microaspersor, também foi medida a pressão dinâmica de funcionamento, utilizando um manômetro de Bourdon com agulha, o qual era inserido em uma tomada de pressão adaptada na linha lateral, sem interferir no funcionamento do microaspersor.

3.2.2.2. Eficiência do sistema

A metodologia adotada para determinação da eficiência de irrigação foi a mesma utilizada nos sistemas de irrigação por aspersão de tubo enterrado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Considerações gerais sobre os solos

Os solos predominantes no município de Araçuaí são assim distribuídos: os latossolos Vermelho-Amarelo, localizados nas chapadas; nos rebordos, os litossolos; nas depressões, os podzólicos mais os cambissolos eutróficos; e, nas planícies fluviais, os aluviais eutróficos. Os solos das áreas avaliadas possuem classificação textural argilosa (23% de areia, 32% de silte e 45% de argila, em média).

Os parâmetros físico-hídricos dos solos avaliados nas profundidades estudadas, referentes a capacidade de campo (Cc), ponto de murcha (Pm), % em peso e massa específica (ρ), em g.cm^{-3} , estão apresentados nos Quadros 1 a 4. Observa-se que a capacidade de campo variou de 18,8 a 21,0% para o solo da área irrigada por aspersão e de 22,8 a 24,0% para o solo da área irrigada por microaspersão. O ponto de murcha variou de 10,6 a 11,5% e de 13,2 a 13,3% para as áreas com aspersão e microaspersão, respectivamente, caracterizando solos de média capacidade de retenção de água. Pode-se observar que a média percentual de disponibilidade de água nesses solos está em torno de 10% do seu peso.

Quadro 1 – Valores de massa específica do solo (ρ) para os pontos avaliados no sistema de aspersão convencional fixo

Local	Prof.	ρ	ρ médio
	(cm)	(g.cm ⁻³)	
P 1	0-20	1,35	1,39
		1,45	
		1,37	
P 2	0-20	1,26	1,40
		1,51	
		1,44	

Quadro 2 – Valores de umidade (% em peso) em função da tensão de água no solo, para os pontos avaliados no sistema de irrigação por aspersão

Local	Profundidade	Tensão (bar)					
	(cm)	0,1	0,3	1,0	3,0	5,0	15,0
P 1	0-20	25,3	21,0	15,3	13,0	11,9	10,7
	20-40	25,7	18,8	14,9	12,4	11,5	10,6
P 2	0-20	27,0	20,0	15,6	13,4	12,4	11,5
	20-40	24,4	19,8	14,6	13,3	12,7	11,4

Quadro 3 – Valores de massa específica do solo (ρ) para os pontos avaliados no sistema de irrigação por microaspersão em diferentes profundidades

Local	Prof. (cm)	ρ (g.cm ⁻³)	ρ médio
P 1	0-20	1,05	1,15
		1,15	
		1,16	
	20-40	1,20	
		1,18	
		1,17	
P 2	0-20	1,08	1,15
		1,18	
		1,18	
	20-40	1,21	
		1,10	
		1,17	

Quadro 4 – Valores de umidade (% em peso) em função da tensão de água no solo, para os pontos avaliados no sistema de irrigação por microaspersão

Local	Profundidade (cm)	Tensão (bar)					
		0,1	0,3	1,0	3,0	5,0	15,0
P 1	0-20	30,2	24,0	18,6	16,2	15,3	13,3
	20-40	31,2	26,3	18,5	16,1	14,8	13,3
P 2	0-20	28,6	23,3	17,5	15,6	14,3	13,2
	20-40	27,6	22,8	17,2	15,4	14,3	13,2

Os solos argilosos, franco-argilosos e franco-siltosos apresentam massa específica variando de 1,00 a 1,40 g. cm⁻³ (PREVEDELLO, 1996), com os solos avaliados apresentando valores de massa específica variando de 1,05 a 1,44 g.cm⁻³ (Quadros 1 e 3), mostrando, assim, estarem dentro da faixa esperada, o que indica baixo grau de compactação e boa estruturação, estando este parâmetro também relacionado com a disponibilidade de água para as plantas.

Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas as curvas características de retenção de água; observa-se que o comportamento do solo é parecido com o de um solo arenoso, caracterizando a boa estruturação deste.

4.2. Manejo da irrigação

Os resultados referentes ao manejo da irrigação dos sistemas de aspersão convencional e localizada são apresentados no Quadro 5.

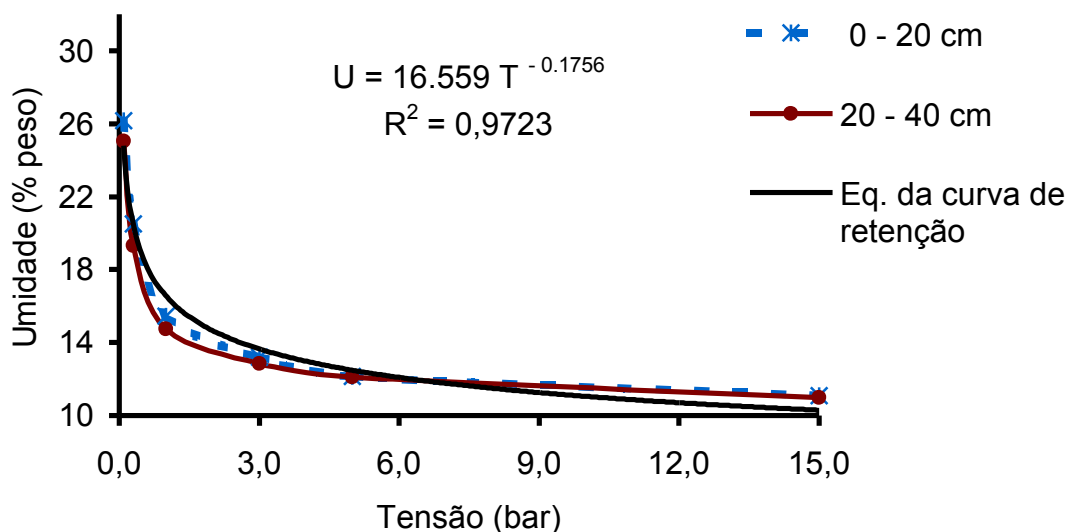


Figura 7 – Curva de retenção de água no solo, para os pontos avaliados na área com aspersão convencional fixa de tubos enterrados.

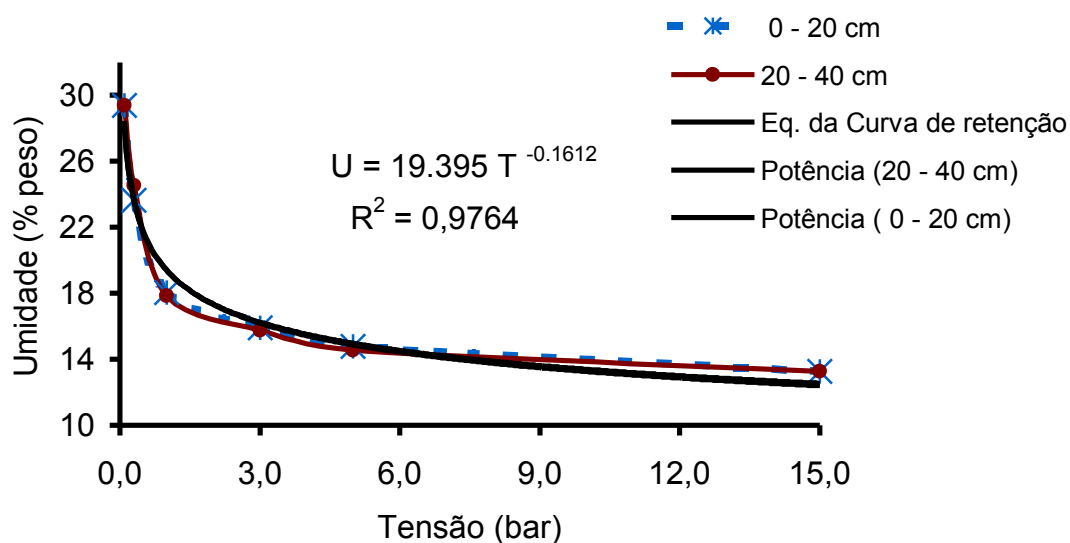


Figura 8 – Curva de retenção de água no solo para os pontos avaliados na área com sistema de irrigação por microaspersão.

Quadro 5 – Valores de capacidade de campo (Cc), ponto de murcha permanente (Pp), umidade atual (Ua), massa específica (ρ), profundidade do sistema radicular (Z), umidade mínima (Umin), déficit normal de irrigação ou irrigação real necessária (IRN), lâmina média aplicada (Lm), déficit atual em mm (Da) e déficit atual em % (Da)

Sistema	Aspersão Convencional Fixa			Microaspersão		
Local	Ponto 1	Ponto 2	Média	Ponto 1	Ponto 2	Média
Cc (%)	21,00	20,0	20,5	23,70	24,50	24,10
Pm (%)	10,70	11,5	11,1	13,30	13,20	13,20
ρ (g.cm ⁻³)	1,39	1,4	1,4	1,15	1,15	1,15
Z (mm)	200,00	200,0	200,0	200,00	200,00	200,00
Umin (%)	14,80	14,9	14,8	20,00	20,50	20,20
Ua (%)	14,90	13,6	14,3	20,70	20,00	20,30
Déficit normal ou IRN (mm)	17,30	14,3	15,8	8,40	9,10	8,70
Lm (mm)	14,00	12,4	13,2	6,00	5,90	6,00
Da (mm)	17,00	17,9	17,4	6,90	10,30	8,60
Da (%)	55,00	75,0	65,0	29,00	35,00	32,00

4.2.1. Irrigação por aspersão convencional

Observa-se que, em média, o déficit de água no solo no sistema de irrigação por aspersão era de 65%, correspondente a 17,4 mm. De acordo com CARVALHO (1998), para o abacaxi é adotado um fator de disponibilidade de água entre 0,3 e 0,7. Segundo classificação proposta por DOORENBOS e KASSAN (1994), o abacaxi pertence ao grupo de culturas 3; dessa forma, a irrigação deveria ser feita quando f fosse no máximo igual a 0,6, considerando as condições locais, ou seja, quando a cultura consumisse 60% da água total disponível. Logo, para condições de campo, pode-se dizer que o manejo foi correto quanto à hora de irrigar.

Por outro lado, a lâmina de água aplicada ao solo foi somente de 13,2 mm, enquanto o déficit atual era de 17,4 mm. Como não havia nenhuma expectativa de chuva naquela época, pode-se afirmar que, quanto à lâmina aplicada, o manejo não foi correto, ou seja, a irrigação foi deficiente. Entretanto, isso pode não afetar a cultura, pois a umidade do solo ficou entre a umidade mínima recomendada (14,8%) e a capacidade de campo. Esse resultado também pode ser observado analisando o perfil de distribuição de água entre quatro aspersores, apresentado nas Figuras 9 e 10 para os pontos 1 e 2, respectivamente. Observa-se, nos dois pontos, que o déficit de água no solo foi ligeiramente maior que o déficit normalmente recomendado e que a percentagem de área adequadamente irrigada, área em que a lâmina coletada foi maior que o déficit atual de água no solo, foi de aproximadamente 30% no ponto 1 e 18% no ponto 2, caracterizando uma irrigação deficiente.

4.2.2. Irrigação localizada

De acordo com DOORENBOS e KASSAN (1994), para a banana é adotado um fator de disponibilidade de água entre 0,22 e 0,67. Segundo classificação proposta por estes autores, a banana pertence ao grupo de

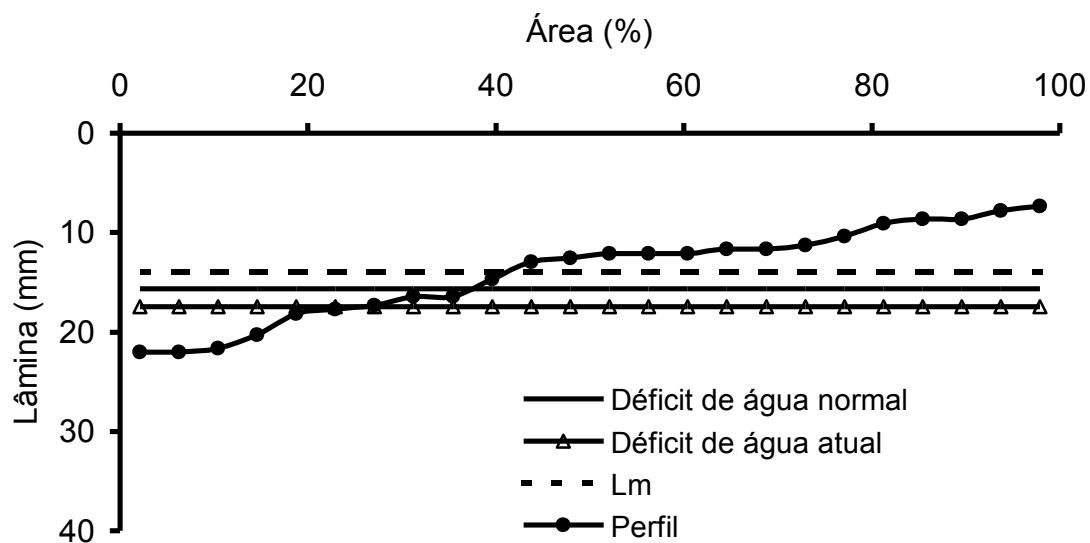


Figura 9 – Lâmina do ponto 1 coletada nos pluviômetros, no teste do aspersor 6 C, lâmina média e déficit de água no solo em função da percentagem de área irrigada entre quatro aspersores.

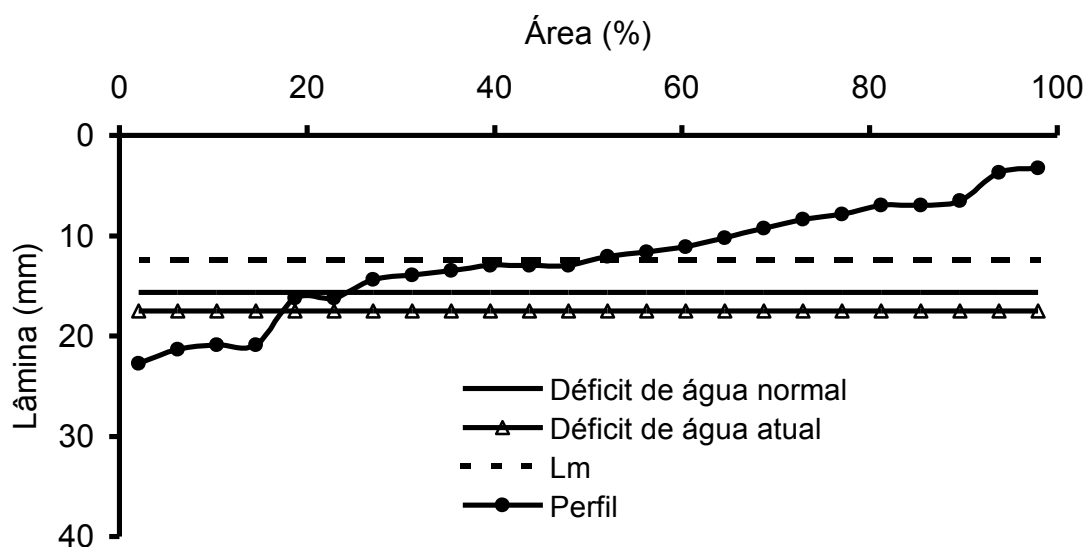


Figura 10 – Lâmina do ponto 2 coletada nos pluviômetros, no teste do aspersor 3D, lâmina média e déficit de água no solo em função da percentagem de área irrigada entre quatro aspersores.

culturas 2; dessa forma, a irrigação deveria ser feita quando f fosse no máximo igual a 0,35, para as condições locais, ou seja, quando a cultura consumir 35% da água total disponível, que corresponde, em média, a uma irrigação real necessária de 8,7 mm e a uma umidade mínima de 20,2% (Quadro 5). Observa-se que a irrigação foi feita quando o déficit de água no solo era de 8,6 mm, correspondente à umidade atual do solo de 20,3%, caracterizando um manejo adequado quanto à hora de irrigar. Por outro lado, como a lâmina média de água coletada foi de 5,9 mm, seriam necessários 8,7 mm para elevar a umidade do solo para a capacidade de campo, caracterizando um manejo incorreto quanto à lâmina de água aplicada. Como na aspersão convencional, esse procedimento pode não afetar o desenvolvimento da cultura, desde que a irrigação subsequente seja feita na hora recomendada.

Os perfis de distribuição de água em torno do microaspersor nos pontos 1 e ponto 2 são apresentados nas Figuras 11 e 12, respectivamente, assim como o déficit de água atual e a lâmina média aplicada. Observa-se que a lâmina média coletada foi menor que o déficit atual de água no solo, como mencionado anteriormente.

4.3. Uniformidade

Os resultados da uniformidade de distribuição para os sistemas de irrigação localizada e por aspersão são apresentados no Quadro 6.

4.3.1. Irrigação por aspersão convencional

Observa-se que o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para o sistema de irrigação por aspersão, foi de 72,7% e 65,9%, para os aspersores do ponto 1 e ponto 2, respectivamente, estando, portanto, abaixo de 80%, valor recomendado para este sistema. Os valores do coeficiente de distribuição (CUD) também apresentaram-se baixos: 63,8% e 47,49%, para os

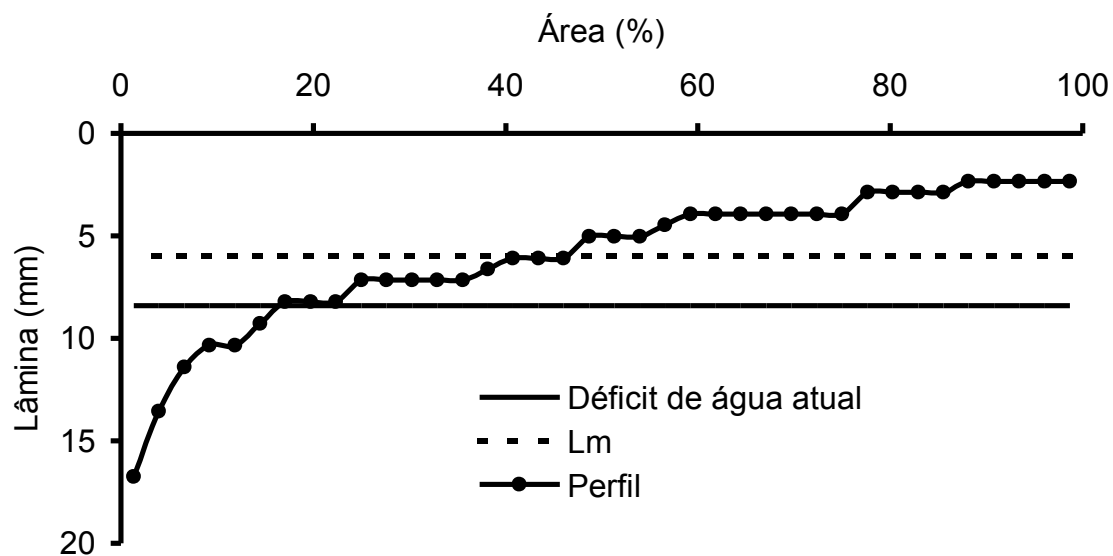


Figura 11 – Lâmina coletada nos pluviômetros, no teste do microaspersor 1, lâmina média e déficit de água no solo em função da percentagem de área irrigada pelo microaspersor.

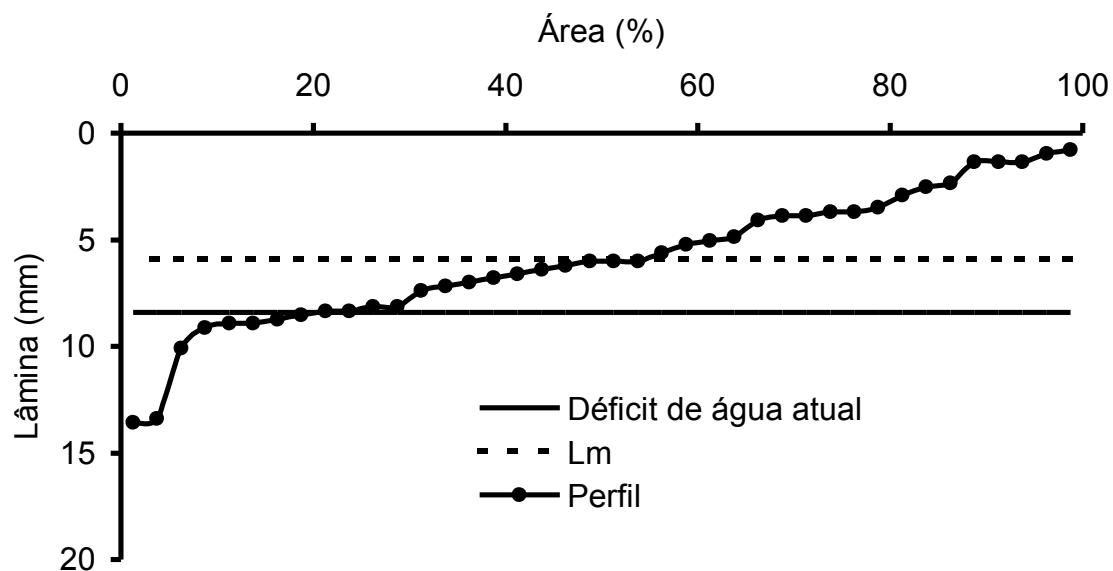


Figura 12 – Lâmina coletada nos pluviômetros, no teste do microaspersor 2, lâmina média e déficit de água no solo em função da percentagem de área irrigada pelo microaspersor.

Quadro 6 – Valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen convencional (CUC) e do sistema (CUCs) e de distribuição convencional (CUD) e do sistema (CUDs), para os sistemas avaliados de aspersão convencional fixa de tubos enterrados e microaspersão

Sistema	Aspersão Convencional Fixa			Microaspersão		
Local	Ponto 1	Ponto 2	Média	Ponto 1	Ponto 2	Média
CUC (%)	72,7	65,9	69,3	-	-	-
CUCs (%)	67,7	67,7	67,7	93,1	91,8	92,5
CUCsis (%)*	66,0	66,0	66,0	-	-	-
CUD (%)	63,1	47,5	55,3	-	-	-
CUDs (%)	53,4	53,4	53,4	89,0	88,8	88,9

* CUC sis = 100 (1-cv).

pontos 1 e 2, respectivamente. A baixa uniformidade ocorreu principalmente devido ao espaçamento entre aspersores utilizado (18 x 24 m); apesar de recomendado pelo fabricante, este espaçamento não promove adequada sobreposição dos jatos dos aspersores. Isso pode ser comprovado analisando-se o Quadro 7, em que são apresentados os coeficientes de uniformidade para espaçamentos menores. Observa-se que o espaçamento de 12 x 18 m seria recomendado para que o CUC atingisse praticamente 80%; entretanto, essa solução não é viável, uma vez que o sistema é fixo, ficando onerosa a modificação do espaçamento.

O vento é outro fator interferente na uniformidade do sistema, sendo observadas, em caso de ventos mais fortes, parcelas da área que não recebiam água, aumentando ainda mais a desuniformidade. Observa-se maior interferência no caso do aspersor 3D, uma vez que o terreno onde ele está localizado apresenta maior declividade (18%), comparado ao local do aspersor 6C (10%). A velocidade do vento durante a realização dos testes foi de 1,4 m/s, medida numa

Quadro 7 – Valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para o espaçamento em que foi montado o sistema de aspersão convencional fixo de tubos enterrados, e valores para espaçamentos menores

Sistema	Aspersão Convencional Fixa de Tubos Enterrados					
Aspersor	6 C			3 D		
Espaçamento	18 x 24	18 x18	12 x18	18 x 24	18 x 18	12 x 18
CUC (%)	72,69	76,70	79,70	64,68	77,6	79,7

estação climatológica automática localizada numa parte mais alta, a aproximadamente 1.000 m da área de teste. Pode ser que na área de teste a velocidade fosse maior que 1,4 m/s.

O coeficiente de uniformidade do sistema (CUCsis) e o coeficiente de uniformidade estimado do sistema foram de 66,0 e 67,7%, respectivamente, apesar do baixo coeficiente de variação da pressão de operação dos aspersores do sistema, que foi de 4,8%. Logo, pode-se dizer que o sistema está hidraulicamente bem dimensionado e os baixos valores de uniformidade apresentados são devidos ao espaçamento entre aspersores, à interferência do vento e à declividade da superfície do solo acentuada.

4.3.2. Irrigação localizada

O coeficiente de uniformidade do sistema (CUCs), calculado pela equação 3, apresentou valores de 93,1 e 91,8% para as unidades 2 e 4, respectivamente (Quadro 6), que está acima de 90%, sendo considerado excelente, segundo a classificação da ABNT. Para o coeficiente de distribuição do sistema, os valores encontrados foram de 89,0 e 88,8%, para as duas unidades avaliadas, demonstrando seu maior rigor em relação ao coeficiente de Christiansen.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), considerando as lâminas de água coletadas em torno do microaspersor, foi de 64,7% e 59,0%, para os pontos 1 e 2, respectivamente. Esses baixos valores já eram esperados, uma vez que não há sobreposição nesse sistema. Os valores do coeficiente de distribuição (CUD) também se apresentaram baixos: 58,2% e 36,5%. Ressalta-se que esta uniformidade não é importante, pois a irrigação é localizada. Entretanto, torna-se importante o volume de água que é aplicado por quadrante, uma vez que um microaspersor irriga quatro plantas e está localizado no centro delas. Considerando esse aspecto, obtiveram-se os valores médios de distribuição de 22, 24, 25 e 29% do volume aplicado pelo microaspersor, para o primeiro, segundo, terceiro e quarto quadrantes, respectivamente.

ALMEIDA (1997) utilizou para este cálculo o coeficiente de uniformidade ajustado (CUCajustado), que considera o volume de água aplicado por quadrante, uma vez que a planta distribui seu sistema radicular espacialmente.

4.4. Parâmetros de desempenho

Os parâmetros de desempenho para os sistemas de irrigação localizada e por aspersão são apresentados no Quadro 8.

4.4.1. Irrigação por aspersão convencional

As pressões de funcionamento e vazões dos aspersores são fatores que influenciam o desempenho da eficiência dos sistemas de irrigação, visto que a operação incorreta destes provoca variações que irão refletir na lâmina de irrigação útil para a cultura. No Quadro 1G encontram-se os dados de campo referentes a posição em que se encontra, cota, marca, modelo, diâmetro do bocal, pressão de funcionamento, vazão e rotação de cada aspersor do sistema. Com relação à pressão, verifica-se variação entre 260 e 320 kPa para todo o sistema,

Quadro 8 – Resultados dos parâmetros de avaliação da eficiência de irrigação para os sistemas avaliados: pressão média (Pmed), pressão de projeto (Pproj), vazão média (Qmed), vazão de projeto (Qproj), coeficiente de déficit (Cd), eficiência de armazenamento (Es), perda por evaporação e arraste pelo vento (Pea), velocidade do vento (Vv), evapotranspiração de referência (ETo), coeficiente da cultura (Kc), evapotranspiração da cultura (ETc), eficiência de aplicação (Ea), perda por percolação (Pp), eficiência potencial de aplicação estimada (Epa), eficiência de distribuição para uma área adequadamente irrigada (ED_{AD}), eficiência de irrigação (Ei), eficiência de condução (Ec), percentagem de área molhada (Pam) e eficiência da bomba (E_{bomba})

SISTEMA	Aspersão Convencional Fixa			Microaspersão		
LOCAL	Ponto 1	Ponto 2	Média	Ponto 1	Ponto 2	Média
Pmed (kPa)	280	280	280	166	172	169
Pproj (kPa)	300	300	300	150	150	150
Qmed (L.h ⁻¹)	2340,0	2310,0	2325,0	52,0	52,8	52,4
Qproj (L.h ⁻¹)	2300,0	2300,0	2300,0	53,0	53,0	53,0
Cd (%)	25,8	33,0	29,4	35,4	33,7	34,5
Es (%)	75,8	67,0	71,4	64,5	66,2	63,4
Pea (%)	14,0	23,8	18,9	1,5	1,8	1,6
Vv (m.s ⁻¹)	1,40	1,40	1,40	0,60	0,60	0,60
ETo (mm.dia ⁻¹)	6,09	6,09	6,09	5,98	5,98	5,98
Kc	0,53	0,53	0,53	1,00	1,00	1,00
ETc (mm.dia ⁻¹)	3,22	3,22	3,22	5,98	5,98	5,98
Ea (%)	81,5	72,0	76,8	89,1	92,2	90,7
Pp (%)	3,8	2,8	3,3	9,3	5,9	7,6
Epa (%) **	97,9	97,8	97,8	98,0	98,0	98,0
Epa (%)	85,9	76,1	81,0	98,5	98,1	98,3
ED _{AD} * (%) **	71,4	64,3	67,85	88,7	86,6	88,6
ED _{AD} * (%)	65,0	56,1	60,2			
Ei _{AD} (%) **	69,2	62,3	65,7	86,9	84,9	85,65
Ei _{AD} (%)	55,8	42,7	49,2	87,4	84,9	86,1
Ec (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pam (%)	100,0	100,0	100,0	78,5	78,5	78,5
E _{bomba} (%)	47,8	47,8	47,8	42,7	42,7	42,7

* AD = 80% para abacaxi e 90% para banana.

** Valores estimados.

correspondente a uma variação de 21% da pressão média de 285 kPa, sendo recomendada uma variação de 20% nesses sistemas. Logo, a variação de pressão está praticamente dentro do recomendado. Já para os aspersores que funcionam ao mesmo tempo, os que estão agrupados juntos no Quadro 1G, observa-se menor variação de pressão.

A vazão total de cada grupo de aspersores que funcionam simultaneamente apresenta-se variando de 15,80 a 16,89 m³.h⁻¹, sendo a maior variação (4,91%) em relação à do projeto (16,10 m³.h⁻¹). Já, individualmente, os aspersores apresentam vazões entre 2,13 e 2,59 m³.h⁻¹, estando estas (7,4 e 12,6%), respectivamente, abaixo e acima da vazão de projeto (2,3 m³.h⁻¹).

4.4.2. Irrigação localizada

No Quadro 2G são apresentados os dados de campo referentes a posição em que se encontram os microaspersores avaliados, pressão de funcionamento e vazão. Observa-se que a pressão variou de 130 a 200 kPa, média de 166 kPa, para a unidade 2, e de 132 a 210 kPa, média de 172 kPa, para a unidade 4. A variação de pressão, em relação à média, foi de 42% na unidade 4 e de 45% na unidade 1, estando acima dos 30% recomendados na literatura. As duas unidades estão trabalhando com uma pressão acima da de projeto, que foi de 150 kPa. Pode-se verificar também que as variações de pressão são maiores de uma linha lateral para outra, devido ao fato de as linhas de derivação estarem no sentido da maior declividade. Ao longo da linha lateral, a variação é menor, pelo fato de as linhas estarem acompanhando as curvas de nível. Este problema pode ser resolvido utilizando uma válvula reguladora de pressão no início da linha de derivação, que pode ser automática ou não.

A vazão média dos emissores foi de 52,0 e 52,8 L/h, para as unidades 2 e 4, respectivamente, com valor médio de 52,8 L/h (Quadro 2G), enquanto a vazão de projeto foi de 53,0 L/h (Quadro 8).

A eficiência de distribuição para 80% da área adequadamente irrigada (ED_{80}) foi de 60,2%, em média, para o sistema de aspersão, enquanto a estimada foi de 67,8% (Quadro 8). Portanto, a metodologia de KELLER e BLIESNER (1990) superestimou a eficiência de distribuição, possivelmente devido ao fato de estes autores terem considerado a distribuição dos valores de precipitação como normal. Como pode ser visto nas Figuras 10 e 11, o perfil de distribuição de água tem tendência linear e não normal. Para a microaspersão, trabalhou-se com ED_{90} , ou seja, assumindo 90% de área adequadamente irrigada, e o valor estimado foi de 88,6%, em média. O valor real não tem sentido em microaspersão, uma vez que o sistema não molha 100% da área.

As eficiências de armazenamento foram, em média, de 71,4 e 63,4%, enquanto os coeficientes de déficit foram de 29,4 e 34,5%, para os sistemas de irrigação por aspersão e localizada, respectivamente, caracterizando uma irrigação deficiente, como já havia sido detectado na análise do manejo da irrigação quanto à quantidade de água aplicada.

A área adequadamente irrigada (AD), para efeito de projeto, recomendada para a cultura da banana, é de 90%, em função do seu valor de mercado, porém foi encontrada no campo uma AD de aproximadamente 25% (Figuras 12 e 13). Já para o abacaxi, considerou-se, para efeito de projeto, uma AD de 80%, enquanto os valores reais no campo foram de aproximadamente 20% (Figuras 10 e 11). Esses resultados caracterizam mais uma vez a condição de irrigação deficiente.

A eficiência potencial de aplicação (E_{pa}) e a perda por evaporação e arrastamento pelo vento (P_{ea}) foram de 81,0 e 19,0% em média, respectivamente, enquanto os valores estimados utilizando a metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990) foram de 97,8 e 2,2%, em média (Quadro 8). Observa-se que E_{pa} foi superestimada, enquanto P_{ea} foi subestimado, pela metodologia usada. Um dos fatores que pode ter contribuído para isso é o fato de a velocidade do vento, de 1,4 m/s, ter sido medida numa estação climatológica localizada aproximadamente a 1.000 m de distância da área de teste. Entretanto, acredita-se que a velocidade do vento na área de teste tenha

sido superior. VARGAS (1990), trabalhando no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, encontrou P_e de até 35%.

Para o sistema de microaspersão, a eficiência potencial de aplicação e a perda por evaporação e arrastamento pelo vento foram de 98,3 e 1,6%, em média; já os valores estimados foram de 98,0 e 2,0%. Observa-se que, aqui, a metodologia de KELLER e BLIESNER representou bem os valores reais.

As perdas por percolação (P_p) foram, em média, de 3,4 e 7,6% para os sistemas de irrigação por aspersão e localizada, respectivamente. Logicamente estes baixos valores se devem à irrigação deficiente em ambos os sistemas (Quadro 8).

A eficiência de aplicação (E_a) foi de 76,8% e 90,7%, em média, para os sistemas de aspersão e localizada, respectivamente. Ambos os sistemas são fixos, não tendo sido observado nenhum vazamento; logo, a eficiência de condução foi de 100% e, conseqüentemente, a eficiência de irrigação é igual a eficiência de aplicação, ou seja, 76,8% e 90% para os sistemas de irrigação por aspersão e localizada, respectivamente. Como geralmente ocorre na prática, a eficiência no sistema de irrigação localizada foi maior que no sistema de irrigação por aspersão. Observa-se que o fator preponderante para a baixa eficiência do sistema de irrigação por aspersão foi a alta perda por evaporação e arrastamento pelo vento.

As eficiências de irrigação para área adequadamente irrigada ($E_{i_{80}}$), para o sistema de irrigação por aspersão, foram de 55,8 e 42,7%, para os pontos 1 e 2, respectivamente, com valor médio de 49,3%. Observa-se aqui a importância da repetição num teste de avaliação, devido à grande variabilidade dos parâmetros de desempenho de um teste para outro. Os valores estimados para $E_{i_{80}}$ foram de 65,0 e 56,1%, para os pontos 1 e 2, com média de 60,2%; logicamente, já se esperava que esses valores fossem maiores que os valores reais, devido ao fato de a metodologia de KELLER e BLIESNER (1990) ter superestimado a eficiência de distribuição, conforme discutido anteriormente. Para a irrigação localizada, o valor de $E_{i_{90}}$ foi de 86,2%, em média, enquanto o valor estimado foi de 85,6%.

Ressalta-se a diferença entre os valores médios de eficiência de irrigação (E_i) e eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada (E_{i80}), para o sistema de irrigação por aspersão, os quais foram de 76,8 e 49,3%, respectivamente, demonstrando que o segundo parâmetro penaliza o sistema, devido à baixa uniformidade de aplicação de água ($CUCs = 67,7\%$, Quadro 6) e baixa eficiência de armazenamento ($E_s = 71,4\%$, Quadro 8).

Considerando o rendimento do motor Weg tipo padrão, com potência de 10 e 7,5 cv a 100% de carga, igual a 85,8% e 85,2% respectivamente, conforme o fabricante, encontraram-se os rendimentos para as bombas de 47,8 e 42,7%, para os sistemas de aspersão e localizada, respectivamente (Quadro 8), caracterizando a necessidade de ajustes nos sistemas de bombeamento. Em virtude da variação do nível da água da barragem de até 6 m, deve-se considerar a mudança na altura manométrica total, o que causa modificação no rendimento da bomba.

Os resultados, de modo geral, demonstram a importância de se avaliar o sistema de irrigação após sua montagem, para fazer os devidos ajustes, visto que os valores reais de eficiência podem ser diferentes daqueles estimados na elaboração do projeto.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado em janeiro e fevereiro de 1998, com o objetivo de avaliar um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo com tubos enterrados e outro com irrigação localizada por microaspersão, que fazem parte do Projeto Uso Racional de Energia na Agricultura, executado no município de Araçuaí – MG, localizado na região do Médio Jequitinhonha. Foram determinados os parâmetros físico-hídricos do solo e os parâmetros de desempenho correspondentes a uniformidade de aplicação de água e eficiência de irrigação e eficiência de bombeamento.

Os resultados permitiram as seguintes conclusões:

- Nas avaliações, as irrigações foram realizadas no momento certo nos dois sistemas; entretanto, as lâminas aplicadas foram insuficientes para elevar a umidade à capacidade de campo, nos dois sistemas.
- Os valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen encontrados foram inferiores a 75% para a aspersão convencional e superiores a 90% para a microaspersão, e os coeficientes de uniformidade de distribuição foram inferiores a 65% para a aspersão convencional e superiores a 88% para a microaspersão.
- A perda por percolação profunda foi pequena nos dois sistemas avaliados.

- As eficiências potenciais de aplicação foram de 81 e 98%, e as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento foram de 18,9 e 1,6%, para a aspersão convencional e a microaspersão, respectivamente.
- As eficiências de condução foram de 100% nos dois sistemas, não tendo sido constatado nenhum vazamento.
- O cálculo da eficiência baseado na metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990) superestimou os valores da eficiência potencial de aplicação e subestimou a perda por evaporação e arrastamento pelo vento.
- A eficiência de aplicação foi de 76,8% para a aspersão convencional e de 90,7% para a microaspersão.
- A eficiência das bombas foi de 47,8% para o sistema de aspersão convencional e de 42,7% para o sistema de microaspersão.

CAPÍTULO 2

MANEJO DE IRRIGAÇÃO UTILIZANDO O SISDA NA REGIÃO DE ARAÇUAÍ – MG

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma técnica milenar que nos últimos anos vem se desenvolvendo acentuadamente, apresentando equipamentos e sistemas disponíveis para as mais distintas condições.

A história ensina que a irrigação sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e, conseqüentemente, de segurança. Assim, as grandes aglomerações que há mais de 4.000 anos fixaram-se às margens dos rios Huang Ho e Iang-tse-Kiang, no vasto império da China; Nilo, no Egito; Tigre e Eufrates, na Mesopotâmia; e Ganges, na Índia, surgiram e se conservaram graças à utilização eficiente de seus recursos hídricos (MANTOVANI e SOARES, 1998).

A irrigação suplementar aplicada sistematicamente pode proporcionar melhoria na qualidade do produto e aumento da produtividade, pois permite manter a umidade do solo em patamares próximos do ideal para o perfeito desenvolvimento das culturas em todas as fases de seu ciclo e a obtenção de mais

de uma colheita por ano, além de permitir a programação da época de colheita, para obtenção de melhores preços na comercialização e redução do risco, visando a produção de culturas de maior retorno econômico, como é o caso da fruticultura e olericultura.

É importante destacar que a utilização racional da irrigação, promovendo o incremento da produtividade do trabalho da mão-de-obra rural, é o ponto de partida essencial em direção ao progresso, colocando de pé um dos importantes pilares do desenvolvimento de uma comunidade, região ou país; portanto, o manejo adequado da água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro de um contexto de um sistema integrado. Deve-se considerar também o compromisso com a produtividade da cultura explorada, sem o desperdício da água, que contribui para a conservação do meio ambiente.

Dentro desse contexto, e considerando a necessidade de uma utilização mais eficiente da água, uma vez que ela é essencial à sobrevivência humana, o Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), com o apoio da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), do Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), desenvolveu um sistema informatizado especialista, denominado SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola), voltado para o monitoramento de áreas irrigadas, visando dar sustentabilidade à irrigação em áreas agrícolas, possibilitando o uso mais eficiente dos recursos hídricos e racionalizando o uso da água em lavouras irrigadas.

A concepção do sistema considera alguns aspectos fundamentais, quais sejam: ele é de fácil comunicação e interação com o usuário, porém não perde o rigor científico e a praticidade na utilização, tanto do ponto de vista do manuseio do programa quanto das informações, dos resultados e dos serviços. Considera também o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, com visão ampla dos aspectos água, solo, clima, planta e sistema de irrigação.

A análise do atual manejo da irrigação indica grande carência de resultados, muitas vezes proporcionada pelas dificuldades de atuação dos

técnicos, que não dispõem de instrumental necessário para tomar decisões de forma simples, rápida e com base científica. O SISDA tem todos os dispositivos para auxiliar este processo, pois integra as informações, facilitando tomada de decisão.

Este sistema começou a ser desenvolvido recentemente e, de maneira geral, visa atender a todas as regiões do Brasil. Se a agricultura brasileira apresenta grande diversidade tecnológica, social e ambiental, seria de grande importância e se faz necessário testá-lo em condições de campo, utilizando informações regionais para verificação de seu desempenho. A região do Vale do Jequitinhonha, sobretudo a microrregião de Araçuaí, é vista hoje como uma área de grande potencial para irrigação, principalmente quando se trata de fruticultura irrigada, uma vez que apresenta condições climáticas favoráveis, disponibilidade de mão-de-obra, energia e recursos hídricos suficientes, desde que bem aproveitados, levando em conta a regularização da vazão do rio Jequitinhonha, com a construção da hidrelétrica de Irapé e a já construída barragem do Calhauzinho, no rio Calhauzinho.

O desenvolvimento da irrigação na região pode não só incrementar o volume da produção agrícola, como também trazer benefícios sociais para o Vale do Jequitinhonha, que é uma das regiões mais carentes do Estado de Minas Gerais.

O presente trabalho teve por objetivos:

- Utilizar o SISDA para fazer o manejo de irrigação pelo método do balanço de água no solo, na região de Araçuaí.
- Avaliar o desempenho do SISDA para fins de manejo de irrigação na região de Araçuaí.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Métodos de manejo de irrigação

Segundo HEERMANN (1988), a maioria dos antigos sistemas de irrigação eram dimensionados com base na experiência dos agricultores e manejados em função de critérios de visualização da umidade do solo nas áreas de cultivo. Já o dimensionamento de novos projetos, incluindo sistemas de condução, distribuição e fornecimento de água, deve ser baseado em estimativas diárias ou semanais, correspondentes aos períodos críticos da evapotranspiração. A lâmina líquida de irrigação a ser aplicada é função da evapotranspiração, bem como da precipitação provável, a qual é definida como a precipitação que tem determinado nível de probabilidade de ocorrência (BERNARDO, 1995). Estimativas mensais ou sazonais da evapotranspiração podem também ser utilizadas no cálculo de volume de reservatórios necessários, em algumas situações.

Qualquer que seja o problema em questão, torna-se necessária a implantação de um programa racional de utilização e manejo dos recursos naturais, principalmente água e solo. Segundo SOUZA (1993), a eficiência de um sistema de irrigação está diretamente relacionada com o seu manejo, e este consiste em técnicas que possibilitem o fornecimento adequado de água às

culturas, em quantidade e qualidade, no momento oportuno, considerando os aspectos econômicos, sociais e ecológicos.

BERNARDO (1995) afirma que o manejo deficiente e a falta de drenagem têm sido as principais causas do baixo desempenho da maioria dos projetos de irrigação no Brasil.

O manejo da cultura irrigada, necessário para o bom desenvolvimento de uma atividade rentável, é altamente dependente do acompanhamento da umidade do solo. Para isso, deve-se conhecer o quanto de água o perfil do solo pode armazenar para ser utilizado pela planta. A disponibilidade e a capacidade de retenção de água de um solo podem ser determinadas conhecendo-se a espessura do perfil correspondente à profundidade efetiva das raízes e os parâmetros do solo relacionados com a umidade: capacidade de campo e ponto de murcha. O manejo da umidade do solo depende, basicamente, da capacidade de retenção de água deste solo, da quantidade de água armazenada e necessária à cultura, do tempo de irrigação, da intensidade e do método de aplicação e da eficiência de aplicação.

De acordo com MANTOVANI e SOARES (1998), o manejo correto da irrigação envolve três etapas distintas e complementares:

- definição correta das datas e das lâminas de água a serem aplicadas;
- definição das metas de eficiência de aplicação de água para o sistema e ajuste do funcionamento deste para atingir esses limites; e
- manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos e sistemas, para que tenham condições adequadas de funcionamento.

As características, o funcionamento e as potencialidades de um sistema de irrigação são aspectos que não podem ser negligenciados, pois eles têm influência no manejo, visto que cada sistema apresenta características próprias de aplicação de água.

Os métodos de programação de irrigação podem ser divididos em três grupos (MANTOVANI e SOARES, 1998; Salazar et al., 1987, citados por SOUZA, 1993):

- a) Os que se baseiam unicamente no conhecimento do estado hídrico do solo, ou seja, no manejo da água útil do solo e do nível de esgotamento máximo permitido. Neste método, são utilizados para monitoramento da umidade do solo equipamentos como: sonda de nêutrons, blocos de gesso, tensiômetros, etc.
- b) Os que se baseiam no conhecimento do estado hídrico da planta, seja da forma direta, como é o caso da câmara de tensão xilemática, ou indireta, através de sua temperatura como indicador do estresse hídrico.
- c) Os que se baseiam na variação do balanço hídrico do conjunto planta-solo-atmosfera. Esta variação pode ser feita em superfícies muito reduzidas, como é o caso dos lisímetros, ou em unidades maiores, parcelas ou zonas de irrigação com diferentes níveis de precisão.

O método do balanço de água no solo destaca-se dos demais em virtude da facilidade de simulação de rotinas computacionais.

Herrera (1987), citado por SOUZA (1993), afirma que o método do balanço de água aplicado à programação da irrigação é similar à contabilidade de uma conta bancária. Conhecendo-se o saldo de água armazenada em uma determinada camada de solo e as quantidades extraídas e acrescentadas em um dado período, pode-se facilmente calcular o novo saldo. Assim, criam-se condições para a decisão de quando e quanto irrigar.

Além da umidade do solo, que é um dos principais fatores que influenciam a produção das plantas, fatores como clima, água e planta influenciam a maximização da produção, parâmetro comumente procurado em qualquer atividade agrícola. Além disso, o manejo eficiente do sistema água-solo-planta pode também ser conseguido pela seleção de diferentes culturas, em diferentes épocas de plantio, a fim de maximizar (a ocorrência) o efeito natural da chuva ou de outros fatores climáticos.

De acordo com CHEN e KOCHER (1994), o manejo efetivo da agricultura depende da obtenção de informações precisas em um pequeno intervalo de tempo, sendo reconhecido como um importante elemento para a

obtenção de alta eficiência na utilização de insumos. Neste sentido, o monitoramento constante de áreas irrigadas, abrangendo estudos, observações contínuas e um perfeito controle quanto ao uso da água, torna-se de interesse de todos aqueles que atuam no campo da irrigação (ESPIPHANIO e VITORELLO, 1983).

2.2. Evapotranspiração

A evapotranspiração é o processo combinado pelo qual a água é transferida da superfície terrestre para a atmosfera; à evaporação da água da superfície molhada soma-se também a transpiração.

Os principais fatores que influenciam a quantidade de água requerida pelas plantas são os climáticos, as características das plantas, as práticas culturais e o teor de umidade do solo, sendo as principais técnicas para estimar o requerimento de água pelas plantas baseadas em dados climáticos. É, portanto, importante a obtenção de informações meteorológicas regionais confiáveis, visando as estimativas mais precisas da evapotranspiração e o melhor aproveitamento das precipitações naturais no dimensionamento de sistemas de irrigação (SEDIYAMA, 1996).

Sem restrições de umidade no solo, culturas diferentes, sujeitas à mesma condição climática, perdem diferentes quantidades de água em virtude da anatomia e fisiologia próprias, das diferenças de área foliar, do estágio fenológico, do sistema radicular, e outros (RAMOS, 1986).

A evapotranspiração pode ser determinada por meio de medidas diretas ou estimada a partir de modelos baseados na utilização de dados climáticos. No primeiro grupo estão os diferentes tipos de lisímetros e o método do balanço de água no solo, enquanto no segundo se colocam os modelos empíricos.

Os métodos diretos, embora forneçam as melhores estimativas da evapotranspiração, são de realização demorada, dispendiosos e de difícil execução no campo, razões pelas quais são normalmente utilizados para calibrar os métodos de segundo grupo. Tais dificuldades restringem a sua utilização às

instituições de pesquisa, sendo de uso muito limitado nas condições cotidianas de irrigação.

Alguns autores e agências de desenvolvimento trouxeram ao conhecimento público contribuições técnicas muito importantes no estudo do consumo de água pelas plantas. Dentre elas, a mais usual é a que utiliza a idéia original de Van Dick e de Vries (Pruitt, 1960, citado por MANTOVANI, 1993), que consiste em definir uma cultura de referência, cujo consumo (E_{To}) é uma medida da demanda evaporativa do ar. SMITH (1991) definiu a evapotranspiração de referência como aquela de uma cultura hipotética, com altura uniforme de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da cobertura ao transporte de vapor de água igual a 69 s.m^{-1} , o que representaria a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem falta de água.

DOORENBOS e PRUITT (1977) sugerem que, em regiões onde se dispõe de observações sobre temperatura, umidade, vento e horas de insolação forte e, ou, radiação, se empregue o método de Penman modificado.

O produto da E_{To} por um coeficiente de natureza empírica (k_c), específico para o cultivo de interesse, é uma estimativa da evapotranspiração de tal cultivo (DOORENBOS e PRUITT, 1977). Esta metodologia proporciona grande facilidade operacional e sua precisão depende de uma adequada eleição de k_c e da estimativa precisa da E_{To} . Com resultados práticos, DOORENBOS e PRUITT (1977) utilizaram essa metodologia, tornando-a fácil de ser implementada com tabelas e exemplos de aplicação.

A partir da década de 70, devido ao desenvolvimento acelerado dos recursos computacionais e de novas pesquisas conduzidas na área das relações solo-planta-água, a Food and Agriculture Organization (FAO) decidiu por uma revisão da metodologia proposta por DOORENBOS e PRUITT (1977). Numa primeira etapa, a nova proposta da FAO é a adoção do modelo de Penman-Monteith (equação 1) como método-padrão para estimativa da evapotranspiração de referência.

$$ET_0 = \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 273} u_2 (e_a - e_d) \quad (1)$$

em que

ET_0 = evapotranspiração de referência (mm por dia);

γ = coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

δ = declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

γ^* = coeficiente psicrométrico modificado ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$);

R_n = saldo de radiação à superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

G = fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

λ = calor latente de evaporação (MJ kg^{-1});

T = temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

$(e_a - e_d)$ = déficit de pressão de vapor (kPa); e

u_2 = velocidade do vento a uma altura de 2 m (m s^{-1}).

2.3. A cultura da banana irrigada

A bananeira (*Musa* sp.) é uma das mais importantes frutas tropicais. Os frutos da banana são doces e consumidos “in natura”; os não-maduros, denominados plátanos, são cozidos e proporcionam um alimento feculento de valor nutritivo semelhante ao da batata. Acredita-se que a banana seja procedente das terras baixas tropicais e úmidas do sudeste da Ásia, sendo cultivada sobretudo entre 30°N e 30°S do Equador. A temperatura média de aproximadamente 27°C é considerada ótima para seu crescimento. A temperatura mínima para um bom crescimento é de aproximadamente 16°C ; abaixo disso, o crescimento cessa e os brotos são retardados. Temperaturas inferiores a 8°C , durante períodos longos, provocam danos graves. A temperatura máxima para um crescimento normal é de cerca de 38°C , dependendo da umidade e da intensidade da radiação. As bananas são indiferentes à duração do dia (DOORENBOS e KASSAM, 1994).

A umidade relativa adequada para o desenvolvimento é de pelo menos 80%. Os ventos fortes, acima de 4 m/s, são a causa principal de perdas da cultura, devido à queda dos pseudocaules. Podem ser cultivadas numa faixa ampla de solos, desde que sejam férteis e bem drenados.

Para a exploração da banana, a região do Vale do Jequitinhonha apresenta vantagens comparativas a outras regiões, como o sul de Minas, Espírito Santo e até mesmo em relação ao norte de Minas, pois as condições climáticas são mais favoráveis, produzindo a partir de 10 meses após o plantio, com excelente qualidade.

A bananeira é uma cultura que requer grande e permanente disponibilidade de água no solo. Para obtenção de colheitas economicamente rentáveis, considera-se suficiente uma precipitação entre 100 e 180 mm/mês. O crescimento e o rendimento da cultura são inversamente proporcionais ao déficit hídrico.

Segundo DOORENBOS e KASSAM (1994), o período de estabelecimento da fase inicial do desenvolvimento vegetativo determina o potencial de crescimento e frutificação, sendo essenciais suprimentos adequados de água e nutrientes. O déficit hídrico nessas fases poderá afetar o desenvolvimento das folhas e, com isso, influir no número de flores e pencas e na produção de cachos. O mesmo poderá ocorrer em solo encharcado. A bananeira não suporta lençol freático elevado e nem inundações superiores a três dias. O lençol freático deve estar a uma profundidade em torno de 1,2 m. Esses fatores trazem prejuízos diretos com relação à produção da cultura, bem como gastos excessivos com adubos, em razão de sua lixiviação, e com energia em bombeamento desnecessário de água. Esse fato agrava-se em regiões áridas e semi-áridas, com baixo índice pluviométrico, alta evaporação e solos propícios à salinização, em virtude de um manejo incorreto da irrigação.

A bananeira é uma cultura altamente sensível à salinidade e necessita de solos com valor de condutividade elétrica (CE) inferior a 1 dS.m⁻¹. Portanto, o manejo da irrigação é um fator de grande importância para se obter sucesso nessa atividade agrícola. Ele visa maximizar a eficiência do uso da água, não se

esquecendo da sintonia com as outras etapas do sistema produtivo, como variedades, densidade de plantio, fertilização, tratos culturais, colheitas e automação (COSTA et al., 1999).

A tecnologia de produção vem buscando aplicar parâmetros criteriosos na tomada de decisão, para obter produção satisfatória e altos rendimentos. Para isso, são necessários conhecimentos adequados sobre o efeito da água nos diferentes estádios de crescimento da cultura, bem como acerca de sua relação com o solo e clima, e também sobre as características do equipamento de irrigação recomendado.

De acordo com COSTA et al. (1999), em regiões onde a água é fator limitante, como nas regiões áridas e semi-áridas, por exemplo, o planejamento de irrigação deve ser feito em termos de água aplicada. Em outras condições, pode-se conduzir a irrigação em termos de máxima produção por unidade de área plantada, energia ou mão-de-obra.

De modo geral, um programa de irrigação deve conciliar sempre um bom retorno financeiro, com aumento de produção, economia de água, mão-de-obra, nutrientes e sem causar prejuízos na estrutura do solo. Para isso, devem-se dar condições para que a planta tenha um máximo crescimento vegetativo, mantendo suas atividades fisiológicas na sua capacidade potencial, de acordo com as condições climáticas reinantes.

Para que se possa promover uma irrigação racional, deve-se estar atento às seguintes questões: como e quando irrigar e quanto de água aplicar. Para isso, é necessário conhecer alguns fatores envolvidos no processo, como características e capacidade do sistema de irrigação, características físico-hídricas do solo e necessidade hídrica da cultura com base em sua fisiologia, o que faz com que a planta tenha necessidades hídricas diferenciadas ao longo do período vegetativo. As respostas para essas questões de irrigação devem ter como base parâmetros locais determinados pela pesquisa e não generalizar práticas específicas que tiveram sucesso em outras regiões (COSTA et al., 1999).

DOORENBOS e KASSAN (1994) afirmam que a maioria das raízes de alimentação estende-se lateralmente próximo à superfície. A profundidade do

sistema radicular geralmente não excede 0,75 cm. Em geral, 60% da água é extraída nos primeiros 30 centímetros de profundidade. Com uma evapotranspiração máxima de 5 a 6 mm por dia, o esgotamento da água total disponível no solo não deve exceder 35%, caso contrário ocorrerá diminuição do rendimento.

Os métodos de manejo de irrigação consistem, basicamente, em manter a planta exposta a uma determinada quantidade de água no solo, que seja suficiente para suas atividades fisiológicas. Esse controle pode ser realizado por vários métodos, como: balanço de água, monitoramento do clima e da umidade do solo e tensiometria.

Fazendo-se o manejo pelo monitoramento do clima, são mais comumente utilizadas as variáveis climáticas, como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Com estas informações, é possível determinar a evapotranspiração de uma cultura de referência e, em seguida, através de coeficientes apropriados, estimar o consumo de água de uma dada cultura. DOORENBOS e KASSAN (1994) apresentam valores de K_c para a bananeira em regiões de clima tropical. O K_c é um valor que varia de cultura para cultura, desde o seu estágio de desenvolvimento e comprimento do ciclo vegetativo até as condições climáticas locais. Por isso, os valores de K_c devem ser determinados preferencialmente para cada região.

Quadro 1 – Coeficiente de cultura (K_c) para bananeira em regiões de clima tropical

Meses após o plantio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
K_c	0,40	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,85	1,00	1,10	1,10	0,90	0,80	0,80	0,80	1,00

Fonte: DOORENBOS e KASSAN (1994).

A cultura da bananeira pode ser irrigada por diversos métodos. Os mais usados são os de irrigação por superfície, por aspersão e, mais recentemente, o da irrigação localizada, destacando-se os sistemas de irrigação por sulcos, por aspersão convencional subcota e por microaspersão.

Nos sistema de irrigação localizada por microaspersão, a água é aplicada em pequenos jatos na superfície do solo próximo à planta, em pequenas intensidades, com grande frequência e controle da lâmina de água aplicada, podendo também ser completamente automatizado, o que permite irrigar em horários em que a tarifa de energia elétrica é reduzida.

Os microaspersores possuem bocais que variam de 0,8 a 2,3 mm de diâmetro; portanto, há necessidade de utilizar filtros, para que as impurezas da água de irrigação não venham a causar entupimentos. O sistema de filtragem pode ser composto de filtros de areia, de tela ou disco, hidrociclones, dependendo do tipo de impureza presente na água.

Os emissores mais utilizados para a cultura da bananeira possuem vazão entre 50 e 120 litros por hora, com pressão de serviço entre 150 e 300 kPa e alcance variando de 3 a 5 metros.

De acordo com COSTA et al. (1999), no Projeto Gorutuba, localizado na região norte de Minas Gerais, 52% da área cultivada com banana é irrigada por microaspersão, 12% por aspersão e 36% por sulcos, cabendo ressaltar que este projeto foi inicialmente concebido para ser irrigado por sulcos.

2.4. A cultura do abacaxi irrigado

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* L., Merr.), monocotiledônea herbácea perene, da família Bromeliaceae, é uma planta tropical, podendo ser produzida entre as coordenadas 31°N e 34°S, originária de regiões de clima quente e seco ou de pluviosidade irregular, sendo até poucos anos atrás cultivada geralmente em áreas virgens, recém-desmatadas. Por essa razão, sempre foi tido como uma planta rústica, que requer poucos tratos culturais para crescer e produzir. Entretanto, em termos de exploração econômica, o abacaxizeiro é uma planta

exigente, à qual os produtores devem dar tratos culturais cuidadosos e freqüentes (CUNHA et al., 1994).

O abacaxizeiro possui sistema radicular relativamente superficial e frágil, que em geral explora apenas os primeiros 15 a 20 cm do solo, e normalmente 100% da água é absorvida nessa faixa (DOORENBOS e KASSAM, 1994), sendo uma das razões de se dar preferência a solos de textura média ou leve e bem drenados, uma vez que não tolera encharcamento. As áreas planas, ou com pouca declividade, são as mais indicadas, por facilitar os tratos culturais.

O crescimento, o desenvolvimento e a produção do abacaxizeiro sofrem forte influência das condições de temperatura, cuja faixa ótima para o crescimento situa-se entre 22 e 32°C, (Sanford, 1962, citado por CUNHA et al., 1994). Na sua condição de planta tropical, o abacaxizeiro pode suportar temperaturas próximas a 40°C; entretanto, acima deste valor, ocorrerão problemas de queima foliar e do fruto, principalmente quando associado também a alta insolação. Do mesmo modo, não suporta temperaturas próximas de 0°C por muito tempo. A temperatura média ótima para o seu desenvolvimento situa-se em torno de 24°C.

O abacaxizeiro pode sobreviver a longos períodos de seca, graças à sua capacidade de reter água nas folhas, a qual é utilizada durante esses períodos. Também devido à sua alta eficiência no uso de água, a planta pode sobreviver com pequena lâmina de água armazenada no solo, porém, como citado anteriormente, a cultura é sensível ao déficit hídrico, especialmente durante o período de crescimento vegetativo, quando são determinados o tamanho e as características da frutificação.

As necessidades hídricas do abacaxizeiro estão relacionadas com o clima, com as condições de umidade do solo e com o estágio de desenvolvimento da planta. Essas demandas podem variar de 1,3 a 5 mm por dia, ou de 60 a 120 mm por mês. O manejo deve ser realizado levando-se em conta os estágios de desenvolvimento da planta, uma vez que a cultura é sensível tanto ao déficit, quanto ao excesso de água, sendo adotado, para o fator de disponibilidade de água no solo, valores entre 0,3 e 0,7 (CARVALHO, 1998).

De acordo com CARVALHO (1998), o abacaxizeiro apresenta estádios de desenvolvimento bem distintos e, mesmo não sendo definidos experimentalmente os coeficientes de cultivo (K_c) em função desses estádios, as fases de maior demanda hídrica são as seguintes:

- a) Do plantio ao segundo mês: é necessário umidade elevada e constante, a fim de permitir o desenvolvimento das raízes e uma boa pega das mudas. Nesta fase, a planta não tolera variação de umidade, visto que as raízes estão muito próximas da superfície do solo e morrem rapidamente com a seca.
- b) Do terceiro ao quinto mês: as necessidades hídricas da planta são crescentes, por causa da emissão e do desenvolvimento das raízes e das folhas. No entanto, pelo fato de o solo não estar todo coberto, ocorre alta evaporação, havendo a necessidade de irrigações crescentes com lâminas mais elevadas.
- c) Do sexto ao término da diferenciação floral (aproximadamente 50 dias após a indução): quando o desenvolvimento foliar é máximo e as necessidades hídricas são altas. Não é recomendável, nesse período, nem o racionamento nem o excesso de água, uma vez que o crescimento ativo nesse estágio torna a planta com maior probabilidade a altos rendimentos e frutos de melhor qualidade.
- d) Da floração à colheita: nessa fase, os frutos crescem e ganham forma em função do potencial inicial e do clima. A planta é tão sensível à falta quanto ao excesso de umidade, ocorrendo o pique de sensibilidade um mês antes da colheita.
- e) Durante a fase propagativa (produção de mudas) ou da segunda safra: seguir as indicações da letra ‘b’, logo após a colheita dos frutos até 60 dias após a indução floral, e da letra ‘d’, do início da floração até a colheita dos frutos.

A irrigação bem manejada na fase de frutificação contribuirá para o aumento do peso médio dos frutos, tendo sido observados aumentos de 300 a

700 g/fruto. É recomendável suspender as irrigações em torno de 10 dias antes da colheita, para evitar queda dos sólidos solúveis totais.

A resposta da cultura do abacaxizeiro à água mostra que as alternâncias do regime hídrico são de alto risco e provavelmente comprometerão toda a produção, caso não haja irrigação suplementar, e, por outro lado, a homogeneidade da cultura após o fornecimento de água mostra influência notável nos rendimentos.

Segundo DOORENBOS e KASSAM (1994), o suprimento de água durante o período vegetativo deve atender plenamente às necessidades hídricas da cultura, porém estes autores afirmam que o déficit hídrico com nível de esgotamento da água do solo de até 75% durante a floração tem efeito menos grave e pode até acelerar a frutificação, resultando numa maturação uniforme, e que o suprimento abundante de água durante a floração favorece o desenvolvimento vigoroso do talo e a formação de um miolo grande, o que é desfavorável, principalmente quando se utilizam frutos para acondicionamento. Irrigações freqüentes ou chuva no período da colheita podem provocar a deterioração da qualidade do fruto e tornar a cultura suscetível a fungos. Diferentemente de CARVALHO (1998), esses autores dizem que se pode interromper a irrigação cerca de um mês antes da colheita.

Dos sistemas de irrigação (DOORENBOS e KASSAM, 1994; CARVALHO, 1998; CUNHA et al., 1994), a aspersão convencional é o mais utilizado e o que melhor se adapta ao abacaxizeiro, em razão principalmente de sua arquitetura; no entanto, a irrigação por gotejamento, em que se tem alta incidência de fusariose, baixa disponibilidade de água e mão-de-obra, está sendo muito utilizada, pois permite ainda que se faça, simultaneamente, a quimigação diretamente no pé da planta.

Quadro 2 – Coeficiente de cultivo (Kc) em função dos estádios de desenvolvimento do abacaxizeiro

Estádio de Desenvolvimento	Caracterização do Estádio	Coeficiente (Kc)
Inicial	Da pega até cobrir 10% do solo	0,4 a 0,6
Secundário ou de desenvolvimento vegetativo	Do final do 1º estágio até atingir 70 a 80% de seu desenvolvimento	Varia linearmente entre valores do 1º e 3º estádios
Intermediário ou de produção	Do final do 2º estágio até início da maturação	1,0 a 1,2
Final ou de manutenção	Do início da maturação até a colheita.	Varia linearmente entre valores do 3º estágio e 0,4 a 0,6

Fonte: ALMEIDA (1995).

2.5. Softwares desenvolvidos para manejo de irrigação

Alguns softwares já foram desenvolvidos com a finalidade de manejar e, ou, monitorar a prática da irrigação; entre outros, podem-se citar o SCS Computer Irrigation Scheduling, desenvolvido em 1988 pelo Serviço de Conservação do Solo dos EUA em parceria com a Michigan State University; o CROPWAT, para cálculos de requerimentos e programação geral da irrigação, desenvolvido pela divisão de água e solo da FAO em 1992; e o S.A.A.C.I. (Sistema Agroclimatológico para o Acompanhamento de Culturas Irrigadas), desenvolvido na então Secretaria Nacional de Irrigação. SOUZA (1993) desenvolveu, na Universidade Federal de Viçosa, um modelo computacional visando o manejo e planejamento da irrigação, assim como em 1994 foi desenvolvido na Universidade Técnica de Lisboa o Sistema PROREG, constituído por três programas: ISAPRO, BLOCO e CALBLO.

Cada software desenvolvido tem suas vantagens e desvantagens, de acordo com a facilidade de uso e a obtenção dos dados de entrada.

Pensando em elaborar um programa amigável, que permitisse fazer o manejo por vários métodos, conforme a disponibilidade de dados, e que pudesse ser utilizado por diferentes tipos de usuários, foi elaborado o SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola: Manejo dos Cultivos e dos Recursos Hídricos).

O SISDA é um sistema especialista, que tem como objetivo principal a racionalização do uso de água e energia em lavouras irrigadas, auxiliando no manejo da irrigação, pois, através do cadastramento de todos os fatores que compõem o sistema solo-água-planta-atmosfera, calcula a evapotranspiração e o balanço de água no solo em tempo real, fornecendo recomendações de quanto e quando irrigar.

Na concepção do sistema, foi considerada a facilidade de comunicação e interação com o usuário, sem perder, no entanto, o rigor científico e a praticidade na utilização, tanto do ponto de vista do manuseio do programa quanto de informações, resultados e serviços, bem como o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, com visão ampla dos aspectos água, solo, clima, planta (fitotecnia e fitopatologia) e sistema de irrigação.

A análise do atual manejo da irrigação no Brasil indica grande carência de resultados, muitas vezes proporcionada pelas dificuldades de atuação dos técnicos, que não dispõem de instrumental necessário para tomar decisões de forma simples, rápida e com base científica. O SISDA tem todos os dispositivos para auxiliar este processo, pois integra as informações, facilitando a tomada de decisão.

O sistema é apresentado em CD-ROM, desenvolvido em linguagem Delphi 3.0, para Windows 95/98/NT, de fácil instalação, cuja concepção técnica envolveu especialistas das áreas de agrometeorologia, manejo e engenharia de irrigação, solos, fitopatologia, fitotecnia e informática, sendo utilizadas interfaces intuitivas, tornando o sistema de fácil uso.

O SISDA foi desenvolvido com base em dois objetivos: manejo e simulação. No módulo sobre 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 perda de água com aplicações desnecessárias. Tais previsões são úteis para outras aplicações, como planejamento de pulverizações, tratamentos preventivos, preparo do solo e colheita. E, ainda, aos interessados na 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.

Na simulação, o usuário define, para uma determinada cultura, as condições a serem simuladas, como época de plantio, localidade etc., e o sistema gera uma base de dados correspondentes a consumo de água, déficit hídrico, probabilidade de ataque de doenças e duração ciclo da cultura, que são de grande importância no planejamento das atividades agrícolas. Este módulo é particularmente importante para que os projetistas de sistemas irrigados possam definir as necessidades de água das culturas a serem exploradas em condições tecnicamente adequadas.

Na Figura 1 pode ser vista a estrutura interna do SISDA, em que é mostrada a relação entre seus componentes.

Antes de utilizar o sistema de manejo e simulação de irrigação, o usuário deve fornecer informações básicas, compondo um cadastro do seu sistema de produção agrícola. Esta etapa muitas vezes pode inviabilizar todo o processo, pela forma e pelo excesso de informações solicitadas, associadas às limitações de conhecimento do usuário e disponibilidade das informações. Para contornar este problema, no SISDA esta etapa foi dimensionada de forma criativa e interativa, disponibilizando ao usuário, caso necessário, a maioria das informações externas (clima, coeficientes da planta e do solo) e exigindo dele apenas as informações inerentes à sua propriedade e à atividade a ser desenvolvida, além de motivá-lo para amostragens futuras, para maior precisão nas simulações.

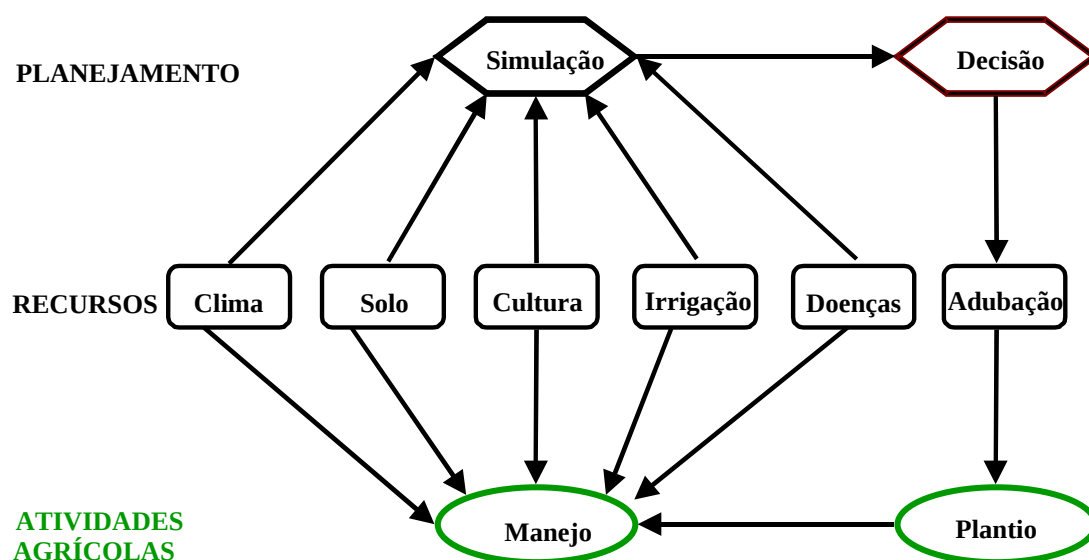


Figura 1 – Diagrama esquemático da estruturação do SISDA.

Há no SISDA uma base de dados climáticos que abrange todo o território nacional. Com a ajuda de um mapa do Brasil, o usuário acessa uma base de mais de 8.000 localidades, identificando aquela em que está localizada a propriedade, e imediatamente o programa identifica a latitude, longitude e altitude do local. Além disso, identifica as estações meteorológicas mais próximas e também a altitude em que se encontram, para que o usuário possa selecionar aquela(s) onde o clima é semelhante ao do local do projeto, para o cálculo da evapotranspiração. O SISDA permite ajustar o valor da umidade do solo obtida com o cálculo diário do balanço hídrico, com os valores reais determinados por amostragem em campo.

O cadastramento da água e do solo é facilitado com o sistema de ajuda, que indica, por exemplo, classes de solo de uma ampla região brasileira, e, em caso de dúvida, o programa informa como coletar amostras da água e do solo a serem enviadas para análise, indicando os laboratórios mais próximos, com endereço e telefone. Com os dados de análise química do solo, o programa oferece uma recomendação preliminar de adubação.

O cadastro necessita, por último, de informações sobre o sistema de irrigação do usuário (aspersão convencional, pivô central, microaspersão, gotejamento e superfície), as quais estão contidas na memória do projeto de irrigação. Essas informações serão utilizadas para o manejo da irrigação.

O usuário pode dividir a área de manejo em várias subparcelas, que caracterizem distintas culturas, época de plantio, tipos de solo, sistema de irrigação etc. Um sistema de cadastramento inicial permite ao usuário escolher as variáveis de que irá dispor no dia-a-dia e as suas respectivas unidades. Configurado o sistema, dispondo de pluviômetros e termômetro de máxima e mínima, o usuário poderá cadastrar e solicitar diariamente apenas esses dados climáticos.

Na Figura 2, pode ser visto o diagrama esquemático de cadastro e operações do SISDA.

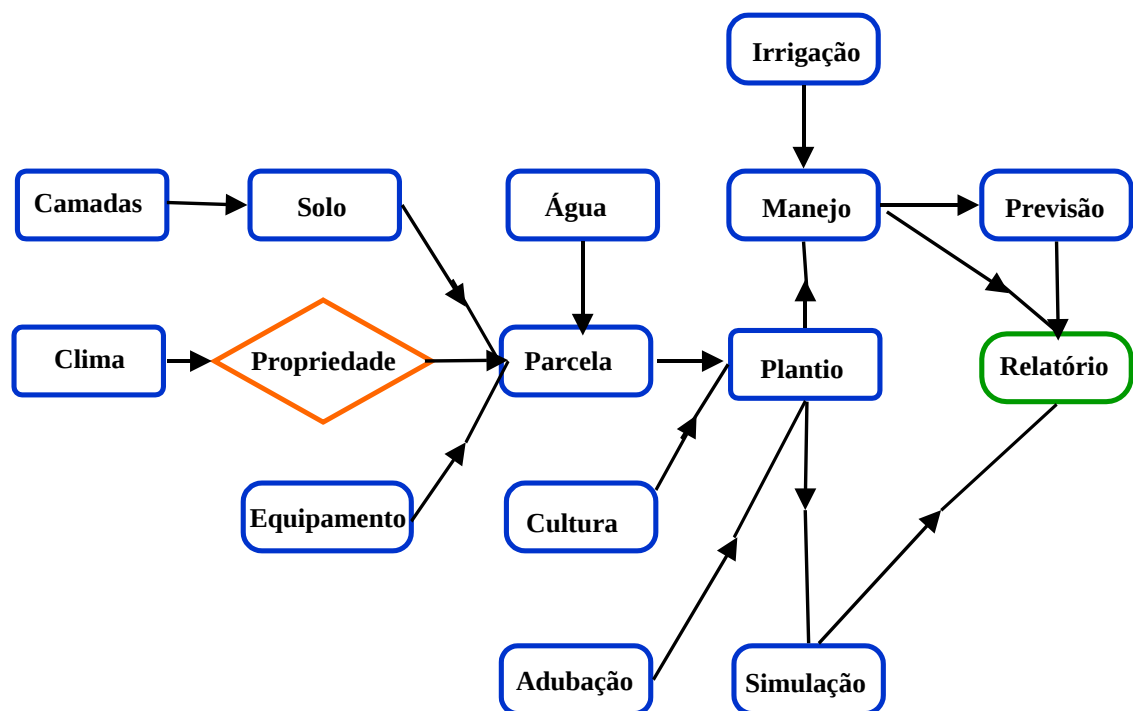


Figura 2 – Diagrama esquemático de cadastro e operação do SISDA.

O SISDA dispõe de um sistema de ajuda potente que, além de apresentar o programa e orientar o usuário iniciante com exemplos, contém informações gerais sobre clima, solo, fitotecnia, fitopatologia e sistemas de irrigação, bem como orientação sobre cuidados e instalação de equipamentos com imagens ilustrativas. Um manual do usuário auxilia a utilizar o programa, ensinando passo a passo cada etapa de entrada de dados, com exemplos que facilitam o entendimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Araçuaí-MG, situado no nordeste do Estado de Minas Gerais, na microrregião do Médio Jequitinhonha, distante da capital 620 km. As coordenadas geográficas são: latitude 16° 51' sul, longitude 42° 04' oeste e altitude 284 m, onde foi implantado um projeto piloto de fruticultura irrigada, com oito unidades demonstrativas, que são parte integrante do Projeto “Uso Racional de Energia na Agricultura”, tendo como parceiros a GTZ (Sociedade Alemã de Cooperação Técnica), a CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e a EMATER-MG (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais).

Como base para a operacionalização dos trabalhos, foram escolhidas duas das unidades demonstrativas, com diferentes sistemas de irrigação e culturas, estando elas a dois quilômetros, à margem direita do lago da barragem do Calhauzinho, localizada a dezessete quilômetros da cidade de Araçuaí, sendo em uma delas cultivado o abacaxi variedade pérola, irrigado pelo sistema de irrigação convencional com tubos enterrados, e em outra cultivada a banana cultivar prata-anã, irrigada por microaspersão.

Os dados meteorológicos, necessários para o cálculo da evapotranspiração, foram obtidos utilizando uma estação climatológica automática, localizada numa área próxima aos cultivos, onde eram armazenados

e diariamente lidos. A interface estação/microcomputador foi feita utilizando o software “MODAS” (Sistema Automático de Aquisição de Dados), para gerar os arquivos de dados para o cadastro no SISDA.

Foram obtidos dados referentes à lâmina evaporada em Tanque Classe A, para determinar o coeficiente do tanque para o local, considerando a evapotranspiração de referência estimada pelo método de Pennman-Monteith. O cálculo foi feito utilizando a equação 2:

$$K_t = \frac{E_{To}}{E_v} \quad (2)$$

em que

E_{To} – evapotranspiração de referência (mm);

E_v – lâmina evaporada no Tanque Classe A (mm); e

K_t – coeficiente do tanque (decimal).

3.1. Caracterização do sistema de irrigação por aspersão

O levantamento de dados do sistema de irrigação foi realizado registrando-se as características de todos os componentes, desde o conjunto motobomba até os aspersores.

A área plantada com a cultura de abacaxi variedade pérola é de 1,74 ha, sendo irrigada por um sistema de aspersão convencional com tubos enterrados, conforme a Figura 3.

Foi realizada a avaliação do sistema, em que foram determinados os parâmetros hidráulicos, de desempenho e de uniformidade necessários para o cadastramento no SISDA, conforme apresentado no capítulo 1.

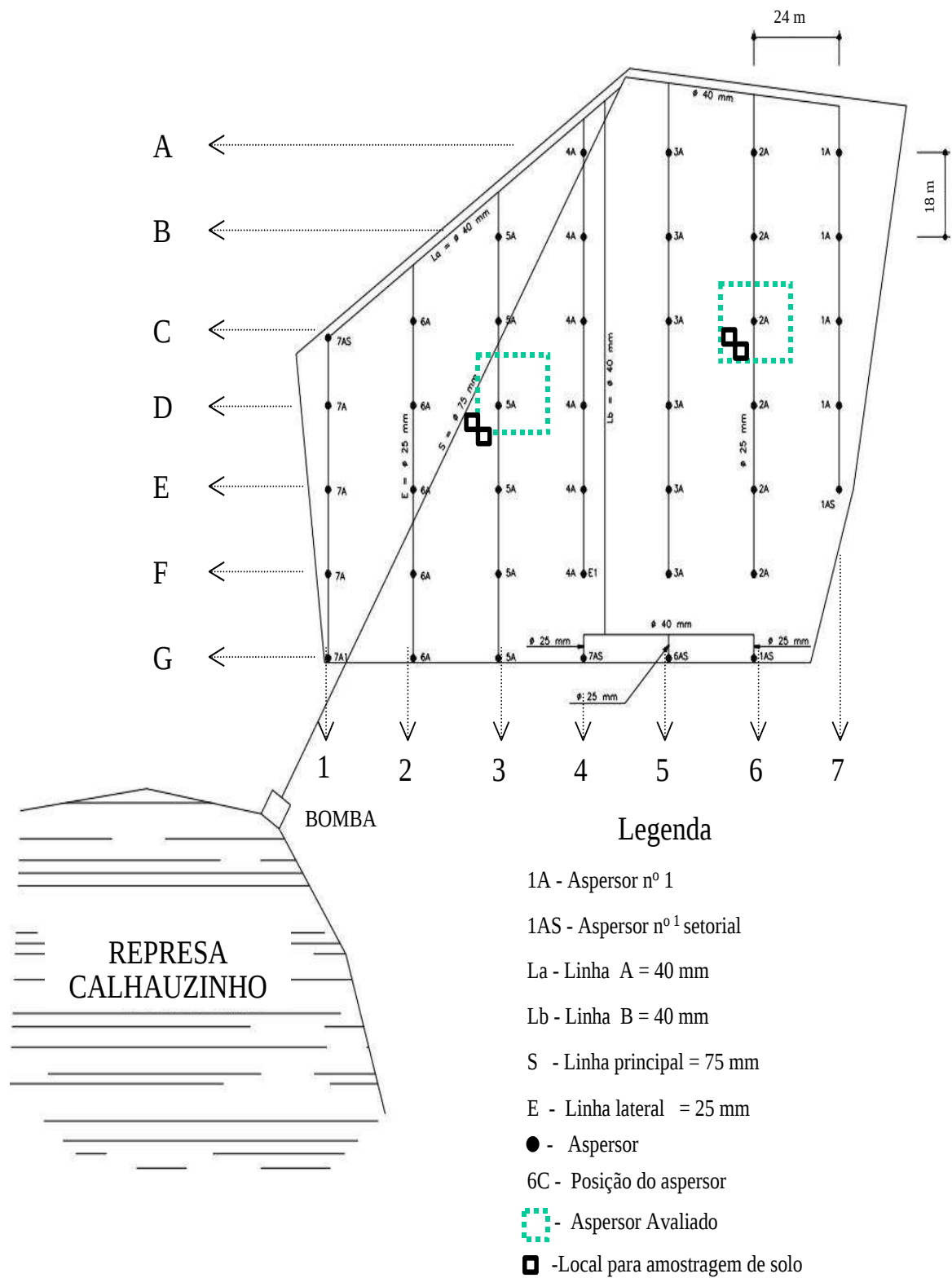


Figura 3 – Esquema da área com sistema de irrigação por aspersão convencional fixa com tubos enterrados.

3.2. Caracterização do sistema de irrigação por microaspersão

O levantamento de dados do sistema de irrigação foi realizado registrando-se as características de todos os componentes, desde o conjunto motobomba até os microaspersores.

A área plantada com a cultura da banana é de 1,74 ha, sendo irrigada por um sistema de irrigação localizada por microaspersão, conforme a Figura 4.

Como feito para a aspersão convencional com tubos enterrados, foi também realizada a avaliação do sistema, em que foram determinados os parâmetros hidráulicos, de desempenho e de uniformidade necessários para o cadastramento no SISDA, conforme apresentado no capítulo I.

3.3. Manejo do sistema

De posse dos dados de clima local, cultura, solo, água, sistema de irrigação e propriedade (Apêndices A, B, C, D, E, F e G), fez-se o cadastro das informações, e, utilizando o SISDA, fez-se o manejo dos sistemas de irrigação pelo método do balanço de água do solo, no período de 16 de maio a 13 de agosto de 1998.

A evapotranspiração de referência foi estimada utilizando-se o método de Penman-Monteith, padrão FAO 1991 (equação 1).

O balanço hídrico do solo é feito individual e independentemente em cada camada de solo, conforme COSTA et al. (1997) e MOTTA e OLIVEIRA (1987) (equação 3).

$$LAA_i = LAA_{i-1} + P_{ei} + Z_i + I_i - P_{pi} - ET_{Ci} \quad (3)$$

em que

LAA_i = lâmina de água disponível no dia i ;

LAA_{i-1} = lâmina de água disponível no dia anterior a i ;

P_{ei} = precipitação efetiva no dia i ;

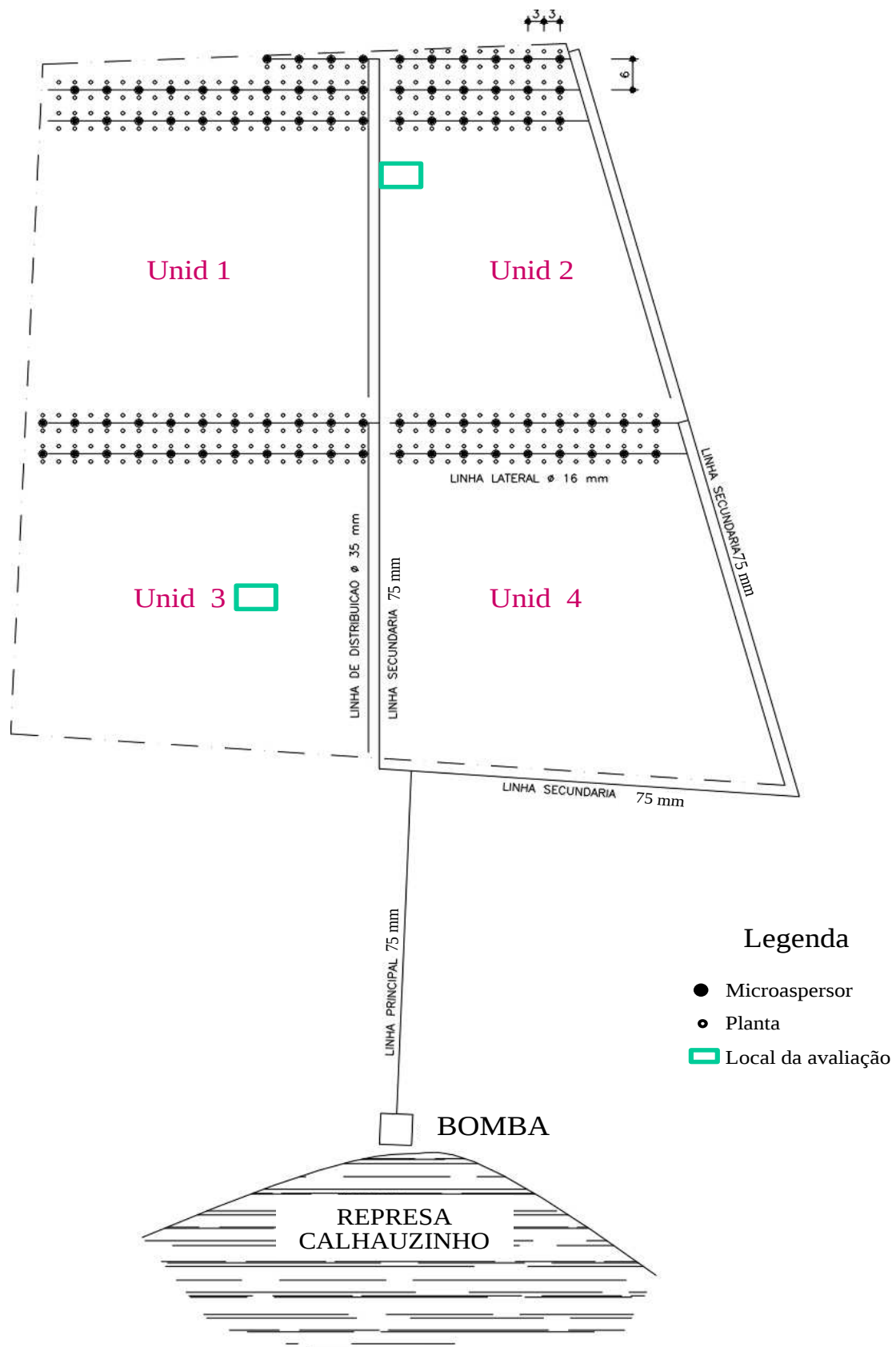


Figura 4 – Esquema da área com sistema de irrigação por microaspersão.

I_i = lâmina de água efetiva aplicada via irrigação no dia i ;

P_{pi} = perda por percolação no dia i ; e

ET_{Ci} = evapotranspiração da cultura no dia i .

Os valores das lâminas de água atual disponíveis nos dias i e $i-1$ foram calculados como a somatória das lâminas de água nas diferentes camadas do solo. A irrigação foi feita quando o déficit atual de água se aproximava do déficit recomendado para capacidade real de água no solo, determinado conforme as equações 4 e 5.

$$CTA = \frac{(Cc - Pm)}{100} \rho Z \quad (4)$$

$$CRA = CTA \cdot f \cdot PW \quad (5)$$

em que

CRA = déficit recomendado (mm);

Cc = umidade do solo à capacidade de campo (% em peso);

Pm = umidade do solo ao ponto de murcha (% em peso);

ρ = massa específica do solo (g.cm^{-3});

f = fator de disponibilidade de água no solo (decimal);

Z = profundidade efetiva das raízes (mm); e

PW = percentagem de área molhada (decimal).

A evapotranspiração diária da cultura ocorreu por camada de solo, conforme a equação 6. Para isso, considerou-se que a camada explorada pelas raízes é dividida em quatro subcamadas, considerando os pesos 4, 3, 2 e 1 para a 1ª, 2ª, 3ª e 4ª camadas, respectivamente.

$$ET_C = K K_{S1} K_{Ci} ET_{0i} \quad (6)$$

em que

E_{t_i} = evapotranspiração da cultura, mm;

K = fator de extração de água por camada (adimensional);

K_{s_i} = coeficiente de umidade do solo para o dia i (adimensional);

K_{C_i} = coeficiente da cultura para o dia i (adimensional); e

$E_{T_{0i}}$ = evapotranspiração de referência para o dia i .

O coeficiente K depende da profundidade do sistema radicular da cultura, considerando que 40, 30, 20 e 10% da demanda hídrica é suprida pela primeira, segunda, terceira e quarta camadas de solo, respectivamente.

A evapotranspiração de referência foi estimada utilizando o método de Penman-Monteith. O coeficiente de umidade do solo foi calculado usando-se a equação 7:

$$K_s = \frac{LAA}{CTA} \quad (7)$$

A água disponível atual é definida como a diferença entre a lâmina de água atual armazenada no solo e o ponto de murcha. A capacidade total de água é definida como a lâmina de água armazenada no solo entre as umidades correspondentes à capacidade de campo e ao ponto de murcha.

A lâmina de água efetiva aplicada via água de irrigação foi calculada utilizando a equação 8:

$$I = \frac{IT \cdot E_{i_{AD}}}{PW} \cdot 100 \quad (8)$$

em que

IT = lâmina de água total aplicada via irrigação;

$E_{i_{AD}}$ = eficiência de irrigação para $AD\%$ de área adequadamente irrigada (decimal); e

PW = percentagem de área molhada (%).

A eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada Ei_{AD} foi estimada utilizando a equação 9. Para o cálculo da eficiência de irrigação em nível de parcela, se não houver modificação na pressão de funcionamento, pode-se dispensar Ec .

$$Ei_{AD} = ED_{AD} Epa Ec \quad (9)$$

em que

ED_{AD} = eficiência de distribuição para AD% de área adequadamente irrigada, decimal;

Epa = eficiência potencial de aplicação, decimal; e

Ec = eficiência de condução.

A eficiência potencial de aplicação foi estimada utilizando a equação 10, conforme KELLER e BLIESNER (1990):

$$Epa = 0,976 + 0,005 Eto - 0,00017 Eto^2 + 0,0012 Vv - CI (0,00043 Eto + 0,00018 Vv + 0,000016 Eto Vv) \quad (10)$$

$$CI = 0,032 P^{1/3} Db^{-1} \quad (11)$$

em que

Eto = evapotranspiração de referência ($mm.dia^{-1}$);

Vv = velocidade do vento ($km.h^{-1}$);

CI = coeficiente característico da evaporação de arraste (adimensional);

Db = diâmetro do bocal do aspersor (mm); e

P = pressão de serviço (kPa).

Valores de CI entre 7 e 17 podem ser substituídos diretamente na equação 6. Para valores de $CI < 7$, assume-se que $CI = 7$, e para $CI > 17$, assume-se que $CI = 17$.

Para culturas de alto valor comercial, como o caso da banana, recomenda-se que 90% da área seja adequadamente irrigada; neste caso, ED_{AD} é aproximadamente igual ao coeficiente de uniformidade de distribuição, que foi de 0,880. A E_p para o sistema é calculada diariamente, utilizando os dados de E_{To} , velocidade do vento e CI , como apresentado nas equações 10 e 11, sendo os valores, em média, iguais a 0,983. A eficiência de condução foi considerada igual a 1,00, uma vez que não foram observadas perdas por vazamento. Logo, o valor de E_{i90} foi de 0,865. Já para a cultura do abacaxi, que foi considerada como de médio valor comercial, trabalhou-se com 80% da área adequadamente irrigada. Neste caso, ED_{AD} é aproximadamente igual ao coeficiente de uniformidade de Christiansen, que, para o sistema de aspersão, foi de 0,693. Como os valores estimados diariamente de E_p para o sistema foram, em média, de 0,978, o valor de E_{i80} utilizado foi, em média, de 0,677.

A precipitação efetiva foi estimada utilizando as equações 12 e 13:

$$P_e = P - E_s \quad (12)$$

$$E_s = \frac{P}{25} - \left[0.9177 + 1.8111 \log P - 0.0097 \log \left(\frac{S_{i-1}}{S_i} \right) \right] \quad (13)$$

em que

P_e = precipitação efetiva, mm;

P = precipitação total, mm;

E_s = escoamento superficial, mm;

S_i = capacidade total de água na primeira camada do solo, mm; e

S_{i-1} = água atual disponível na primeira camada do solo, mm.

Precipitações iguais ou menores que 25 mm foram consideradas 100% efetivas, estando restritas à capacidade de armazenamento do solo.

3.4. Avaliação do desempenho do SISDA

Os valores de umidade real do solo foram comparados com os valores estimados pelo SISDA, considerando a não-correção dos valores de umidade ao longo de todo o ciclo e a correção a cada duas semanas e a cada quatro semanas.

A coleta de amostras para determinação de umidade foi feita para a aspersão convencional nos pontos mostrados na Figura 3, a 6 m, em diagonal, dos aspersores avaliados (6C e 3D). Nestes pontos, visando reduzir o erro devido à desuniformidade de aplicação do sistema, foram instalados três pluviômetros, onde foram coletadas as lâminas aplicadas por ocasião das irrigações. Numa pré-avaliação do sistema, os pontos foram definidos em função da lâmina aplicada, em que esta correspondia àquela necessária para irrigar adequadamente 80% da área.

Foram retiradas quatro amostras em cada ponto, sendo duas na camada de 0 a 10 cm e duas na camada de 10 a 20 cm. A correção dos valores de umidade no SISDA foi feita considerando a média dos valores de umidade encontrados.

Para o sistema de microaspersão, os pontos de controle foram definidos para o local onde o microaspersor aplicava a vazão média do sistema (2^o emissor da linha lateral a 2/3 do início da linha de distribuição na unidade 2, e o 4^o emissor da linha lateral a 1/3 do início da linha de distribuição na unidade 4), como mostrado na Figura 4, ficando um ponto a 1 m de distância do microaspersor e outro a 2 m, em diagonal. Foram retiradas quatro amostras para determinação de umidade em cada ponto, sendo elas nas camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, totalizando oito amostras para o sistema. A correção dos valores de umidade no SISDA foi realizada considerando a média dos valores obtidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das lâminas evaporadas no Tanque Classe A (E_v) durante o experimento e os valores de evapotranspiração de referência (E_{To}) estão apresentados na Figura 5. Utilizando a equação 2, foram obtidos os valores de coeficiente do tanque, apresentados na Figura 6, para as condições em que este foi montado. O valor médio encontrado foi de 0,69, considerado dentro da faixa esperada.

Os dados de evapotranspiração de referência estimados utilizando o método de Penman-Montieth, considerando os dados climáticos referentes à série histórica de 1965 a 1978 e do ano de 1998, são apresentados na Figura 7. Observa-se que, em média, os valores de E_{To} variam de aproximadamente 2 mm/dia em julho a 5,5 em janeiro; no entanto, para o ano de 1998 a variação foi de aproximadamente 3,0 a 7,5 mm/dia, enfatizando que 1998 foi um ano atípico, devido ao efeito “El Niño”. E, realmente, 1998 foi um ano mais quente, conforme observado pela população de Araçuaí. Notam-se, principalmente no início e final do ano, que são épocas muito quentes, as maiores diferenças entre os valores.

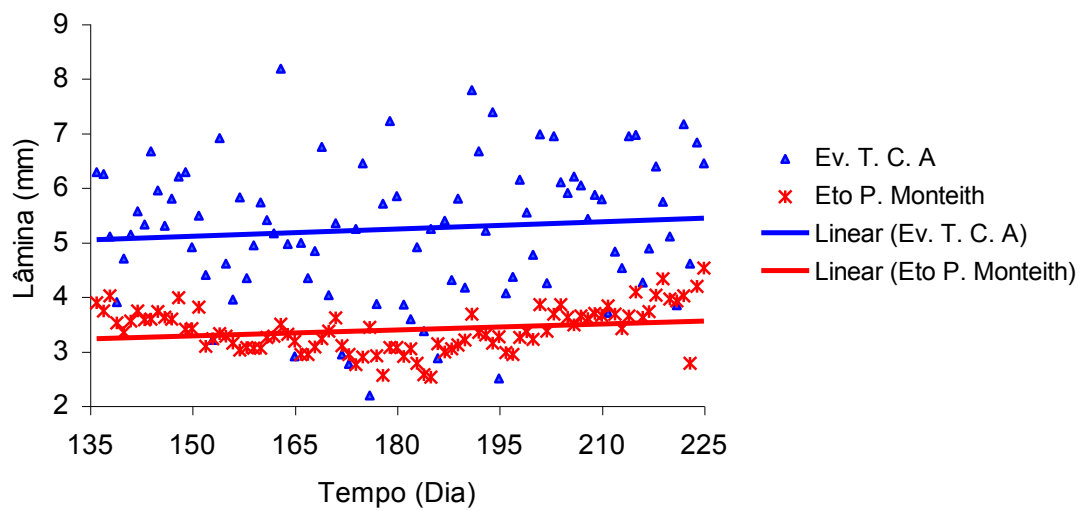


Figura 5 – Dados de lâmina evaporada no Tanque Classe A; evapotranspiração estimada por Penman-Monteith.

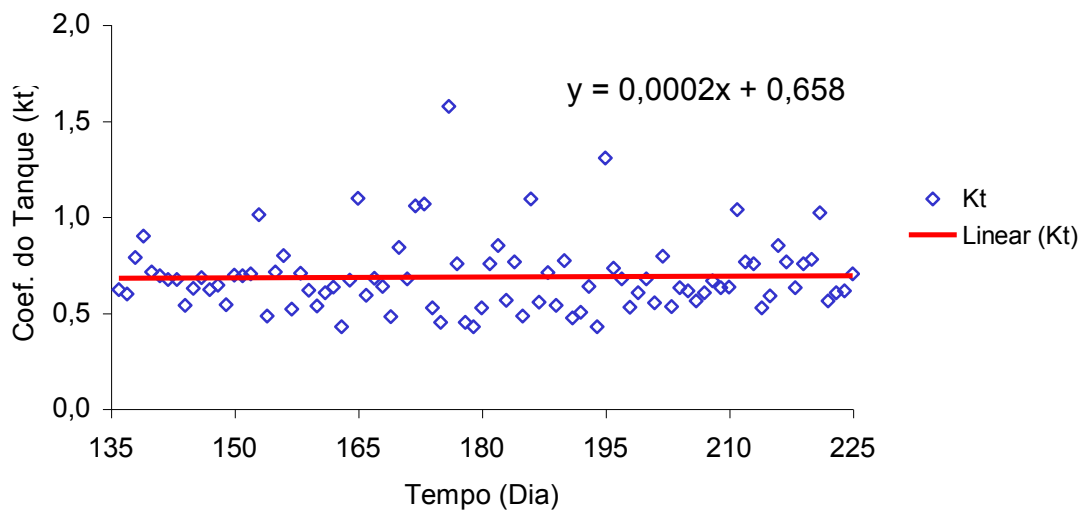


Figura 6 – Valores de Kt encontrados para a condição do tanque montado em Araçuaí.

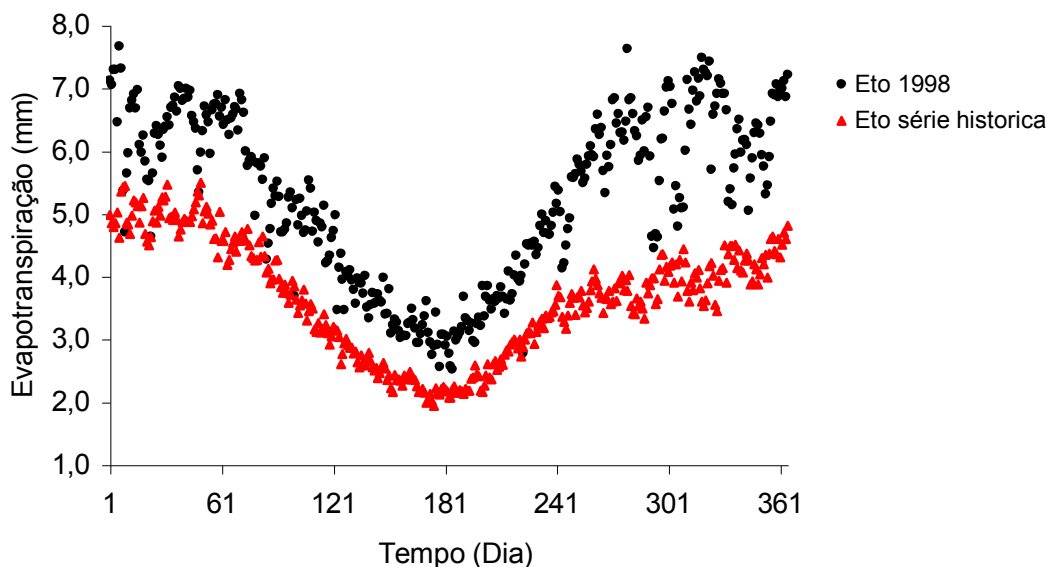


Figura 7 – Valores de ETo diário estimados pelo método de Pennman Monteith, com base nos dados da série histórica de 1965 a 1978 e em dados medidos durante o ano de 1998.

Na Figura 8 são apresentados os dados de pluviometria da série histórica de 1965 a 1978 e os dados medidos no ano de 1998. Pode-se observar a irregularidade na distribuição da precipitação ocorrida, bem como um período de estiagem de praticamente sete meses. Pelos dados da série histórica, podem-se também observar maiores valores de precipitação nos dois primeiros meses e nos três últimos meses do ano e valores insignificantes de precipitação nos meses intermediários.

Na Figura 9 são apresentados os valores de insolação, considerando os dados da série histórica, que variaram de três a nove horas por dia, e os valores medidos durante o ano de 1998, que variaram de 3 a 13 horas. Nota-se que os valores medidos são maiores que aqueles da série histórica, o que em parte explica os maiores valores de ETo estimados em 1998, quando comparados aos da série histórica de 1965 a 1978.

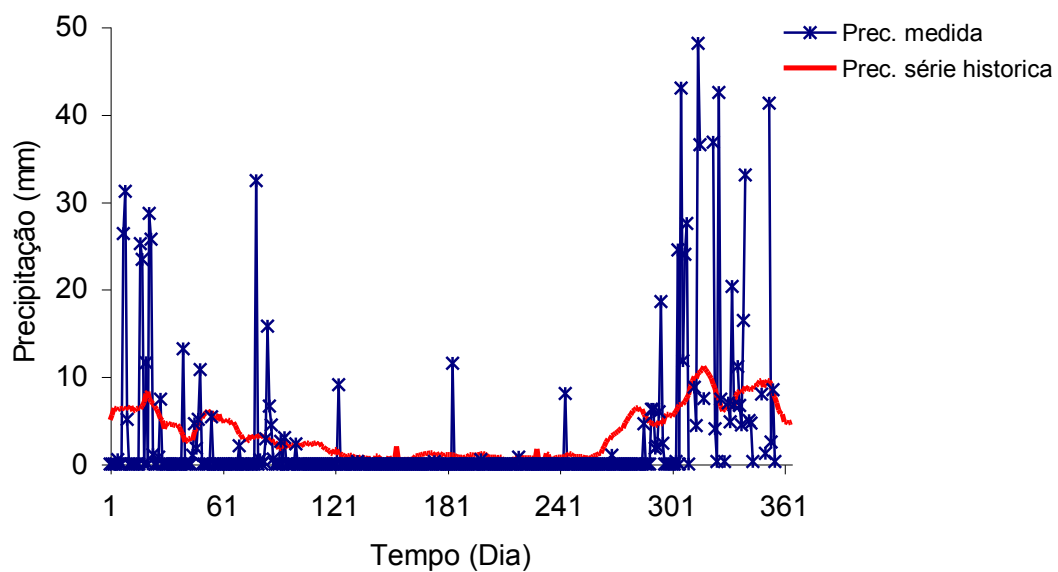


Figura 8 – Gráfico dos valores de precipitação da série histórica de 1965 a 1978 e dos valores medidos em Araçuaí no ano de 1998.

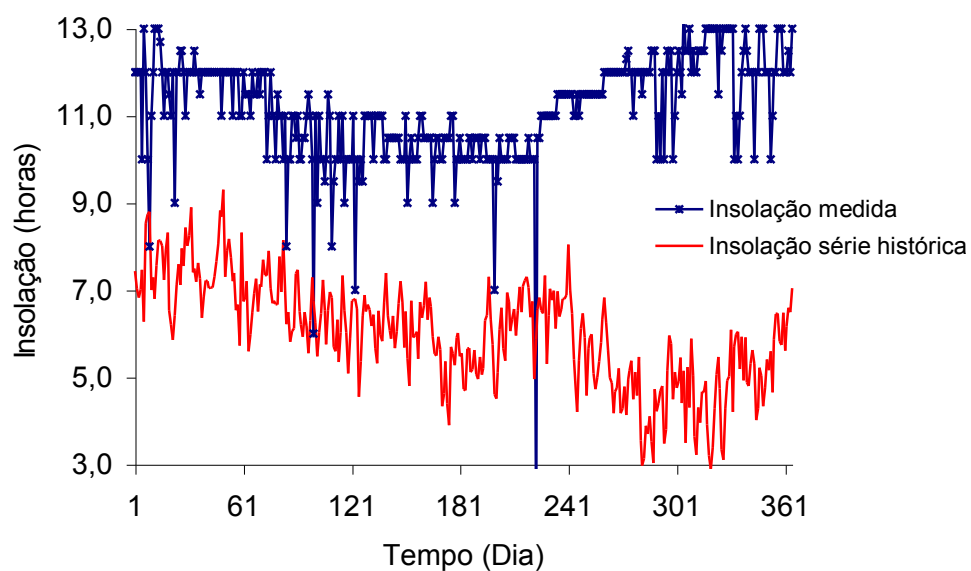


Figura 9 – Valores de insolação média diária de acordo com a série histórica de 1965 a 1978 e dados medidos durante o ano de 1998.

Os valores de temperatura média da série histórica de 1965 a 1978 e os de temperatura média medidos durante o experimento são apresentados na Figura 10. Pode-se observar que os valores da série histórica estão próximos dos valores medidos, considerando apenas esse período. Os valores medidos variaram de 20 a 28°C, e os da série histórica, de 22 a 25°C.

Os valores de velocidade do vento da série histórica variaram de 0,5 a 1,0 m.s⁻¹ e os valores medidos durante o experimento variaram de 1,0 a 3,0 m.s⁻¹, conforme apresentado na Figura 11, o que também contribuiu para os maiores valores de evapotranspiração no período. Deve-se também considerar que, devido a efeitos de advecção, pela proximidade do lago do Calhauzinho, a velocidade do vento é maior.

Os valores de umidade relativa média da série histórica e os medidos durante o experimento são apresentados na Figura 12; observa-se, em geral, que os valores da série histórica estão variando de 67 a 80%, sendo mais constantes, e os medidos, de 60 a 95.

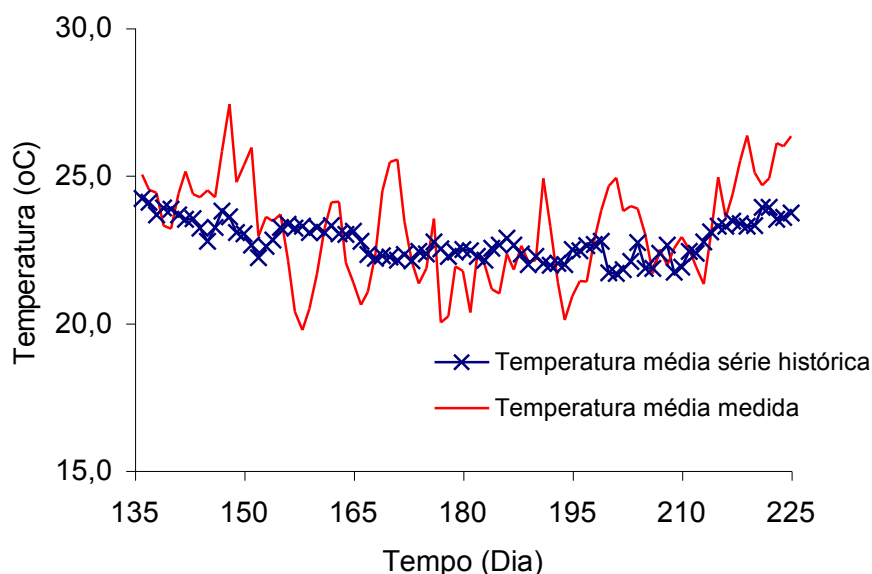


Figura 10 – Gráfico dos valores de temperatura média da série histórica de 1965 a 1978 e temperatura medida em Araçuaí durante o experimento.

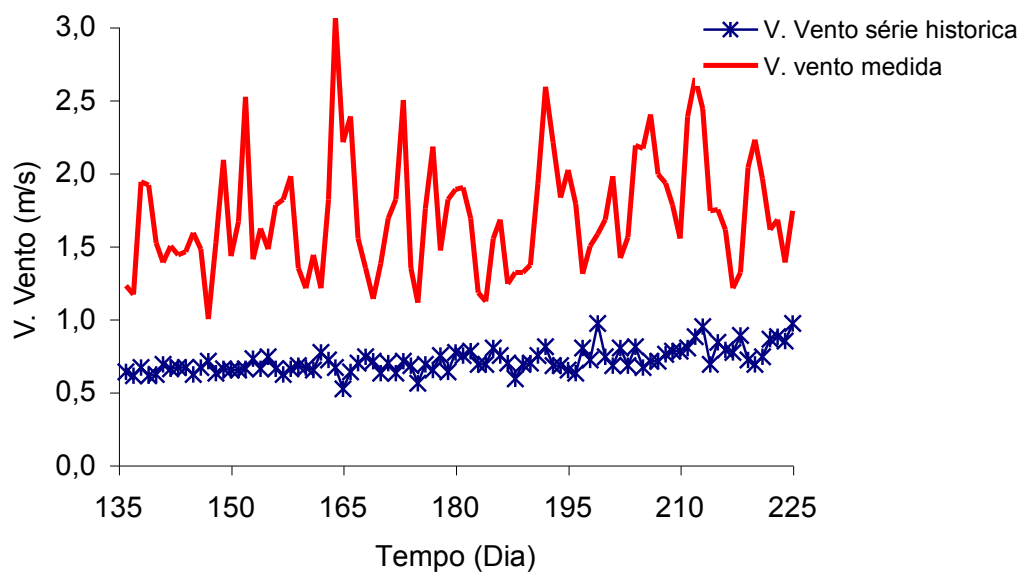


Figura 11 – Gráfico dos valores de velocidade do vento da série histórica de 1965 a 1978 e dos valores medidos em Araçuaí durante o experimento.

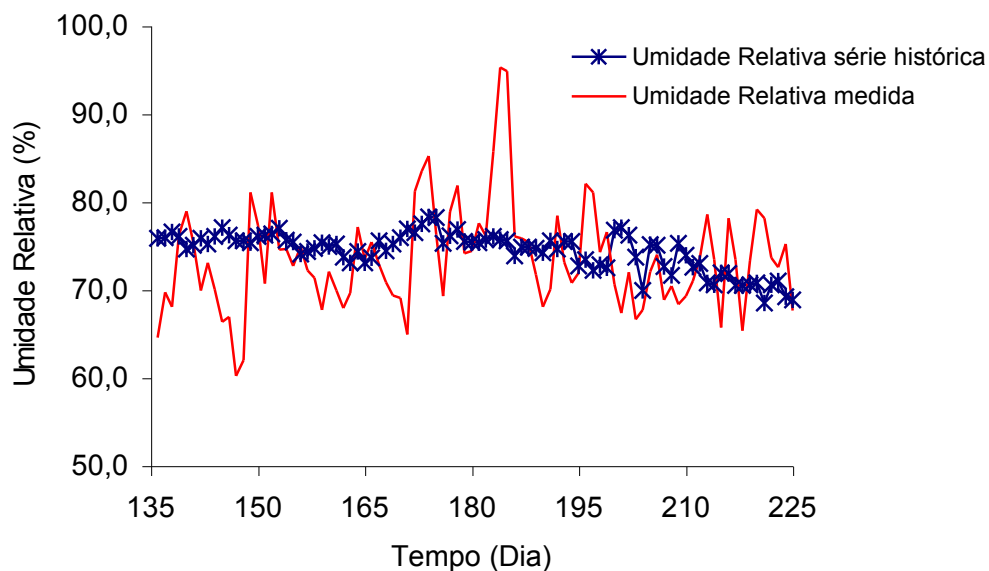


Figura 12 – Gráfico dos valores de umidade relativa média do ar da série histórica de 1965 a 1978 e dos valores medidos em Araçuaí durante o experimento.

4.1 Área irrigada por aspersão

Na Figura 13 são apresentados os desvios dos valores de umidade observados, em relação aos simulados no SISDA. Neste caso, não foi realizada nenhuma correção dos valores de umidade simulados pelo SISDA durante o período de monitoramento. Pode-se observar, de modo geral, que os desvios são positivos, ou seja, a umidade observada está igual ou maior que a simulada, portanto o modelo superestimou a evapotranspiração; entretanto, os valores percentuais de umidade, tanto simulados quanto observados, mantiveram-se entre a capacidade de campo e a umidade crítica, como é recomendado. Foi observada a mesma condição quando se fez a correção dos valores de umidade simulados no SISDA a cada duas e quatro semanas (Figuras 15 e 17).

Nas Figuras 14, 16 e 18 podem-se observar os valores de evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc). Nota-se que os valores de ETc logicamente são menores que os de ETo , uma vez que o coeficiente da cultura é menor que 1, considerando que durante o experimento a cultura estava na fase de desenvolvimento. Pode-se observar, também, o efeito do coeficiente de umidade do solo. Logo após a irrigação, Ks tem valor igual ou próximo de 1, e, com a redução dos valores de umidade devido às perdas por evapotranspiração, o valor de Ks diminui e, conseqüentemente, reduz a ETc .

4.2 Área irrigada por microaspersão

Na Figura 19 são apresentados os valores dos desvios da umidade observados, em relação aos simulados no SISDA. Também não foi feita nenhuma correção dos valores de umidade simulados pelo modelo durante o período de monitoramento. Observa-se que os valores de umidade observados, em geral, estão menores que os simulados, ou seja, os desvios são negativos. Neste caso, o

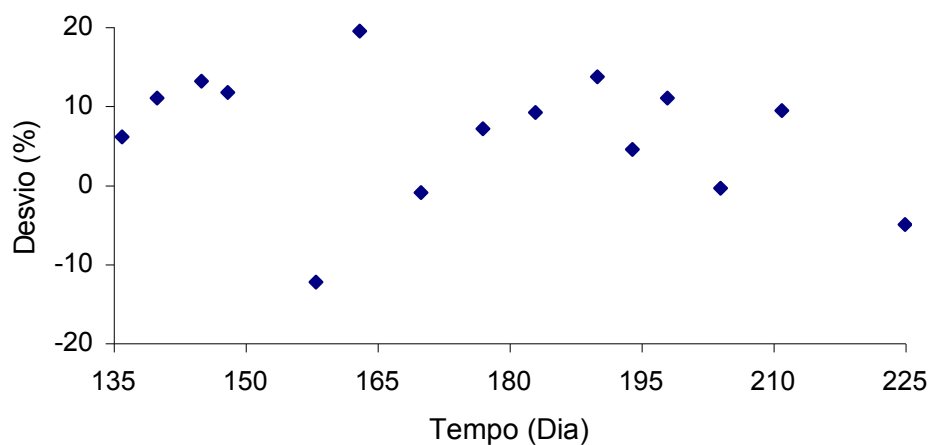


Figura 13 – Desvio dos valores observados de umidade do solo, em relação aos valores simulados no SISDA, sem correção, para a cultura do abacaxi.

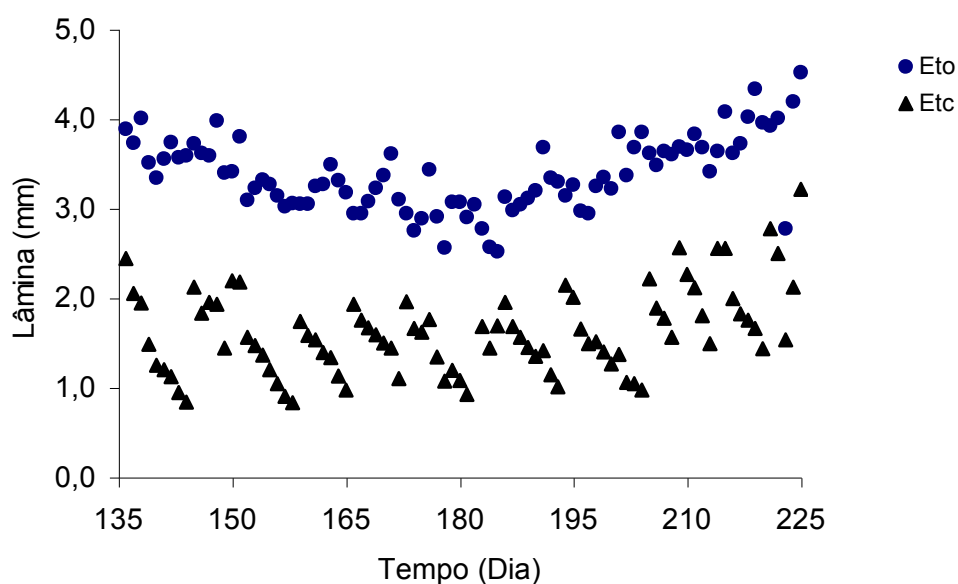


Figura 14 – Valores de evapotranspiração de referência e da cultura do abacaxi, sem correção da umidade simulada.

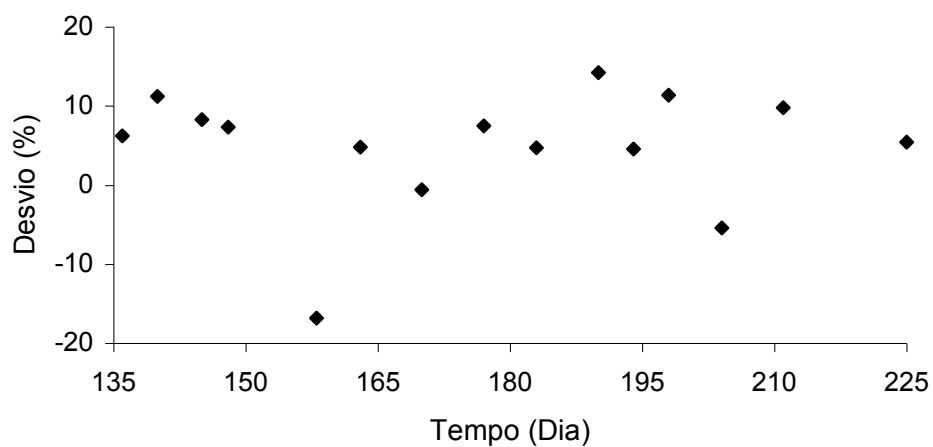


Figura 15 – Desvio dos valores observados de umidade do solo, em relação aos valores simulados no SISDA, com correção a cada quatro semanas, para a cultura do abacaxi.

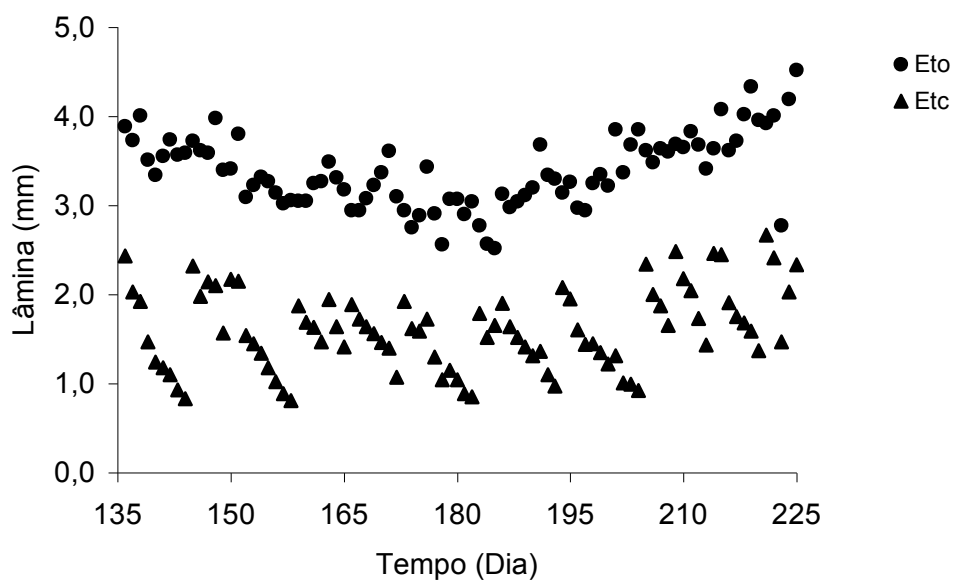


Figura 16 – Valores de evapotranspiração de referência e da cultura do abacaxi com correção da umidade simulada a cada quatro semanas.

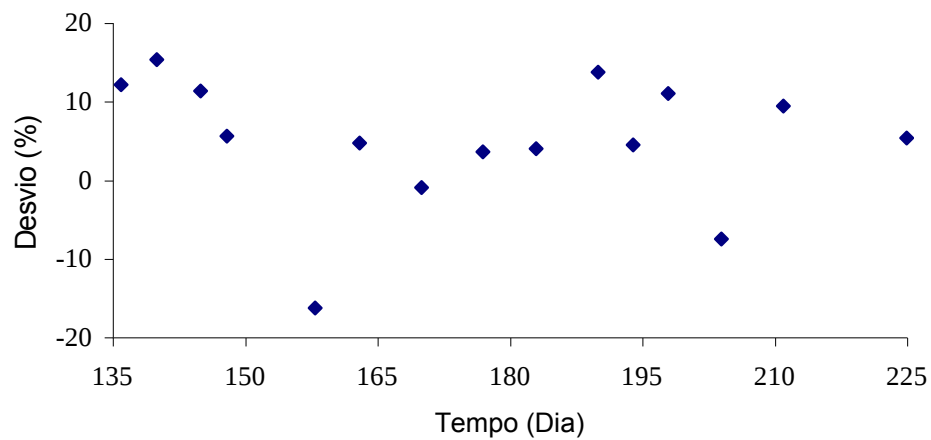


Figura 17 – Desvio dos valores observados de umidade do solo, em relação aos valores simulados no SISDA, com correção a cada duas semanas, para a cultura do abacaxi.

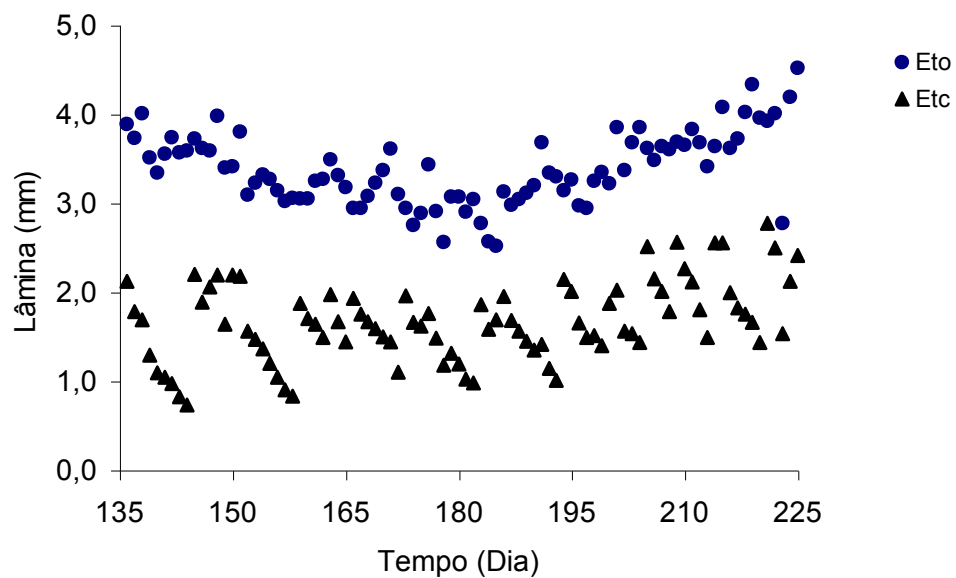


Figura 18 – Valores de evapotranspiração de referência e potencial para a cultura do abacaxi com correção da umidade a cada duas semanas.

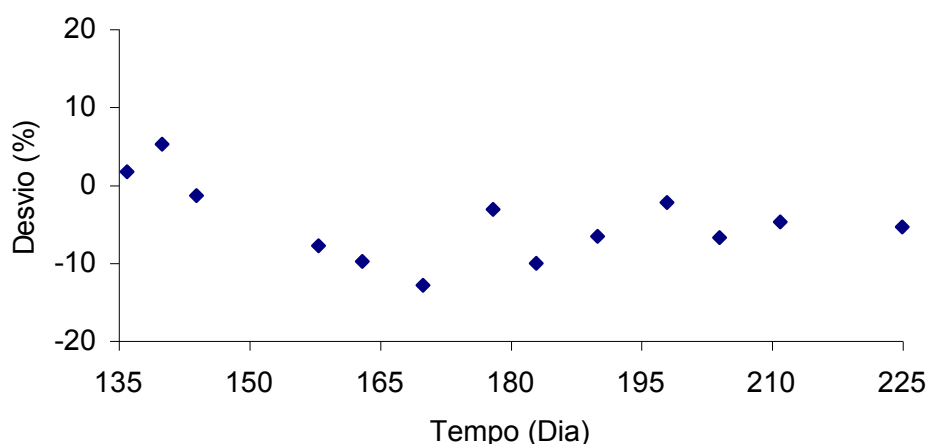


Figura 19 – Desvio dos valores observados de umidade do solo, em relação aos valores simulados no SISDA, sem correção, para a cultura da banana.

modelo subestimou os valores de evapotranspiração, porém os valores de umidade simulados e observados ficaram dentro da faixa recomendada, ou seja, entre a capacidade de campo e a umidade mínima, recomendada para a cultura.

Nas Figuras 20, 22 e 24, observa-se que os valores de evapotranspiração da cultura (ET_c) estão próximos dos valores da evapotranspiração de referência (ET_o), visto que o coeficiente da cultura nessa fase está próximo de 1. Nos primeiros dias do manejo, os valores de evapotranspiração da cultura são menores, devido ao ajuste feito pelo K_s , uma vez que nesta fase os valores de umidade estavam mais próximos da umidade mínima.

O fato de a umidade simulada ter sido diferente da observada pode ter ocorrido devido a erros na estimativa da evapotranspiração da cultura ou na lâmina de água que realmente foi incorporada na zona radicular, ou, ainda, em razão de erros de amostragem para determinação da umidade observada. Os erros na estimativa da evapotranspiração da cultura podem ser devido ao fato de os dados climáticos utilizados serem valores médios diários, enquanto as irrigações

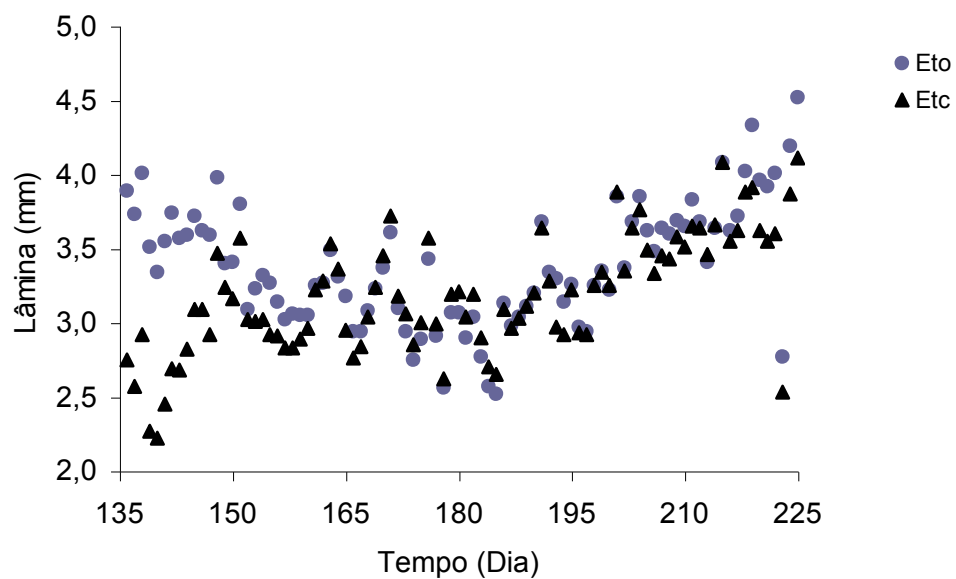


Figura 20 – Valores de evapotranspiração de referência e potencial para a cultura da banana sem correção da umidade.

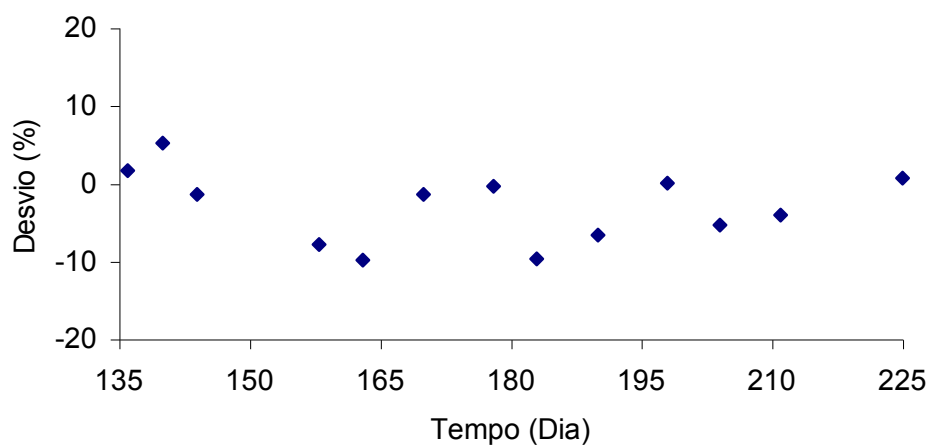


Figura 21 – Desvio dos valores observados de umidade do solo, em relação aos valores simulados no SISDA, com correção a cada quatro semanas, para a cultura da banana.

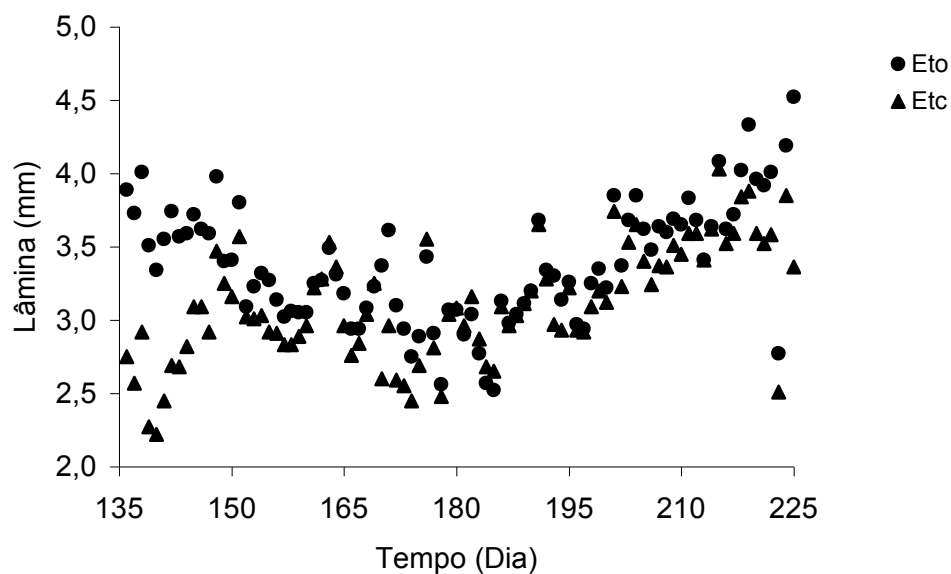


Figura 22 – Valores de evapotranspiração de referência da cultura da banana com correção da umidade simulada a cada quatro semanas.

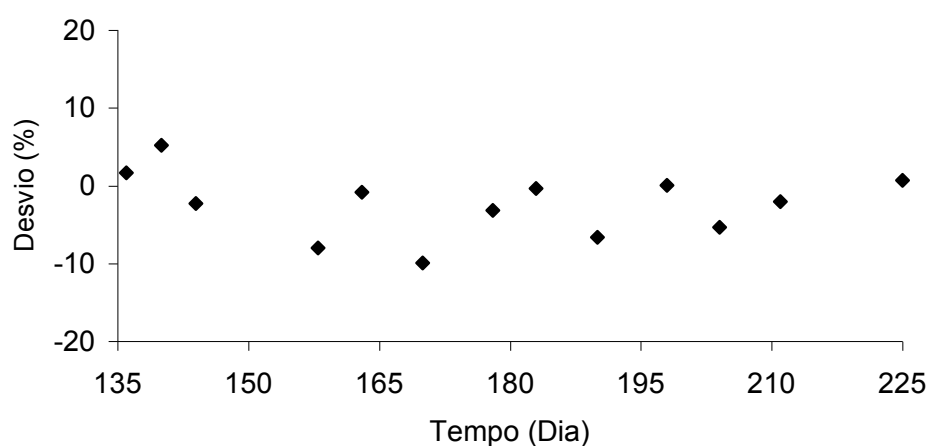


Figura 23 – Desvio dos valores observados de umidade do solo, em relação aos valores simulados no SISDA, com correção a cada duas semanas, para a cultura da banana.

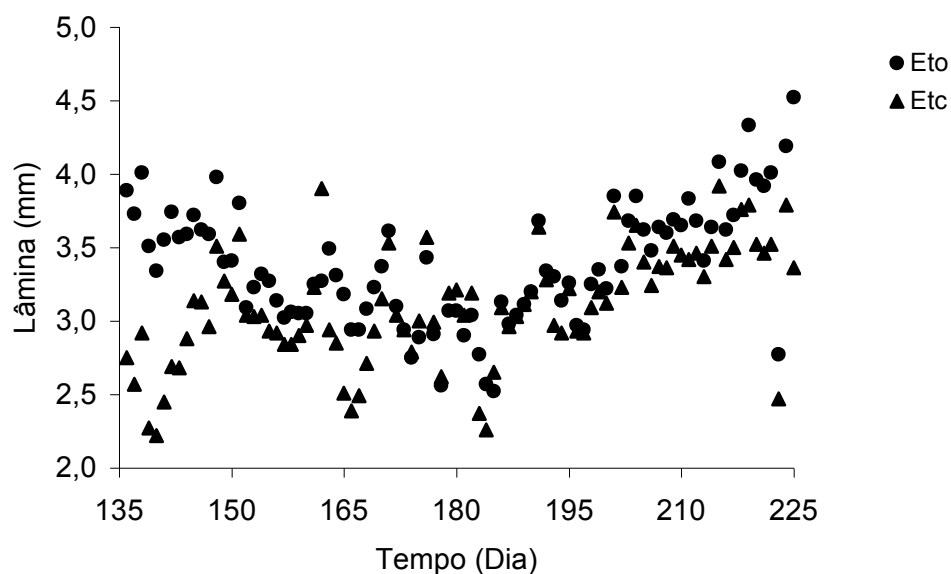


Figura 24 – Valores de evapotranspiração de referência da cultura da banana com correção da umidade simulada a cada duas semanas.

eram de aproximadamente três horas na aspersão e quatro horas na microaspersão. Logicamente, os valores verificados durante o tempo de irrigação podem não corresponder aos valores médios. Os coeficientes de cultura, na realidade, podem ser diferentes dos valores utilizados conforme recomendado na literatura, uma vez que não há dados de pesquisa obtidos para a região de Araçuaí. O coeficiente de umidade do solo (k_s) foi obtido considerando uma variação linear em relação à disponibilidade de água no solo, porém alguns autores recomendam metodologias diferentes (BERNARDO, 1995).

A eficiência de aplicação para área adequadamente irrigada é função da uniformidade do sistema, da velocidade do vento e da evapotranspiração de referência, ou seja, dos dados climáticos e da pressão de operação do sistema. A uniformidade de distribuição do sistema varia para cada irrigação, no entanto foram considerados os valores obtidos nos testes de avaliação, que foram 69,3 e 91,0%, para a aspersão convencional e microaspersão, respectivamente. Como mencionado anteriormente, os valores médios diários dos dados climáticos utilizados na estimativa da eficiência podem não corresponder aos valores reais

ocorridos durante a irrigação nos pontos onde se fez o controle de umidade. A pressão de operação do sistema varia com o número de aspersores operando ao mesmo tempo e com o nível da água na fonte (lago da barragem), que chegou a diminuir 4 m durante a realização do experimento.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

No período de maio a agosto de 1998, utilizou-se o SISDA (Sistema de Decisão Agrícola) para fazer o manejo de um sistema de irrigação por aspersão fixo para a cultura do abacaxi e de um sistema de microaspersão utilizado na cultura da banana, que fazem parte do Projeto Uso Racional de Energia na Agricultura, executado no município de Araçuaí – MG, localizado na região do Médio Jequitinhonha, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 16° 51' sul, longitude 42° 04' oeste e altitude 284 m.

Foram avaliados os sistemas de irrigação, determinando-se os parâmetros físico-hídricos do solo e os parâmetros de desempenho correspondentes a uniformidade de aplicação de água e eficiência de irrigação e eficiência de bombeamento, que foram utilizados como dados de entrada no SISDA.

Os dados meteorológicos foram obtidos utilizando uma estação climatológica automática, localizada numa área próxima aos cultivos, onde eram armazenados e diariamente lidos. No cálculo da evapotranspiração, trabalhou-se com o método Penman-Monteith FAO 1991. Os valores de evaporação do Tanque Classe A foram medidos, para determinação do coeficiente de tanque para a região. As lâminas de irrigação aplicadas eram corrigidas pela eficiência dos sistemas de irrigação, conforme metodologia de KELLER e BLIESNER (1990). A umidade do solo era determinada semanalmente, utilizando o método-

padrão de estufa, e os resultados eram comparados com os valores simulados com SISDA. Analisou-se o desempenho do SISDA, considerando o manejo durante todo o experimento, sem corrigir os valores de umidade simulada e corrigindo os valores a cada duas semanas e a cada quatro semanas. Os resultados obtidos com a realização do trabalho permitiram as seguintes conclusões:

- Os valores de ETo para o ano de 1998 foram maiores que os referentes à série histórica.
- O valor de kt foi de 0,69 para o Tanque Classe A instalado em superfície com bordadura de solo nu, velocidade do vento fraca e umidade relativa média alta.
- Os valores de umidade do solo simulados pelo SISDA foram iguais ou menores que os valores reais no sistema irrigado de aspersão convencional, enquanto na microaspersão eles foram iguais ou maiores.
- O SISDA superestimou a evapotranspiração da cultura do abacaxi e subestimou a da banana.
- Pode-se utilizar o SISDA com segurança para manejo de irrigação na região de Araçuaí-MG.

RESUMO E CONCLUSÕES

Utilizou-se o SISDA (Sistema de Suporte à Decisão Agrícola), no período de maio a agosto de 1998, para fazer o manejo de um sistema de irrigação por aspersão fixo para a cultura do abacaxi e de um sistema de microaspersão utilizado na cultura da banana, que fazem parte do Projeto Uso Racional de Energia na Agricultura, executado no município de Araçuaí – MG, localizado na região do Médio Jequitinhonha, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 16° 51' sul, longitude 42° 04' oeste e altitude de 284 m.

Os dados meteorológicos foram obtidos utilizando uma estação climatológica automática, localizada numa área próxima aos cultivos, onde eram armazenados e diariamente lidos. No cálculo da evapotranspiração, trabalhou-se com o método Penman-Montieth FAO 1991. Os valores de evaporação do Tanque Classe A foram medidos, para determinação do coeficiente de tanque para a região. As lâminas de irrigação aplicadas eram corrigidas pela eficiência dos sistemas de irrigação, conforme metodologia de KELLER e BLIESNER (1990). A umidade do solo era determinada semanalmente, utilizando o método-padrão de estufa, e os resultados eram comparados com os valores simulados com SISDA. Analisou-se o desempenho do SISDA, considerando o manejo durante todo o experimento, sem corrigir os valores de umidade simulada e

corrigindo os valores a cada duas semanas e a cada quatro semanas. Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- Nas avaliações, as irrigações foram realizadas no momento certo nos dois sistemas, porém as lâminas aplicadas foram insuficientes para elevar o teor de umidade na capacidade de campo, nos dois sistemas.
- Os valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen encontrados foram inferiores a 75% para a aspersão convencional e superiores a 90% para a microaspersão, e os coeficientes de uniformidade de distribuição foram inferiores a 65% para a aspersão convencional e superiores a 88% para a microaspersão.
- A perda por percolação profunda foi pequena nos dois sistemas avaliados, uma vez que as lâminas aplicadas foram menores que o necessário.
- As eficiências potenciais de aplicação foram de 81 e 98% e as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento foram de 18,9 e 1,6%, para a aspersão convencional e a microaspersão, respectivamente.
- As eficiências de condução foram de 100%, nos dois sistemas, não tendo sido constatado nenhum vazamento.
- O cálculo da eficiência baseado na metodologia proposta por KELLER e BLIESNER (1990) superestimou os valores da eficiência potencial de aplicação e subestimou a perda por evaporação e arrastamento pelo vento.
- A eficiência de aplicação foi de 76,8% para a aspersão convencional e de 90,7% para a microaspersão.
- A eficiência das bombas foi de 47,8% para o sistema de aspersão convencional e de 42,7% para o sistema de microaspersão.
- Os valores de ETo para o ano de 1998 foram maiores que os referentes à série histórica.
- O valor de kt foi de 0,69 para o Tanque Classe A instalado em superfície com bordadura de solo nu, velocidade do vento fraca e umidade relativa média alta.

- Os valores de umidade solo simulados pelo SISDA foram iguais ou menores que os valores observados no sistema irrigado de aspersão convencional, enquanto na microaspersão eles foram iguais ou maiores.
- O SISDA superestimou a evapotranspiração da cultura do abacaxi e subestimou a da banana.
- Os valores observados e simulados das umidades do solo ficaram entre a umidade à capacidade de campo e a umidade mínima recomendadas, para as culturas estudadas na região de Araçuaí-MG.
- Pode-se utilizar o SISDA com segurança para manejo de irrigação na região de Araçuaí-MG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.T. **Avaliação dos Sistemas de Irrigação Pressurizados e do Manejo da Água na Cultura da Banana no Projeto Gorutuba**. Viçosa-MG: UFV, 1997. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- ALMEIDA, O.A. **Irrigação em abacaxi**. Cruz das Almas: EMBRAPA-CNPMF, 1995. 33p. (EMBRAPA-CNPMF. Documento, 60).
- ASSAD, E.D., SANO, E.E. **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Brasília, DF: EMBRAPA-CPAC, 1993. 274p.
- AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. Belo Horizonte: **Informe Agropecuário**, n.139, p.40-53, 1986.
- BERNARDO, S. Irrigação e produtividade. Viçosa: **Engenharia na agricultura**, v.6, n.3, p.186-196, 1998.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed., Viçosa: UFV, 1995. 657 p.
- BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa-MG: UFV, 1999. 224p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- CARDOSO, H.E.A., MANTOVANI, E.C., COSTA, L.C. As águas da agricultura. Rio de Janeiro: **Agroanalysis**, v.18, n.3, p.27-28, 1998.

- CARVALHO, A. M. Irrigação no abacaxizeiro. **Informe Agropecuário: Abacaxi: Tecnologia de Produção e Comercialização**, Belo Horizonte, v.19, n.195, p.58-61, 1998.
- CHEN, C., KOCHER, M. **Better utilization of spatial information for agricultural management**. St. Joseph: ASAE, 1994. 11p. (ASAE. Paper, 94-3077).
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley, California Agricultural Station, 1942. 124p. (Bul. 670).
- COSTA, E. L., MAENO, P., ALBUQUERQUE, p.E. p.Irrigação da bananeira. **Informe Agropecuário: Banana: Produção, Colheita e Pós-Colheita**, Belo Horizonte, v.20, n.196, p.67-72, 1999.
- COSTA, L. C., MANTOVANI, C. E., SOARES, A. A., LEAL, B. G. **SISDA: a decision support system for agriculture in Brazil**. In: Information technology as a tool to assess land use options in space and time. Proceeding of an international workshop. Lima, 1997, p.33-39.
- COSTA, M.H. **Modelo de otimização dos recursos hídricos para a irrigação, conforme a época de plantio**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- CUNHA, G. A. P. **Abacaxi para exportação: aspectos técnicos da produção**. Brasília-DF: Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais, 1994. 41p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX; 11).
- DENÍCULI, W. **Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento**. Viçosa, MG: UFV, 1979. 42p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- DOORENBOS, J., KASSAN, A. H., **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de GHEYI, H. R., SOUZA, A. A., DAMASCENO, F. A V., MEDEIROS, J. F., Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requeriments**. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

- DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas.** Tradução de GHEYI, H. R., METRI, J. E. C., DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1997. 201 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 24).
- EPIPHANIO, J.C.N., VITORELLO, I. Áreas irrigadas; monitoramento por sensoramento remoto. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna.** v.14, p.2-6, 1983.
- GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento.** 2.ed., Campina Grande: UFPB, 1997. 390p.
- HART, W. E., PERI, G., SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluation. **Journal of the irrigation and drainage division**, New York, v.105, n.9, p.275-288, 1979.
- HEERMANN, D.F. Evapotranspiration research priorities for the next decade - irrigation. **Transactions of the ASAE**, v.31, n.2, p.497-502, 1988.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KELLER, J., KARMEI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1974.
- MANTOVANI, E. C. **Desarrollo y evaluacion de modelos para el manejo del riego:** estimacion de la evapotranspiracion y efectos de la uniformidade de aplicacion del riego sobre la produccion de los cultivos. Córdoba: Universidade de Córdoba, 1993, 184p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agronomos, 1993.
- MANTOVANI, E. C., SOARES, A. A. **Manejo de irrigação** in: COSTA, L. C., MANTOVANI, E. C., SOARES, A. A. Sistema de suporte à decisão agrícola: Manejo da cultura e dos recursos hídricos. Workshop internacional sobre manejo integrado das culturas e dos recursos hídricos. Brasília/DF, 02 a 04 de junho, 1998, 153p.
- MERRIAN, J.L., KELLER, J. **Farm Irrigation System Evaluation: a guide for management.** Logan, Utah, USA: Agricultural and Irrigation Engineering Department, 1978. 271p.

- MOTA, S. F. e OLIVEIRA, O. M. **Indicações para elaboração de um programa de computador para cálculo do balanço hídrico diário versátil para uso no Brasil.** 1987, 14 p.
- MOURTHÉ, H. **Projeto de irrigação por aspersão com tubos enterrados.** Colaboração especial de Alberto Daker e Abílio José Antunes. Belo Horizonte: EMATER-MG, 1991. 36p.
- NETO, J. D., MEDEIROS, M. G. A., AZEVEDO, C. A. V., AZEVEDO, H. M., Performance hidráulica e perfil de distribuição de água do microaspersor Naan 7110, sob diferentes condições de vento. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental.** Campina Grande, v.1, p.57-61, 1997.
- PENAFORTE, A. B., SILVA, A. M., FARIA, M. A., LIMA, L. A., OLIVEIRA, M. S., Análise e performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional e da distribuição da água no perfil do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras: UFLA, v.20, n.1, p.60-69, 1996.
- PREVEDELLO, C. L. **Física dos solos.** Curitiba: SAEAFS, 1996. 446 p.
- RAMOS, M. M. **Modelagem da demanda de água para planejamento de irrigação suplementar.** São Carlos: USP, 1986. 170 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, 1986.
- RODRIGUEZ, F. Recursos hídricos para a irrigação: aspectos institucionais. **ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna.** n.44, p.21-33, 1991.
- SAMPAIO, S. C., VILELA, L. A. A. DIAS, J. A. A., FARIA, M. A. Características hidráulicas e da distribuição de água do microaspersor Naan 7110. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras: UFLA, v.20, n.1, p.70-78, 1996.
- SANTOS, J. R. M. Irrigar é preciso. **Agroanalysis**, v.18, n.3, p.29-34, 1998.
- SCALOPPI, E. J. **Sistemas de Irrigação e Seus Componentes.** Brasília: ABEAS, 1988. 67p. (Curso de Engenharia de Irrigação. Módulo 5).
- SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: Necessidade de água para as plantas cultivadas.** Brasília: ABEAS, 1996. 176p. (Curso de Engenharia e manejo de Irrigação. Módulo 3).
- SMITH, M. **Report on the expert consultationon revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO, 1991. 45p.

- SOARES, A.A. **Irrigação Localizada e por Aspersão**. Brasília-DF: ABEAS, 1998. 62p. (Curso de Engenharia de Irrigação. Submódulo 7.1).
- SOARES, A.A.; RAMOS, M.M; MANTOVANI, E.C; OLIVEIRA R.A; RASCH, A. **Relatório Sobre Desempenho dos Sistemas de Irrigação por Aspersão Convencional do Estado de Minas Gerais**. Estudo de Otimização Energética Setorial - Irrigação por Aspersão Convencional, 1993. 21p.
- SOLOMON, K. Global uniformity of trickle irrigation systems. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.4, p.1151-1156, 1985.
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.5, n.22, p.1034-08, 1979.
- SOUZA, E.F. **Modelo computacional aplicado ao manejo e planejamento de irrigação**. Viçosa-MG: UFV, 1993. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- VARGAS, J.A.L. **Análise do desempenho do sistema de irrigação por aspersão, a nível de parcela, no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, Petrolina, PE**. Viçosa, MG: Impr. Univ./UFV, 1990. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1990.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Quadro 1A – Dados climáticos utilizados para estimar a evapotranspiração de referência e lâminas aplicadas nas irrigações, durante o manejo dos sistemas

DATA	Irrigação Total Banana (mm)	Irrigação Total Abacaxi (mm)	Temperat. Média (C)	Insolação (horas)	Veloci- dade do Vento ** (m.s ⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Precipi- tação (mm)
16/05/98	3,17	0,00	25,02	11,00	1,23	64,55	0,00
17/05/98	5,74	0,00	24,52	11,00	1,17	69,68	0,00
18/05/98	0,00	0,00	24,41	11,00	1,94	68,07	0,00
19/05/98	3,91	0,00	23,29	10,00	1,92	76,23	0,00
20/05/98	4,33	0,00	23,20	10,00	1,52	78,96	0,00
21/05/98	4,33	0,00	24,39	10,50	1,39	75,34	0,00
22/05/98	4,33	0,00	25,13	10,50	1,50	69,94	0,00
23/05/98	4,33	0,00	24,36	10,50	1,44	73,07	0,00
24/05/98	4,98	16,50	24,25	10,50	1,46	70,04	0,00
25/05/98	4,56	0,00	24,50	10,50	1,59	66,39	0,00
26/05/98	2,15	4,50	24,25	10,50	1,48	66,95	0,00
27/05/98	5,78	0,00	25,82	10,50	1,00	60,18	0,00
28/05/98	7,20	0,00	27,41	10,00	1,52	62,00	0,00
29/05/98	2,89	15,00	24,77	10,00	2,09	81,09	0,00
30/05/98	4,33	0,00	25,34	10,00	1,43	77,35	0,00
31/05/98	5,67	0,00	25,94	11,00	1,67	70,75	0,00
01/06/98	1,78	0,00	22,94	9,00	2,52	81,06	0,00
02/06/98	2,89	0,00	23,59	10,00	1,41	74,55	0,00
03/06/98	2,89	0,00	23,45	10,50	1,62	74,61	0,00
04/06/98	2,89	0,00	23,69	10,00	1,48	72,68	0,00
05/06/98	3,83	0,00	22,12	10,00	1,78	74,93	0,00
06/06/98	2,89	0,00	20,38	10,00	1,82	72,25	0,00
07/06/98	4,33	15,00	19,75	10,50	1,98	71,39	0,00
08/06/98	4,33	0,00	20,48	11,00	1,35	67,73	0,00
09/06/98	4,33	0,00	21,66	11,00	1,21	72,05	0,00
10/06/98	4,28	0,00	23,19	10,50	1,44	69,92	0,00
11/06/98	4,31	0,00	24,09	10,50	1,21	67,96	0,00
12/06/98	4,28	0,00	24,12	10,50	1,82	69,61	0,00
13/06/98	0,00	0,00	22,05	10,50	3,07	77,11	0,00
14/06/98	4,31	20,57	21,35	10,50	2,21	73,53	0,00
15/06/98	4,33	0,00	20,62	9,00	2,39	75,43	0,00
16/06/98	4,33	0,00	21,07	10,00	1,55	72,83	0,00
17/06/98	4,33	0,00	22,35	10,50	1,35	70,86	0,00
18/06/98	4,67	0,00	24,47	10,50	1,14	69,35	0,00
19/06/98	4,67	0,00	25,45	10,00	1,38	69,10	0,00
20/06/98	4,24	0,00	25,53	10,00	1,69	64,91	0,00
21/06/98	4,33	17,80	23,46	10,50	1,82	81,21	0,00
22/06/98	4,33	0,00	22,06	10,50	2,50	83,50	0,00
23/06/98	4,33	0,00	21,34	10,50	1,35	85,22	0,30
24/06/98	5,19	0,00	21,85	10,50	1,11	76,26	0,00
25/06/98	3,61	0,00	23,54	11,00	1,76	69,27	0,00
26/06/98	3,37	0,00	20,02	11,00	2,18	78,84	0,00
27/06/98	3,97	0,00	20,22	9,00	1,47	81,89	0,00
28/06/98	4,33	0,00	21,91	10,00	1,82	74,11	0,00

Continua...

Quadro 1 A, Cont.

DATA	Irrigação Total Banana (mm)	Irrigação Total Abacaxi (mm)	Temperat. Média (C)	Insolação (horas)	Veloci- dade do Vento ** (m.s ⁻¹)	Umidade Relativa (%)	Precipi- tação (mm)
29/06/98	4,30	0,00	21,77	10,00	1,89	74,46	0,00
30/06/98	4,30	0,00	20,36	10,50	1,90	77,59	0,00
01/07/98	3,77	16,00	22,32	10,00	1,69	76,13	0,00
02/07/98	3,77	0,00	21,96	10,00	1,18	85,70	0,00
03/07/98	0,00	0,00	21,14	10,00	0,12	95,28	11,50
04/07/98	0,00	0,00	20,99	10,00	0,55	94,86	0,00
05/07/98	3,77	0,00	22,34	10,50	1,68	76,05	0,00
06/07/98	3,72	0,00	21,81	10,50	1,24	75,84	0,00
07/07/98	3,76	0,00	22,61	10,00	1,32	75,42	0,00
08/07/98	3,77	0,00	22,09	10,50	1,32	71,73	0,00
09/07/98	3,36	0,00	22,13	10,50	1,37	68,10	0,00
10/07/98	3,77	0,00	24,89	10,50	1,93	70,07	0,00
11/07/98	0,00	0,00	23,28	10,00	2,59	78,45	0,00
12/07/98	4,93	20,00	21,37	10,50	2,21	73,12	0,00
13/07/98	6,43	0,00	20,11	10,50	1,83	70,78	0,00
14/07/98	3,77	0,00	20,91	10,50	2,02	71,93	0,00
15/07/98	3,77	0,00	21,43	10,00	1,79	82,05	0,00
16/07/98	3,77	0,00	21,40	10,00	1,31	81,10	0,00
17/07/98	3,77	0,00	22,81	10,00	1,50	74,27	0,00
18/07/98	3,97	0,00	23,81	10,00	1,58	76,55	0,50
19/07/98	3,75	0,00	24,64	7,00	1,68	70,67	0,00
20/07/98	3,77	0,00	24,92	10,00	1,98	67,33	0,00
21/07/98	3,77	0,00	23,80	9,50	1,42	71,98	0,00
22/07/98	3,64	0,00	23,97	10,50	1,56	66,61	0,00
23/07/98	3,77	17,95	23,87	10,00	2,19	67,71	0,00
24/07/98	3,70	0,00	23,00	10,00	2,17	72,10	0,00
25/07/98	3,50	0,00	21,68	10,00	2,40	74,01	0,00
26/07/98	4,40	0,00	22,48	10,00	1,99	68,87	0,00
27/07/98	5,03	19,29	21,95	10,50	1,93	70,40	0,00
28/07/98	3,77	0,00	22,54	10,50	1,78	68,35	0,00
29/07/98	3,75	0,00	22,91	10,50	1,55	69,28	0,00
30/07/98	0,00	0,00	22,50	10,50	2,39	71,01	0,00
31/07/98	5,70	0,00	21,89	10,00	2,65	73,54	0,00
01/08/98	3,77	23,75	21,32	10,00	2,44	78,60	0,00
02/08/98	3,96	0,00	22,94	10,00	1,74	73,41	0,00
03/08/98	3,77	0,00	24,94	10,00	1,75	65,72	0,00
04/08/98	3,77	0,00	23,58	10,00	1,61	78,12	0,00
05/08/98	3,77	0,00	24,36	10,00	1,21	73,41	0,00
06/08/98	1,60	0,00	25,49	10,00	1,32	65,33	0,00
07/08/98	3,77	0,00	26,36	10,50	2,04	73,26	0,80
08/08/98	3,77	20,28	25,09	10,00	2,23	79,14	0,00
09/08/98	3,77	0,00	24,66	10,00	1,96	78,17	0,00
10/08/98	5,03	0,00	24,90	10,00	1,61	73,65	0,00
11/08/98	3,72	0,00	26,10	1,50	1,68	72,58	0,00
12/08/98	3,77	18,50	25,98	10,50	1,39	75,21	0,00
13/08/98	3,77	0,00	26,32	10,50	1,74	67,62	0,00

** A velocidade do vento foi medida a 2 m de altura.

APÊNDICE B

Quadro 1B – Dados das propriedades cadastradas no SISDA

	PROPRIEDADE	
	Fazenda Calhauzinho	Faz. Barra do Córrego Narciso
Proprietário	Severo Silva Santos	José Marcos R. Silva
Área (ha)	50	400
Longitude (°O)	16°51’	16°51’
Latitude (°S)	42°04’	42°04’
Altitude (m)	307,3	307,3
Cidade	Araçuaí	Araçuaí
Estado	MG	MG
Estação climat. Local	Calhauzinho	Calhauzinho
Estação climat. INMET	Araçuaí	Araçuaí
Estação climat. normal	Araçuaí	Araçuaí
Sistema de irrigação	Aspersão Convencional	Microaspersão

APÊNDICE C

Quadro 1C – Dados de entrada sobre os índices das culturas das áreas irrigadas por aspersão convencional e microaspersão

Índices/Irrigação	Aspersão	Microaspersão
Cultura	Abacaxi	Banana
f (%)	60,0	35,0
Valor de mercado	Médio	Alto
Temp. basal (°C)	10	10
Temp. ótima (°C)	25	25
Salinidade máxima (dS.m ⁻¹)	10	10
Espaçamento (m)	0,30 x 0,40 x 0,90	3,0 x 3,0
Data Plantio	01/10/1997	15/01/1998

Quadro 2C – Dados de entrada sobre os estádios de desenvolvimento das culturas das áreas irrigadas por aspersão convencional e microaspersão

Abacaxi					
	Duração (dias)	Duração (graus-dias)	Kc	Profund. Raízes (m)	Área Sombra (%)
Início	90	1560	0,50	0,10	20,0
Desenvolv.	270	4200	0,75	0,20	50,0
Flor/Matur.	90	1500	0,90	0,20	80,0
Final	90	1500	0,75	0,20	80,0
Banana					
Início	90	1170	1,00	0,20	20,0
Desenvolv.	90	1170	1,00	0,30	50,0
Flor/Matur.	90	1170	1,15	0,40	100,0
Final	90	1170	0,90	0,40	100,0

APÊNDICE D

Quadro 1D – Dados de entrada sobre os solos das áreas irrigadas por aspersão convencional e microaspersão

Camadas	Aspersão		Microaspersão	
	0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm	20-40 cm
Cc (% peso)	20,50	20,50	24,0	24,0
Pm (% peso)	11,1	11,1	13,2	13,2
ρ (g.cm ⁻³)	1,40	1,40	1,15	1,15
Argila (%)	43,0	43,0	45,0	47,0
Silte (%)	31,0	31,0	32,0	33,0
Areia (%)	26,0	26,0	23,0	20,0

APÊNDICE E

Quadro 1E – Dados referentes à água de irrigação retirada da Barragem do Calhauzinho

Característica / Un	Valor	Característica / Un	Valor
Hora da coleta	08:50	Condut. Elétrica ($\mu\text{S/m}$)	2,0
Temp. ambiente ($^{\circ}\text{C}$)	29	Cor (uH)	35
Temp. da água ($^{\circ}\text{C}$)	27	Dureza Ca ($\text{mg.L}^{-1} \text{CO}_3$)	26,4
Acidez livre ($\text{mg.L}^{-1} \text{CO}_2$)	2,9	Dureza total ($\text{mg.L}^{-1} \text{CO}_3$)	58,9
Bicarbonato ($\text{mg.L}^{-1} \text{CaCO}_3$)	72,2	Ferro total ($\text{mg.L}^{-1} \text{Fe}$)	0,84
Carbonato ($\text{mg.L}^{-1} \text{CO}_3$)	ND*	pH	7,7
Hidróxido ($\text{mg.L}^{-1} \text{CO}_3$)	ND*	Sulfatos ($\text{mg.L}^{-1} \text{SO}_4$)	10,0
Cloretos ($\text{mg.L}^{-1} \text{Cl}$)	12,4	Turbidez (uT)	5,3
S. Sedim. (mg.L^{-1})	<0,1	S.S.T. (mg.L^{-1})	6,7

* Não-detectado.

APÊNDICE F

Quadro 1F – Dados de entrada sobre os equipamentos das áreas irrigadas por aspersão convencional e microaspersão

	Aspersão	Microaspersão
	Aspersor de impacto	Micro Naan Hadar
Modelo	ZE - 30	7110
Fábrica	Asbrasil	Naan
ϕ do bocal (mm)	6,0	1,1
Vazão (L.h ⁻¹)	2300,0	52,0
Pressão Serv. (kPa)	280,0	150
Espaçamento (m)	18 x 24	6 x 6
CUC (%)	69,3	91,0
Emissores por planta	-	0,25
ϕ molhado (m)	-	6,0
Vazão retirada (L.s ⁻¹)	4,47	3,70
Condições de operação	Condições excelentes de montagem / manutenção	Condições excelentes de montagem / manutenção

APÊNDICE G

Quadro 1G – Aspersores, características de fabricação e dados de campo

Aspersor	Cota (m)	Marca	Modelo	ϕ bocal (mm)	Pressão (kPa)	Vazão (L/s)	Rotação	Vazão m ³ /h
7 A	117,88	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	280	0,62	1,60	2,22
6 A	117,30	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	280	0,62	1,56	2,24
5 A	117,82	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	280	0,64	1,50	2,30
4 A	118,62	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	282	0,64	1,49	2,31
3 B	116,85	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	270	0,59	1,60	2,13
2 C	115,48	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	260	0,60	1,50	2,16
1 C	114,79	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,68	1,95	2,44
								15,80
7 B	115,38	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,67	2,00	2,41
6 B	115,39	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,66	2,10	2,38
5 B	115,40	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,67	2,20	2,42
4 B	116,19	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,67	1,90	2,43
3 C	114,56	Asbrasil	ZE-30	6,00	275	0,63	1,80	2,27
2 D	112,01	Asbrasil	ZE-30	6,00	283	0,64	2,20	2,30
1 D	112,38	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,65	2,10	2,35
								16,56
7 C	113,41	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,65	2,05	2,34
6 C	112,87	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,65	2,10	2,34
5 C	112,80	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,70	1,90	2,52
4 C	113,57	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,65	1,95	2,34
3 D	111,59	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,64	2,19	2,31
2 E	108,34	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,66	2,20	2,39
1 E	108,41	Asbrasil	ZE-30	6,00	300	0,72	2,30	2,59
								16,83
7 D	111,50	Asbrasil	ZE-30	6,00	270	0,64	1,80	2,30
6 D	110,67	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,65	2,15	2,33
5 D	110,67	Asbrasil	ZE-30	6,00	290	0,66	2,00	2,38
4 D	110,83	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,70	1,95	2,53
3 E	107,96	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,67	3,08	2,40
2 F	108,16	Asbrasil	ZE-30	6,00	290	0,69	2,19	2,48
1 F	107,60	Asbrasil	ZE-30	6,00	320	0,69	2,40	2,48
								16,89
7 E	109,49	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,60	1,86	2,17
6 E	108,52	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,65	1,95	2,35
5 E	110,92	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,66	1,90	2,39
4 E	107,57	Asbrasil	ZE-30	6,00	290	0,65	2,20	2,35
3 F	108,41	Asbrasil	ZE-30	6,00	285	0,68	2,06	2,46
2 G	104,67	Asbrasil	ZE-30	6,00	310	0,66	2,30	2,39
1 G	103,66	Asbrasil	ZE-30	6,00	325	0,67	2,20	2,41
								16,53
6 F	106,40	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,67	1,70	2,41
5 F	108,96	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,65	1,90	2,36
4 F	108,30	Asbrasil	ZE-30	6,00	280	0,68	1,95	2,43
3 G	105,08	Asbrasil	ZE-30	6,00	315	0,67	2,20	2,42
4 G	105,66	Asbrasil	ZE-30	6,00	320	0,70	2,30	2,50
5 G	106,82	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	285	0,67	1,70	2,40
6 G	106,60	Asbrasil	ZE-30 S	6,00	270	0,60	1,52	2,17
								16,69

Quadro 2G – Dados de campo referentes à vazão e pressão de funcionamento dos emissores avaliados na área irrigada por microaspersão

Unidade	Linha	Emissor	Vazão média (L.h ⁻¹)	Pressão (kPa)
2	Início	Início	46,10	145
		1/3	45,64	130
		2/3	46,45	138
		Final	47,01	145
	1/3	Início	50,86	155
		1/3	48,88	150
		2/3	50,62	160
		Final	52,34	161
	2/3	Início	53,55	175
		1/3	52,22	170
		2/3	53,49	170
		Final	54,97	175
	Final	Início	58,34	200
		1/3	57,06	185
		2/3	57,02	195
		Final	57,84	200
Média			52,0	166
4	Início	Início	48,30	144
		1/3	46,21	132
		2/3	46,35	136
		Final	49,21	150
	1/3	Início	50,97	160
		1/3	49,53	152
		2/3	50,36	152
		Final	52,14	160
	2/3	Início	57,91	205
		1/3	57,51	195
		2/3	58,02	190
		Final	59,96	200
	Final	Início	60,20	218
		1/3	57,00	186
		2/3	56,48	182
		Final	55,95	190
Média			53,5	172
Média Geral			52,8	169