

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VIABILIDADE DE MUDANÇAS TECNOLÓGICAS NA
IRRIGAÇÃO DA TOMATICULTURA DE MESA**

EDER PEREIRA GOMES

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2005

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VIABILIDADE DE MUDANÇAS TECNOLÓGICAS NA
IRRIGAÇÃO DA TOMATICULTURA DE MESA**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, na Área de Concentração em Água e Solo

EDER PEREIRA GOMES

ORIENTADOR: PROF. DR. ROBERTO TESTEZLAF

CAMPINAS
FEVEREIRO DE 2005

De nada valem as idéias sem homens que possam pô-las em prática.

Karl Marx

Ofereço:

- Ao povo brasileiro.

Agradeço:

- Primeiramente a Deus, na pessoa de Jesus Cristo, pelo dom da vida e pela graça da perseverança;
- A minha querida família pelo apoio incondicional em todos os momentos de minha vida;
- Ao meu Orientador, Professor Dr. Roberto Testezlaf, por sua segura e competente orientação e acima de tudo pelos votos de confiança depositados em mim ao longo destes anos;
- A minha namorada Carol, pela paciência, carinho e ajuda, sobretudo nos momentos mais difíceis;
- Aos colegas de República, Evandro, Marcelo e Glaydson, pelo enorme prazer da convivência;
- Aos meus queridos amigos Silvestre e Marcel, companheiros de todas as horas, por tornarem mais leve e agradável a vida;
- Aos queridos colegas do Laboratório de Irrigação: Márcio, Chris, Anderson, Laura, Evandro, Douglas, Renata, Délvio, Sérgio, Claudinei e Roger, por nossa fraterna convivência;
- Aos técnicos do Laboratório, Gelson e Túlio, pelos serviços prestados e pela amizade adquirida ao longo destes anos;
- Aos colegas do Laboratório de Solos: Célia, Júnior, Lucareli, Tânia, Fátima, Teresa e Mazzola, por nossos momentos de bate-papo, principalmente na hora do cafézinho;
- Aos colegas da pós-graduação: Luciana, Marcão, Lúcia, Madalena, Cíntia, Leda, Celso e Sebastião, Murilo e Aristóteles, pela convivência e trocas de experiências;
- A todos os pós-graduandos da FEAGRI, por momentos agradáveis que compartilhamos;
- A todos os professores, de maneira especial, Professores Edson Eiji Matsura e José Euclides Paterniani, pela confiança e orientação nos programas de estágio à docência;
- A toda Comunidade Sant'Ana, pela acolhida e pelo carinho;

- Ao Padre José Luís Araújo, pela amizade e confiança;
- A Irmã Margarida, por sua amizade tão sincera e pelo carinho;
- Aos amigos da Comunidade Santa Mônica, pelo prazer de trabalharmos juntos;
- Ao amigo Padre Zezinho, meu querido Mestre Espiritual;
- Aos meus queridos amigos: Eléia, Marcelo e Marco Antônio, pessoas que mesmo à distância, sempre estiveram presentes em minha vida;
- A todos os meus colegas de mestrado, companheiros primeiros, pela alegria de nossas amizades;
- Ao meu Orientador de Mestrado, Professor Dr. Antônio de Pádua Sousa, pela acolhida e iniciação na vida acadêmica;
- As Professoras Julieta e Kelen e todos os colegas do Assentamento de Sumaré, pela rica experiência que vivemos juntos;
- Aos alunos das disciplinas Mecânica dos Fluidos, primeiro semestre de 2002, Técnicas de Irrigação, segundo semestre de 2003, pelo respeito e pela amizade;
- Ao Professor da ESALQ, Dr. José Antônio Frizzone, pela sua atenção e disponibilidade;
- A todos os companheiros da Campanha da Fraternidade, pelo espírito de amizade e solidariedade;
- Aos alunos de iniciação científica, Marco Antônio Mosca e Henrique Luís de Oliveira, pela amizade e ajuda neste trabalho;
- Aos irmãos Andrade, proprietários da Fazenda Bela vista, ao Engenheiro Agrônomo João Roberto do Amaral Junior e ao funcionário Valmiral Bispo, pela contribuição mais que imprescindível na realização deste trabalho e pela dedicação conjunta no experimento;
- A CAPES, pela bolsa cedida;
- A Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, pelo apoio financeiro dado neste projeto e pela assistência prestada ao longo destes anos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 PANORAMA DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA IRRIGAÇÃO	5
2.1.1 <i>Situação Mundial.....</i>	<i>5</i>
2.1.2 <i>Situação Brasileira.....</i>	<i>6</i>
2.1.3 <i>Situação no Estado de São Paulo e nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá</i>	<i>8</i>
2.2 A CULTURA DO TOMATEIRO	9
2.2.1 <i>Perfil de produção.....</i>	<i>9</i>
2.2.2 <i>Aspectos gerais da cultura</i>	<i>10</i>
2.3 MANEJO DA IRRIGAÇÃO.....	13
2.3.1 <i>Quando irrigar</i>	<i>13</i>
2.3.2 <i>Quanto irrigar</i>	<i>15</i>
2.3.3 <i>Tempo de irrigação</i>	<i>18</i>
2.4 FERTIRRIGAÇÃO.....	18
2.5 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA SOLUÇÃO DO SOLO.....	20
2.6 IRRIGAÇÃO LOCALIZADA	21
2.7 IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE	22
2.8 AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	24
2.8.1 <i>Eficiência de aplicação e uniformidade na irrigação por gotejamento.....</i>	<i>25</i>
2.8.2 <i>Eficiência de aplicação e uniformidade na irrigação por sulcos.....</i>	<i>26</i>
2.9 PRODUÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA NA CULTURA DO TOMATEIRO IRRIGADA POR GOTEJAMENTO E SULCOS.....	27
2.10 ANÁLISE ECONÔMICA PARA SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO.....	29
2.10.1 <i>Custos Fixos</i>	<i>29</i>
2.10.2 <i>Custos Variáveis.....</i>	<i>30</i>
2.11 AGRICULTURA SUSTENTÁVEL	32
3. METODOLOGIA	33

3.1 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	33
3.1.1 <i>Caracterização da área experimental</i>	37
3.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	40
3.2.1 <i>Manejo da cultura</i>	40
3.2.2 <i>Monitoramento da irrigação</i>	41
3.2.3 <i>Monitoramento da condutividade elétrica da solução solo</i>	42
3.2.4 <i>Avaliação dos sistemas de irrigação</i>	43
3.2.5 <i>Análise econômica dos sistemas de irrigação</i>	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1 MONITORAMENTO DA IRRIGAÇÃO	51
4.1.1 <i>A irrigação nos diferentes sistemas</i>	51
4.1.2 <i>Avaliação dos sistemas de irrigação</i>	53
4.1.3 <i>Tensão de água no solo</i>	58
4.1.4 <i>Água disponível no solo</i>	60
4.1.5 <i>Condutividade elétrica</i>	62
4.2 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA	63
4.2.1 <i>Produtividade</i>	63
4.2.1 <i>Eficiência de uso da água</i>	65
4.3 ANÁLISE ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	65
4.3.1 <i>Custos variáveis</i>	66
4.3.1 <i>Custos Fixos</i>	67
4.3.3 <i>Custo dos sistemas de irrigação</i>	67
4.4 DISCUSSÃO GERAL	68
4.4.1 <i>Irrigação e produtividade</i>	68
4.4.2 <i>Produtividade e análise econômica</i>	70
4.4.3 <i>Produção sustentável na cultura do tomateiro</i>	71
5. CONCLUSÕES	73
6. SUGESTÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS	74
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXOS	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema geral do experimento.	34
Figura 2. Irrigação por sulcos, com desvio feito pela “bandeira”.	35
Figura 3. Irrigação por sulcos abastecidos por mangueira, com extremidade modificada.	36
Figura 4. Cabeçal de controle utilizado no tratamento TG.	36
Figura 5. Regulador de pressão com conexão de múltiplas saídas.	37
Figura 6. Curvas de retenção de água no solo para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.	39
Figura 7. Extração da solução do solo para determinação de CE.	43
Figura 8. Calibração do TDR para a camada de 0-60 cm.	44
Figura 9. Medidor ultrassônico de velocidade de fluxo conectado na tubulação de recalque. .	46
Figura 10. Calha WSC flume B no final do sulco de distribuição.	47
Figura 11. Valores de chuva e irrigação durante o ciclo da cultura.	52
Figura 12. Valores médios de eficiência de aplicação, de perdas por percolação e de uniformidade de distribuição nos diferentes sistemas de irrigação.	57
Figura 13. Variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas de solo da irrigação por sulcos (TS).	59
Figura 14. Variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas de solo da irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).	59
Figura 15. Variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas de solo da irrigação por gotejamento (TG).	59
Figura 16. Água disponível no solo para os diferentes tratamentos.	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Granulometria e densidade nas diferentes camadas do solo.....	38
Tabela 2. Dados para construção da curva de retenção de água no solo.....	38
Tabela 3. Constantes e coeficientes de ajuste da equação de van Genuchten nas diferentes camadas de solo.....	39
Tabela 4. Lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo da cultura do tomateiro.....	51
Tabela 5. Volumes de água nas parcelas de irrigação por sulcos (TS).	54
Tabela 6. Parâmetros de eficiência na irrigação por sulcos (TS).	54
Tabela 7. Volumes de água nas parcelas de irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).	55
Tabela 8. Parâmetros de eficiência na irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).	55
Tabela 9. Volumes de água nas parcelas de irrigação por gotejamento (TG).....	55
Tabela 10. Parâmetros de eficiência na irrigação por gotejamento (TG).....	56
Tabela 11. Uniformidade de distribuição da umidade no solo (%).	56
Tabela 12. Valores médios de tensão de água no solo (kPa)*.....	58
Tabela 13. Resumo da análise de variância para a tensão de água no solo.....	58
Tabela 14. Valores médios de água disponível (%) nos diferentes tratamentos para a camada de 0-40cm.	61
Tabela 15. Resumo da análise de variância de água disponível (%) no solo.	61
Tabela 16. Valores médios de CEes (dS.m ⁻¹)*.....	62
Tabela 17. Resumo da análise de variância da CEes dos diferentes tratamentos.....	62
Tabela 18. Valores médios de produtividade (tomate 2A).....	63
Tabela 19. Valores médios de produtividade (tomate 1A).....	64
Tabela 20. Resumo da análise de variância para a produtividade (tomate 2A).....	64
Tabela 21. Resumo da análise de variância para a produtividade (tomate 1A).....	64
Tabela 22. Valores médios de eficiência de uso da água (EUA).	65
Tabela 23. Resumo da análise de variância para eficiência de uso da água.....	65
Tabela 24. Investimento inicial por hectare na mudança do sistema de irrigação.	66
Tabela 25. Custos variáveis por ciclo de produção por hectare.	66

Tabela 26. Custos fixos por ciclo de produção por hectare.....	67
Tabela 27. Valores médios de umidade volumétrica (%) obtidos a partir das leituras de constante dielétrica.	87
Tabela 28. Valores médios de umidade volumétrica (%) obtidos a partir das leituras de tensão.	88
Tabela 29. Valores médios de constante dielétrica.....	90
Tabela 30. Valores médios de tensão (kPa).....	91
Tabela 31. Valores médios de condutividade elétrica (dS.m^{-1}) da solução do solo.	93
Tabela 32. Valores médios (estimados) de condutividade elétrica (dS.m^{-1}) do extrato de saturação.	93
Tabela 33. Alturas de lâminas de água (cm) medidas na calha WSC flume B.	94

RESUMO

A irrigação, na forma que vem sendo realizada na tomaticultura da região de Campinas, SP, tem proporcionado sérias restrições ambientais. O presente trabalho avaliou alternativas de mudanças tecnológicas na irrigação da tomaticultura da região de Campinas, buscando uma solução sustentável, viável economicamente e com eficiente uso da água, instalando em uma área experimental, diferentes sistemas de irrigação empregados na tomaticultura da região (sulcos, sulcos abastecidos por mangueira e gotejamento). As parcelas experimentais foram dispostas em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. Comparou-se no experimento, a eficiência de uso da água, os parâmetros de eficiência e de uniformidade de irrigação, a produtividade e a qualidade dos frutos de tomate e o efeito de cada sistema de irrigação no valor da cobrança da água e no custo de produção. A irrigação por sulcos, por ser o sistema predominante na região, foi utilizada como testemunha (sem interferência no manejo de irrigação), enquanto os outros sistemas, foram avaliados como alternativas tecnológicas. Mediante os resultados obtidos pode-se afirmar que não houve diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos, pois todos ofereceram condições ideais de umidade no solo. Entretanto, as eficiências de uso da água foram distintas, sendo iguais a 24,1 kg.m⁻³, 71,5 kg.m⁻³ e 112,8 kg.m⁻³, respectivamente para sulcos, sulcos abastecidos por mangueira e gotejamento. A irrigação por sulcos obteve baixa eficiência de aplicação, em torno de 28%, com perda por percolação profunda superior a 70%. Na irrigação por sulcos abastecidos por mangueira e gotejamento, os valores de eficiência de aplicação foram superiores, sendo iguais a 85% e 87,8%, respectivamente, com perdas por percolação menores, 15% e 12,2%, respectivamente. Em todos os sistemas de irrigação, a cobrança da água exerceu pouca influência no custo de produção, com valores iguais a 0,14% (R\$40,80), 0,04% (R\$13,32) e 0,03% (R\$8,25), respectivamente para sulcos, sulcos abastecidos por mangueira e gotejamento. A irrigação por gotejamento elevou o custo de produção em 3,5% (+R\$1041,89), enquanto a irrigação por sulcos abastecidos por mangueira reduziu o custo de produção em 1,1%(-R\$330,08). Diante dos resultados, chegou-se à conclusão que a irrigação por sulcos abastecidos por mangueira é opção mais sustentável de mudança tecnológica, pois demandou menor investimento, diminuiu o custo de produção e o consumo de água, enquanto a irrigação por gotejamento contemplou somente o último aspecto, a redução do consumo de água.

Palavras-chave: irrigação por sulcos, irrigação por gotejamento, tomate-de-mesa, custo de produção.

ABSTRACT

Searching for a sustainable yield, economically viable and water efficient use, the objective of this study was to evaluate changes in irrigation technologies used in fresh-market-tomatoes crop. Three different irrigation systems (furrow, furrow supplied by hose and drip) were installed in the same farm to compare water application uniformity and efficiency, to estimate crop yield and fruits quality and to analyze its effects on water and production costs. The irrigation systems were select based upon the facts that furrow is a most utilized system in the region, the furrow supplied by hose and drip irrigation are recent alternatives market technologies for the farmers. The results showed no significant differences in yields and fruits qualities among the evaluated irrigation systems. The drip irrigation system showed higher water use efficiency. The furrow irrigation system showed application efficiency of around 28%, with deep percolation losses of 70%. The furrow supplied for hose and drip irrigations systems had applications efficiencies of 85% and 87.8%, respectively with deep percolation losses of 15% and 12.2%, respectively. In all the irrigation systems, the water cost had no significant effect the total production cost, representing only 0.14%, 0.05% and 0.03%, for furrow, furrow supplied by hose and drip irrigations systems, respectively. The change to drip irrigation system increased the production cost yield in 3.5%, while furrow supplied by hose reduced it in 1.1%. The furrow irrigation system supplied by hose showed the most sustainable technical option to change from the traditional furrow irrigation for the farmers, being able to reduce the production cost and the amount of water with less investment.

Key-words: furrow irrigation systems, drip irrigation systems, fresh-market-tomato, production cost.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se como uma nação rica em água doce, com aproximadamente 14% da reserva mundial e 35% da reserva americana. No entanto, da mesma forma que ocorre em todo o mundo, há no país um descompasso entre a distribuição populacional e a distribuição hídrica superficial. O Estado de São Paulo, o mais populoso do país, com aproximadamente 22% da população brasileira (39,6 milhões de habitantes), reflete bem esta realidade, pois, toda essa população ocupa somente 3% do território nacional (248.808 km²) e tem disponível somente 1,6% do potencial hídrico brasileiro (92 km³.ano⁻¹). A alta densidade populacional (160 habitantes por km²) confere ao Estado de São Paulo a menor disponibilidade hídrica da região Sudeste, em torno de 2500 m³/habitante/ano.

A heterogeneidade da distribuição da água no planeta, seja por motivos naturais ou por crescimento demográfico, é uma preocupação antiga, causa de inúmeros conflitos internacionais. Diante desta situação, países da Europa e também os Estados Unidos, adotaram há mais de um século os seus projetos de gestão dos recursos hídricos. Da mesma forma, o Brasil vem, recentemente, dando os primeiros passos na implementação de uma Política Nacional de Recursos Hídricos. Em 1997, através de Lei Federal 9.433, criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que atribui as bacias hidrográficas o papel de funcionarem como Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI's), com participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) se embasou principalmente na experiência pioneira do Estado de São Paulo, que estabeleceu a Política Estadual de Recursos Hídricos em 1991, por meio da Lei 7.663. A primeira UGRHI a ser criada pela Lei 7.663, foi o das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), escolhida como pioneira devido as suas diversas iniciativas em defesa da água, desde a década de 70, implantada com o objetivo de funcionar como experiência piloto para instalação das demais. Atualmente, o Estado de São Paulo possui 22 UGRHI's.

Uma das medidas prevista por Lei, com o objetivo de incentivar o uso racional dos recursos hídricos, é a cobrança pelo uso da água. O primeiro e único Estado a implantar a cobrança, até o presente, foi o Ceará, desde 1996, com base na Lei Estadual 11.996/92. Inicialmente, o valor cobrado era de R\$10,00 por mil metros cúbicos. Atualmente os valores

estão fixados em R\$28,00 por mil metros cúbicos de água potável e em R\$20,00 por mil metros cúbicos de água para irrigação. Apesar da cobrança pelo uso da água estar previsto nas Leis Federal e Estadual, o Estado de São Paulo ainda não implementou os mecanismos desta cobrança, dependendo da aprovação do Projeto de Lei 676/2000. No entanto, algumas Bacias do Estado não dependem necessariamente da aprovação deste Projeto de Lei para regulamentação da cobrança de uso da água, por se tratar de Bacias Hidrográficas Federais, presentes em dois ou mais Estados. Este é o caso, por exemplo, das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, que pode ter a implementação da cobrança instituída pela ANA (Agência Nacional de Águas). A ANA foi criada em 2000, com o objetivo de regular o uso da água dos rios e lagos de domínio da União e de implementar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Em 2003, a Agência implementou a primeira cobrança de uso da água sob administração federal, na Bacia do Paraíba do Sul, que abrange os Estados do Rio de Janeiro, de Minas Gerais e de São Paulo. A Bacia do Paraíba do Sul está cobrando um valor de R\$8,00 por mil metros cúbicos de água captada e devolvida limpa e R\$20,00 por mil metros cúbicos de água captada e devolvida poluída. Para a agricultura está se fazendo, por enquanto, apenas uma cobrança simbólica, igual a R\$ 0,50 por mil metros cúbicos de água captada.

Na maioria das Bacias Hidrográficas do País, a cobrança pelo uso da água ainda não foi instituída, no entanto é evidente que em médio prazo isso vai acontecer, pois as políticas de implementação já estão em tramitação em praticamente todos os Estados Brasileiros. Nas regiões de clima semi-árido ou nas regiões populosas, como é o caso do Estado de São Paulo, a implementação pela cobrança de uso da água recebe ainda uma forte pressão de organizações não governamentais.

Nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), esta preocupação com a cobrança da água é eminente, pois a relação atual de demanda e disponibilidade é da ordem de 90% na época da seca (abril a setembro), com possibilidade de chegar a 125% em anos críticos. Diferente do Estado, nas Bacias PCJ, o maior consumo não vem da agricultura irrigada, mas da área urbana (domicílios e indústrias). A área urbana consome mais de 80% das águas superficiais, sendo 43% ($18,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) nos domicílios e 38,3% ($16,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) nas indústrias. A área agrícola consome menos de 20% das águas superficiais, sendo 17,6% ($7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) para a agricultura irrigada e 1,1% ($0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) em outros usos. O maior consumo na

área urbana se explica pelo fato das Bacias PCJ estarem localizadas dentro da Região Administrativa de Campinas, 3º pólo industrial do país, com mais de 95% da população vivendo nas cidades.

Dentro desta região intensamente industrializada, compreendida pelas Bacias PCJ, se encontra aproximadamente 25% (1840 ha) da área de tomate-de-mesa plantada no Estado. A região é a segunda mais importante do Estado, na produção dessa cultura, ficando atrás somente da região de Itapeva. O tomateiro está presente em 32 municípios dos 58 que compõem as bacias PCJ, sendo 9 destes municípios localizados na Região Metropolitana de Campinas (RMC), composta por 19 municípios.

Assim como em todo o Brasil, a irrigação por sulcos é o sistema predominantemente utilizado na tomaticultura de mesa da região compreendida pelas Bacias PCJ. Estes sistemas são geralmente instalados em áreas sem sistematização do terreno, constituídos de sulcos curtos e em nível. O abastecimento é comumente realizado por meio de um canal em declive que deriva a água para os sulcos de irrigação. Esta derivação é realizada na grande maioria das propriedades por meio de um anteparo popularmente conhecido por “bandeira”. A “bandeira” é normalmente feita de sacos plásticos, tendo a função de interceptar a água e desviá-la para os sulcos de irrigação. Essa forma de manejo permite que parte da água escoe debaixo da “bandeira”, provocando impactos sobre o solo, como por exemplo, a erosão. Mesmo a quantidade que entra nos sulcos é desperdiçada por meio de perdas por percolação. Alguns tomaticultores, na região de Campinas, preocupados com a cobrança da água e com os impactos sobre os recursos naturais, buscaram como alternativa para melhorar os seus sistemas de irrigação por sulcos, a utilização de mangueira para abastecê-los. Outros mudaram para o gotejamento, no entanto, o investimento inicial e a exigência de mão-de-obra especializada são fatores significativos que impedem uma difusão ainda maior deste sistema de irrigação na região. A grande maioria dos tomaticultores ainda continua utilizando a irrigação por sulcos sem realizar nenhuma melhoria.

A irrigação por gotejamento pode se tornar uma alternativa viável para a região, devido a possibilidade de trabalhar em locais com pouca disponibilidade hídrica. Ao contrário, a irrigação por sulcos, utilizada em larga escala no Brasil, é considerada de baixa eficiência por ser utilizada em topografias ou solos inadequados, ou ainda, por ser manejada de forma incorreta, com alto potencial para causar impactos ambientais. Todavia, a irrigação por sulcos

pode se tornar mais eficiente mediante reajustes operacionais. A mudança para a irrigação por sulcos abastecidos por mangueira parece ser uma alternativa de mais fácil aceitação entre os tomaticultores, pois não exige grandes mudanças na condução da cultura e demanda menor investimento. Este sistema pode ser promissor, ainda mais se houver uma conscientização da necessidade de se fazer manejo de irrigação, pois enquanto um sistema de irrigação de baixo custo (baixo nível tecnológico) garante a produção dentro dos princípios de sustentabilidade, a sua substituição por outro sistema não é justificada.

O presente trabalho objetivou avaliar as alternativas de mudanças tecnológicas na irrigação da tomaticultura da região, buscando uma solução sustentável, viável economicamente e com eficiente uso da água. Para isto, instalaram-se, em um mesmo local, os diferentes sistemas de irrigação empregados na tomaticultura da região (sulcos, sulcos abastecidos por mangueira e gotejamento), comparando a eficiência de uso da água, avaliando parâmetros de eficiência e de uniformidade de irrigação, mensurando a produtividade e a qualidade dos frutos de tomate e analisando a influencia dos sistemas de irrigação na cobrança da água e no custo de produção.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama dos recursos hídricos e da irrigação

2.1.1 Situação Mundial

O planeta Terra é composto por 75% de água (1,46 bilhão de km³), sendo que 97% (1,42 bilhão de km³) dos recursos hídricos se concentram nos oceanos, de água naturalmente salgada e não apropriada para o consumo humano e nem para a irrigação. A água doce corresponde aos 3% restante (42 milhões de km³), mas apenas 0,5% deste volume (210 mil km³) está facilmente disponível à população (mais de 6 bilhões de habitantes) em forma de água superficial (rios, lagos e água de subsolo). Apenas 20% (42 mil km³) da água disponível pode ser utilizada, pois esta é a quantidade anualmente renovada pelas chuvas, ou seja, 0,003% de toda água do planeta. Esta pequena porcentagem, no entanto, garante ainda um volume igual a 7000 metros cúbicos de água por habitante a cada ano. Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas), um volume de água de 2500 metros cúbicos por habitante a cada ano é plenamente satisfatório para a manutenção da vida em comunidade, no exercício das atividades humanas, sociais e econômicas. Vê-se, portanto, que o problema da água não está na quantidade, que é invariável a pelo menos 500 milhões de anos, mas na distribuição, que é heterogênea e hoje causa de mais de 70 conflitos internacionais em todo o mundo (BRITO et al., 2001; TORRES, 2003; REBOUÇAS, 2003).

Atualmente, a superfície agrícola mundial é da ordem de 1,5 bilhão de hectares, com de 275 milhões de hectares irrigados. A irrigação é vista como a atividade humana que mais consome água no planeta, responsável por 72% do consumo mundial, algo em torno de 2600 km³, que corresponde a 9436 m³ por hectare a cada ano ou 453 m³ por habitante a cada ano. Analisando de maneira mais crítica a questão, não é propriamente a irrigação que consome bastante água, mas a produção agrícola que necessita de uma grande quantidade de água para que o processo fisiológico das plantas se concretize. Só para se ter uma idéia, são necessários aproximadamente dois mil litros de água para se produzir um quilo de arroz ou soja, e algo em torno de mil litros de água para obter um quilo de trigo ou milho. A irrigação visa atender a demanda hídrica das culturas nem sempre suprida pelas chuvas e com isto garantir bons índices de produtividade. Embora a área agrícola de sequeiro represente 82% do total plantado, produz apenas 58% do total colhido, enquanto a agricultura irrigada, em menor

porção, 18% do total plantado, produz 42% do total colhido, resultando em uma produtividade três vezes maior (BRITO et al., 2000; REBOUÇAS, 2003; CHRISTOFIDIS, 2002).

A atual área agrícola mundial é mais do que suficiente para atender a demanda de alimentos, com uma produção 24% superior as necessidades diárias da população, no entanto, existe no mundo, 800 milhões de subnutridos. Com planejamento e manejo adequado, a agricultura mundial pode expandir-se ainda mais, podendo chegar a 3,6 bilhões de hectares por ano, atingindo uma área irrigada de 470 milhões de hectares por ano, com potencial para triplicar a produção de alimentos diante da previsão de um aumento populacional de 50% nos próximos 50 anos. Desta forma, todas as projeções recentes feitas para o futuro indicam que, até onde é possível antever, o ritmo de crescimento da produção de alimentos dará conta do aumento da população mundial, contrariando as visões alarmistas da década de 60. A fome, portanto, não é um problema de produção, mas de distribuição, ocasionada pela falta de acesso a educação e a água, agravada por instabilidades políticas e econômicas regidas por interesses corporativos de mercado. Desta forma, a irrigação deve ser inserida dentro do conceito de segurança alimentar, diminuindo a desigualdade social e criando oportunidades de emprego e renda, não servindo apenas para aumentar a produtividade, mas principalmente, para garantir a produção de alimentos de maneira sustentável a toda população (PIOLLA, 2001; ANDRIOLI, 2003; TOLEDO, 1999; CHRISTOFIDIS, 2002).

2.1.2 Situação Brasileira

O Brasil destaca-se como uma nação rica em água doce, com aproximadamente 14% da reserva mundial e 35% da reserva americana (MARTINS, 2004). No entanto, da mesma forma que ocorre em todo o mundo, no país também existe um descompasso entre a distribuição populacional e a distribuição hídrica superficial. A distribuição hídrico-populacional no país dá-se da seguinte maneira: a região Norte é a mais rica em recursos hídricos, com mais de 70% das águas superficiais do país, mas possui apenas 7% da população, o Nordeste com 3% das águas superficiais possui 26% da população, o Centro-oeste possui 15% das águas superficiais com 10% da população, o Sudeste 6% das águas superficiais com 42% da população e o Sul 6% das águas superficiais com 15% da população. Diante deste panorama de distribuição, obtêm-se as seguintes disponibilidades hídricas: Norte: 497.731 metros cúbicos por habitante a cada ano (71 vezes a média mundial); Nordeste: 4244 metros

cúbicos por habitante a cada ano; Centro-oeste – 84.684 metros cúbicos por habitante a cada ano; Sudeste – 5.681 metros cúbicos por habitante a cada ano; Sul – 15.015 metros cúbicos por habitante a cada ano. Observa-se, portanto, que as regiões Nordeste e Sudeste, são as únicas que apresentam disponibilidades hídricas inferior à média mundial, igual a 7000 metros cúbicos por habitante/ano, mas ainda, com um valor muito acima do limite estipulado pela ONU como plenamente satisfatório, igual 2500 metros cúbicos por habitante a cada ano. O Estado do Pernambuco, na região Nordeste, é considerado o mais crítico do Brasil, com 1270 metros cúbicos por habitante ano. No entanto, ainda acima de uma situação de escassez, estabelecida pela ONU como 1000 metros cúbicos por habitante a cada ano. Portanto, pode-se afirmar que no país não existe escassez de água em nível estadual (REBOUÇAS, 2003).

A disponibilidade de recursos hídricos, com elevada porcentagem de terras agricultáveis, confere ao Brasil um dos maiores potenciais do mundo para o desenvolvimento da agricultura irrigada, no entanto, o quadro que se apresenta é bem diferente. Em um índice estabelecido pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para relacionar a área atual de agricultura irrigada e a área potencialmente irrigável, ficou demonstrado que o Brasil ocupa somente a 22ª colocação da América, num total de 27 países (TESTEZLAF et al., 2002). A área total de solos utilizados com lavouras permanentes e temporárias no Brasil gira em torno de 65,2 milhões de hectares, com apenas 5% de agricultura irrigada, que representa aproximadamente 3,2 milhões de hectares. Os especialistas estimam que existem solos aptos para expansão e desenvolvimento anual de agricultura de sequeiro, em bases sustentáveis, em torno de 110 milhões de hectares no país, dos quais, aproximadamente, 72% estão localizados na área do Cerrado. No que diz respeito aos solos aptos para o desenvolvimento da agricultura irrigada de forma sustentável o potencial brasileiro está estimado em aproximadamente 30 milhões de hectares, dos quais, mais de dois terços ocorrem nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste (CHRISTOFIDIS, 2002).

A agricultura irrigada é responsável por 65% (34 km³) da demanda de água do país (1,3% da demanda mundial), seguida do consumo doméstico com 16%, da produção industrial com 14% e da pecuária com 5%. Mesmo sendo a maior consumidora, a agricultura irrigada tem um potencial para se expandir 10 vezes mais, no entanto, isto deve ser feito de maneira sustentável, pois o desperdício de água através da irrigação ainda é muito elevado. Estima-se que somente na condução e distribuição (da captação às parcelas), o volume de água

desperdiçado seja de 40%. Assim como na agricultura irrigada, 40% da água captada para abastecer as cidades (casas e indústrias) também são desperdiçadas. Além dos desperdícios no abastecimento de água das cidades e dos campos, ocasionados por vazamentos de tubulações e canais, muitos outros ocorrem por falta do uso racional da água, agravando ainda mais a situação de algumas regiões (CHRISTOFIDIS, 2002; TUCCI et al, 2001; BRITO et al., 2000).

2.1.3 Situação no Estado de São Paulo e nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

O Estado de São Paulo é o mais populoso do país com aproximadamente 22% da população brasileira (39,6 milhões de habitantes). Toda esta população, no entanto, ocupa apenas 3% do território nacional (248.808 km²) e tem disponível somente 1,6% do potencial hídrico brasileiro (92 km³.ano⁻¹). A alta densidade populacional (160 habitantes por km²) e a pequena porcentagem de água doce conferem ao Estado de São Paulo a menor disponibilidade hídrica da região Sudeste, em torno de 2500 m³/habitante/ano. Esta disponibilidade, no entanto, segundo a ONU, é considerada plenamente satisfatória para as atividades humanas. Na parte Leste do Estado, onde vivem 65% da população, a situação é bem mais grave, atingindo em épocas de seca, valores de disponibilidade hídrica da ordem de 500 m³/habitante, configurando uma situação de escassez (MARTINS, 2004).

As águas doces superficiais do Estado de São Paulo formam uma vazão média da ordem de 3120 m³.s⁻¹ e uma vazão disponível de 892 m³.s⁻¹. A vazão disponível é considerada sempre em razão da vazão mínima para garantir o abastecimento durante todo o ano. A vazão média é estimada com base na variação anual, enquanto a vazão mínima é estimada a partir dos menores valores de vazão por 7 dias consecutivos num período de 10 anos. Aproximadamente 39,5% (352,3 m³.s⁻¹) da vazão disponível está comprometida no Estado, enquanto o ideal seria uma demanda máxima de 30%, ou seja, algo em torno de 268 m³.s⁻¹. Da vazão demandada, 40,7% (143,4 m³.s⁻¹) é usada na irrigação, 31,5% (111,1 m³.s⁻¹) nos domicílios, 26,5% nas indústrias (93,3 m³.s⁻¹) e 1,3% (4,5 m³.s⁻¹) na zona rural (CRH, 2000).

O Estado de São Paulo está dividido em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHs). A divisão do Estado em unidades de gerenciamento faz parte da Política Estadual de Recursos Hídricos sancionada pela Lei 7663/91 e submetida posteriormente a Lei Federal 9433/97. As Bacias compostas pelos afluentes dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí

(Bacias PCJ) correspondem à unidade de gerenciamento de número 5 (UGRHI 5). Nas Bacias PCJ vivem aproximadamente 4,4 milhões de pessoas, distribuídas em 62 cidades localizadas nos Estados de São Paulo e Minas Gerais. A parte paulista está localizada na região Leste do Estado, com 14042,6 km² e 58 municípios, e a parte mineira, bem menor, contém apenas 4 municípios em uma área de 1188,4 km². Nas Bacias PCJ a vazão média é de 173,3 m³.s⁻¹ e a disponível de 34,1 m³.s⁻¹, com uma situação bem mais crítica que a estadual, pois a demanda é de aproximadamente 125% (42,6 m³.s⁻¹), ou seja, a quantidade de água requerida pode superar em 25% a vazão disponível na época da seca (abril a setembro). A elevada razão demanda/disponibilidade é ocasionada por dois motivos principais, a alta densidade populacional das Bacias PCJ (em torno de 290 habitantes/km²) e o fornecimento de 31m³.s⁻¹ para o Sistema Cantareira (responsável pelo abastecimento de mais de 50% da população da Grande São Paulo). Diferente do Estado, nas Bacias PCJ, o maior consumo não vem da agricultura irrigada, mas da área urbana (domicílios e indústrias). A área urbana consome mais de 80% das águas superficiais, sendo 43% (18,3 m³.s⁻¹) nos domicílios e 38,3% (16,3 m³.s⁻¹) nas indústrias. A área agrícola consome menos de 20% das águas superficiais, sendo 17,6% (7,5 m³.s⁻¹) para a agricultura irrigada 1,1% (0,5 m³.s⁻¹) em outros usos. O maior consumo na área urbana se explica pelo fato das Bacias PCJ estarem localizadas dentro da Região Administrativa de Campinas, 3º pólo industrial do País, com mais de 95% da população vivendo nas cidades (CBH-PCJ, 2003).

2.2 A cultura do tomateiro

2.2.1 Perfil de produção

A produção mundial de tomate gira em torno de 108,5 milhões de toneladas e o Brasil participa com aproximadamente 3,3% desta produção (em torno de 3,6 milhões de toneladas), o que lhe garante a oitava posição no ranking mundial. Os maiores produtores mundiais são: China, Estados Unidos, Turquia, Índia, Itália, Egito, Espanha e Brasil. Estima-se que dois terços da produção nacional seja de tomate-de-mesa. O Estado de São Paulo é o maior produtor de tomate-de-mesa com mais de 20% da produção nacional. A tomaticultura-de-mesa no Estado de São Paulo se aproxima dos 7400 ha, com produtividade de 59,4 t.ha⁻¹, um pouco superior à média nacional de 54,2 t.ha⁻¹ (CAMARGO FILHO e MAZZEI, 2002; IBGE, 2004; AGRIANUAL 2004).

Segundo dados do IBGE (2004), as bacias PCJ são responsáveis por aproximadamente 25% (1840 ha) da área de tomate-de-mesa plantada no Estado. O tomateiro está presente em 32 municípios dos 58 que compõe as bacias PCJ, sendo 9 destes municípios localizados na Região Metropolitana de Campinas (RMC), composta por 19 municípios. A maior área plantada está no município de Monte-Mor (RMC), aproximadamente 400 ha, com uma produtividade superior às médias nacional e paulista, em torno de 70 t.ha⁻¹.

Apesar de existir uma certa variação de região para região e até mesmo de produtor para produtor, as estimativas mais recentes apontam que o custo operacional de produção do tomateiro estaqueado seja de aproximadamente R\$2,50 (U\$0,90) por planta ou R\$30.000,00 (U\$10.800,00) por hectare. Nos últimos 2 anos houve um aumento no custo de produção de aproximadamente 20%. Este comportamento se deu principalmente devido ao aumento de preços dos insumos agrícolas ocorrido no período (AGRIANUAL, 2002; AGRIANUAL, 2004; CAMPOS, 2004).

A sazonalidade de preços ao longo do ano é um grande problema enfrentado pelos tomaticultores. É importante ressaltar ainda a existência de uma variação bi-anual de preços, normalmente ocorrendo preços maiores em anos ímpares. Este comportamento se deve a um círculo vicioso, pois a elevação de preços faz com que se aumente a área plantada, daí ocorre excesso de produção, o preço cai, e conseqüentemente, a área plantada volta a diminuir. Os preços médios praticados por caixa no Estado de São Paulo, entre 1994 e 2002, foram de R\$13,66 em anos ímpares e R\$12,07 em anos pares. Em 2003 o preço médio anual da caixa de tomate no Estado de São Paulo esteve em R\$18,23. Os maiores valores foram obtidos no trimestre março-maio, com um preço médio de R\$26,88 (CAMARGO FILHO e MAZZEI, 2002; IEA, 2003).

2.2.2 Aspectos gerais da cultura

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) pertence à família das Solanáceas, a mesma da berinjela, pimentão, petúnia, fumo, batata e outras (MINAMI e HAAG, 1989), sendo originário da América do Sul, numa região compreendida entre o Equador e o Norte do Chile, encontrado na forma silvestre ou cultivado, desde o nível do mar até 2000 m de altitude (LOPES e STRIPARI, 1998).

A cultura do tomateiro necessita de 400 a 600 mm de água por ciclo, bem distribuídos, pois um déficit hídrico severo e prolongado limita o crescimento e reduz a produção e a qualidade dos frutos. Recomenda-se que água disponível no solo nunca seja menor que 60% (DOORENBOS e KASSAM, 1994). Outros autores sugerem limites de água disponível mais elevados, nunca inferiores a 80% (HARTZ, 1993; SAHA e HARA, 1998).

O tomateiro é uma planta bastante tolerante a uma ampla variação de temperatura, porém, são consideradas ideais, temperaturas médias noturnas em torno de 18 °C e diurnas ao redor de 25 °C (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998). O tomateiro não é muito exigente em termos de solo, podendo ser cultivado em diversos tipos, no entanto, solos mediantemente argilosos, com pH entre 5 e 7, com bastante matéria orgânica e profundidade mínima de 50 cm são os ideais. (MINAMI e HAAG, 1989).

Utiliza-se normalmente na cultura do tomateiro dois métodos de cultivo: a cultura estaqueada (tomate de mesa), cuja produção se destina ao consumo “in natura” e o cultivo rasteiro, cuja produção se destina à industrialização (PINTO e CASALLI, 1980). Os principais cultivares de tomate-de-mesa atualmente plantados no Brasil são do tipo Santa Cruz (apresentam frutos com 2 a 3 lóculos, peso médio de 120 a 200 g e formato oblongo), tipo Salada ou Caqui (apresentam frutos pluriloculares, peso médio de 200 a 300 g e formato redondo achatado) ou do Tipo Cereja (apresentam frutos com 1 a 2 cm de diâmetro e frutos de 15 a 20 g) (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998).

A obtenção de mudas vigorosas com sistema radicular bem desenvolvido e isento de doenças é de primordial importância na cultura do tomateiro estaqueado. Geralmente, as mudas do tomateiro estão prontas para o transplante por volta de 30 dias, quando estas apresentam entre 4 e 6 folhas definitivas e altura entre 8 e 12 cm (MINAMI e HAAG, 1989). Na véspera do transplante, em terreno já preparado, deve-se fazer uma irrigação para facilitar o estabelecimento da cultura. Pode-se usar uma ou duas plantas por cova, e ainda conduzir o tomateiro com uma ou duas hastes. Normalmente se utilizam duas hastes quando se cultiva uma planta por cova e apenas uma haste quando se cultivam duas plantas por cova (CHURATA-MASCA, 1980). SONNENBERG (1979) recomenda um espaçamento entre plantas de 0,40 a 0,70 m e um espaçamento entre fileiras em torno de 1,30 m. No entanto, o espaçamento na cultura do tomate varia bastante de acordo com o costume de cada região.

Um a dois meses antes da implantação da cultura, a calagem deverá ser feita preferencialmente com calcário dolomítico, incorporado a 20 cm de profundidade. Em caso de solos deficientes em magnésio e na impossibilidade de se obter o calcário dolomítico, a adubação de cobertura deverá ser complementada com sulfato de magnésio (FREIRE et al., 1980). As adubações pertinentes ao tomateiro são: i) adubação orgânica (20 - 30 t.ha⁻¹ de esterco de curral ou 5 - 8 t.ha⁻¹ de esterco de galinha, bem curtidos), ii) adubação mineral de plantio (de acordo com a análise de solo), aplicada com antecedência de 8 a 10 dias do momento do transplante, acrescida de adubação contendo de 20 a 40 kg.ha⁻¹ de enxofre e iii) adubação mineral de cobertura, através de aplicações parceladas de nitrogênio (na forma nítrica) e potássio, com dosagens de acordo com análise de solo, foliar, cultivar utilizado e produtividade esperada (TRANI et al., 1997). A adubação foliar é o meio mais rápido de controlar qualquer deficiência nutricional (PINTO e CASALLI, 1980). Ocorrendo deficiência de cálcio, deve-se fazer aplicações corretivas, via foliar, com solução de cloreto de cálcio igual a 1,5%. No caso de deficiência de magnésio, deve-se aplicar uma solução de 0,5% de sulfato de magnésio (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998).

O tomateiro é atacado por inúmeras pragas, desde a sementeira até a colheita dos frutos. A maioria dos agricultores utiliza os inseticidas e acaricidas como controle preventivo, onerando desta forma o preço destes produtos, aumentando os riscos de intoxicação dos trabalhadores rurais e dos consumidores, provocando a morte de inimigos naturais e de polinizadores e aumentando o surgimento de pragas cada vez mais resistentes. Algumas práticas naturais podem auxiliar no controle das pragas, como por exemplo, a eliminação de restos culturais e a rotação sistemática de culturas (BARBOSA e FRANÇA, 1980). O tomateiro é sensível à incidência de um grande número de doenças, provocadas por vírus, bactérias, fungos e nematóides (MAFFIA e MATSUOKA, 1980). Além do controle químico, a diminuição de ocorrência de doenças pode se dar através da utilização de cultivares resistentes, manejo adequado de irrigação, controle de insetos, desbrotas e desfolhas adequadas (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998).

A planta do tomateiro poderá se desenvolver com uma ou duas hastes. No caso de uma haste, a eliminação da segunda deverá ser feita por ocasião da primeira desbrota (CHURATA-MASCA, 1980). Para se conduzir à planta com duas hastes principais, deve-se deixar o broto do terceiro entrenó e retirar os demais na medida em que forem crescendo

(MAKISHIMA e CARRIJO, 1998). Por ocasião da primeira desbrota, realiza-se também o primeiro amarrio, aproximadamente a 30 cm do solo, que consiste na fixação da planta do tomateiro ao tutor (estaca, vara, fitas plásticas) (CHURATA-MASCA, 1980). Para se reduzir o porte da planta, favorecendo o desenvolvimento dos frutos em formação nos cachos superiores, é feita a operação de retirada do broto terminal da haste principal (capação). Normalmente a capação em um tomateiro bem nutrido se dá após a 13ª penca (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998).

Ao se colher as pencas de tomate, as folhas localizadas abaixo destas devem ser eliminadas para diminuir os riscos de insetos (pragas) e doenças e permitir uma melhor aeração da parte inferior das plantas. As folhas em senescência também devem ser eliminadas. Depois de eliminadas, as folhas devem ser removidas, queimadas ou enterradas (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998). A colheita do tomate começa de três a quatro meses após a semeadura. Geralmente, para os cultivares de tomate de mesa, a colheita se prolonga por um período que varia entre dois e três meses. No caso de cultivares do grupo Santa Cruz, a colheita do fruto pode ser realizada mesmo quando este se apresenta totalmente verde, porém, fisiologicamente desenvolvido.

Após a colheita, o produtor faz a seleção dos frutos, eliminando aqueles que apresentam alguma deformação, ferimentos, má coloração e danos fisiológicos causados por pragas e doenças. Os cultivares de tomate-de-mesa, além da qualidade, são classificados também pelo diâmetro transversal. (MAKISHIMA, 1980).

2.3 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação busca suprir a real necessidade hídrica da cultura, sem déficit e nem excesso, determinando quando e o quanto de água aplicar.

2.3.1 Quando irrigar

O monitoramento da água no solo é a maneira mais empregada na determinação do momento de irrigação. Existem muitos métodos utilizados na determinação da umidade do solo, onde cada um possui suas vantagens e limitações. Os métodos normalmente empregados se dividem em dois grupos: diretos – quando permitem determinar diretamente a umidade do solo, e indiretos – quando permitem estimar a umidade do solo através de um outro fator. Os

métodos diretos são também conhecidos por gravimétricos, e os indiretos (mais utilizados) são os eletrométricos, dispersores de nêutrons, eletromagnéticos e tesianométricos. Os métodos diretos apresentam boa precisão e custo relativamente baixo, no entanto, possui a desvantagem de não estimar a umidade “in loco”.

Existe uma tendência cada vez maior de se utilizar a técnica eletromagnética no meio de pesquisa (SOUZA et al., 2001), como por exemplo a reflectometria no domínio do tempo (TDR). A TDR se destaca por ser uma determinação rápida, não destrutiva, bastante precisa e supostamente pouco dependente de fatores locais (PIRES et al., 2001). Neste equipamento, a umidade do solo é estimada a partir de uma constante dielétrica (Ka). Esta constante (Ka) está relacionada com o tempo que um pulso eletromagnético leva para percorrer uma haste metálica e retornar a posição original. A constante dielétrica (Ka) apresenta diferentes valores devido ao meio onde o pulso eletromagnético se propaga. Por exemplo, no ar $Ka = 1$, no solo Ka está entre 3 e 5 e na água $Ka = 81$. Daí pode se perceber que quanto maior a umidade do solo, maior o valor de Ka e conseqüentemente maior será o tempo (Δt) para o pulso eletromagnético percorrer a sonda metálica. A equação de TOPP et al. (1980) é a mais utilizada para estimar o valor de umidade a partir da constante dielétrica Ka . Muitos autores afirmam que diversos fatores, além da umidade, podem influenciar no valor de Ka do solo, como por exemplo temperatura, salinidade e densidade do solo (HERRMAN Jr., 2001). Fatores como óxido de ferro, argila e matéria orgânica também influenciam na determinação de Ka (SOUZA et al., 2001). Por isto, sempre que possível, para uma maior precisão, é bastante desejável a calibração para o solo em questão. Contudo, a equação de TOPP et al. (1980) ainda é tomada como universal, pois numa frequência entre 1 e 20 GHz (frequência normalmente utilizada nos equipamentos TDR), a variável que mais afeta a constante dielétrica do solo (Ka) é o teor de água (umidade), com um peso relativo de 93%. Segue abaixo a equação de TOPP et al. (1980):

$$\theta = -0,053 + 0,0292Ka - 0,00055Ka^2 + 0,0000043Ka^3 \dots\dots\dots (01)$$

Onde:

θ = umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$),

Ka = constante dielétrica (adimensional).

Dentre os métodos citados, certamente o tensiométrico é o mais utilizado. A razão disto, segundo PIRES et al. (2001), é porque se trata de um equipamento simples, econômico e

não necessita de calibração. Neste caso se faz necessário a utilização de tensiômetros. A tensão de água no solo para a cultura do tomate-de-mesa encontra-se numa faixa entre 30 e 100 kPa (MAROUELLI et al., 1996), no entanto, parece ser consenso na literatura mais atual, a utilização de valores cada vez menores de tensão de água no solo, abaixo de 50 kPa (MAROUELLI et al., 1998) e até mesmo 30 kPa (GOTO, 1995).

2.3.2 Quanto irrigar

A quantidade de água a aplicar (lâmina de irrigação) corresponde a evapotranspiração da cultura (ETc) no intervalo entre duas irrigações menos a precipitação ocorrida no período, portanto:

$$L = \sum_{i=1}^n (ETc_i - P_i) \dots\dots\dots (02)$$

Onde:

L = lâmina de irrigação (mm),

ETc = evapotranspiração da cultura (mm.dia⁻¹),

P = precipitação (mm.dia⁻¹),

n = número de dias entre duas irrigações consecutivas.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser definida como a quantidade de água transferida para atmosfera através da evaporação do solo e da transpiração das plantas. Segundo BERNARDO (1995), a estimativa da evapotranspiração pode ser determinada por métodos diretos (lisímetros) ou indiretos (evaporímetros e equações).

Para se estimar a evapotranspiração de cultura (ETc) para o tomate-de-mesa, é preciso obter, além da evapotranspiração de referência (ETo), valores dos seus coeficientes de cultura (Kc) nos diferentes estádios de desenvolvimento.

$$ETc = ETo \cdot Kc \dots\dots\dots (03)$$

Onde:

ETo = evapotranspiração de referência (mm.dia⁻¹),

Kc = coeficiente de cultura (adimensional).

MAROUELLI et al. (1996), dividem em quatro, os estádios de desenvolvimento para as hortaliças de uma forma geral, da emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo

(estádio 1), de 10 a 70% do desenvolvimento vegetativo (estádio 2), de 70% do desenvolvimento vegetativo até o início da maturação (estádio 3) e do início da maturação até a colheita (estádio 4). Os coeficientes de cultura (K_c) sugeridos para o tomate de mesa são de 0,4 a 0,5 no estágio 1, de 0,7 a 0,8 no estágio 2, de 1,05 a 1,25 no estágio 3 e de 0,6 a 0,65 para o estágio 4. O primeiro número é utilizado em condições de alta umidade relativa (maior que 70%) e baixa velocidade de vento (menor que 5 m.s^{-1}). O segundo número é utilizado em condições de baixa umidade relativa (menor que 50%) e alta velocidade de vento (maior que 5 m.s^{-1}).

Para o tomaticultor que deseja implementar o manejo de irrigação a partir de um tanque Classe A, sem utilização de qualquer equipamento meteorológico, PAPADOPOULOS (1999) apresenta uma versão simplificada da estimativa da ET_c partir do produto da evaporação do tanque (ECA) por um fator de cultura (K).

$$ET_c = ECA \cdot K \dots\dots\dots(04)$$

Onde:

ECA = evaporação do tanque Classe A (mm.dia^{-1}),

K = fator de cultura (adimensional).

Os valores de K recomendados são iguais a 0,3 até 15 dias, 0,5 de 15 a 30 dias, 0,8 de 30 a 45 dias, 0,9 de 45 a 60 dias, 1 de 60 a 90 dias e 0,8 a partir de 90 dias até o final do ciclo. O valor de K deve ser utilizado com certo cuidado, fazendo ajustes quando necessário, uma vez que a estimativa da evapotranspiração de cultura (ET_c) depende das condições climáticas locais (BERNARDO, 1995).

A estimativa de quanto irrigar pode se dar também mediante o uso da curva de retenção de água no solo, colocando as variáveis de umidade (θ) no eixo das abscissas e as variáveis correspondentes de tensão (ψ) no eixo das ordenadas, ou vice-versa (SILVA e SILVA, 1984). Esta curva pode ser determinada através do envio de amostras de solo a um Laboratório de Física de Solos. Estas amostras devem, preferencialmente, estar indeformadas, sendo coletadas através de anéis volumétricos que mantenha sua estrutura, pois segundo REICHARDT (1987), apesar da textura (proporções das partículas areia, silte e argila) ser o principal fator que influencia na retenção de água no solo, a estrutura (arranjo das partículas) também exerce bastante influência, sobretudo na faixa compreendida entre 0 e 100 kPa. As

amostragens devem ser feitas de acordo com as mudanças horizontais de perfil do solo e profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. No tomateiro, geralmente utiliza-se uma profundidade efetiva de 40 cm (DUSI et al., 1993; PAPADOPOULOS, 1999). O manejo de irrigação deve se basear na primeira camada, na fase inicial de desenvolvimento da cultura e na soma das duas para uma fase de maior desenvolvimento vegetativo. A irrigação será efetuada sempre que a tensão de água no solo atingir um valor máximo que não prejudique o desenvolvimento da cultura. Determinado o momento da irrigação, a quantidade de água a ser reposta ao solo poderá ser calculada pela seguinte equação:

$$L = (\theta_{cc} - \theta_i) \cdot Z \dots\dots\dots (05)$$

Onde:

L = lâmina de irrigação (mm),

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo correspondente a tensão de água no solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$),

θ_i = umidade de irrigação correspondente a máxima tensão de água no solo preestabelecido para a cultura ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$),

Z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

A capacidade de campo (CC) não pode ser precisamente determinada, pois se trata de um conceito arbitrário e não de uma propriedade física, no entanto, alguns valores podem ser sugeridos em função do tipo de solo (BERNARDO, 1995). SILVA e SILVA (1984) sugerem que a umidade na capacidade de campo seja corresponde à tensão de 30 kPa para solos de textura fina (argilosos), 10 kPa para solos de textura média (franco argilosos ou franco arenosos) e 6 kPa para solos de textura grossa (bastante arenosos). No entanto, MAKISHIMA e CARRIJO (1998) sugerem que a umidade na capacidade de campo para solos argilosos, seja correspondente a uma tensão menor, compreendida entre 15 a 20 kPa. Esta opção parece ser mais coerente no caso de hortaliças, pois as recomendações de tensões críticas (momento de irrigar) estão cada vez menores, em muitos casos inferiores a 30 kPa.

2.3.3. Tempo de irrigação

Após a estimativa da lâmina de irrigação, o tempo de irrigação pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$T = \frac{A.H}{Q} \dots\dots\dots (06)$$

Onde:

T = tempo de irrigação (minutos),

A = área (m²),

H = lâmina bruta de irrigação (mm),

Q = vazão (L.min⁻¹).

Para se obter a lâmina bruta de irrigação (H) é necessária conhecer a eficiência de aplicação (Ea) do sistema utilizado. A obtenção da lâmina bruta pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$H = \frac{L}{Ea} \dots\dots\dots (07)$$

Onde:

Ea = eficiência de aplicação (decimal).

2.4 Fertirrigação

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação, permite a otimização do uso dos nutrientes pelas plantas, desde que os sistemas estejam adequadamente dimensionados e haja solubilidade e compatibilidade dos fertilizantes empregados. Esta otimização é devido à possibilidade de fazer um parcelamento maior do que normalmente se faria em uma adubação de cobertura convencional, obtendo como resultado, produções mais elevadas e de melhor qualidade, pois o nível de fertilidade no solo poderá permanecer sempre próximo do ideal durante todo o ciclo da cultura (VILLAS BOAS et al., 1999; SILVA et al., 1999).

Para a aplicação de fertilizantes necessários às culturas, pode-se utilizar qualquer sistema de irrigação, no entanto, os pressurizados (localizada e aspersão) são os mais indicados, se destacando a irrigação por gotejamento, por sua forma pontual de aplicação de água junto à zona radicular das plantas (FOLEGATTI, 1999). PAPADOPOULOS (1999)

afirma que a fertirrigação deve ser considerada como um componente indispensável na irrigação por gotejamento.

Os principais nutrientes utilizados pela cultura do tomateiro são: potássio, nitrogênio, cálcio e fósforo. Os três primeiros são os mais importantes em termos de absorção, exatamente na ordem que estão, e o fósforo é o principal em termos de resposta de produção (FILGUEIRA, 2000).

Normalmente os fertilizantes mais utilizados em adubação de cobertura, tanto no tomate como para outras culturas, são os nitrogenados e os potássicos, conseqüentemente são também os mais utilizados em fertirrigação. Os principais fertilizantes potássicos utilizados na cultura do tomateiro são o nitrato de potássio (37% K), o sulfato de potássio (43% K) e o fosfato monopotássico (28% K). No caso do nitrogênio, as fontes mais utilizadas são o nitrato de potássio (13% N), a uréia (45% N) e o nitrato de cálcio (12% N) (MAKISHIMA e CARRIJO, 1998).

Quanto à adubação fosfatada, existem divergências em sua recomendação para fertirrigação devido à baixa mobilidade que este apresenta no solo. Um outro empecilho para aplicação de fósforo é a possibilidade de formar precipitados na presença de águas alcalinas ou com pH acima de 6,5, ocasionando assim entupimentos nos gotejadores (VILLAS BOAS et al., 1999). Apesar das limitações apresentadas, alguns autores afirmam que a fertirrigação com fósforo pode ser vantajosa (SILVA et al., 1999). PAPADOPOULOS (1999) afirma que o fósforo aplicado através da água de irrigação possui maior mobilidade do que o aplicado diretamente ao solo e recomenda a utilização de fontes ácidas para fertirrigação, pois estas apresentam maior solubilidade e são mais resistentes à precipitação. Os fertilizantes fosfatados mais recomendados são o ácido fosfórico, fosfato de uréia e o fosfato monoamônico.

O cálcio é muito importante para prevenir ou corrigir a podridão apical, principal anomalia fisiológica que ocorre nos frutos de tomate, no entanto, devido ao alto risco de provocar precipitações, aplicação de cálcio deve ser feita, em sua maior parte, na época do plantio, através da calagem, e apenas de maneira complementar na fertirrigação, utilizando principalmente o nitrato de cálcio, por ser a fonte mais solúvel. Deve-se tomar cuidado ainda, com as incompatibilidades existentes entre o cálcio e os adubos sulfatados ou fosfóricos (VILLAS BOAS et al., 1999; FILGUEIRA, 2000).

2.5 Condutividade elétrica da solução do solo

A condutividade elétrica de uma solução é proporcional a sua salinidade e representa a facilidade que esta tem em transportar corrente elétrica através dos solutos dissolvidos (íons). Diversos são os métodos empregados para estimar a salinidade dos solos, sendo a condutividade elétrica a mais prática e usada. Existem ainda, várias metodologias propostas para a determinação da condutividade elétrica do solo, se destacando a pasta de saturação, a solução 2:1 e o extrator de solução (SILVA et al., 1999).

A condutividade elétrica determinada através da pasta de saturação (metodologia padrão) é a mais evidenciada na literatura, no entanto, trata-se de uma metodologia trabalhosa e demorada (24 horas), que necessita de equipamentos de laboratório. O extrato 2:1 é determinado em menor tempo que a pasta de saturação (2 horas) e não necessita de equipamentos sofisticados. Dos métodos citados, o extrator de solução vem se destacando como a forma mais prática, onde o produtor ou o técnico pode obter uma leitura mais rápida, realizada no próprio campo (CASARINI e FOLEGATTI, 1999).

Devido a maior diluição dos solutos, os valores de condutividade elétrica obtidos através da pasta de saturação serão sempre menores que os obtidos em outras metodologias. Existe, portanto, em função da umidade, uma relação direta entre a condutividade elétrica de qualquer metodologia e a condutividade elétrica da metodologia padrão (pasta de saturação). Esta relação pode ser expressa através da seguinte equação:

$$CE_{es} = CE \cdot \left(\frac{\theta_a}{\theta_s} \right) \dots\dots\dots (08)$$

Onde:

CE_{es} = condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ($dS.m^{-1}$),

CE = condutividade elétrica da solução do solo ($dS.m^{-1}$),

θ_a = umidade volumétrica atual (%),

θ_s = umidade volumétrica saturada (%).

No entanto, a presença de sais de baixa solubilidade, como é o caso dos carbonatos e bicarbonatos, interfere significativamente nesta relação (RICHARDS, 1954). Neste caso, só é possível estabelecer uma relação através de uma função de regressão e apenas para uma condição momentânea. No entanto, SILVA et al. (1999) afirmam que a presença de sais de

baixa solubilidade deixa de ser uma preocupação quando se utilizam extratores de solução em um solo próximo a capacidade de campo.

Segundo DOORENBOS e KASSAN (1994), a CEes limite recomendada para a cultura do tomateiro é de $2,5 \text{ dS.m}^{-1}$, com redução de 10% de produtividade a cada aumento unitário da condutividade elétrica do solo. Entretanto, alguns cultivares podem se mostrar mais tolerantes. NORRIE et al. (1995) e WILLUMSEN et al. (1996), observaram reduções na produtividade de apenas 10% quando a condutividade passou de 3 para 6 dS.m^{-1} , e apenas 25% quando a condutividade passou de 3 para 9 dS.m^{-1} , respectivamente. SOLIMAN e DOSS (1992) também confirmam tal comportamento, pois estudando dois cultivares de tomate, observaram padrões diferenciados de redução de produtividade em função da salinidade. Um outro fator que também afeta a tolerância à salinidade é o pH do solo. BOWER et al. (1975) submeteram um cultivar de tomate a diferentes níveis de salinidade do solo a um pH de 4,1 e a outro pH de 5,7. A queda de produção em função da salinidade foi mais acentuada no solo mais ácido (pH 4,1).

2.6 Irrigação Localizada

As primeiras experiências com irrigação localizada datam do final do século 19 e início do século 20, ocorrendo na Alemanha e posteriormente nos Estados Unidos e Inglaterra. A agricultura sob irrigação localizada vem aumentando a cada dia no Brasil, estando atualmente em torno de 180.000 ha (5,6% da área irrigada do país). Este aumento vem se dando de forma mais acentuada nas regiões Sudeste e Nordeste. Tem havido aumento também em áreas na Austrália, nos Estados Unidos, no México, na Espanha e na África do Sul (LOIOLA e SOUZA, 2001; TESTEZLAF, 2002).

Neste método de irrigação, apenas as áreas ao redor das plantas são molhadas, favorecendo a redução da área de evaporação, diminuição de escoamento superficial e controle de perdas de água para o subsolo. Isto faz com que se aumente a eficiência de aplicação, resultando em economia de água (BRASIL, 1987).

Geralmente, este sistema de irrigação é fixo, constituído de tantas linhas laterais quantas forem necessárias para suprir toda a área, porém, somente um determinado número de linhas laterais funciona por vez, a fim de minimizar a vazão. Por se tratar de um sistema fixo,

o seu custo se torna mais elevado, justificando o seu uso apenas para culturas de maior retorno comercial (BERNARDO, 1995).

RAMOS e MANTOVANI (1994) citam as principais vantagens e limitações deste método de irrigação. As principais vantagens citadas são: permite um maior controle da água a ser fornecida para as plantas, baixo consumo de energia elétrica, possibilidade de funcionamento 24 horas por dia, elevada eficiência de aplicação de água, manutenção da umidade do solo próximo à capacidade de campo, menor desenvolvimento de ervas daninhas entre linhas de plantio, facilidade de distribuição de fertilizantes e outros produtos químicos junto à água de irrigação, redução de mão-de-obra, facilidade de automação e possibilidade de uso de águas salinas. As principais limitações são: susceptibilidade a entupimentos, exigência de sistema de filtragem altamente eficiente e alto custo inicial.

Segundo TESTEZLAF (2002), o método inclui basicamente dois sistemas de irrigação:

-Micro-aspersão: este sistema é constituído de pequenos aplicadores (aspersores em miniatura) que cobrem áreas de 1 a 10m², com vazões compreendidas entre 50 a 200 L.h⁻¹ e pressões que variam de 100 a 300 kPa.

-Gotejamento: neste sistema a água atinge a planta em forma de gotas, com vazões compreendidas entre 0,5a 20 L.h⁻¹ e pressões que variam de 50 a 200 kPa.

Após a II Guerra Mundial, com o desenvolvimento do plástico, surgiu na Inglaterra a primeira versão da irrigação por gotejamento, aprimorada mais tarde em Israel e nos Estados Unidos (CAMP, 1998). Segundo BETTINI (1999) os primeiros gotejadores fabricados em Israel, na década de 60, eram de regime laminar e posteriormente, na década de 70, iniciou-se a fabricação de gotejadores em regime turbulento, amenizando os problemas com entupimentos.

2.7 Irrigação por superfície

A irrigação por superfície surgiu há milênios nas mais antigas civilizações, sendo o primeiro método da história e continua sendo o mais utilizado no mundo, com mais de 70% das áreas irrigadas, atingindo cerca de 180 milhões de hectares. Nos Estados Unidos, mais de 50% das áreas irrigadas são por superfície. No Brasil estima-se que o método deve prevalecer em aproximadamente 60% das áreas irrigadas (LOIOLA e SOUZA, 2001).

Segundo TELLES (1985) neste método a água permanece ou caminha na superfície do solo para se infiltrar e ser aproveitada pelo sistema radicular das plantas.

Ao método de irrigação por superfície pertencem três sistemas (BERNARDO, 1995):

-Irrigação por inundação: a aplicação d'água é feita por meio de bacias ou tabuleiros;

-Irrigação por faixas: a aplicação d'água é feita por meio de faixas de terreno compreendidas entre diques paralelos;

-Irrigação por sulcos: a aplicação d'água é feita por meio de pequenos canais ou sulcos paralelos às fileiras das plantas.

SCALOPPI (2003) cita as principais vantagens e limitações da irrigação por superfície:

As principais vantagens são:

- em geral, revelam um baixo custo anual (soma dos custos fixos e variáveis) quando comparados aos sistemas pressurizados. Esta é a principal razão pela acentuada predominância de método de irrigação em todo o mundo;

- pode eliminar a necessidade de bombeamento e, conseqüentemente, de utilização de energia;

- aplicável a todas as culturas;

- menor dependência da qualidade física e biológica da água;

- dispensam equipamentos especiais ou mão-de-obra especializada no processo de aplicação de água;

- possibilitam a aplicação de fertilizantes ou agrotóxicos hidrossolúveis na água de irrigação;

- não interferem nos tratos fitossanitários desenvolvidos na parte aérea das plantas cultivadas.

As limitações são:

- acentuada dependência da topografia, em geral, requerendo sistematização da superfície;

- inadequado a solos rasos, pedregosos ou excessivamente permeáveis;

- dimensionamento, operação e manejo mais complicados que outros sistemas, resultando, muitas vezes, em desempenho insatisfatório;

- parâmetros hidráulicos variáveis com as sucessivas irrigações, pelas modificações observadas na condição superficial e/ou características de infiltração;
- dificuldades para operação noturna e automação;
- ineficientes no controle de geadas.

2.8 Avaliação de sistemas de irrigação

A avaliação dos sistemas de irrigação tem por objetivo determinar através de amostragens, parâmetros de uniformidade de distribuição de água e também parâmetros de eficiência de irrigação, obtendo informações para tomadas de decisão. O termo uniformidade refere-se aos parâmetros de desempenho associados à variabilidade da quantidade de irrigação, já o termo eficiência é utilizado para identificar parâmetros que expressam uma razão de balanço entre volumes de água (FRIZZONE, 1999). Segue abaixo, alguns parâmetros freqüentemente utilizados para avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento e sulcos:

- Uniformidade de distribuição (UD): definida como a razão entre a média de 25% dos menores valores de lâminas (q_{25}) e a média total das lâminas amostradas (q_m), portanto:

$$UD = \frac{q_{25}}{q_m} \dots\dots\dots (09)$$

Na irrigação por sulcos q_{25} representa o trecho de menor infiltração em um sulco dividido em quatro partes (KRUSE, 1978, citado por FRIZZONE, 2002).

- Eficiência de aplicação (Ea): definida pela razão entre o volume de água armazenado na zona radicular (V_a) e o volume de água derivado à parcela (V_d), por tanto:

$$Ea = \frac{V_a}{V_d} \dots\dots\dots (10)$$

- Eficiência de armazenamento (Es): definida pela razão entre o volume de água armazenado na zona radicular (V_a) e o volume real de água necessário à parcela (V_r), portanto:

$$Es = \frac{V_a}{V_r} \dots\dots\dots (11)$$

- Grau de déficit (Gd): definido pelo complemento da eficiência de armazenamento (Es), ou seja:

$$Gd = 1 - Es \dots\dots\dots (12)$$

- Perdas por escoamento superficial (P_e): este parâmetro é avaliado apenas nos sistemas de irrigação por sulcos, determinado pela razão entre o volume derivado à parcela (V_d) e o volume de água escoado no final dos sulcos (V_e), logo:

$$P_e = \frac{V_e}{V_d} \dots\dots\dots (13)$$

- Perdas por percolação (P_p): são definidas pela razão entre o volume de água percolado (V_p) e o volume de água derivado à parcela (V_d), logo:

$$P_p = \frac{V_p}{V_d} \dots\dots\dots (14)$$

O volume percolado (V_p) é determinado pela diferença entre o volume derivado (V_d) e o volume de água armazenado (V_a), logo:

$$V_p = V_d - V_a \dots\dots\dots (15)$$

Nos sulcos, deve-se admitir a subtração do volume perdido por escoamento superficial (V_e), assim:

$$V_p = V_d - V_a - V_e \dots\dots\dots (16)$$

- Eficiência de condução (E_c): definida pela razão entre o volume de água derivado à parcela (V_d) e o volume de água recalcado (bombeado) do reservatório (V_b), portanto:

$$E_c = \frac{V_d}{V_b} \dots\dots\dots (17)$$

As perdas de água por deriva pelo vento são normalmente inexistentes nos sistemas de irrigação por gotejamento e sulcos. Na irrigação por gotejamento, as perdas por escoamento superficial geralmente não existem. As perdas por percolação devem ser avaliadas tanto num sistema como no outro e as perdas por evaporação, apesar de existirem nos dois sistemas, os valores podem ser considerados desprezíveis para fins de avaliação.

2.8.1 Eficiência de aplicação e uniformidade na irrigação por gotejamento

MANTOVANI e RAMOS (1994) afirmam que a uniformidade de distribuição (UD) na irrigação por gotejamento deve estar entre 90 e 95%. Uma uniformidade de apenas 55,7% foi encontrada em um sistema de irrigação por gotejamento avaliado por GOMES et al. (2000). Em um outro trabalho realizado por GOMES et al. (2003) encontrou-se um valor de 93%. A diferença de uniformidade entre os dois sistemas avaliados se deve ao tempo de uso, sendo, no segundo caso, um sistema recém instalado, e no primeiro caso, um sistema com

mais tempo de operação. A baixa uniformidade do sistema mais antigo aconteceu por problemas com entupimentos.

Bons índices de uniformidades podem ser mantidos ao longo do tempo, desde que se tomem alguns cuidados como, por exemplo, avaliar periodicamente a qualidade da água, analisando sempre os parâmetros físicos, químicos e biológicos. Além do mais, a fertirrigação deve ser realizada sempre com adubos compatíveis e altamente solúveis (NAKAYAMA e BUCKS,1991).

Um bom sistema de filtragem também colabora na manutenção de índices elevados de uniformidade. CAMPOS (2001) afirma que qualquer sistema de irrigação localizada, deve possuir no mínimo um filtro de tela ou disco, e que o tamanho de abertura destes deve estar entre um sétimo e um décimo do tamanho do orifício dos emissores. Na ocorrência de uma concentração orgânica (algas e filamentos) maior que 5mg.L^{-1} faz-se necessário ainda a instalação de um filtro de areia (LIMA e SILVA, 2000).

A irrigação por gotejamento apresenta também um alto potencial na eficiência de aplicação (Ea). VIEIRA (1986) afirma que são normalmente encontrados valores de Ea na ordem de 90%. Assim como a UD, a eficiência é também seriamente afetada por problemas de entupimentos. GOMES et al. (2000) encontraram uma Ea de apenas 60% em uma avaliação realizada.

2.8.2 Eficiência de aplicação e uniformidade na irrigação por sulcos

As eficiências de aplicação na irrigação por sulcos apresentam valores tipicamente inferiores a 60%, no entanto, este sistema tem potencial para atingir valores tão elevados quanto os sistemas pressurizados, superiores a 80%. Os baixos índices de eficiência normalmente encontrados na irrigação por sulcos estão associados ao baixo interesse comercial relacionado ao sistema, que acaba gerando a ausência de profissionais qualificados, tanto para implementação de projetos como na recomendação de manejo. A assistência técnica, quando existente, parte da iniciativa de órgãos extensionistas governamentais (SCALOPPI, 2003).

Na irrigação por sulcos em nível, por causa da ausência da perda de água por escoamento e da forma simplificada de manejo, onde o tempo de irrigação é função somente da quantidade de água que se deseja aplicar, consegue-se facilmente atingir índices elevados

de eficiência (superior a 80%), não necessitando de mão-de-obra especializada (BERNARDO, 1985; SCALOPPI, 2003).

A UD na irrigação por sulcos deve ser de pelo menos 75%. Os principais problemas de uniformidade estão relacionados com comprimento excessivo do sulco, vazão de avanço muito pequena, reduzido tempo de aplicação de água, sistematização inadequada do terreno, variabilidade espacial do solo, compactação do solo, variação das dimensões da seção transversal de escoamento e variação da resistência hidráulica ao escoamento superficial (FRIZZONE, 2002).

2.9 Produção e eficiência de uso da água na cultura do tomateiro irrigada por gotejamento e sulcos

O sistema mais utilizado na produção de tomate-de-mesa é a irrigação por sulcos, embora o uso da irrigação por gotejamento venha aumentando. A irrigação por aspersão não é indicada para a cultura, pois favorece a ocorrência de doenças fúngicas e bacterianas (DOORENBOS e KASSAN, 1994).

A eficiência de uso da água (EUA) nos trabalhos a seguir será considerada como a relação da produtividade sobre a lâmina de irrigação aplicada.

CARRIJO et al. (1983) não encontraram diferenças significativas de produtividade do tomateiro quando submetidos à irrigação por sulcos ou gotejamento. Este fato certamente ocorreu porque o intervalo de irrigação foi o mesmo, dois dias. Isto propiciou condições semelhantes de umidade no solo entre os tratamentos. A produtividade média ocorrida foi de 53,2 t.ha⁻¹. A eficiência de uso da água (EUA), no entanto, foi muito superior no gotejamento, 7,2 kg.m⁻³ contra 3,2 kg.m⁻³ nos sulcos. Devido ao alto custo da irrigação por gotejamento, os autores concluíram que este sistema somente deverá ser adotado na tomaticultura-de-mesa em condições de carência de água, dificuldade de mão-de-obra e/ou solo inapropriado para irrigação por sulcos.

MEEK et al. (1983) não encontraram diferença significativas na produtividade de tomate submetidas à irrigação por gotejamento ou sulcos em diferentes frequências de irrigação. Duas frequências de irrigação foram utilizadas para cada sistema, diariamente e semanalmente, no caso do gotejamento, e a cada 5 e 10 dias, no caso dos sulcos. A lâmina de

irrigação foi igual a evaporação total do tanque classe A, resultando em uma produtividade de 55 t.ha⁻¹ e uma eficiência de uso da água de 5,7 kg.m⁻³.

YOHANNES e TADESSE (1998) conduziram um experimento por dois anos em Dire Dawa - Etiópia, e obtiveram produções médias de 15,3 t.ha⁻¹ e 10,3 t.ha⁻¹, respectivamente nos sistemas de irrigação por gotejamento e sulcos. A EUA para os respectivos sistemas foram de 3,1 kg.m⁻³ e 1,7 kg.m⁻³. No gotejamento a irrigação foi feita a cada três dias, enquanto nos sulcos, a cada 10 dias.

SINGANDHUPE et al. (2003), conduzindo experimentos de campo com tomate durante dois anos em Rahuri – Índia, obtiveram no primeiro ciclo, através da irrigação por gotejamento, uma produção 12,5% maior (27,5 t.ha⁻¹) que na irrigação por sulco (24,4 t.ha⁻¹). No segundo ciclo, porém, não houve diferença significativa de produção entre os sistemas de irrigação, com 30,6 t.ha⁻¹ no gotejamento e 29,5 t.ha⁻¹ no sulco. A lâmina de irrigação aplicada, em ambos os sistemas, foi estimada através de um tanque classe A, porém com diferentes frequências. A menor produção através do sulco, no primeiro ciclo, deve-se ao fato da baixa frequência de irrigação adotada, 16 a 18 dias, enquanto no gotejamento a irrigação se dava a cada 2 dias. O mesmo critério foi adotado no segundo ciclo, porém a ocorrência de uma melhor distribuição das chuvas igualou a produção naquele período e ainda aumentou a EUA nos dois sistemas. No primeiro ciclo, a EUA no gotejamento (13,2 kg.m⁻³) foi 78,4% maior que nos sulcos (7,4 kg.m⁻³), já no segundo ciclo, esta diferença diminuiu para 50,6%, com maiores valores de EUA tanto no gotejamento (24,7 kg.m⁻³) como nos sulcos (16,4 kg.m⁻³).

HEBBAR et al. (2004), conduzindo experimentos de campo com tomate durante dois anos em Bangalore – Índia, obtiveram através da irrigação por gotejamento, durante os dois anos, uma produção média 20% maior (71,9 t.ha⁻¹) que na irrigação por sulcos (59,5 t.ha⁻¹). A maior produção no gotejamento se deve a irrigação diária, enquanto no sulco a irrigação foi feita a cada 6 dias. A EUA no gotejamento foi 21% maior, 12,7 kg.m⁻³ contra 10,5 kg.m⁻³ nos sulcos.

Os estudos apontam para uma maior produção nos tratamentos submetidos à irrigação por gotejamento ou em produções semelhantes entre gotejamento e sulcos. Isto acontece porque geralmente no gotejamento, a frequência de irrigação é maior, mantendo assim o solo mais próximo da capacidade de campo. Uma alta frequência de irrigação através dos sulcos nem sempre é possível, pois este sistema normalmente demanda maior mão-de-obra.

2.10 Análise econômica para sistemas de irrigação

Uma atividade produtiva pode ser julgada eficiente economicamente se cada unidade de valor de capital empregada faz retornar como benefício um valor igual ou maior que o capital investido (DORFFMAN, 1988). Os custos envolvidos (custo total) em qualquer unidade de produção são normalmente classificados como custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos não se alteram com a quantidade produzida, enquanto, os custos variáveis, dependem do nível de produção. Para um sistema de irrigação são considerados custos fixos principalmente a depreciação e a remuneração dos bens capital investido, e custos variáveis, o custo da energia de bombeamento, dos reparos e manutenção dos sistemas, da mão-de-obra e da água, caso haja cobrança. A obtenção de cada custo pode ser determinada através das equações a seguir, adaptada de CARVALHO e REIS (2000), CARVALHO et al. (2000) e ZOCOLER (2003):

2.10.1 Custos Fixos

O Custo Fixo (CF) é igual a soma da depreciação (DC) com a remuneração (RC) do capital, portanto:

$$CF = DC + RC \dots\dots\dots(18)$$

Sendo:

DC = depreciação do capital (R\$),

RC = remuneração de capital (R\$).

Depreciação do Capital (DC) – equivalente ao valor que deve ser amortizado a cada ano ou ciclo de produção:

$$DC = \frac{(vi - vf).r}{(1 + r)^n - 1} \dots\dots\dots (19)$$

Onde:

vi = valor inicial do bem de capital (R\$),

vf = valor final do bem de capital (R\$),

r = taxa de juros (decimal),

n = período de amortização (depreciação) do capital (anos ou ciclos).

Remuneração do Capital (RC) – equivalente aos juros recebido caso houvesse aplicado o capital em um outro fundo de investimento:

$$RC = \frac{vi(1+r)^n - vi}{\sum_{n=1}^n (1+r)^n + 1} \dots\dots\dots (20)$$

Os custos (valores iniciais) do sistema de bombeamento (CSB) e da tubulação de recalque (CTR) podem ser obtidos através de equações:

$$CSB_{(elétrico)} = e^{[3,75+0,806 \cdot \ln(Q)+0,0803 (\ln(H))^2]} \dots\dots\dots (21)$$

$$CSB_{(diesel)} = e^{[6,1+0,537 \cdot \ln(Q)+0,0574 (\ln(H))^2]} \dots\dots\dots (22)$$

$$CTR = e^{[3,7+0,066 (\ln(L))^2+1,496 \ln(D)]} \dots\dots\dots (23)$$

Onde:

Q = vazão (m³.h⁻¹),

H = altura manométrica (m),

L = comprimento (m),

D = diâmetro (polegada).

2.10.2 Custos Variáveis

O Custo Variável (CV) é igual à soma dos reparos e manutenção dos equipamentos, da mão-de-obra, da água (caso a cobrança esteja em vigor na bacia hidrográfica onde o sistema de irrigação está localizado) e da energia de bombeamento, portanto:

$$CV = CRM + CMO + CA + CB_D \dots\dots\dots (24)$$

Sendo:

CRM = custo de reparos e manutenção (R\$),

CMO = custo da mão-de-obra (R\$),

CA = custo da água (R\$),

CB_D = custo do bombeamento a diesel (R\$).

Custo de Reparos e Manutenção (CRM) - este custo pode ser calculado a partir de percentuais (p) do valor de compra dos equipamentos (BRASIL, 1987). Alguns dos percentuais (p) recomendados são:

Bomba = 4%; Motor diesel = 6%; Motor elétrico = 2%; tubos de aço galvanizado, alumínio ou polietileno = 2%; tubo de PVC = 0,5%. Desta forma, tem-se:

$$CRM = vi \cdot p \dots\dots\dots (25)$$

Sendo:

vi = valor inicial (R\$),

p = percentual do valor de compra (decimal).

Custo da Mão-de-Obra (CMO) – corresponde aos salários e encargos sociais (S) de todas as pessoas envolvidas no tempo de operação (T) do sistema de irrigação, portanto:

$$CMO = T \cdot S \dots\dots\dots(26)$$

Onde:

T = tempo de operação (horas),

S = encargos sociais (R\$.hora⁻¹).

Custo da Água (CA) – de acordo com tarifa (q) cobrada pela UGRHI da região, portanto:

$$CA = V \cdot q \dots\dots\dots(27)$$

Onde:

V = volume de água utilizado (m³)

q = tarifa da água (R\$.m⁻³).

Custo do Bombeamento Diesel (CB_D) – no caso de moto-bomba diesel, pode-se usar a seguinte equação:

$$CB_D = P \cdot Y \cdot T \cdot d \dots\dots\dots(28)$$

Onde:

P = potência do conjunto moto-bomba diesel (cv),

Y = consumo específico (L.cv⁻¹.h⁻¹),

d = preço do litro de óleo diesel.

T = tempo de operação (h)

Para se calcular a potência (P) e o consumo específico (Y), seguem as seguintes equações:

$$P = \frac{Q \cdot H}{48,6} \dots\dots\dots(29)$$

$$Y = \sqrt{0,031 + \frac{0,244}{P}} \dots\dots\dots(30)$$

No caso de bombeamento elétrico, pode-se consultar o Comitê de Distribuição de Energia Elétrica – CODI (1998), que apresenta diversas modalidades de tarifa de energia elétrica, de acordo com o tipo de usuário.

2.11 Agricultura Sustentável

O termo “Agricultura Sustentável” é bastante recente, derivado do conceito de desenvolvimento sustentável, discutido pela primeira vez na conferência mundial sobre meio ambiente em Estocolmo, na Suécia, em 1974. Mas o marco decisivo para divulgação deste conceito só aconteceu uma década depois, a partir da publicação do Relatório Brundtland, em 1987, realizado pela Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, apoiado por organizações internacionais como a FAO / ONU e o Banco Mundial. Segundo este relatório, desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a satisfação das necessidades das futuras gerações (RODRIGUES e ALVES, 2002).

Em 1991 surgiu o primeiro conceito internacional de “Agricultura Sustentável”, publicado pela FAO, elaborado por especialistas do mundo todo. Este conceito afirma que agricultura sustentável se dá por meio do manejo e da conservação dos recursos naturais, com orientação de mudanças tecnológicas de forma contínua, atendendo as necessidades humanas no presente e no futuro, não se preocupando apenas com aspectos ambientais, mas também sendo tecnicamente apropriada, economicamente viável e socialmente aceitável (ROMEIRO, 1998).

EHLERS (1996) cita ainda muitos outros conceitos de Agricultura Sustentável, afirmando que a noção de sustentabilidade na agricultura permanece cercada de muitas imprecisões conceituais, de dúvidas e contradições, permitindo abrigar aqueles que se contentam com simples ajustes no atual padrão produtivo, até aqueles que almejam grandes mudanças estruturais de longo prazo, não apenas na produção agrícola, mas em toda sociedade.

3. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas partes: descrição do experimento e condução do mesmo. A primeira parte relata a estrutura física do experimento enquanto a segunda relata a rotina experimental.

3.1 Descrição do experimento

Com o objetivo de avaliar a produtividade, a eficiência de uso da água e o custo dos sistemas de irrigação na produção da cultura do tomateiro, testaram-se os seguintes tratamentos:

- TS: tratamento irrigado por sulcos (testemunha);
- TSM: tratamento irrigado por sulcos abastecidos por mangueira;
- TG: tratamento irrigado por gotejamento.

Os sulcos empregados na tomaticultura, quando abastecidos por mangueira (TSM), são curtos e fechados nas duas extremidades e, quando a água é interceptada por “bandeira” (TS), curtos e fechados somente no final. Os sulcos utilizados na área experimental apresentaram características idênticas aos encontrados no campo.

Um esquema da disposição do experimento no campo está apresentado na Figura 1. Empregou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições. A água foi captada de um reservatório através de uma bomba centrífuga KSB de três estágios acoplada a um motor MWM a diesel de 90cv. O sistema moto-bomba alimentava também outras áreas da fazenda, além da experimental.

A tubulação de recalque tinha diâmetro nominal (DN) de 100 mm com comprimento de 300 m. A tubulação de recalque alimentou os três sistemas (tratamentos), controlando por meio de registros o tratamento que pretendia irrigar.

Os sulcos de distribuição de formato triangular possuíam uma altura central de 25 cm e uma largura de 40 cm (aproximadamente). Por se tratar de um solo arenoso com declividade de 10%, optou-se por revestir os sulcos de distribuição com lona plástica para evitar erosão.

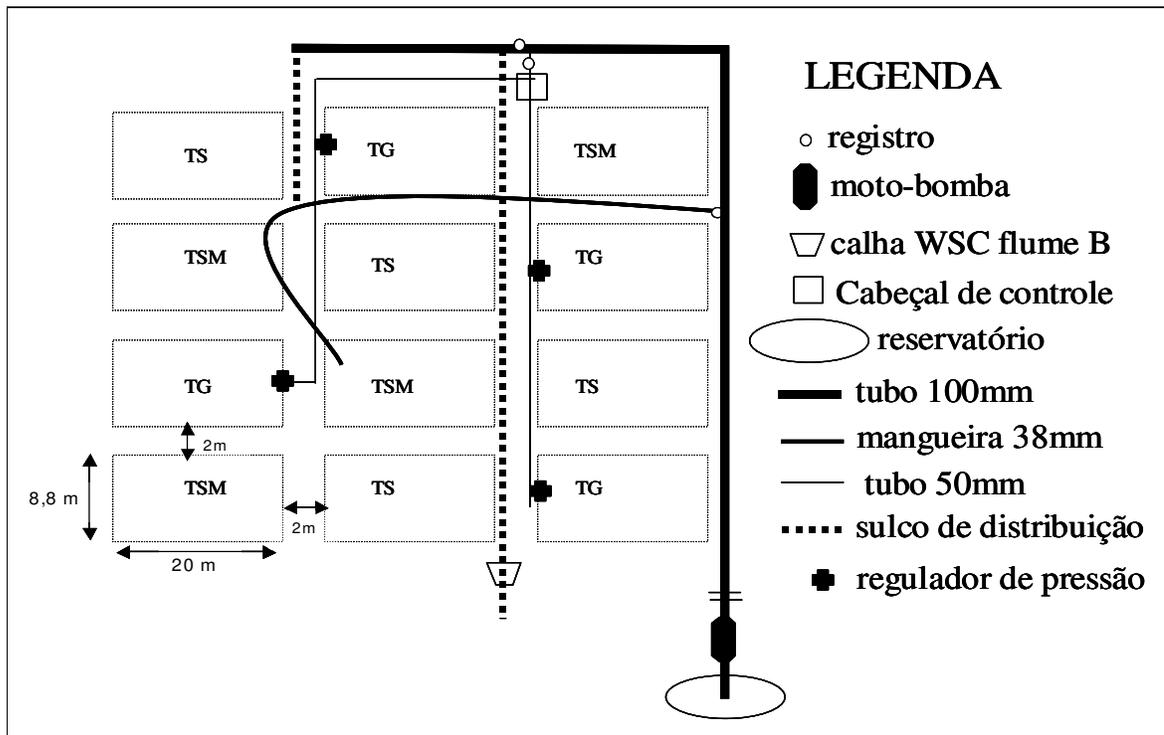


Figura 1. Esquema geral do experimento.

No sulco de distribuição a água era interceptada por um anteparo e desviada para os sulcos de irrigação. O anteparo é popularmente conhecido por “bandeira” e feito, geralmente, com sacos plásticos de adubo. A Figura 2 ilustra um evento da irrigação por sulcos com o uso da bandeira.

Em TSM, utilizou-se uma mangueira com diâmetro de 38 mm para abastecer os sulcos de irrigação. Para se evitar a formação de buracos no início dos sulcos, fez-se uma ampliação para 100 mm na ponta da mangueira (conectando um tubo de alumínio) e colocou-se um anteparo com câmara de pneu. A Figura 3 ilustra um evento da irrigação por sulcos abastecidos por mangueira.

Na parte mais elevada da área experimental foi instalado um cabeçal de controle (Figura 4), onde havia um filtro de disco de 120 mesh, um injetor Venturi de $\frac{3}{4}$ ” e um tanque de fertilizantes de 200 litros. Para o monitoramento da precipitação local, instalou-se junto ao cabeçal um pluviômetro com capacidade igual a 130 mm, com precisão de 2,5 mm. Do cabeçal até as parcelas irrigadas por gotejamento, a água foi conduzida por linhas de distribuição constituídas de tubos de PVC azul com DN 50 mm. Instalou-se um regulador de pressão com conexão de múltiplas saídas (Figura 5) na entrada de cada parcela irrigada por

gotejamento, a partir da qual derivaram as linhas laterais (uma por linha de plantio), constituídas por cinta-gotejadoras de 16 mm com emissores espaçados a cada 30 cm. A cinta-gotejadora utilizada era da marca Netafim, modelo Streamline 80, com relação vazão-pressão, segundo AVELINO NETO (2000), igual a:

$$q = 0,131 \cdot H^{0,457} \dots\dots\dots(31)$$

Onde:

q = vazão do gotejador em L.h⁻¹,

H = pressão (kPa).



Figura 2. Irrigação por sulcos, com desvio feito pela “bandeira”.



Figura 3. Irrigação por sulcos abastecidos por mangueira, com extremidade modificada.



Figura 4. Cabeçal de controle utilizado no tratamento TG.



Figura 5. Regulador de pressão com conexão de múltiplas saídas.

3.1.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Fazenda Bela Vista, no município de Monte-Mor (Região Metropolitana de Campinas), Estado de São Paulo. As coordenadas do município são: 560 metros de altitude, 22° 56' 04 "de Latitude Sul e 47° 18' 58" de Longitude Oeste. Monte Mor está situado na zona CWA do sistema Köppen, clima sub-tropical úmido, com temperatura média anual de 20,7°C e temperaturas anuais máxima média de 22,0°C e mínima média de 18,0°C; com índice pluviométrico médio anual de 1344,6 mm (MONTE MOR, 2004). O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura franco-arenosa (OLIVEIRA et al., 1999). No Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), determinou-se a granulometria, a densidade (Tabela 1) e os dados para construção das curvas de retenção de água no solo, referentes às profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Todos estes parâmetros foram obtidos a partir de três pontos de amostragens em uma diagonal da área experimental. Para obtenção das curvas de retenção de água no solo, amostras indeformadas foram colocadas

em câmaras de Richards e submetidas a pressões de 0 (amostra saturada) a 300 kPa. Para cada valor de pressão, determinou-se o valor de umidade correspondente (Tabela 2).

Tabela 1. Granulometria e densidade nas diferentes camadas do solo.

Camadas (cm)	Granulometria (g.kg ⁻¹)			Densidade (g.cm ⁻³)
	Areia	Silte	Argila	
0-20 (1° ponto)	781	145	74	1,67
0-20 (2° ponto)	740	181	79	1,57
0-20 (3° ponto)	793	132	75	1,56
20-40 (1° ponto)	741	152	107	1,61
20-40 (2° ponto)	765	143	92	1,54
20-40 (3° ponto)	723	146	131	1,56
40-60 (1° ponto)	691	146	163	1,46
40-60 (2° ponto)	709	177	114	1,54
40-60 (3° ponto)	667	155	178	1,45

Tabela 2. Dados para construção da curva de retenção de água no solo.

Camadas (cm)	Umidade volumétrica (%) nas diferentes pressões (kPa)								
	0	6	10	20	33	50	80	150	300
0-20 (1° ponto)	35,05	21,13	20,26	19,97	18,85	17,75	16,60	15,61	13,00
0-20 (2° ponto)	34,32	20,42	19,36	18,60	16,41	15,06	13,99	13,28	10,70
0-20 (3° ponto)	43,40	19,95	18,96	18,39	16,82	15,68	14,66	13,37	12,42
20-40 (1° ponto)	38,96	26,32	24,94	23,70	21,74	20,80	19,93	18,82	17,40
20-40 (2° ponto)	36,36	21,65	19,90	18,79	16,35	15,18	14,18	12,61	10,76
20-40 (3° ponto)	36,47	24,15	22,56	21,40	19,38	18,25	17,49	16,33	15,29
40-60 (1° ponto)	39,70	23,23	21,77	20,76	19,08	18,13	17,37	16,16	14,26
40-60 (2° ponto)	35,36	22,38	21,39	20,61	18,97	18,11	17,25	15,82	13,68
40-60 (3° ponto)	39,18	20,74	19,50	18,49	17,44	16,53	15,91	15,08	14,07

Os valores apresentados na Tabela 2 foram ajustados à equação de de van Genuchten (Figura 6) utilizando-se o programa Soil Water Retention Curve, versão 3 (DOURADO-NETO et al., 2001). Segue abaixo a equação de van Genuchten:

$$\theta_a = \theta_r + \left[\frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + (\alpha |\Psi|)^n)^m} \right] \dots\dots\dots (32)$$

Onde:

θ_a = umidade atual ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$),

θ_r = umidade residual ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$),

θ_s = umidade de saturação ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$),

ψ = potencial de água no solo (kPa),

α , n e m = coeficientes de ajuste.

Os valores das constantes da equação (θ_r , θ_s , α , n e m) e os coeficientes de ajuste (R^2) para cada camada de solo da área experimental estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Constantes e coeficientes de ajuste da equação de van Genuchten nas diferentes camadas de solo.

Camadas (cm)	θ_r	θ_s	α	n	m	r^2
0-20	0,000	0,351	8,8134	2,2717	0,0564	0,932**
20-40	0,143	0,390	0,0001	0,3452	11,1509	0,887**
40-60	0,000	0,397	0,0036	0,1866	1,4709	0,972**

** significativo a 1% de probabilidade.

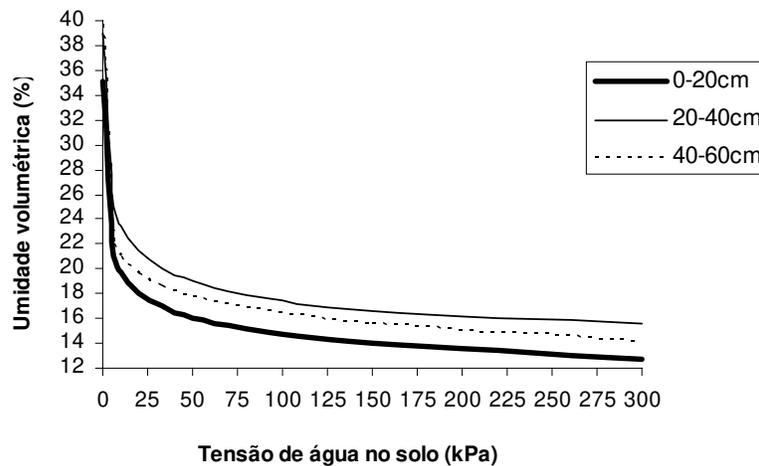


Figura 6. Curvas de retenção de água no solo para as camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

3.2 Condução do Experimento

3.2.1 Manejo da cultura

O manejo da cultura foi indicado e supervisionado pelo agrônomo responsável da Fazenda Bela Vista, de Propriedade dos Irmãos Andrade, experientes tomaticultores da região de Campinas.

As mudas foram cultivadas em estufa e transplantadas com 4 semanas, utilizando a cultivar Fanny TY, do grupo Salada. O transplante foi realizado durante dois dias, 8 e 9 de agosto de 2003. Em todos os tratamentos, utilizou-se um espaçamento de 0,70 m entre plantas e 1,10 m entre linhas de plantio. Cada parcela contou com 8 linhas de plantio de 20 m de comprimento.

O solo da área experimental foi preparado mediante a utilização de grade-aradora, sendo a correção da acidez do solo feita com aplicação de quatro toneladas por calcário dolomítico. Após o preparo do terreno, este foi riscado (sulcado) por meio de sulcadores. Estas operações ocorreram 30 dias antes do transplante.

A adubação de fundação foi realizada 15 dias antes do transplante, utilizando três toneladas por hectare de adubos com formulação 4-14-8. As adubações de cobertura (TS e TSM) e fertirrigação (TG) foram realizadas a partir dos 15 dias após transplante (15 DAT), realizadas nos mesmos dias da irrigação. Na fertirrigação utilizaram-se 24 kg de MAP, 1188 kg de nitrato de potássio, 310 kg de nitrato de cálcio por hectare. Além da fertirrigação, 13,2 kg de ácido fosfórico por hectare foram utilizados para limpeza do sistema. Na adubação por cobertura, tanto em TS como em TSM, aplicaram-se por hectare, 1440 kg de 7-00-30 e 1800 kg de 12-06-12.

Com o crescimento das mudas, optou-se pela condução de duas ramas por planta e o estaqueamento foi do tipo “V” invertido, utilizando varas de bambu. Os tratos culturais como amontoa, desbrotas e amarrações foram feitas conforme o desenvolvimento da cultura.

Os frutos foram colhidos e classificados comercialmente de forma manual em 1A (50 – 65 mm de diâmetro) e 2A (> 65 mm de diâmetro), e em seguida, depositados em caixas K (caixas de madeira) com capacidade de 24 kg.

3.2.2 Monitoramento da irrigação

A irrigação de estabelecimento da cultura foi realizada em duas etapas, nos dias 8 (antes do transplante) e 13 de agosto (após transplante) de 2003, aplicando-se 18 mm por vez. As duas irrigações seguintes (dias 21 e 29/08/03) foram estimadas a partir da evaporação de um “tanque classe A” instalado na estação meteorológica da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Nestas irrigações, as lâminas aplicadas foram iguais a um terço da evaporação do tanque no período (PAPADOPOULOS, 1999). A partir de 04/09/03, com a obtenção da curva de retenção, a irrigação passou a ser manejada através de tensiômetros, com a lâmina de irrigação estimada a partir da equação 5, considerando como profundidade efetiva do sistema radicular da cultura a camada de 0-40 cm. Por se tratar de um solo arenoso, a umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) foi considerada a correspondente a 6 kPa ($0,231 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), de acordo com SILVA e SILVA (1984). A umidade de irrigação (θ_i) foi controlada para ser sempre maior que a correspondente a 30 kPa. No entanto, como se observou no início do experimento, que uma vez estando o solo na “capacidade de campo” ou próximo a ela, levar-se-ia muitos dias (mais de uma semana) para atingir a tensão de 30 kPa, resolveu-se adotar então um novo valor de tensão para irrigação, 20 kPa. Na irrigação por sulcos (TS) os tensiômetros cumpriram apenas o papel de monitoramento da tensão de água no solo nas diferentes camadas. Neste tratamento, que funcionou como testemunha, a irrigação ficou a critério do irrigante.

Nos tratamentos TSM e TG (sulcos abastecidos por mangueira e gotejamento), as lâminas requeridas foram sempre iguais às lâminas aplicadas. Em ambos os tratamentos, empregaram-se a própria lâmina líquida (L) no cálculo do tempo de irrigação. Esta decisão foi tomada por dois motivos: 1º - nos sulcos em nível (sulcos curtos e fechados), por causa da ausência da perda de água por escoamento e da forma simplificada de manejo, o tempo de irrigação pode ser estimado somente em função da quantidade de água que se deseja aplicar (BERNARDO, 1985); 2º - no gotejamento, a eficiência de aplicação do sistema, avaliada em campo, segundo metodologia proposta por KARMELLI e KELLER (1974), foi próxima a 100% (igual a 96%). Na irrigação por gotejamento, as lâminas requeridas foram corrigidas em função da redução de área molhada. Esta correção se deu por meio do produto da lâmina total (considerando toda a área) por um fator de porcentagem de área molhada (P). Para a situação experimental utilizou-se um valor de P igual a 0,6, segundo as recomendações de KARMELLI e

KELLER (1974). O fator P depende do tipo de solo, do espaçamento entre linhas laterais e do espaçamento e da vazão dos gotejadores.

O tempo de irrigação foi estimado através da equação 6. Na irrigação por gotejamento (TG) a área considerada foi o somatório das parcelas (704 m^2), uma vez que estas eram irrigadas todas de uma vez. Na irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM) a área considerada foi a do próprio sulco ($20 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} = 22 \text{ m}^2$).

Os valores de tensão de água no solo foram monitorados a partir da instalação de três baterias de tensiômetros em uma parcela de cada tratamento, na diagonal, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. Os tensiômetros foram construídos com tubos de PVC de 12,5 mm e 5 cm de tubos acrílicos de 12 mm nas extremidades superiores. Nas extremidades inferiores foram conectadas as cápsulas de cerâmica porosa. As cápsulas porosas dos tensiômetros foram previamente testadas e separadas segundo os valores de condutância. Posteriormente, no momento de instalação, buscou-se distribuir os tensiômetros de maneira que as variações de condutância entre eles fossem semelhantes nos tratamentos. Após instalação, os tensiômetros foram completados com água, deixando uma folga de 15 mm na extremidade superior. Em seguida, foram tampados com rolhas de borrachas especiais, resistentes a furos de agulhas, pois as leituras foram feitas com um tensiômetro digital de punção (tensímetro).

3.2.3 Monitoramento da condutividade elétrica da solução solo

Para se fazer o monitoramento da condutividade elétrica do solo, instalaram-se três baterias de extratores de solução, nas mesmas profundidades dos tensiômetros, no lado oposto, apresentando aspectos construtivos semelhantes. A extração da solução do solo para determinação da condutividade elétrica foi realizada com o solo em umidade sempre inferior à saturada. Por isto, para se fazer à comparação com a literatura, os valores de CE foram transformados em valores de CE do extrato de saturação (CEes), utilizando-se a equação 8.

Logo após os eventos de irrigação, os extratores eram submetidos a um vácuo superior a 70 kPa, recebendo novamente a solução do solo, disponível em uma menor tensão (maior potencial). Para se dar o vácuo utilizava-se uma seringa de 60 mL com agulha. A agulha era injetada na rolha de borracha e o êmbolo da seringa puxado para cima, retirando o ar contido no extrator. Com o auxílio do tensímetro, repetia-se esta operação quantas vezes fosse necessária. Depois de 24 horas se coletava a solução do solo. A coleta da solução do solo

se deu por meio de uma seringa de 60 mL conectada a uma mangueira de 2 mm de diâmetro interno por 80 cm de comprimento, introduzida no interior do extrator (Figura 7). A solução era succionada pela seringa e depositada em uma garrafa plástica de 500 mL, e em seguida, se determinava CE utilizando um medidor portátil.



Figura 7. Extração da solução do solo para determinação de CE.

3.2.4 Avaliação dos sistemas de irrigação

Para avaliar a uniformidade de distribuição de umidade nas linhas de plantio utilizou-se um TDR marca Tektronix modelo 1502 C. Antes de se avaliar os sistemas de irrigação, desenvolveu-se a curva de calibração do TDR para o solo da área experimental. Esta calibração foi realizada no Laboratório de Irrigação e Hidráulica da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Amostras deformadas de solo foram retiradas em três pontos da área experimental, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, totalizando um total de nove amostras. Em seguida, estas amostras foram colocadas na densidade original, condicionadas em cilindros de PVC com volume de 1838,5 cm³ (22,5cm de altura e 10,2cm de diâmetro). Determinou-se, primeiramente o valor de Ka

(constante dielétrica proporcional ao valor da umidade) para o solo seco em estufa, em seguida o solo foi saturado por capilaridade, e obteve-se um outro valor de K_a . Desta forma, foi determinada o valor de K_a para os dois extremos de umidade. Após a saturação, valores de K_a foram determinados a medida que o solo secava. Para acelerar o processo utilizou-se uma estufa a 60°C. Para cada camada, foram coletados 20 pares de valores de umidade e K_a , durante 20 dias, e a partir destes, obteve-se um ajuste de calibração. Realizando uma análise de regressão múltipla, observou-se que não houve diferenças significativas entre as camadas a 5% de probabilidade. Desta forma, optou-se por uma calibração única referente a camada de 0 – 60 cm (Figura 8).

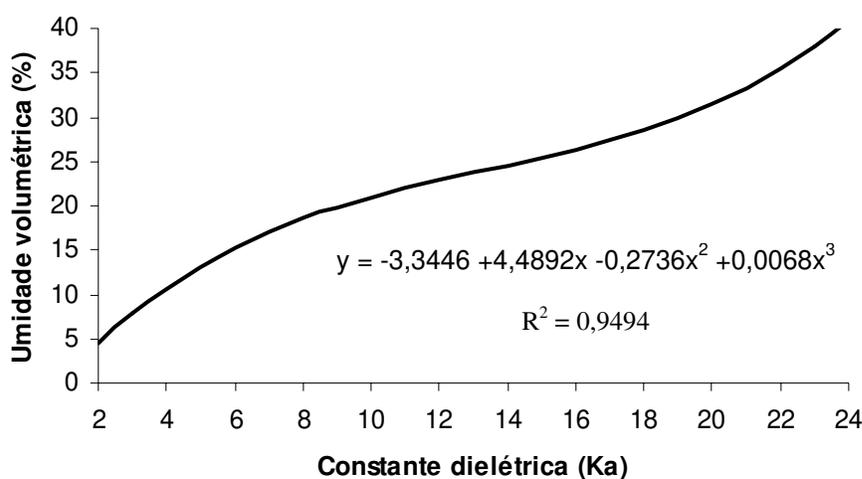


Figura 8. Calibração do TDR para a camada de 0-60 cm.

Após a calibração, instalaram-se cinco sondas de TDR em uma linha de plantio de cada tratamento, segmentadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, espaçadas entre si de 4 m, dividindo o sulco em 4 partes (trechos) iguais (metodologia adaptada de KRUSE, 1978 citado por FRIZZONE, 2002). As avaliações de uniformidade de distribuição (UD) foram realizadas sempre nos dias posteriores a irrigação, logo pela manhã. Este critério foi adotado porque a irrigação sempre era feita no final da tarde e nem sempre a infiltração se dava de maneira rápida.

Os parâmetros de eficiência de irrigação foram determinados a partir dos volumes armazenado (V_a), percolado (V_p), requerido (V_r), derivado (V_d) e escoado (V_e), obtidos por meio de medições no campo, empregando as equações de 10 a 14. O volume requerido foi

calculado a partir da obtenção da lâmina de irrigação por meio de curva de retenção. Para se transformar a lâmina requerida em volume requerido, multiplicou-se o valor da lâmina pela área das parcelas. Os somatórios das parcelas para cada sistema foi de 704 m². O volume armazenado foi obtido a partir das leituras dos tensiômetros após a irrigação.

Na determinação do volume derivado (Vd) utilizou-se um medidor ultrassônico de velocidade de fluxo da marca Dinamic Fluid Systems, modelo HFM, conectando-o na tubulação de recalque (Figura 9) no momento da irrigação em TS ou na mangueira, no momento da irrigação em TSM. Este medidor de fluxo foi previamente calibrado no Laboratório de Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, por meio do método volumétrico, originando a seguinte equação:

$$Q_{\text{volumétrico}} = 1,088 \cdot Q_{\text{ultrassônico}} - 0,295 \quad (R^2 = 0,997) \dots\dots\dots (33)$$

Onde:

$Q_{\text{volumétrico}}$ = vazão obtida pelo método volumétrico (m³.h⁻¹),

$Q_{\text{ultrassônico}}$ = vazão obtida no medidor ultrassônico de velocidade de fluxo (m³.h⁻¹).

Em TSM e TG, o volume percolado (Vp) foi obtido pela diferença entre volume derivado (Vd) e o volume armazenado (Va). Em TS, para se determinar o volume percolado, descontou-se também o volume escoado.

O volume escoado (Ve) foi medido através de uma calha WSC de flume B (Figura 10), previamente calibrada no Laboratório de Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.

Na calibração, a calha foi colocada na saída de um tubo PVC DN 250 com 6 metros de comprimento, que funcionou como um canal, com lâmina sempre inferior a meia seção. Na entrada do tubo foram instalados 4 medidores eletrônicos de 25 mm, em paralelo, da marca GPI, modelo 01M12LM. Os medidores eletrônicos foram anteriormente calibrados pelo método volumétrico. A água que passava pelo sistema (medidores, tubo e calha) era recalçada de um reservatório de 45 m³ através de um sistema moto-bomba afogado com controlador de frequência. O sistema moto-bomba era composto de um motor elétrico WEG de 25 cv e 1750 rpm, modelo 180M, e de uma bomba KSB Meganorm, modelo 80-315. O controlador de frequência utilizado era da marca Siemens, modelo Midi Master. Da moto-bomba até os

medidores, o recalque se dava por meio de um tubo de PVC DN 100, sendo reduzido a 4 saídas de 25 mm nas entradas dos medidores e depois novamente ampliado para uma saída de 100 mm na entrada do tubo de PVC DN 250. A calha foi calibrada em um intervalo de vazão entre 1 e 5,5 litros por segundo, originando a seguinte curva de calibração:

$$Q = 0,004 \cdot H^{2,597} \quad (R^2 = 0,9887) \dots \dots \dots (34)$$

Onde:

Q = vazão que passava pela calha ($L \cdot s^{-1}$),

H = altura da lâmina de água na entrada da calha (cm).

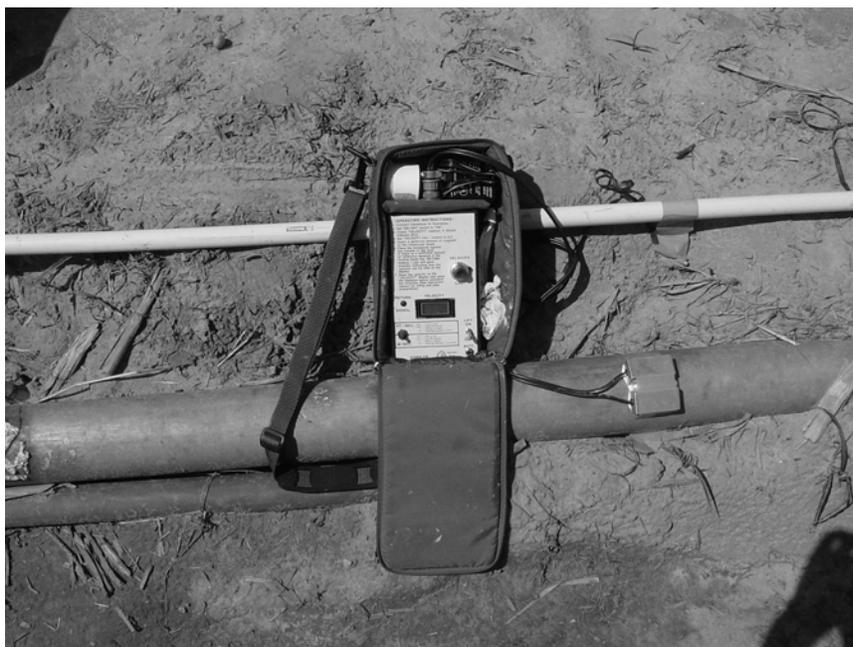


Figura 9. Medidor ultrassônico de velocidade de fluxo conectado na tubulação de recalque.



Figura 10. Calha WSC flume B no final do sulco de distribuição.

3.2.5 Análise econômica dos sistemas de irrigação

A análise econômica dos sistemas de irrigação foi realizada com o objetivo de avaliar o quanto cada sistema influencia no custo total de produção. No custo de produção da tomaticultura-de-mesa já está incluso o custo da irrigação por sulcos (TS). Segundo AGRIANUAL (2004) e CAMPOS (2004), este valor está em torno de R\$30.000,00 por hectare. Para se determinar o investimento necessário na mudança do sistema de irrigação para sulcos abastecidos por mangueira ou gotejamento, fez-se algumas considerações baseadas nas condições experimentais e na forma mais tradicional de mudança utilizada pelos tomaticultores:

- a tubulação de recalque apresentava um comprimento de 300 m e um desnível de 30 m em relação a captação;
- por se tratar de uma unidade de produção já implantada, desejando-se apenas avaliar o custo adicional das alternativas possíveis, fez-se o aproveitamento do conjunto moto-bomba e da tubulação de recalque;
- a lista de componentes empregada na mudança de TS para TSM (mangueira, tubos de PVC e registros) e de TS para TG (filtro, cinta-gotejadora, injetor de fertilizantes, tubos de

PVC, registros, reguladores de pressão) foram obtidas por meio de informações pessoais dadas por representantes de empresas de irrigação da região que costumam realizar estas mudanças. Buscou-se a opção mais simplificada em ambos os casos;

- não se considerou o custo de automação na irrigação por gotejamento. A automação tem sido geralmente descartada porque não há grandes mudanças na condução da cultura, que demanda muita mão-de-obra, aproveitando-a também para o controle da irrigação;

- a filtragem consiste apenas de um filtro de disco de 120 mesh. É importante ressaltar que o sistema de filtragem depende diretamente da qualidade da água, sendo indispensável a utilização de filtros de areia na presença de altas concentrações orgânicas (LIMA e SILVA, 2000);

- no preço do regulador de pressão está embutido ainda o preço da conexão de 6 saídas, normalmente empregada nos projetos realizados. Este tipo de conexão facilita a desmontagem do sistema no final da safra;

- o sistema de injeção consiste de um injetor venturi de ¾" e de um tanque plástico de 200 litros. O venturi possui a vantagem de ser bastante barato, no entanto causa perda de carga significativa que pode chegar a 1/3 da pressão de serviço. Como o sistema de bombeamento não foi mudado, assumiu-se que havia pressão suficiente para suportar esta perda de carga;

- no sistema de gotejamento utilizaram-se cintas-gotejadoras. Esta é a opção mais barata, pois as cintas possuem espessuras de parede mais finas do que os tubo-gotejadores, no entanto, certamente a vida útil cai bastante nesta opção. As cintas-gotejadoras submetidas a fertirrigação na cultura do tomateiro normalmente duram 6 safras (3 anos), enquanto a perspectiva de duração para tubos-gotejadores pode chegar até a 10 anos, segundo o fabricante;

- a mangueira empregada no tratamento TSM é de polietileno. Esta é a opção de menor custo que a de lona, no entanto de menor durabilidade. As mangueiras de polietileno chegam a durar 3 anos também, dependendo do cuidado no manuseio, evitando, sempre que possível, que esta venha a dobrar.

O custo total de mudança dos sistemas de irrigação foi calculado a partir de custos fixos e variáveis dos diferentes sistemas de irrigação, utilizando as equações 18 a 28. Como

custos fixos foram considerados todos os componentes empregados nos diferentes sistemas de irrigação. Como custos variáveis foram considerados gastos com bombeamento (consumo de óleo diesel), reparos e manutenção, mão-de-obra, fertirrigação e água.

Como custo da água adotou-se um preço igual R\$10,00 por mil metros cúbicos. Como a água ainda não é cobrada na bacia, este preço foi adotado a partir das experiências de lugares onde já se cobra pela água.

A mão-de-obra foi calculada a partir do custo homem-dia (R\$15,00) empregado na tomaticultura (AGRIANUAL 2004). No cálculo da mão-de-obra empregada nos tratamentos TS e TSM, considerou todo o tempo de irrigação, enquanto para TG, se considerou apenas o tempo de operação do sistema (tempo de abertura e fechamento de registros, como também o tempo de preparo da solução de fertirrigação). Durante todo o ciclo foram gastos em mão-de-obra por hectare em irrigação, 102,6 horas em TS, 145,9 horas em TSM e apenas 12 horas em TG. No cálculo da mão-de-obra empregada na irrigação por gotejamento se considerou o tempo médio de operação (30 minutos) vezes o número de irrigações realizadas durante o ciclo (12) vezes a hora trabalhada (R\$ 1,88) vezes dois. Multiplicou-se por dois porque normalmente a unidade comercial de produção de tomate é de aproximadamente 0,5 hectare (5000-6000 pés).

Em TS e TSM, foram utilizados como adubação de cobertura por hectare, 1440 kg de 7-0-30 e 1800 kg de 12-0-12, com preço por kg iguais a R\$0,83 e R\$0,76, respectivamente. Na irrigação por gotejamento (TG), foram utilizados por meio de fertirrigação, 864 kg de fosfato-monoamônico (MAP), 1188 kg de nitrato de potássio cálcio, 310 kg de nitrato de cálcio e 13,2 kg de ácido fosfórico (lavagem do sistema), com preço por kg iguais a R\$3,60, R\$1,88, R\$1,46 e R\$ 2,04. No cálculo do custo da fertirrigação considerou-se a diferença desta com o custo da adubação de cobertura.

Os gastos com reparo e manutenção foram calculados a partir da equação 25, de acordo com as recomendações do Programa Nacional de Irrigação (BRASIL, 1987), empregando os seguintes percentuais: 0,5% para os tubos de PVC, 5% para a moto-bomba e 2% para os demais componentes.

A receita foi obtida a partir dos preços praticados no período da safra. A safra iniciou no dia 15 de outubro de 2003 com o aparecimento dos primeiros frutos fisiologicamente

maduros. A última colheita foi feita no dia 6 de dezembro de 2003. A renda foi obtida a partir da diferença entre a receita e o custo de produção.

Como taxa de juros, empregou-se um valor igual 12% ao ano. A vida útil dos sistemas de irrigação foi embasada nas recomendações do Programa Nacional de Irrigação (BRASIL,1987) e na experiência do produtor, que resultou numa estimativa de vida útil igual a 15 anos para todos os componentes, exceto para a mangueira e cinta-gotejadora, igual a 3 anos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Monitoramento da irrigação

4.1.1 A irrigação nos diferentes sistemas

Durante todo o ciclo (120 dias) foram realizadas 12 irrigações (Tabela 4). A última irrigação se deu no dia 8/11/03. A partir de então, a alta precipitação foi suficiente para manter o solo com elevada umidade (baixa tensão).

Tabela 4. Lâminas de irrigação aplicadas durante o ciclo da cultura do tomateiro.

Dias de irrigação	Lâminas de irrigação aplicadas (mm)		
	TS	TSM	TG
08/08/03 (1 DAT)*	33 (18)	18	11
13/08/03 (4 DAT)*	33 (18)	18	11
21/08/03 (12 DAT) ^Δ	35 (9,9)	9,9	5,9
29/08/03 (20 DAT) ^Δ	34 (10,3)	10,3	6,2
05/09/03 (27 DAT) [♦]	35 (4,4)	6,1	4,7
16/09/03 (38 DAT) [♦]	35 (7,2)	9,6	6,3
26/09/03 (48 DAT) [♦]	31 (7,3)	8,2	6,5
04/10/03 (56 DAT) [♦]	36 (10,3)	11,2	6,3
17/10/03 (69 DAT) [♦]	35 (6,6)	10	5,3
24/10/03 (76 DAT) [♦]	34 (9,5)	12,7	6,2
01/11/03 (84 DAT) [♦]	33 (8,3)	9,6	7,1
08/11/03 (91 DAT) [♦]	34 (12)	9,6	6
Total	408 (121,8)	133,2	82,5

DAT = dias após transplante;

* irrigação de estabelecimento;

^Δ irrigação com reposição igual a 30% da evaporação do tanque classe A (PAPADOPOULOS, 1999);

[♦] irrigação com base na curva de retenção, utilizando tensiômetros para manejo.

Os números entre parênteses representam as lâminas que deveriam ser aplicadas em TS, caso o manejo se baseasse no tanque Classe A (12 e 20 DAT) e nos tensiômetros (a partir de 27 DAT).

A Figura 11 apresenta os valores de lâminas de água (chuva e irrigação) recebidas pelos diferentes sistemas durante todo o ciclo.

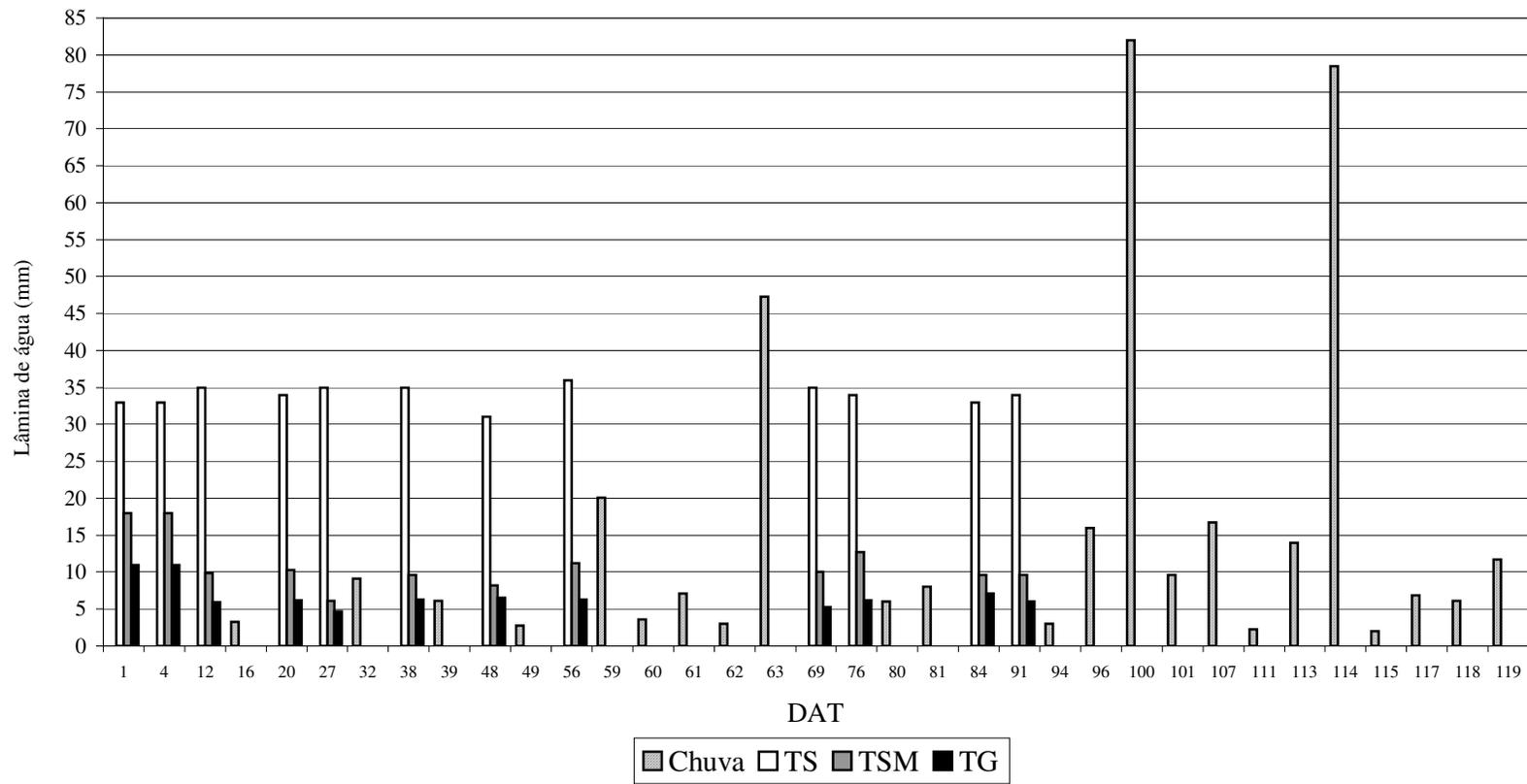


Figura 11. Valores de chuva e irrigação durante o ciclo da cultura.

A precipitação aumentou no decorrer do ciclo da cultura. Nos primeiros 30 dias (0-30 DAT) a precipitação foi igual a 17 mm, dos 30-60 DAT igual 42 mm, dos 60-90 DAT igual 71 mm e nos últimos 30 dias (90-120 DAT) igual a 249 mm.

A lâmina aplicada por irrigação em TS, nos primeiros 30 dias (0-30 DAT), foi igual a 170 mm, enquanto a lâmina requerida (com base nas leituras dos tensiômetros) foi de apenas 60,6 mm, portanto, houve uma perda de água de 109,4mm, aplicando-se 2,8 vezes o necessário. Da mesma forma, nas demais fases, observou-se o mesmo comportamento, ou seja, uma aplicação de água (irrigação) muito maior do que a necessária. Dos 30-60 DAT a lâmina requerida foi de 24,8 mm e aplicaram-se 102 mm, perdendo-se 77,2 mm e irrigando-se 4,1 vezes a mais do que o necessário. Dos 60-90 DAT, a lâmina requerida foi de 24,4 mm e se aplicou 102 mm, perdendo 77,6 mm e irrigando 4,2 vezes a mais do que o necessário. Nos últimos 30 dias (90-120 DAT), a lâmina requerida foi de apenas 12 mm e se aplicou 34 mm, perdendo-se 22 mm e irrigando 2,8 vezes a mais do que o necessário. As lâminas aplicadas na irrigação por sulcos (TS) durante todo o ciclo (408 mm) foram 3,7 vezes maior do que as lâminas requeridas (122 mm).

Na Tabela 4 pode-se observar que as lâminas aplicadas em TSM e TG, entre 5 de setembro (27 DAT) e 4 de outubro (56 DAT), foram geralmente menores ou bem próximas às aplicadas anteriormente, baseadas na evaporação do tanque. Comportamento semelhante foi observado por HARTZ (1993), comparando diferentes formas de manejo, percebeu que a irrigação com base na tensão de água no solo, em comparação à lâmina estimada pela equação de Peenman-Monteith, diminuiu em 25% a quantidade de água durante todo o ciclo do tomateiro.

4.1.2 Avaliação dos sistemas de irrigação

A irrigação por sulcos (TS) foi avaliada em 5 datas diferentes. Na Tabela 5 estão os valores de volumes encontrados nas parcelas para os dias avaliados.

Tabela 5. Volumes de água nas parcelas de irrigação por sulcos (TS).

Dias	Volumes (L)				
	requerido	derivado	armazenado	escoado	percolado
4/10	7251	22528	7251	443	14834
17/10	4646	18560	4646	200	13714
24/10	6688	26752	6688	160	19904
1/11	5843	26880	5843	120	20917
8/11	8448	23040	8448	384	14208

A partir da Tabela 5, utilizando as equações de 10 a 14, estimaram-se os parâmetros de eficiência de irrigação em TS, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Parâmetros de eficiência na irrigação por sulcos (TS).

Dias	Parâmetros de eficiência (%)				
	Eficiência de aplicação	Eficiência de armazenamento	Grau de déficit	Perdas por escoamento	Perdas por percolação
4/10	32,2	100	0	2	65,8
17/10	25	100	0	1,1	73,9
24/10	25	100	0	0,6	74,4
1/11	21,7	100	0	0,5	77,7
8/11	36,7	100	0	1,7	61,6

A irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM) foi avaliada por 3 vezes. Na Tabela 7 estão os valores de volumes encontrados nas parcelas para os dias avaliados.

Tabela 7. Volumes de água nas parcelas de irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).

Dias	Volumes (L)			
	requerido	derivado	armazenado	percolado
4/10	7885	7885	7040	845
17/10	7110	7110	5632	1478
8/11	6758	6759	5913	846

A partir da Tabela 7, utilizando as equações de 10 a 14, estimaram-se os parâmetros de eficiência de irrigação em TSM, apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Parâmetros de eficiência na irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).

Dias	Parâmetros de eficiência (%)			
	Eficiência de aplicação	Eficiência de armazenamento	Grau de déficit	Perdas por percolação
4/10	89,3	89,3	10,7	10,7
17/10	79,2	79,2	20,8	20,8
8/11	86,6	86,6	13,4	13,4

A irrigação por gotejamento (TG) foi avaliada por 3 vezes. Na Tabela 9 estão os valores de volumes encontrados nas parcelas para os dias avaliados.

Tabela 9. Volumes de água nas parcelas de irrigação por gotejamento (TG).

Dias	Volumes (L)			
	requerido	derivado	armazenado	percolado
4/10	4435	4435	3925	510
17/10	3731	3731	3391	340
8/11	4224	4224	3548	676

A partir da Tabela 9, utilizando as equações de 10 a 14, estimaram-se os parâmetros de eficiência de irrigação em TG, apresentados na Tabela 10.

Tabela 10. Parâmetros de eficiência na irrigação por gotejamento (TG).

Dias	Parâmetros de eficiência (%)			
	Eficiência de aplicação	Eficiência de armazenamento	Grau de déficit	Perdas por percolação
4/10	88,5	88,5	11,5	11,5
17/10	90,9	90,9	9,1	9,1
8/11	84	84	16	16

Analisando a Tabela 6, pôde-se verificar que em TS sempre ocorreu uma eficiência de armazenamento de 100% e, conseqüentemente, um grau de déficit de 0%. Isto aconteceu porque a lâmina aplicada foi muito maior que a requerida durante todo o ciclo da cultura. As perdas por escoamentos superficiais ocorridas em TS (Tabela 6) estiveram compreendidas entre 0,5 e 2%. TSM e TG apresentaram valores de eficiência de armazenamento idênticos às eficiências de aplicação (Tabelas 8 e 10) em função dos volumes requeridos e aplicados (derivados) terem sido sempre os mesmos (Tabelas 7 e 9).

Além dos parâmetros de eficiência, estimou-se ainda a uniformidade de distribuição nos diferentes sistemas, mostrados na Tabela 11.

Tabela 11. Uniformidade de distribuição da umidade no solo (%).

Dias	Sistemas de irrigação		
	TS	TSM	TG
4/10	90,3	96,1	94,4
17/10	85,7	97,1	99,4
8/11	82,6	99,2	95,6

Todos os sistemas apresentaram bons índices de uniformidade, bem acima de 75%, recomendado como limite mínimo de uniformidade na irrigação por sulcos, segundo FRIZZONE (2002). As uniformidades médias em TSM e TG foram bastante próximas, iguais a 97,5 e 96,5%, respectivamente. A uniformidade em TS foi de 86,2%. Certamente as pequenas parcelas constituídas por sulcos curtos e em nível contribuíram para os bons valores de uniformidade encontrados. O maior valor de UD de TSM em relação a TS, deve ter

acontecido pela forma de aplicação de água aos sulcos, uma vez que em TS se aplicou uma maior vazão e o corte foi feito logo após o tempo de avanço. As diferenças de TSM e TG em relação à TS, nos valores de Ea e Pp estão diretamente ligados às lâminas de irrigação aplicadas, pois em TS estas lâminas foram bem maiores, acima das lâminas requeridas.

Os valores médios de eficiência de aplicação (Ea), perdas por percolação (Pp) e uniformidade de distribuição (UD), obtidos a partir das Tabelas 6, 8, 10 e 11, estão mostrados na Figura 12, na qual pode-se notar que TSM e TG apresentaram valores muito próximos de Ea, de Pp e UD. As eficiências médias de aplicação em TSM e TG foram respectivamente iguais a 85 e 87,8%, enquanto em TS a eficiência de aplicação foi de apenas 28,2%. Conseqüentemente, em função dos maiores valores de eficiência de aplicação, TSM e TG apresentam valores de perdas por percolação bem menores que TS. As perdas por percolação em TSM e TG foram respectivamente iguais a 15 e 12,2%, enquanto em TS a perda foi bem maior, igual 70,7%.

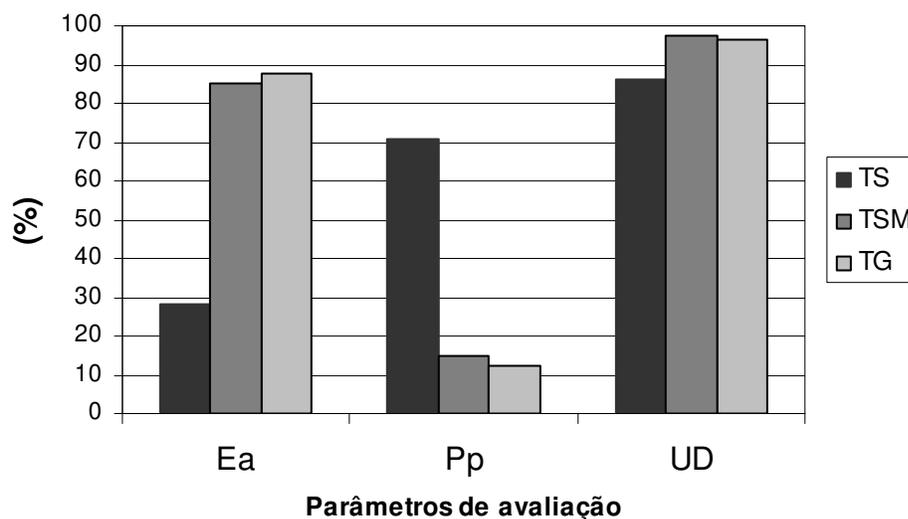


Figura 12. Valores médios de eficiência de aplicação, de perdas por percolação e de uniformidade de distribuição da umidade do solo nos diferentes sistemas de irrigação.

4.1.3 Tensão de água no solo

A Tabela 12 apresenta os valores médios de tensão para os três tratamentos avaliados.

Tabela 12. Valores médios de tensão de água no solo (kPa)*.

Tratamentos	Camadas		
	0-20cm ^a	20-40cm ^a	40-60cm ^b
TS ^a	9,6	10,3	11,4
TSM ^b	11,6	11,3	14,7
TG ^b	12,3	11,6	14,3

* Camadas ou tratamentos seguidos da mesma letra não apresentam diferenças significativas.

A Tabela 13 mostra a análise de variância para os valores de tensão de água no solo.

Tabela 13. Resumo da análise de variância para a tensão de água no solo.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Camadas (A)	2	235,86 ^{**}
Tratamentos (B)	2	201,44 ^{**}
A x B	4	16,85 ^{n.s.}
Resíduo	378	8,74

^{**} significativo a 1% de probabilidade; ^{n.s.} não significativo.

A análise de variância demonstra que não houve interações, pois em todos os tratamentos, os maiores valores de tensão se concentraram na camada de 40-60 cm, enquanto os menores valores de tensão, em todas as camadas, ocorreram na irrigação por sulcos.

Durante todo o ciclo, em todos os tratamentos, os valores de tensão de água no solo estiveram sempre abaixo de 30 kPa, o que é bastante adequado para a cultura do tomateiro (MAROUELLI et al., 1998). Isto aconteceu tanto nas camadas que compõem a profundidade efetiva do sistema radicular (0-20 e 20-40 cm) como também na camada de 40-60 cm. As Figuras 13, 14 e 15 demonstram a variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas do solo, nos diferentes tratamentos.

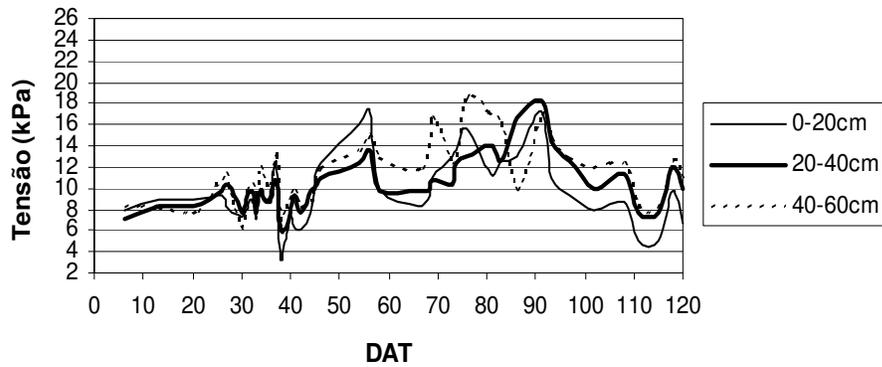


Figura 13. Variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas de solo da irrigação por sulcos (TS).

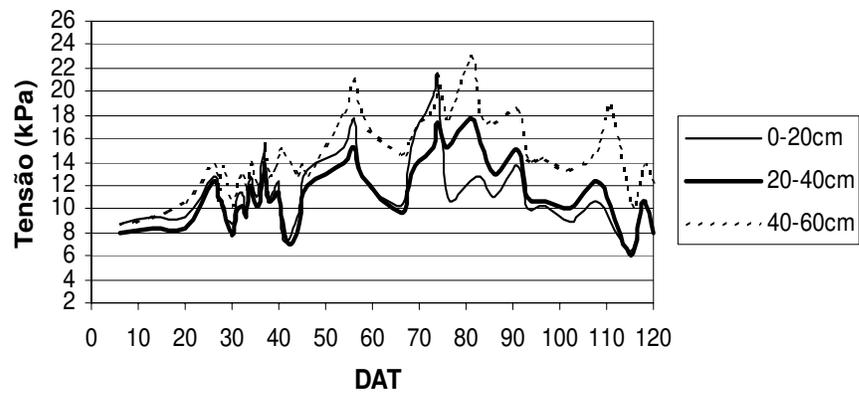


Figura 14. Variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas de solo da irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).

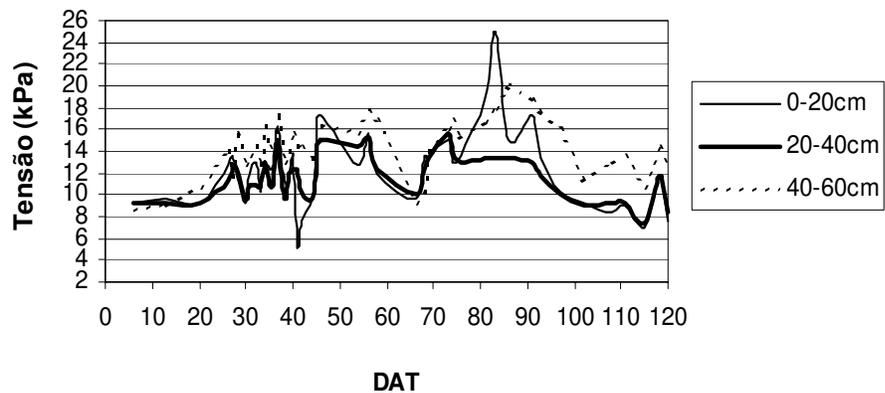


Figura 15. Variação temporal da tensão de água nas diferentes camadas de solo da irrigação por gotejamento (TG).

Através da Figura 13, pôde-se observar que na irrigação por sulcos (TS), em nenhum momento, a tensão de água no solo foi superior a 20 kPa, independente da camada analisada. As amplitudes de tensão encontradas nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm estiveram respectivamente compreendidas entre 3 kPa e 17 kPa, 6 kPa e 18 kPa e 6 kPa e 19 kPa. Estes baixos valores de tensão ocorridos em todas as camadas se deram pelo excesso da lâmina irrigação aplicada. O menor valor de tensão (3 kPa) na camada de 0-20 cm ocorreu no dia seguinte à irrigação realizada aos 38 DAT (dias após transplante). Neste mesmo dia, as tensões nas camadas de 20-40 e 40-60 cm foram respectivamente iguais a 6 e 7 kPa. A lâmina requerida neste dia foi de 7,2 mm e se aplicou 34 mm. Apesar de não mais se encontrar nenhum outro valor de tensão inferior a 6 kPa após os demais dias de irrigação, é inválido afirmar que a irrigação por sulcos (TS) tenha sido adequada nos outros eventos. Certamente, como as leituras dos tensiômetros eram realizadas somente 24 horas após a irrigação, havia tempo de ocorrer uma redistribuição de água no solo somada a evapotranspiração do dia, resultando em uma leitura maior do que a tensão logo após a infiltração. No final do ciclo, novamente ocorreram valores de tensão inferiores a 6 kPa, no entanto, neste período estes valores são em função da elevada precipitação ocorrida.

Comparando as Figuras 14 e 15 com a Figura 13, nota-se maiores diferenças entre os valores de tensão da profundidade efetiva (0-20 e 20-40 cm) e os valores de tensão da camada de 40-60 cm. Isto acontece praticamente durante todo o ciclo, confirmando os resultados obtidos na Tabela 12.

4.1.4 Água disponível no solo

A partir dos valores de tensão obtidos durante todo o experimento, fazendo-se uso da curva de retenção, estimou-se valores de umidade na profundidade efetiva do sistema radicular (0 - 40 cm) e conseqüentemente da porcentagem de água disponível. Na Tabela 14 estão demonstrados os valores de água disponível para os diferentes tratamentos.

Tabela 14. Valores médios de água disponível (%) nos diferentes tratamentos para a camada de 0-40cm.

Tratamentos		
TS ^b	TSM ^a	TG ^a
94,3	92,6	92,1

Na Tabela 15 encontra-se o resumo da análise de variância para água disponível, com valores significativamente diferentes entre os tratamentos.

Tabela 15. Resumo da análise de variância de água disponível (%) no solo.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Tratamentos	2	58,9**
Resíduo	126	

** significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 16 têm-se as variações temporais de água disponível no solo em todos os tratamentos.

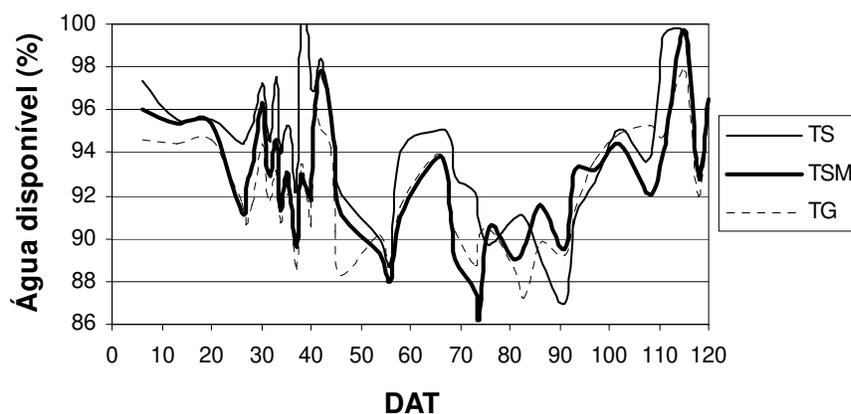


Figura 16. Água disponível no solo para os diferentes tratamentos.

Durante todo o ciclo e em todos os tratamentos, observa-se que a água disponível foi sempre superior a 80% (Figura 16), sendo este considerado um valor bastante adequado para a cultura do tomateiro (HARTZ,1993; SAHA e HARA, 1998).

4.1.5 Condutividade elétrica

Na Tabela 16 se encontram os valores de condutividade elétrica de extrato de saturação (CEEs) do solo.

Tabela 16. Valores médios de CEEs ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)*.

Tratamentos	Camadas		
	0-20cm ^a	20-40cm ^a	40-60cm ^b
TS ^b	2,05 ^a	1,52 ^a	1,52 ^b
TSM ^c	2,48 ^a	2,48 ^b	2,75 ^c
TG ^a	2,08 ^a	1,34 ^a	0,48 ^a

*Camadas ou tratamentos seguidos da mesma letra não apresentam diferenças significativas. As letras que acompanham os valores de ECes demonstram a interação dos tratamentos.

Analisando a Tabela 16 pode-se perceber que a irrigação por gotejamento (TG) apresentou os menores valores de condutividade elétrica do extrato de saturação (CEEs), exceto na camada de 0-20 cm, seguida da irrigação por sulcos (TS) e da irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM).

A seguir, na Tabela 17 tem-se o resumo da análise de variância da condutividade elétrica do solo

Tabela 17. Resumo da análise de variância da CEEs dos diferentes tratamentos.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Camadas (A)	2	3,30**
Tratamentos (B)	2	13,92**
A x B	4	2,49**
Resíduo	90	0,25

A partir da Tabela 17, nota-se a ocorrência de diferenças significativas tanto em função dos tratamentos como também em função das camadas, e ainda, percebe-se a presença de interações entre tratamentos e camadas do solo. Considerando novamente a Tabela 16, pode-se notar que, enquanto existe, para TS e TG, uma diminuição dos valores de ECes em relação à profundidade do solo, em TSM ocorre justamente o inverso. Na primeira camada (0-

20 cm) não houve diferenças significativas entre os tratamentos, enquanto na segunda camada (20-40 cm), TSM foi superior aos demais. Na terceira camada (40 – 60 cm), todos os tratamentos foram diferentes, com TG apresentando o menor valor.

A partir dos resultados obtidos, algumas suposições podem ser feitas em relação ao comportamento da condutividade elétrica nos diferentes tratamentos. Recebendo TS e TSM a mesma adubação, as diferenças de CEes são obviamente em função dos diferentes manejo de irrigação empregados nestes dois sistemas. Em TSM os valores médios de CEes encontrados nas camadas de 0-20 e 20-40 cm estão muito próximos ao limite recomendado para a cultura do tomateiro, igual a 2,5 dS.m⁻¹ (DOORENBOS e KASSAN, 1994). Na camada abaixo (40-60 cm), este valor é ainda maior, demonstrando a existência de lixiviação de nutrientes. Certamente, em TS, os menores valores de ECes ocorreram em função da maior lâmina de irrigação aplicada, lixiviando nutrientes para profundidades ainda maiores, superiores a 60 cm. Em TG, onde ocorreram os menores valores de ECes, principalmente na camada de 40-60 cm, pode-se admitir que houve um melhor controle no fornecimento dos nutrientes por meio da fertirrigação.

4.2 Produtividade e eficiência de uso da água

4.2.1 Produtividade

Nas Tabelas 18 e 19 estão apresentados os valores médios de produtividade para os tomates classificados como 2A e 1A, respectivamente.

Tabela 18. Valores médios de produtividade (tomate 2A).

Tratamentos	Produtividade	
	ton.ha ⁻¹	caixas/1000pés
Sulcos (TS)	93,65 ^a	286
Sulcos com mangueira (TSM)	90,10 ^a	275
Gotejamento (TG)	87,73 ^a	268

Tabela 19. Valores médios de produtividade (tomate 1A).

Tratamentos	Produtividade	
	ton.ha ⁻¹	caixas/1000pés
Sulcos (TS)	4,8 ^a	14,7
Sulcos com mangueira (TSM)	5,1 ^a	15,6
Gotejamento (TG)	5,3 ^a	16,2

Não houve diferenças significativas de produtividade entre os tratamentos (Tabelas 18 e 19). A análise de variância demonstra também que não ocorreram diferenças significativas entre os blocos (Tabela 20 e 21).

Tabela 20. Resumo da análise de variância para a produtividade (tomate 2A).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Tratamentos	2	35,50 ^{ns}
Blocos	3	67,10 ^{ns}
Resíduo	6	163,71

Tabela 21. Resumo da análise de variância para a produtividade (tomate 1A).

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Tratamentos	2	0,28 ^{ns}
Blocos	3	0,07 ^{ns}
Resíduo	6	0,35

A produtividade média foi de 90,5 toneladas por hectare, ou ainda, na forma mais utilizada pelos tomaticultores, 276 caixas por 1000 pés. Além da experiente condução agrônômica, certamente, as boas condições de umidade do solo, em todos os tratamentos, favoreceram o bom resultado de produtividade. A produção obtida foi bem superior às médias nacional e paulista, com produtividades de 54,2 e 59,4 t.ha⁻¹, respectivamente. Foi superior também a média do próprio município que é de 70 t.ha⁻¹ (IBGE, 2004; AGRIANUAL 2004).

4.2.1 Eficiência de uso da água

Na Tabela 22 estão demonstradas as eficiências de uso da água nos diferentes tratamentos. A maior eficiência de uso da água foi encontrado em TG, seguido por TSM e TS. Estas diferenças não foram significativas entre os blocos de irrigação (Tabela 23).

Tabela 22. Valores médios de eficiência de uso da água (EUA).

Tratamentos	EA (kg.m ⁻³)
Sulcos (T1)	24,1 ^a
Sulcos com mangueira (T2)	71,5 ^b
Gotejamento (T3)	112,8 ^c

Tabela 23. Resumo da análise de variância para eficiência de uso da água.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Tratamentos	2	7879,69 ^{**}
Blocos	3	14,50 ^{n.s.}
Resíduo	6	67,74

Para se obter a eficiência de uso da água, considerou-se a produção total. Todos os tratamentos apresentaram elevados valores de eficiência de uso da água, mesmo TS, onde a lâmina aplicada foi muito maior que a requerida. Em todos os tratamentos os valores foram superiores aos sugeridos por DOORENBOS e KASSAN (1994), que consideram como bons resultados, valores de eficiência de uso da água entre 10 a 12 kg.m⁻³. Isto aconteceu por dois motivos, primeiro pela elevada produtividade, segundo, pela irrigação complementar praticada em função das precipitações ocorrida no período (379 mm).

4.3 Análise econômica dos sistemas de irrigação

Na Tabela 24 estão demonstrados os preços dos componentes necessários na mudança do sistema tradicional de irrigação por sulcos (TS), empregado na tomaticultura, para a irrigação por sulcos com mangueira (TSM) e irrigação por gotejamento (TG).

Na primeira opção de mudança, onde o sistema continua praticamente o mesmo, mas muda a forma de aplicação, passando de sulcos (TS) para sulcos abastecidos por mangueira

(TSM), o investimento inicial é R\$619,20 por hectare, enquanto, numa segunda opção (TG), onde a alternativa decorre de uma mudança total de sistema, o investimento fica mais elevado, igual a R\$6239,80 por hectare.

Tabela 24. Investimento inicial por hectare na mudança do sistema de irrigação.

Componentes	Unidade (R\$)	Quantidade		Investimento (R\$)	
		TSM	TG	TSM	TG
Filtro	1000		1		1000
Cinta-gotejadora (m)	0,55		7200		3960
Regulador de pressão	33		18		594
Barra de PVC 2"	13,70	16	24	219,20	328,80
Sistema de injeção	150		1		150
Registro 2"	37	2	1	74	37
Registro 4"	170	1	1	170	170
Mangueira 1 ½" (m)	2,60	60		156	
Total				619,20	6239,80

4.3.1 Custos variáveis

Na Tabela 25 estão apresentados os custos variáveis.

Tabela 25. Custos variáveis por ciclo de produção por hectare.

	TS	TSM	TG
Óleo diesel	673,93	204,14	185,32
Reparos e manutenção	350,58	359,68	470,45
Mão-de-obra	192,38	273,49	22,56
Fertirrigação			236,17
Água	40,80	13,32	8,25
Total	1257,69	850,63	922,75

O maior custo variável (CV) foi obtido em TG, seguido de TS e TSM. No gotejamento, com exceção dos gastos com reparo e manutenção, todos os custos variáveis foram reduzidos. Houve também um acréscimo devido a fertirrigação (maior custo dos

adubos). O menor custo variável de TSM em relação à TS ocorreu principalmente em função do menor consumo de combustível (óleo diesel). Isto aconteceu porque em TSM a lâmina de irrigação aplicada foi 2,8 vezes menor do que em TS.

4.3.1 Custos Fixos

A partir dos valores apresentados na Tabela 24 foram calculados os custos fixos (Tabela 26), utilizando as equações de 18 a 23.

Na Tabela 26, os custos fixos estão divididos em duas partes, depreciação de capital (DC) e remuneração de capital (RC). A soma destes dois indicadores fornece o custo fixo total. O menor custo fixo (CF) foi obtido no TS, igual a R\$470,21 por hectare. Nos TSM e TG, em virtude dos investimentos empregados, os custos fixos foram maiores, iguais a R\$545,19 e R\$1847,07 por hectare, respectivamente.

Tabela 26. Custos fixos por ciclo de produção por hectare.

Componentes	Depreciação do Capital (DC)			Remuneração do Capital (RC)		
	TS	TSM	TG	TS	TSM	TG
Moto-bomba	74,84	74,84	74,84	246,61	246,61	246,61
Recalque	34,63	34,63	34,63	114,13	114,13	114,13
Filtro			12,65			41,68
Cinta-gotejadora (m)			567,72			685,27
Regulador de pressão			7,51			24,76
Barra de PVC 2”		2,77	4,16		9,14	13,71
Sistema de injeção			1,90			6,25
Registro 2”		0,94	0,47		3,08	1,54
Registro 4”		2,15	2,15		7,09	7,09
Mangueira 1 ½”		22,36			27,00	
Total	109,47	137,69	706,03	360,74	407,5	1141,04

4.3.3 Custo dos sistemas de irrigação

Por meio da soma dos custos fixos e variáveis determinou-se o custo dos sistemas de irrigação. A irrigação por sulcos abastecidos por mangueira apresentou o menor custo, igual R\$1395,82 por hectare. Os custos em TS e TG foram respectivamente iguais a R\$1727,90 e

R\$2769,79 por hectare. Sem considerar a cobrança da água, os custos em TS, TSM e TG passam a ser iguais a R\$1687,10, R\$1382,50 e R\$2761,54, respectivamente. A cobrança da água, nos níveis praticados, teve pouca influência no custo dos sistemas de irrigação, sendo de 2,4% em TS, 0,9% em TSM e 0,3% em TG.

4.4 Discussão geral

4.4.1 Irrigação e produtividade

Não houve diferenças significativas de produtividade entre os sistemas de irrigação, no entanto, as eficiências de uso da água (EUA) foram bem distintas, iguais a 24,1 kg.m⁻³, 71,5 kg.m⁻³ e 112,8 kg.m⁻³, respectivamente em TS, TSM e TG. A menor EUA obtida em TS (24,1 kg.m⁻³) é consequência das altas lâminas de irrigação aplicadas. Durante todo o ciclo, aplicou-se neste sistema uma lâmina 3,7 vezes maior do que a necessária (requerida). Comparando com valores encontrados na literatura, mesmo em TS, o valor de EUA é bastante elevado (CARRIJO et al., 1983; MEEK et al., 1983; YOHANNES e TADESSE, 1998; SINGANDHUPE et al., 2003; HEBBAR et al., 2004; SILVEIRA, 2004). A elevada produtividade (90,5 t.ha⁻¹) e a considerável precipitação pluviométrica ocorrida no período (379 mm) contribuíram na obtenção deste resultado de EUA, no entanto, é contraditório afirmar que um sistema apresente eficiente uso da água diante de elevadas perdas por percolação e baixíssima eficiência de aplicação.

Com base nas avaliações realizadas, chega-se a uma eficiência média de aplicação em TS da ordem de 28%. Este valor está muito próximo ao encontrado por CAMPOS (2004), em um sistema idêntico ao empregado na área experimental, igual a 26%. Com bases ainda nas avaliações realizadas chega-se a uma média de perdas por percolação superior a 70%. SILVEIRA (2004) também encontrou elevadas perdas por percolação neste mesmo tipo de sistema, da ordem de 80%. Em TSM e TG, os valores de eficiência de aplicação foram bem superiores, respectivamente iguais a 85% e 87,8%, e as perdas por percolação bem menores, respectivamente iguais a 15% e 12,2%. Além das perdas por percolação, em TS ocorreram ainda perdas por escoamento superficial. De acordo com os dias avaliados, estas perdas são da ordem de 1,2%. SILVEIRA (2004) encontrou perdas por escoamento superficial da ordem de 3,9%. Estes valores demonstram que neste tipo de sistema (TS), as perdas por percolação são bem maiores que as perdas por escoamento superficial, no entanto, conforme alerta

SILVEIRA (2004), as perdas por escoamento são suficientes para provocar impactos sobre o solo em regiões abaixo da área irrigada. A elevada perda por percolação e a baixa eficiência de aplicação em TS, aconteceram principalmente em função da maior lâmina de irrigação aplicada. Os valores de eficiência de aplicação obtidos em TSM corroboram a afirmativa de SCALOPPI (2003), de que sistemas de irrigação de sulcos em nível tem potencial para atingir eficiências de aplicação superiores a 80%.

Apesar das perdas por percolação e perdas por escoamento superficial, os valores de umidade no solo em TS se mostraram adequados para a cultura do tomateiro e ainda mais próximos da “capacidade de campo” do que em TSM e TG. Isto aconteceu porque as altas lâminas aplicadas promoveram 100% de eficiência de armazenamento após a irrigação e, conseqüentemente, a inexistência de déficit hídrico. De acordo com FRIZZONE (1999), estes valores extremos comprovam a ineficiência do sistema. Em TS, durante todo o ciclo, os valores de tensão de água no solo se mostraram inferiores aos valores encontrados em TSM e TG. As médias de tensão de água, referentes à profundidade efetiva do sistema radicular (40 cm), encontradas em TS, TSM e TG foram respectivamente iguais a 10 kPa, 11,5 kPa e 12 kPa. Conseqüentemente, a água disponível (AD) em TS também se mostrou superior, igual a 94,3%, enquanto em TSM e TG os valores de AD foram iguais a 92,6% e 92,1%, respectivamente. Apesar das diferenças, todos os sistemas apresentaram valores adequados de tensão de água no solo, abaixo de 30 kPa (MAROUELLI et al., 1998), e também valores adequados de água disponível, acima de 80% (HARTZ, 1993; SAHA e HARA, 1998). Estas condições ideais de umidade no solo promoveram resultados semelhantes de produtividade entre os sistemas.

A diferença não significativa de produtividade entre os tratamentos corrobora a afirmativa que não é exatamente o sistema de irrigação que garante o sucesso de produção, mas sim as condições ótimas de disponibilidade hídrica às culturas. Alguns trabalhos comparando sistemas de irrigação por gotejamento e sulcos, concluíram que as maiores produtividades se deram através do gotejamento. No entanto, ao se analisar estes trabalhos, estudando as metodologias empregadas, nota-se que o determinante na produção foi na verdade o manejo de irrigação utilizado e não o sistema em si. Geralmente emprega-se na irrigação por sulcos uma frequência menor de irrigação (YOHANNES & TADESSE, 1998; SINGANDHUPE et al 2003; HEBBAR et al, 2004).

Outros trabalhos, no entanto, demonstram que em situações onde os dois tratamentos (sulcos e gotejamento) promovem condições favoráveis de disponibilidade hídrica, seja por adoção de manejos semelhantes ou por uma presença marcante de precipitação, os valores de produtividades são idênticos (MEEK et al,1983; CARRIJO et al 1983).

Além das boas condições de umidade, um outro fator que certamente contribuiu nos valores semelhantes de produtividade, foram os adequados valores de ECes em todos os tratamentos. Em TSM (sulcos abastecidos por mangueira) ocorreu a situação mais crítica, no entanto, dentro ainda, do limite tolerado de 2,5 dS.m⁻¹. Além do mais, alguns trabalhos demonstram que alguns cultivares podem ser mais tolerantes do que outros (SOLIMAN & DOSS 1992; NORRIE et al., 1995; WILLUMSEN et al., 1996).

4.4.2 Produtividade e análise econômica

Não ocorreram diferenças significativas de produtividade e, conseqüentemente, de receita entre os sistemas de irrigação, no entanto, como os sistemas apresentaram diferentes custos, houve diferenças nos lucros (rendas).

O sistema de irrigação que apresentou menor custo por hectare foi a irrigação por sulcos abastecidos por mangueira (TSM), igual a R\$1.395,82 por ciclo de produção. Em TS o custo do sistema foi 23,8 % maior, igual a R\$1.727,90 por ciclo de produção. Em TG o custo de sistema foi 98% maior que TSM e 60,3% que em TS, igual a R\$2.769,79 por ciclo de produção.

Como o sistema de irrigação por sulcos (TS) é o mais comum na região de Campinas, o custo de produção de tomate já inclui as despesas com este sistema. Desta forma pode-se dizer que TSM reduziu o custo de produção por hectare em R\$332,08, enquanto TG aumentou o custo de produção por hectare em R\$1.041,89. Considerando que o custo de produção do tomate gira em torno de R\$30.000,00 por hectare (AGRIANUAL, 2002; AGRIANUAL, 2004; CAMPOS, 2004), a mudança de TS para TG representa um aumento no custo de produção de 3,5% (R\$31.041,89 por hectare), enquanto a mudança de TS para TSM representa uma diminuição no custo de produção de 1,1% (R\$29.667,92 por hectare). Esta redução se deu principalmente em função da economia com bombeamento, em função do manejo de irrigação adotado.

O valor médio de preço da caixa de tomate no período de safra da área experimental (outubro e novembro) foi de R\$14,36 (IEA, 2004), gerando uma receita de R\$47.560,32 por hectare. Baseado no custo (médio) de produção mais os custos dos sistemas de irrigação, pode-se dizer que isto representa uma renda R\$17.560,32 em TS, R\$17.892,40 em TSM e R\$16518,43 em TG. Diante da produtividade obtida pode-se dizer que os preços mínimos por caixa recomendados a TS, TSM e TG são iguais R\$9,06, R\$8,96 e R\$9,37 respectivamente. Diante da média paulista de produtividade ($59,4 \text{ t.ha}^{-1}$ ou 181 caixas / 1000 pés) pode-se dizer que os preços mínimos por caixa recomendados a TS, TSM e TG são iguais R\$13,81, R\$13,66 e R\$14,29 respectivamente. De acordo com o IEA (2004), os preços médios praticados por caixa de tomate no Estado de São Paulo, entre 1994 e 2002, foram de R\$13,66 em anos ímpares e R\$12,07 em anos pares. Em todos os sistemas, a produção próxima média envolve riscos de prejuízo.

Em todos os sistemas, a cobrança da água exerceu pouca influência no custo (total) de produção do tomate, com valores iguais a 0,14%, 0,04% e 0,03%, em TS, TSM e TG, respectivamente. CAMPOS (2004) também observou que a cobrança da água representa um baixo valor no custo de produção do tomate, encontrando um valor de 0,4%.

4.4.3 Produção sustentável na cultura do tomateiro

Para avaliar a alternativa tecnológica (TSM ou TG) que melhor se encaixa dentro dos princípios de sustentabilidade, segue uma discussão embasada no conceito de agricultura sustentável proposta pela FAO em 1991 (ROMEIRO, 1998). Para se poder discutir o conceito dentro da realidade deste trabalho, dividiu-se a proposta da FAO em quatro partes ou quatro afirmativas:

- A primeira afirmativa de agricultura sustentável proposta pela FAO refere-se a mudanças que promovam o manejo e a conservação dos recursos naturais. Com base nesta afirmativa pode-se dizer que os dois sistemas (TSM e TG) apresentaram princípios de sustentabilidade, pois as duas alternativas excluíram o escoamento superficial e reduziram o volume de água gasto na irrigação. Ao se passar da irrigação por sulcos feita da forma tradicional à irrigação por sulcos abastecidos por mangueira economizou água três vezes, ou seja, a lâmina aplicada passou de 408 mm para 133,2 mm. Na irrigação por gotejamento a redução foi de cinco vezes, de 408 mm para 82,5 mm.

- A segunda afirmativa da FAO para agricultura sustentável propõe que a orientação de mudanças tecnológicas seja feita de forma contínua. Neste critério, a irrigação por sulcos abastecidos por mangueira parece ser uma alternativa de mais fácil aceitação entre os tomaticultores, pois não exige grandes investimentos e mudanças na condução da cultura.

- A terceira afirmativa da FAO para agricultura sustentável estabelece a condição de assegurar as necessidades humanas no presente e no futuro. Certamente, para comentar esta afirmativa, seria necessário um estudo mais abrangente, analisando os impactos da irrigação em um contexto social. Apesar do trabalho não ter focado exatamente a questão social, mas sim a questão ambiental, por meio do consumo da água, e a questão econômica, por meio do custo de produção, algumas considerações podem ser feitas. Como as Bacias PCJ se encontram em uma situação crítica de disponibilidade de água, a irrigação por gotejamento poderá ser vista, num futuro próximo, como a alternativa mais viável, devido ao maior potencial da redução do volume de água utilizado na tomaticultura. Mas, por outro lado, a irrigação por sulcos com mangueira também promoveu considerável redução do volume de água, apresentando melhoria de eficiência em relação ao sistema predominante. Por apresentar um menor custo, deve-se avaliar a possibilidade de incentivar também a irrigação por sulcos com mangueira, inserida dentro de um planejamento geral das Bacias. A necessidade de mudar para o gotejamento poderá levar muitos tomaticultores, principalmente os menores, a buscarem outras regiões ou até mesmo outras atividades, ou ainda, por possuir um maior custo de produção, poderá elevar o preço do produto (tomate) ao consumidor.

- A quarta e última afirmativa da FAO para agricultura sustentável estabelece que não se deve preocupar apenas com aspectos ambientais, mas também com mudanças tecnicamente apropriadas, economicamente viável e socialmente aceitável. Esta última afirmativa complementa a anterior na questão da disponibilidade hídrica das Bacias PCJ. A preocupação deve atingir um contexto maior que o uso racional da água, deve-se procurar promover mudanças tecnológicas acessíveis, garantindo viabilidade econômica e social. Mais uma vez a irrigação por sulcos com mangueira se encaixa melhor dentro do conceito de sustentabilidade, pois certamente é a mudança tecnológica mais acessível, principalmente ao pequeno produtor, exigindo menor investimento, com menor custo de produção e conseqüentemente gerando maiores rendas.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos e do conceito da FAO de agricultura sustentável, levando em consideração a época do ano e a região da área experimental, chegaram-se as seguintes conclusões:

Apesar da menor eficiência de uso da água quando comparada com a irrigação por gotejamento, a irrigação por sulcos com mangueira é a alternativa que apresenta mais indicativos de sustentabilidade, sobretudo ao pequeno produtor, pois demanda de um menor investimento.

Na mudança para a irrigação por sulcos com mangueira, com manejo de irrigação controlada pela determinação da umidade do solo, deve-se diminuir a quantidade de adubos empregados na cobertura.

Mesmo na irrigação por sulcos na forma tradicional (sulcos com bandeira), a cobrança da água no nível estabelecido teve pouco impacto sobre o custo de total produção do tomate.

6. SUGESTÕES PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS

Com base nos resultados obtidos, almejando a continuidade deste trabalho, as seguintes sugestões são feitas:

- Estudo de viabilidade econômica dos sistemas de irrigação da tomaticultura, a partir da realidade da região, analisando as mais diversas situações de campo, quanto à fonte de energia (diesel ou eletricidade), distância das linhas de energia elétrica, quanto à topografia do terreno, distância da captação, custo em função do tamanho da área, etc;
- Criar um programa (software) com base nos dados obtidos acima, orientando os tomaticultores nas mudanças tecnológicas;
- Analisar a possibilidade de redução de consumo de água empregando cobertura vegetal;
- Avaliar a possibilidade do uso de sistemas alternativos de irrigação localizada a baixa pressão e de baixo custo;
- Estudar os impactos das mudanças tecnológicas de irrigação dentro de um contexto social mais amplo, avaliando estas mudanças dentro do planejamento das bacias hidrográficas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. FNP, Consultoria e Comércio. São Paulo, 2002. 496p.

AGRIANUAL. **Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira**. FNP, Consultoria e Comércio. São Paulo, 2004. p.470-478.

ANDRIOLI, A.I. Fome não se acaba com agricultura forte. **Revista espaço acadêmico**, n. 28, set. 2003. Disponível em: <<http://www.espacoacademico.com.br/028/28andrioli.html>>. Acesso em: 25 de novembro de 2004.

AVELINO NETO, S. **Desempenho hidráulico de tubos de emissão em módulos de irrigação sob adução por gravidade**. 78p. Dissertação (Mestrado em Água e Solo) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2000.

BARBOSA, S.; FRANÇA, F. H. As pragas do tomateiro e seu controle. **Informações Agropecuárias**, Belo Horizonte, n.66, p.37-40, 1980.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 657p.

BETTINI, M. O. Equipamentos para irrigação localizada. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.171-205.

BOWER, C. A.; KRATKY, B. A.; IKEDA, N. Growth of tomato on a tropical soil under plastic cover as influenced by irrigation practice and soil salinity. **Journal of the American Society for Horticultural Science** Alexandria, v.100, n.5, p.519-521, 1975.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Programa Nacional de Irrigação (PRONI). **Tempo de irrigar: manual do irrigante**. São Paulo: Mater, 1987. 160p.

BRITO, R.; SCUDINO, P.; BALABRAM, V. Água: saber usar para não faltar. **Minas faz Ciência**. Belo Horizonte, n.5, p.4-9, 2001.

CAMARGO FILHO, W. P.; MAZZEI, A. R. Produção de tomate: sustentabilidade e preços. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.32, n.8, p.45-50, ago. 2002.

CAMP, C. R. Subsurface drip irrigation: a review. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v. 41, n. 5, p.1353-1367, 1998.

CAMPOS, C. M. M. Tratamento da água. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Eds.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2. p.171-205.

CAMPOS, M. A. **Custo do uso da água na irrigação por sulcos na cultura do tomate de mesa no município de Estiva Gerbi**. 70p. Dissertação (Mestrado em Água e Solos) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

CARRIJO, O. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; OLITTA, A. F.; FONTES, R. R.; REIS, N. B. B.; VECCHIA, P.T. Comparação entre os sistemas de irrigação por gotejamento e sulcos de infiltração e fertilização com N e K no tomateiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, n.1, v.1, p.41-44, 1983.

CARVALHO J. A.; BRAGA JÚNIOR, R. A.; REIS, J. B. R. S. Análises de custos na escolha do tipo de motor para acionamento de bombas em áreas irrigadas. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.24, n.2, p.434-440, 2000.

CARVALHO, J. A.; REIS, J. B. R. S. avaliação dos custos de energia de bombeamento e determinação do diâmetro econômico da tubulação. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.24, n.2, p.441-449, 2000.

CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V. Aspectos relevantes na fertirrigação de flores e hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.441-458.

CBH-PCJ, Comitê das Bacias Hidrográficas-Piracicaba, Capivari e Jundiá. **Relatório de situação das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (2003)**. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/Relatorios-PCJ.htm>>. Acesso em: 23 nov. 2004.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação: a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, n.54, p.46-55, 2002.

CHURATA-MASCA, M. G. C. Métodos de plantio na cultura do tomateiro. **Informações Agropecuárias**, Belo Horizonte, n.66, p.24-35, 1980.

CODI, Comitê de Distribuição de Energia Elétrica. Tarifas horo-sazonais: manual de orientação ao consumidor. Rio de Janeiro, 1998. 28p.

CRH, Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Relatório de situação dos recursos hídricos do Estado de São Paulo (Síntese, 2000)**. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/basecon/r0estadual/sintese/sintese_index.ht>. Acesso em: 23 de novembro de 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. Tomate. In: DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Souza, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. p.238-242.

DORFFMAN, R. Análise econômica de projetos de irrigação e drenagem. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988, v.3, p.219-302.

DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. **Soil Water Retention Curve (version 3.0)**. Piracicaba: Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, 2001.

DUSI, A. N.; LOPES, C. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; MOREIRA, H. M.; MIRANDA, J. E. C.; CHARCHAR, J. M.; SILVA, J. L. O.; MAGALHÃES, J. R.; BRANCO, M. C.; REIS, N. V. B.; MAKISHIMA, N.; FONTES, R. R.; PEREIRA, W.; HORINO, Y. **Tomateiro (para mesa)**. Brasília: EMBRAPA, CNPH, SPI, Coleção Plantar (Série Verde Hortaliças). 1993. 89p.

EHLERS, E. **Agricultura sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma**. São Paulo: Livros da Terra Ltda., 1996. 178p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 402p.

FOLEGATTI, M. V. Apresentação. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.7-8.

FREIRE, F. M.; MONNERAT, P. H.; MARTINS FILHO, C. A. S. Nutrição mineral e adubação do tomateiro. **Informações Agropecuárias**, Belo Horizonte, n.66, p.13-20, 1980.

FRIZZONE, J. A. **Anotações de aula: Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Depto. de Engenharia Rural, Universidade Estadual de São Paulo, 1999. 14p.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por superfície**. 2.ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2002. 156p.

GOMES, E. P.; LOPES, M. D. C.; ANDRADE, A. R. S.; FRIZZONE, J. A. Avaliação de um sistema de irrigação por gotejamento através de dois critérios matemáticos. **Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 29, Fortaleza, 2000, CD-Rom.

GOMES, E. P.; CAMPOS, M. A.; MARQUES, S. R.; BERTOLUCCI, A. C. F.; MATSURA, E. E. Avaliação da uniformidade de irrigação por gotejamento na cultura do tomate-de-mesa. **Workshop Tomate na Unicamp**, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003, CD-Rom.

GOTO, R. Manejo nutricional no cultivo de hortaliças em estufas. In: ENCONTRO DE HORTALIÇAS, 9, ENCONTRO DE PLASTICULTURA DA REGIÃO DO SUL, 6, 1994, Maringá. **Palestras e trabalhos apresentados...** Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 1995. p.11-8.

HARTZ, T. K. Drip irrigation scheduling for fresh-market tomato production. **HortScience**. Alexandria, v.28, n.1, p.35-37, jan 1993.

HEBBAR, S.S; RAMACHADRAPPA, B.K; NANJAPPA, H.V.; PRABHACAR, M. Studies on NPK drip fertigation in field grown tomato. **Europe Journal Agronomy**, Amsterdam, v. 21 p117–127, 2004.

HERRMAN Jr, P. S. P. Aspectos básicos da reflectometria no domínio do tempo (TDR) e potencialidades de aplicação na física do solo. In: MATSURA, E. E.; JAVAREZ Jr., GOMES, E. P.; SOUZA, C. F. (Eds.). **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**. Campinas: UNICAMP/FEAGRI, 2001. p.37-50.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de dados agregados: agricultura**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em 10 de novembro de 2004.

IEA, Instituto de Economia Agrícola. Estatísticas. **Informações Econômicas**. São Paulo, v.33, n.12, p.87-110, dez. 2003.

KARMELI, D.; KELLER, J. Evaluation of a trickle irrigation system. In: INTERNACIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2, 1974, Riverside. **Proceedings...** Riverside, 1974. p.287-292.

LIMA, L.; SILVA, E. Irrigação por gotejamento em café. **Irrigação e tecnologia moderna**, Brasília, n.48, p.50-55, set. 2000.

LOIOLA, M.; SOUZA, F. Estatística sobre irrigação no Brasil segundo o censo agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.5, n.1, p.171-180, 2001.

LOPES, M. C.; STRIPARI, P. C. A cultura do tomateiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (Orgs). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da Universidade Estadual de São Paulo, 1998. p.15-30.

MAFFIA, L. A., MATSUOKA, K. Doenças do tomateiro. **Informações Agropecuárias**, Belo Horizonte, n.66, p.42-60, 1980.

MAKISHIMA, N. Colheita, classificação, embalagem e comercialização de tomates. **Informações Agropecuárias**, Belo Horizonte, n.66, p.61-63, 1980.

MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O. A. **Cultivo protegido do tomateiro**. Brasília: EMBRAPA – CNPH, 1998. 18p. (Circular técnica, 13).

MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo de Irrigação. In: COSTA, E. F., VIEIRA, R. F., VIANA, P. A. (Eds.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. p.129-158.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. **Manejo de irrigação em hortaliças**. 5.ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPH, 1996. 71p.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A. Tênsiômetros para manejo de irrigação em hortaliças. **Embrapa Hortaliças**, Brasília, dez. 1998. 3p.

MARTINS, J. P. **Água e cidadania em Campinas e região**. O desafio do século 21. Campinas: Câmara Municipal de Campinas e Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (SANASA). 2004. 116p.

MEEK, B. D.; EHLIG, C. F.; STOLZY, L. H.; GRAHAM, L. E. Furrow and trickle irrigation: effects on soil oxygen and ethylene and tomato yield. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.47, p.631-635, 1983.

MINAMI, K.; HAAG, H. P. **O tomateiro**. Campinas: Fund. Cargill, 1989. 397p.

MONTE MOR, Prefeitura Municipal. Perfil Físico. Disponível em: <<http://www.montemor.sp.gov.br>>. Acesso em 15 dez. 2004.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality drip/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.12, p.187-192, 1991

NORRIE, J.; GRAHAM, M. E. D.; CHARBONNEAU, J.; GOSSELIN, A. Impact of irrigation management of greenhouse tomato: yield, nutrition, and salinity of peat substrate. **Canadian Journal of Plant Science**. Ottawa, v.75, n.12, p.497-503, 1995.

OLIVEIRA, J.B., CAMARGO, M.N., ROSSI, M., CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**. IAC / Embrapa, 1999.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigation: present situation and future prospects. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.). **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.85-144.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 64 p.:mapa, 1999.

PINTO, C. M. F.; CASALLI, V. W. D. Clima, época de plantio e cultivares de tomateiro. **Informações Agropecuárias**, Belo Horizonte, n.66, p.10-12, 1980.

PIOLLA, G. **Porque o mundo passa fome**. (23 jan. 2001). Disponível em: <http://www2.uol.com.br/aprendiz/n_colunas/g_piolla/index.htm>. Acesso em: 25 nov.2004.

PIRES, R. C. M.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; FOLEGATTI, M. V. Necessidades hídricas das culturas e manejo de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M (Eds.). **Série Engenharia Agrícola: Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. vol. 1, p.121-194.

RAMOS, M. M.; MANTOVANI, E. C. Irrigação localizada. In: COSTA, E. F., VIEIRA, R. F., VIANA, P. A. (Eds.). **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. p.74-82.

REBOUÇAS, A. C. Ver. In: **Água, fonte de vida: fraternidade e água**. CAMPANHA DA FRATERNIDADE 2004 (CF2004), Conferência Nacional dos Bispos do Brasil (CNBB). São Paulo: Editora Salesiana, 2003. p.15-58.

REICHARDT, K. O solo como um reservatório de água. In: REICHARDT, K. (Ed.) **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1987. p.27-69.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, 1954. 160p. (USDA Handbook,60).

RODRIGUES, I. C.; ALVES, F. J. C. A agricultura sustentável e os modelos alternativos de produção agrícola: uma análise de suas propostas. In: CONGRESSO NACIONAL DE

EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2002, Niterói. **Anais...Niterói**: Universidade Federal Fluminense, Centro Tecnológico, Escola de Engenharia, LATEC, 2002. 10p.

ROMEIRO, A. R. Agricultura sustentável, tecnologia e desenvolvimento rural. In: ROMEIRO, A. R. **Meio ambiente e dinâmica de inovações na agricultura**. São Paulo: Annablume, FAPESP, 1998. p.247-277.

SAHA, R. R.; HARA, M. Influence of different soil moisture regimes on biomass production, water use, and nitrogen nutrition of tomato plants. **Environment Control in Biology**. Morioka, v.36, n.1, p.1-12. 1998.

SCALOPPI, E. J. Sistemas de irrigação por superfície. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. (Eds.). **Série Engenharia Agrícola: Irrigação**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. v.2, p.311-404.

SINGANDHUPE, R. B.; RAO, G. G. S. N.; PATIL, P. S.; BRAHMANAND, P. S. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop. **Europe Journal Agronomy**, Amsterdam, v.19, p.327-340, 2003.

SILVA, E. F. F.; MIRANDA, J. H.; COELHO, R. D.; DUARTE, S. N.; FERREIRA, Y. R. P. Determinação da salinidade do solo utilizando extratores de cápsulas porosas e soluções diluídas. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**, 28, Pelotas, Julho de 1999. CD-Rom.

SILVA, A. M.; SILVA, E. L. Retenção da água pelo solo. In: SILVA, A. M.; SILVA, E. L.(Eds.). **Conceitos básicos para irrigação**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1984. p.20-23.

SILVEIRA, J. M. C. **Impactos ambientais da irrigação do tomateiro no município de Estiva Gerbi/SP**. 156p. Tese (Doutorado em Água e Solos) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SOLIMAN, M. S.; DOSS, M. Salinity and mineral nutrition effects on growth and accumulation of organic and inorganic ions in two cultivated tomato varieties. **Journal of Plant Nutrition**. v.15, n.12, p.2789-2799, 1992.

SONNENBERG, P. E. **Olericultura especial: alface, alho, cebola, tomate e batata**. 2.ed. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 1979. 171p.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R. Experiência do laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp no uso da técnica da TDR. In: MATSURA, E.E.; JAVAREZ JR, A.; GOMES, E.P.; SOUZA, C. F. **Aplicações da técnica de TDR na agricultura**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2001. p.147-176.

TELLES, D. A. Irrigação localizada. **Irrigação e tecnologia moderna**. Brasília, n.23, p.29-30, 1985.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E. E.; CARDOSO, J. L. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, jul. 2002.

TESTEZLAF, R. **Anotações de aula: Irrigação localizada**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, Depto de Água e Solo, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 23p.

TOLEDO, J. R. Como o Mundo produz seus alimentos. **Jornal Folha de São Paulo**, São Paulo, 2 de julho de 1999. Disponível em: <<http://www.maurinto.pro.br/atualidades>>. Acesso em: 25 nov. 2004.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Eletromagnetic determination of soil water content: mensuarements in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v.16, n.3, p.574-582, jun. 1980.

TORRES, C. A água pede socorro. **Sinpro Cultural**, Campinas, n.57, p.23-26, dez. 2003.

TRANI, P. E.; NAGAI, H.; PASSOS, F. A. Recomendações de adubação e calagem: tomate estaqueado. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Orgs). **Boletim técnico 100: recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. p.184.

VIEIRA, D. B. Relação água, solo e planta. In: **Curso de elaboração de projetos de irrigação**. Brasília: PROGRAMA NACIONAL DE IRRIGAÇÃO, 1986. 86p. (Tomo 1).

VILLAS BOAS, R. L; BULL, L. T.; FERNANDES, D. M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V. (Ed.) **Fertirrigação: citrus, flores, hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.293-319.

WILLUMSEN, J.; PETERSON, K. K.; KAACK, K. Yield and blossom-end rot of tomato as affect salinity and cation activity ratios in the root. **Journal of Horticultural Science**. v.71, n.1, p.81-98, 1996.

YOHANNES, F.;TADESSE, T. Effect of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa, Ethiopia. **Agricultural Water Management**, v.35, p.201-207, 1998.

ZOCOLER, J. A. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H. & PIRES, R. C. M. **Série Engenharia Agrícola: Irrigação**, v.2. Jaboticabal: FUNEP, 2003. p.653-703.

ANEXOS

Tabela 27. Valores médios de umidade volumétrica (%) obtidos a partir das leituras de constante dielétrica.

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
6	18,13	21,56	22,21	19,32	23,33	22,00	17,07	22,78	19,97
13	16,13	19,56	20,21	17,32	21,33	19,11	15,07	20,78	17,34
20	16,73	19,06	20,49	18,32	20,83	16,58	16,07	20,28	16,22
27	17,00	20,08	22,76	16,74	21,16	20,91	16,24	20,94	21,48
52	13,31	20,87	28,24	15,72	22,06	21,54	14,06	20,14	21,09
59	13,61	19,82	28,97	15,57	21,25	22,27	11,92	19,07	20,42
66	16,38	21,25	25,48	18,17	22,31	23,02	16,45	22,07	22,01
68	14,44	20,36	22,87	15,21	21,76	22,36	12,85	21,28	21,92
70	19,16	21,80	24,10	15,47	21,69	21,05	15,49	20,67	21,59
73	15,64	19,87	23,57	13,92	20,75	21,06	12,76	19,95	21,22
81	21,36	20,02	20,58	16,93	21,66	20,27	11,09	18,17	19,12
86	16,10	20,69	20,58	18,73	22,79	19,82	14,37	19,41	18,65
88	14,76	19,73	22,63	16,33	22,17	20,62	15,52	19,43	19,25
91	13,65	19,43	22,09	15,05	21,52	20,25	13,73	18,80	19,27
93	15,21	20,45	23,04	18,44	22,43	20,71	15,34	18,86	17,43
95	13,79	19,08	22,91	15,49	21,64	20,32	16,42	18,62	18,48
97	17,84	20,14	22,56	20,43	22,81	19,64	18,84	20,58	18,73
102	18,97	21,92	27,00	18,50	21,81	19,45	18,19	21,14	21,97
109	17,73	20,29	23,93	18,50	21,81	19,45	15,12	20,27	20,11
111	17,84	21,28	24,12	20,61	23,06	20,73	17,80	20,63	20,99
115	18,97	24,29	24,69	21,95	23,18	23,06	19,61	22,43	22,57

Tabela 28. Valores médios de umidade volumétrica (%) obtidos a partir das leituras de tensão.

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
6	20,35	24,61	21,45	20,14	24,21	21,37	19,95	23,75	21,37
13	20,04	24,09	21,45	19,95	24,09	21,22	19,86	23,75	21,29
20	20,04	24,09	21,62	19,95	24,09	20,95	19,95	23,75	20,95
26	19,95	23,65	20,89	19,18	22,92	20,45	19,18	23,17	20,40
27	20,24	23,45	20,83	19,39	23,26	20,95	19,00	22,84	20,77
28	20,46	23,54	21,37	19,77	23,35	20,45	19,39	22,92	20,17
30	20,58	24,34	22,00	20,14	24,34	21,01	19,95	23,65	20,60
31	20,35	23,86	21,08	19,61	23,65	20,71	19,32	23,26	20,45
32	20,04	23,65	21,01	19,46	23,45	20,60	19,12	23,26	20,35
33	20,70	24,34	21,22	19,95	23,75	20,77	19,69	23,35	20,60
34	19,77	23,65	20,71	19,18	23,00	20,40	19,12	22,76	20,08
35	20,04	23,97	21,01	19,53	23,45	20,71	19,25	23,26	20,35
36	19,95	23,97	21,01	19,12	23,35	20,71	19,18	23,26	20,50
37	19,25	23,35	20,50	18,77	22,61	20,17	18,57	22,33	19,96
38	22,76	25,07	21,80	19,53	23,35	20,60	19,46	23,65	20,55
39	21,27	24,91	21,45	19,39	23,26	20,45	19,53	23,00	20,40
40	20,46	24,34	21,15	19,25	23,17	20,26	19,00	22,92	20,17
41	20,97	23,75	21,15	20,58	23,86	20,30	21,43	22,92	20,35
42	21,11	24,34	21,45	20,58	24,61	20,40	20,46	23,45	20,35
44	20,46	23,65	21,37	19,95	24,21	20,55	19,86	23,65	20,50
45	19,77	23,54	20,89	19,61	23,65	20,40	18,88	22,84	20,26
46	19,25	23,26	20,71	19,06	23,00	20,55	18,43	22,33	20,08
54	18,62	22,92	20,45	18,72	22,54	19,85	19,18	22,47	20,17
56	18,43	22,61	20,26	18,38	22,27	19,57	18,67	22,27	19,92
58	19,77	23,65	20,55	19,18	22,84	19,92	19,32	22,92	20,00
66	20,24	23,65	20,77	19,69	23,65	20,30	19,86	23,54	21,22
68	20,04	23,65	20,40	18,94	23,00	20,12	19,00	22,92	21,01
69	19,53	23,35	20,04	18,52	22,61	20,00	19,06	22,68	20,40
73	19,12	23,45	20,66	18,13	22,27	19,81	18,77	22,21	20,12
74	19,00	22,92	20,55	17,94	21,91	19,54	19,12	22,54	20,00

Tabela 28. Valores médios de umidade volumétrica (%) obtidos a partir das leituras de tensão (continuação).

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
76	18,67	22,76	19,81	19,53	22,27	19,92	19,00	22,76	20,21
81	19,46	22,54	19,96	19,25	21,85	19,38	18,25	22,68	20,04
83	19,18	22,84	20,12	19,18	22,21	19,92	17,58	22,68	19,88
86	19,12	22,02	21,08	19,53	22,76	19,96	18,77	22,68	19,67
91	18,43	21,74	20,00	19,00	22,33	19,85	18,43	22,76	19,81
93	19,53	22,47	20,30	19,77	23,26	20,35	19,06	23,08	19,92
97	19,95	22,84	20,55	19,69	23,35	20,35	19,69	23,54	20,12
102	20,35	23,54	20,71	20,04	23,54	20,50	19,95	23,86	20,83
108	20,14	23,17	20,66	19,61	22,92	20,26	20,24	23,75	20,55
111	21,61	24,34	21,45	20,04	23,45	19,81	20,04	23,75	20,45
115	21,61	24,34	21,45	20,97	25,07	21,01	20,70	24,48	20,95
118	19,86	23,00	20,60	19,61	23,35	20,45	19,39	23,08	20,35
120	20,83	23,54	20,95	20,35	24,21	20,71	20,46	24,09	20,66

Tabela 29. Valores médios de constante dielétrica.

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
6	7,86	10,68	11,80	8,60	12,60	11,10	7,08	11,96	9,24
13	6,56	8,96	9,80	7,22	10,38	8,50	5,96	9,80	7,32
20	6,90	8,46	9,84	7,90	9,66	6,74	6,50	9,32	6,62
27	7,11	9,37	10,48	7,91	10,88	8,78	6,51	10,36	7,73
52	7,11	9,37	10,48	7,91	10,88	8,78	6,51	10,36	7,73
59	7,11	9,37	10,48	7,91	10,88	8,78	6,51	10,36	7,73
66	6,96	9,10	10,22	7,77	10,54	8,32	6,40	10,04	7,42
68	7,04	9,13	10,30	7,88	10,57	8,28	6,49	10,09	7,44
70	7,06	9,27	10,39	7,87	10,75	8,59	6,49	10,24	7,61
73	7,05	9,25	10,37	7,87	10,72	8,55	6,48	10,22	7,59
81	7,04	9,22	10,35	7,86	10,69	8,50	6,47	10,19	7,56
86	7,03	9,20	10,33	7,85	10,65	8,45	6,47	10,16	7,52
88	7,04	9,21	10,35	7,86	10,68	8,47	6,48	10,18	7,54
91	7,05	9,23	10,36	7,86	10,70	8,51	6,48	10,20	7,56
93	7,04	9,22	10,35	7,86	10,69	8,50	6,47	10,19	7,56
95	7,04	9,22	10,35	7,86	10,68	8,49	6,47	10,18	7,55
97	7,04	9,22	10,35	7,86	10,68	8,48	6,47	10,18	7,55
102	7,04	9,22	10,35	7,86	10,68	8,49	6,48	10,18	7,55
109	7,04	9,22	10,35	7,86	10,69	8,49	6,47	10,19	7,55
111	7,04	9,22	10,35	7,86	10,68	8,49	6,47	10,18	7,55
115	7,04	9,22	10,35	7,86	10,68	8,49	6,47	10,18	7,55

Tabela 30. Valores médios de tensão (kPa).

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
6	8	7	8	9	8	9	9	9	9
13	9	8	8	9	8	9	10	9	9
20	9	8	8	9	8	11	9	9	11
26	9	10	11	13	12	14	13	11	14
27	8	10	11	12	11	11	14	13	12
28	8	10	9	10	11	14	12	12	16
30	7	8	6	9	8	10	9	10	13
31	8	9	10	11	10	12	12	11	14
32	9	10	10	11	10	13	13	11	14
33	7	8	9	9	9	12	10	11	13
34	10	10	12	13	12	14	13	13	16
35	9	9	10	11	10	12	12	11	14
36	9	9	10	13	11	12	13	11	13
37	12	11	13	15	14	16	16	15	17
38	3	6	7	11	11	13	11	10	13
39	6	6	8	12	11	14	11	12	14
40	8	8	10	12	11	15	14	12	16
41	6	9	10	7	9	15	5	12	14
42	6	8	8	7	7	14	8	10	14
44	8	10	9	9	8	13	10	10	13
45	10	10	11	11	10	14	14	13	15
46	12	11	12	13	12	13	17	15	16
54	16	12	14	15	14	18	13	14	16
56	17	14	15	18	15	21	16	15	18
58	10	10	13	13	13	18	12	12	17
66	8	10	12	10	10	15	10	10	9

Tabela 30. Valores médios de tensão (kPa) (continuação).

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
68	9	10	14	14	12	16	14	12	10
69	11	11	17	17	14	17	13	13	14
73	13	10	12	20	15	19	15	16	16
74	14	12	13	21	17	21	13	14	17
76	16	13	19	11	15	18	14	13	15
81	11	14	17	12	18	23	19	13	17
83	13	13	16	13	16	18	25	13	18
86	13	17	10	11	13	17	15	13	20
91	17	18	17	14	15	18	17	13	19
93	11	14	15	10	11	14	13	12	18
97	9	13	13	10	11	14	10	10	16
102	8	10	12	9	10	13	9	9	11
108	9	11	12	11	12	15	8	9	13
111	5	8	8	9	10	19	9	9	14
115	5	8	8	6	6	10	7	7	11
118	10	12	13	11	11	14	12	12	14
120	7	10	11	8	8	12	8	8	12

Tabela 31. Valores médios de condutividade elétrica (dS.m^{-1}) da solução do solo.

DAT	TS(0-20cm)	TS(20-40cm)	TS(40-60cm)	TSM(0-20cm)	TSM(20-40cm)	TSM(40-60cm)	TG(0-20cm)	TG(20-40cm)	TG(40-60cm)
48	2,03	2,86	3,27	3,92	2,67	2,98	2,01	1,42	0,48
56	2,72	2,51	2,67	4,59	3,60	4,65	4,79	2,53	0,65
59	4,11	2,38	2,87	5,14	3,96	4,89	6,21	2,22	0,61
66	5,34	2,67	3,17	4,90	4,10	4,79	6,23	2,17	0,64
68	3,41	3,04	3,14	3,08	4,54	5,11	3,20	2,59	0,62
70	3,07	3,08	3,07	3,30	4,39	5,21	2,88	2,60	0,65
73	3,25	3,07	3,17	3,48	4,62	5,14	2,95	2,69	0,61
83	4,01	3,27	3,11	3,19	4,95	5,40	2,36	2,69	0,86
88	4,32	3,40	3,03	2,96	4,62	5,14	2,98	2,87	0,76
95	5,73	3,69	3,29	3,04	4,73	3,84	2,91	3,07	1,74
109	1,92	3,52	3,52	3,10	3,93	4,78	2,25	3,30	2,57

Tabela 32. Valores médios (estimados) de condutividade elétrica (dS.m^{-1}) do extrato de saturação.

DAT	B20	B40	B60	M20	M40	M60	G20	G40	G60
48	1,11	1,40	1,52	2,60	1,57	1,67	1,18	0,75	0,24
56	1,43	1,18	1,25	2,95	2,05	2,61	2,76	1,27	0,33
59	2,32	1,17	1,40	3,47	2,32	2,82	3,64	1,13	0,31
66	3,08	1,35	1,59	3,30	2,49	2,84	3,69	1,13	0,34
68	1,95	1,48	1,50	2,08	2,68	2,95	1,86	1,34	0,33
70	1,71	1,46	1,47	2,20	2,55	2,97	1,64	1,34	0,34
73	1,77	1,43	1,50	2,33	2,64	2,88	1,73	1,36	0,31
83	2,19	1,61	1,38	2,08	2,82	3,09	1,36	1,38	0,43
88	2,71	1,98	1,76	2,29	3,06	3,30	2,00	1,73	0,50
95	3,19	1,87	1,58	1,95	2,82	2,23	1,68	1,60	0,87
109	1,10	1,77	1,80	2,05	2,31	2,86	1,32	1,72	1,33

Tabela 33. Alturas de lâminas de água (cm) medidas na calha WSC flume B.

Tempo (minutos)	Dias avaliados				
	4/10/2003	17/10/2003	24/10/2003	1/11/2003	8/11/2003
2	3	---	1,8	2,5	1,5
4	5	---	1,8	1,5	2,4
5	---	1,5	---	---	---
6	2,5	---	1,5	1,6	2,5
8	3	---	1,6	0,8	3,1
10	5	3,9	1,7	1,7	5,8
12	3	---	5,5	1	2,4
14	---	---	2	0,7	4,3
15	---	5	---	---	---
16	---	---	1,6	1,5	4,3
18	---	---	1,5	1,2	2,9
19	4	---	---	---	---
20	---	2,5	3	1,7	2
21	3,5	---	---	---	---
22	---	---	3,9	2	1,5
23	2	---	---	---	---
24	---	---	4,5	5	1,3
25	2	1	---	---	---
26	---	---	2,8	4	2
27	2	---	---	---	---
28	---	---	1,5	3	7,5
29	1,5	---	---	---	---
30	---	1,8	1,5	2,7	3
32	2	---	1,6	1,8	2,9
34	---	---	1,6	1,5	2,5
35	---	1,5	---	---	---
36	2,5	---	---	0,8	3,5
38	---	---	2,5	2,5	3

Tabela 33. Alturas de lâminas de água (cm) medidas na calha WSC flume B (continuação).

Tempo (minutos)	Dias avaliados				
40	1,8	1,8	1,5	1,1	3
42	---	---	---	2	3
44	6	---	---	0,6	2,5
45	5	1,5	---	0,8	---
46	---	---	---	0,8	2,5
48	3,8	---	---	0,7	---
50	---	1,5	---	0,7	---
52	2,2	---	---	0,6	---
56	1	---	0,8	0,6	1,4
60	0,3	0,3	0,5	0,4	0,6