

# IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA CULTURA DA MANGUEIRA

Antônio Humberto Simão<sup>1</sup>

Everardo Chartuni Mantovani<sup>2</sup>

Fúlvio Rodriguez Simão<sup>3</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

A irrigação visa, sobretudo, suprir as necessidades hídricas das plantas. Não funciona em separado, mas integrada a outras práticas agrícolas de forma a beneficiar a cultura e o produtor em particular. É necessária em regiões onde o regime pluvial não atende às necessidades das plantas durante todo o seu ciclo ou em parte dele, permitindo ampliar o tempo de exploração, o número de colheitas ou ainda melhorar a produção já existente.

No conceito antigo, a irrigação era vista como uma técnica que visava basicamente a “luta contra a seca”. Em uma visão mais atual, dentro de um foco empresarial do agronegócio, a irrigação é uma estratégia para o aumento da área plantada e da rentabilidade da propriedade rural, aumentando a produção e a produtividade das culturas, de forma sustentável, preservando o meio ambiente e com maior geração de emprego e renda.

A expansão da fruticultura no Brasil, especialmente na Região Nordeste, vem provocando uma crescente demanda por tecnologias na área de irrigação voltadas para o manejo de solo, água, planta e nutrientes. O potencial existente para a exploração da fruticultura faz desta atividade um ótimo negócio para o desenvolvimento da agricultura no Nordeste brasileiro e conseqüentemente para a economia do país. Dentre as fruteiras cultivadas, a mangueira (*Mangifera indica* L.) desponta como uma cultura de alto valor comercial (Coelho et al., 2000).

---

<sup>1</sup> Engº Agrônomo, MS – FAHMA Planejamento e Eng. Agrícola Ltda – e-mail: fahma@uai.com.br

<sup>2</sup> Engº Agrícola, DS – Professor Titular do DEA – UFV – e-mail: everardo@ufv.br

<sup>3</sup> Engº Agrônomo, MS – Secretaria de Ciência e Tecnologia de MG – e-mail: fulvio.rs@brfree.com.br

A água é um fator que afeta o metabolismo da mangueira. O manejo adequado da água está intimamente relacionado com outros fatores como nutrição, aplicação de fito-reguladores, tratos fitossanitários e principalmente estresse hídrico e indução floral. Nenhum dos fatores mencionados é capaz de assegurar alta produtividade, se não for realizado no tempo e na quantidade adequada.

Ao se adotar a irrigação, surgem as indagações relativas aos métodos mais adequados e as formas mais apropriadas de manejo da água para atender às necessidades hídricas da cultura para seu desenvolvimento e produção. A escolha do método de irrigação é uma questão ligada às condições topográficas, disponibilidade do recurso hídrico, qualidade da água, eficiência de irrigação, economicidade do sistema utilizado, entre outros (Scaloppi, 1986).

Uma vez implantado o sistema de irrigação, a questão seguinte é a definição e operacionalização da estratégia de manejo da irrigação, que indiquem o momento e a quantidade de água a ser aplicada, que resultem no desenvolvimento e produção, em níveis adequados, para a cultura implantada. Por outro lado, se o sistema de irrigação adotado for pressurizado, abre-se a possibilidade para veiculação de produtos químicos, juntamente com a água de irrigação, com benefícios diretos na redução dos custos de mão-de-obra e na melhoria da eficiência da adubação (Silva et al., 1996).

Este trabalho tem por objetivo abordar alguns aspectos técnicos da aplicabilidade da irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira, envolvendo os métodos de irrigação mais adaptados à cultura, o manejo da irrigação de forma a aplicar a quantidade de água necessária para suprir as necessidades hídricas nas diferentes fases fenológicas da mangueira e as possibilidades e principais técnicas para aplicação de fertilizantes via água de irrigação.

## **2. IMPORTÂNCIA DA IRRIGAÇÃO**

O Brasil, por sua grande diversidade edafoclimática, apresenta condições favoráveis para a prática da fruticultura, com potencial para atender aos mercados interno e externo. Nos últimos anos tem havido considerável expansão da fruticultura irrigada, em pólos regionais como Juazeiro e Livra-

mento do Brumado, no estado da Bahia, Petrolina, em Pernambuco e Janaúba e Jafba, em Minas Gerais, além de outros locais sem tradição anterior no cultivo de fruteiras.

No mundo inteiro, a agricultura irrigada está se profissionalizando em níveis nunca vistos. A fruticultura vem, cada vez mais, ocupando lugar de destaque no complexo agroindustrial, seja pelo aumento do consumo interno e das exportações, seja por sua importância social na geração de empregos, ou ainda, pelo crescimento da rentabilidade dos pequenos e médios produtores.

O desafio é produzir mais, melhor e com menores custos, oferecendo aos clientes e consumidores produtos de qualidade a preços competitivos. Portanto, o irrigante que desejar ter sucesso precisa assumir o papel de empresário rural, atuando profissionalmente em toda a cadeia produtiva do agronegócio, desde a aquisição de insumos, produção, colheita e pós-colheita até a distribuição do produto final, seja de forma isolada ou através de associações ou cooperativas.

Segundo o Ministério da Integração Nacional, no ano de 2002 a área cultivada com manga no Brasil era de 67.590 ha, gerando uma produção de 842.350 t, o que corresponde a uma produtividade média de 12,5 t.ha<sup>-1</sup>. No Quadro 1 são apresentados os três estados brasileiros maiores produtores de manga.

Quadro 1 – Área cultivada, produção e produtividade dos três estados brasileiros maiores produtores de manga no ano de 2002.

<b>Estado</b>	<b>Área Cultivada (ha)</b>	<b>Produção (t)</b>	<b>Produtividade (t.ha<sup>-1</sup>)</b>
São Paulo	20.354	208.947	10,3
Bahia	16.240	252.952	15,6
Pernambuco	6.632	136.488	20,6

Fonte: Ministério da Integração Nacional (2002).

No Quadro 1, pode-se perceber a importância do uso da irrigação no incremento da produtividade na cultura da mangueira. No estado de São Paulo, onde a manga é cultivada pela maioria dos produtores, em condições de sequeiro, tem-se uma produtividade média de 10,3 t.ha<sup>-1</sup>. Já no estado de Pernambuco, onde a mangueira é cultivada sob condições irrigadas obtém-se uma produtividade média de 20,6 t.ha<sup>-1</sup>, ou seja, o uso da irrigação possi-

bilitou a expansão da cultura para novas áreas, além de otimizar a tecnologia de produção, o que permitiu duplicar a produtividade da mangueira quando comparada com os cultivos de sequeiro.

Os benefícios da irrigação na cultura da mangueira são ressaltados por Castro Neto et al. (2000), que relatam que o efeito potencial da irrigação contribui para os dois pontos mais importantes de uma economia globalizada: o aumento de produtividade e a melhoria da qualidade da fruta. Os mesmos autores comentam que os aumentos de produtividade da mangueira decorrentes do uso de tecnologias, incluindo a irrigação, mesmo sem monitoramento técnico adequado, podem ser vistos comparando a produtividade média da mangueira sob regime de sequeiro (12 t.ha<sup>-1</sup>) com aquelas em áreas irrigadas, cuja média se situa em torno de 30 t.ha<sup>-1</sup>.

Segundo o Censo Frutícola elaborado pela Companhia... (2000), a área cultivada com manga na região Nordeste do Brasil corresponde a 35.480 ha, sendo 74% desta área irrigada pelos mais variados métodos de irrigação.

A fruticultura tem sido uma das atividades agrícolas que mais têm demandado conhecimentos relativos à irrigação, principalmente devido à utilização de fruteiras de alto valor econômico. A utilização de irrigação também é uma estratégia dos fruticultores para reduzir os riscos associados à atividade.

O conhecimento das necessidades hídricas e nutricionais de máxima eficiência econômica para as culturas é indispensável para a obtenção de sucesso no empreendimento frutícola, pois a água e os nutrientes são os fatores que mais limitam o rendimento da planta (Ruggiero et al., 1996). Neste contexto, sanar tais problemas significa possibilitar o aumento da produtividade, da qualidade dos frutos, da margem de lucro do produtor e da competitividade nos mercados nacionais e internacionais.

Entretanto, para que as técnicas de irrigação e fertilização sejam bem sucedidas, é de suma importância o seu manejo adequado, visando maior competitividade econômica e sustentabilidade ambiental, exigidas por um mercado globalizado e consciente da necessidade de preservação do meio ambiente.

### 3. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

O uso da irrigação com técnicas adequadas, é um dos fatores determinantes para o sucesso do produtor, em especial no caso da fruticultura irrigada, que envolve altos custos e conseqüentemente possui maior risco associado à atividade. Deve-se destacar, portanto, a importância da escolha correta do método de irrigação a ser utilizado, da realização criteriosa do projeto, da utilização de equipamentos que atendam às especificações para as quais foram projetados, dos cuidados durante a implantação do sistema, da correta manutenção do mesmo e na determinação correta do momento de aplicação da água e de produtos químicos que eventualmente poderão ser aplicados pelo sistema.

Vários métodos podem ser escolhidos com base na viabilidade técnico-econômica e benefícios sociais advindos de seu uso.

As diversidades edafoclimáticas, econômicas e sociais das regiões brasileiras possibilitam o uso dos diferentes sistemas de irrigação, que podem ser agrupados em três grandes métodos, conforme apresentado a seguir.

- a. Irrigação por superfície:** a água é aplicada no perfil do solo, utilizando sua própria superfície para condução e infiltração, podendo ser:
- a1. Por *Sulco*, que consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos, paralelos às fileiras de plantio, durante o tempo necessário para umedecer o perfil do solo ocupado pelas raízes;
  - a2. Por *Faixa*, onde a aplicação da água no solo ocorre em faixas de terreno compreendidas entre diques paralelos;
  - a3. Por *Inundação*, no qual a água é aplicada em bacias ou tabuleiros, que são áreas limitadas por diques ou taipas. A inundação pode ser permanente ou temporária;
  - a4. Por *Microbacias*, que se caracteriza pela aplicação da água por meio de mangueiras flexíveis em pequenas microbacias em torno da planta; e

a5. *Subterrânea* ou *Subirrigação*, que significa a manutenção e controle do lençol freático a uma profundidade pré-estabelecida.

**b. Irrigação por aspersão:** a água é aplicada ao solo sob a forma de chuva artificial, por fracionamento de um jato de água, em grande número de gotas que se dispersam no ar e caem sobre a superfície do terreno ou do dossel vegetativo. Destacam-se, nesse grupo, os sistemas, Convencional, Ramal Rolante, Montagem Direta, Autopropelido, Pivô Central e Linear.

**c. Irrigação localizada:** a água é aplicada na superfície ou subsuperfície do solo, próximo à planta, em pequenas intensidades e com alta frequência. Um sistema completo de irrigação localizada consta de conjunto motobomba, cabeçal de controle, sistemas de automação, linhas de tubulação (sucção, recalque, principal, secundária, derivação e lateral), válvulas e gotejadores ou microaspersores, que irão constituir, respectivamente, os sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão.

Na Figura 1 são apresentados os métodos de irrigação utilizados nos 35.480 ha de manga cultivados no Nordeste brasileiro (Companhia..., 2000). Percebe-se que 26% da manga cultivada não é irrigada, sendo apenas 18% dos cultivos irrigados por superfície e o restante da área utiliza de sistemas de irrigação pressurizados, sendo 41% por microaspersão, 10% por gotejamento e 5% por aspersão.

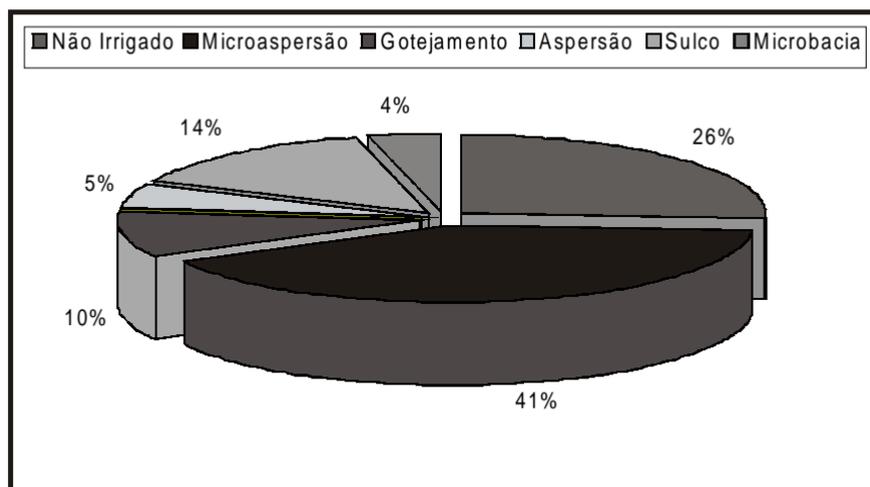


Figura 1 – Métodos de irrigação utilizados no cultivo de manga no Nordeste Brasileiro (Companhia..., 2000).

Na Figura 2, são apresentados os métodos de irrigação utilizados nos 14.008 ha de variedades americanas de manga cultivadas no pólo Juazeiro-BA/Petrolina-PE (Companhia..., 2000). Nota-se uma supremacia dos métodos de irrigação localizada, sendo 47% dos cultivos irrigados por microaspersão e 16% por gotejamento. Apenas 8% dos cultivos são irrigados por aspersão e o restante utiliza irrigação por superfície, sendo 24% irrigados por sulco e 5% por microbacias. Segundo a Companhia... (2000), os 29% da área cultivada que utiliza métodos de irrigação por superfície pertence a pequenos produtores proprietários de lotes em diversos perímetros de irrigação existentes no pólo Juazeiro-BA/Petrolina-PE. O uso de irrigação por superfície por parte desses produtores deve-se ao fato dos mesmos não terem recursos suficientes e nem acesso aos agentes financeiros para promover a mudança do sistema de irrigação atual por sistemas que possibilitem maior eficiência no uso da água e maior facilidade de manejo no campo, como é o caso dos sistemas localizados, amplamente utilizados pelos médios e grandes produtores de manga da região.

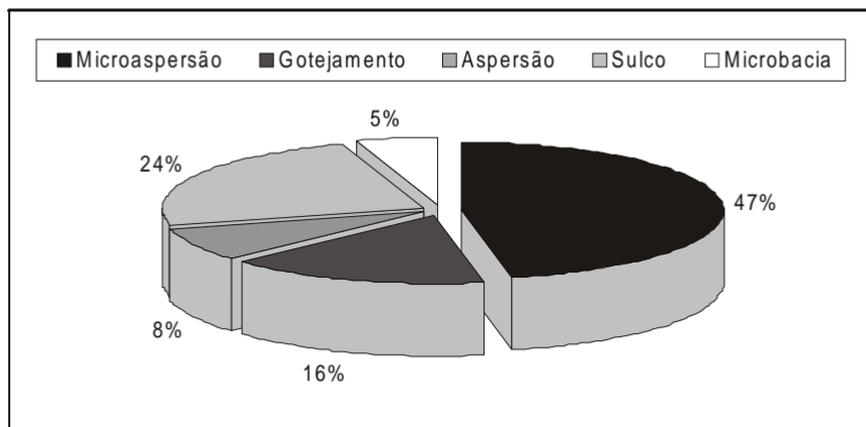


Figura 2 – Métodos de irrigação utilizados em variedades americanas de manga cultivadas no pólo Juazeiro-BA/Petrolina-PE (Companhia..., 2000).

Conforme demonstrado nas Figuras 1 e 2, a cultura da mangueira no Nordeste brasileiro é explorada sob os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão, aspersão, sulcos e microbacias. Os sistemas de irrigação por gotejamento, sulcos e microbacias são mais indicados para solos argilo-arenosos e argilosos, enquanto os sistemas por aspersão e microaspersão são mais adequados para solos arenosos e areno-argilosos.

Com a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, torna-se imperativo a racionalidade no uso da água. Assim, a eficiência na aplicação da água pelos sistemas de irrigação deverá ser a máxima possível. Nesse caso, os métodos de irrigação por superfície são os menos indicados. A irrigação por aspersão, além do maior consumo de energia, pode gerar baixa uniformidade de distribuição de água devido ao choque do jato com as copas das plantas. Tais desvantagens agravam-se na floração, quando os jatos podem causar queda das panículas, afastando os insetos polinizadores das mesmas (Silva et al., 1994 e Silva et al., 1996). Desta forma, o sistema de irrigação por aspersão convencional do tipo sobrecopa deve ser usado apenas durante os dois primeiros anos de idade da mangueira, quando, então, deve ser modificado para o sistema de irrigação por aspersão do tipo sobcopa, substituindo ape-

nas os aspersores convencionais por aspersores com ângulo zero (Soares e Costa, 1995).

Segundo Coelho et al. (2000), a microaspersão (Figura 3) tem sido o sistema de irrigação localizada mais empregado na cultura da mangueira por promover uma área molhada superior à gerada pelo sistema de irrigação por gotejamento.



Figura 3 – Sistema de irrigação por microaspersão na cultura da mangueira, utilizando-se dois microaspersores por planta (Foto: Fazenda FAHMA – Lote 29M, Gleba C2, Projeto Jaíba, Matias Cardoso-MG).

A escolha de um dos métodos citados deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto, bem como dos benefícios sociais advindos. O processo é complexo e exige conhecimentos relativos ao solo, à topografia, à planta, à água, ao clima, ao manejo, à energia, aos custos, entre outros.

Com respeito ao solo, esse limita a adoção de irrigação por superfície. Se tiver baixa capacidade de retenção d'água serão exigidas irrigações freqüentes e haverá grande probabilidade de ocorrência de perdas de água

por percolação. A heterogeneidade dos solos não restringe nenhum método, mas torna complexo o manejo da irrigação por superfície.

Quanto à topografia, os métodos que não necessitam de adequações da superfície do solo, como a aspersão e a irrigação localizada, são preferidos em condições mais irregulares. Para a irrigação por superfície, a declividade tem que ser pequena e uniforme, para que os custos de sistematização e movimentação de solo do horizonte A não sejam elevados.

Considerando-se a planta, não há um método melhor que outro, mas sim um método que facilite o manejo da cultura. Por exemplo, culturas que exigem tratamento fitossanitário permanente não deveriam ser irrigadas por métodos que promova a lavagem da parte aérea, pois acarretam custos mais elevados e provocam danos ao meio ambiente.

Quanto ao clima, a principal limitação é o vento, o qual afeta os sistemas em que a água é lançada ao ar, como a aspersão e a microaspersão na fase inicial de desenvolvimento da cultura. Em regiões em que a velocidade do vento é maior que  $3,0 \text{ m.s}^{-1}$ , as perdas por arrastamento são elevadas. Se associado ao vento, houver uma umidade relativa baixa e temperaturas elevadas, as perdas são maiores e restringem a irrigação por aspersão, a menos que se irrigue em períodos de menor intensidade dessas variáveis.

A influência do irrigante é menor nos métodos pressurizados (aspersão e localizada), o que facilita o manejo da irrigação.

Os métodos de irrigação por superfície são os que apresentam o menor consumo de energia, pois nestes, a altura manométrica é menor, se comparada aos outros métodos. Sistemas por aspersão com aspersores de alta pressão, como o canhão hidráulico, têm sido preteridos, face ao grande consumo de energia. Grandes desníveis em relação à fonte de água, também, levam áreas a serem preteridas.

Segundo Mantovani (2001), a escolha de qualquer método de Irrigação depende de uma série de fatores, destacando-se o tipo de solo, a topografia e o tamanho da área, os fatores climáticos, fatores relacionados ao manejo da cultura, o déficit hídrico, a capacidade de investimento do produtor e o custo do sistema de irrigação. Considerando o grande volume de água exigido na irrigação e considerando a necessidade de otimizar sua utilização, um dos aspectos importantes que está sendo analisado na escolha do método de irrigação é a eficiência com que este irriga a cultura.

Um projeto de irrigação deve contemplar, de forma integrada, entre vários aspectos, os seguintes: definição de um sistema de irrigação, elaboração de um planejamento baseado em estudos básicos da área, plano de exploração agrícola, conhecimento da infraestrutura disponível na área, previsão do manejo da irrigação e comportamento do sistema radicular das culturas a serem implantadas.

A implantação de um projeto mal concebido poderá trazer sérios problemas para a sua operacionalização, podendo até inviabilizá-lo, futuramente. Deve-se levar em conta, as características físicas e químicas do solo e da água, as condições climáticas e o nível de tecnologia a ser adotado nos cultivos.

É muito importante ficar bem claro que não há propriamente um método de irrigação mais eficiente que outro para quaisquer condições: há um método que se adapta melhor. Deve-se, então, primeiramente, estudar bem as características da cultura e da área que se quer irrigar e, depois, escolher o método que melhor se adapte a essas características. O manejo da irrigação juntamente com o método empregado influenciam em grande parte o aumento da produção em associação, logicamente, à combinação favorável de cultura e solo.

Em função das atuais tecnologias de produção empregadas no cultivo da mangueira e por suas características e forma de aplicação de água junto à área de concentração das raízes, em pequenas quantidades e em alta frequência, os sistemas de irrigação localizados são os mais apropriados para a exploração da mangueira, por permitirem maior eficiência no uso da água e outros insumos.

#### **4. MANUTENÇÃO E CONSERVAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**

A eficiência da aplicação de água depende, em grande parte, de uma adequada manutenção do sistema de irrigação. Por manutenção, entendem-se todas as etapas que visem manter o equipamento ou a estrutura implementada em condições de funcionamento adequado. Canais, drenos, tubulações, motobomba, aspersores, gotejadores, sistema de movimentação e outros componentes apresentam desgastes e alterações que exigem acompanhamento ao longo do tempo e, no momento oportuno, devem-se substi-

tuir os componentes e ajustar as estruturas. Não existem recomendações gerais para um plano de manutenção, principalmente pela quantidade de sistemas de irrigação e pela grande variabilidade de condições de funcionamento.

Na irrigação pressurizada, é necessário que o sistema de bombeamento proporcione água em quantidade e pressão compatível com o sistema utilizado. Para isso, é necessário avaliar o funcionamento do motor e da bomba, substituindo e ajustando os componentes com problemas. As tubulações não devem perder água nas junções e as possíveis ocorrências devem ser imediatamente eliminadas. As juntas de borracha, presentes nas conexões das tubulações de engate rápido usadas na irrigação por aspersão, não devem se ressecar e, no período em que o sistema esteja parado, as tubulações devem ser guardadas em locais onde as borrachas fiquem protegidas da incidência direta dos raios solares.

Os componentes responsáveis pela distribuição da água (aspersores, difusores, gotejadores e microaspersores) devem ser permanentemente observados. A substituição e/ou a recuperação daqueles que apresentam problemas promovem ganhos significativos de uniformidade.

Um outro aspecto da manutenção do sistema é o aumento dos cuidados quando se aplicam produtos químicos via água de irrigação (quimigação). Primeiramente, pela ação corrosiva de muitos dos produtos químicos aplicados, os quais podem comprometer a durabilidade do equipamento de irrigação e, em segundo lugar, pelos cuidados especiais com o manejo e o funcionamento da irrigação durante a aplicação do produto químico. Neste caso, é importante que nenhuma etapa da manutenção do sistema, como eliminação de fugas, troca deaspersores, gotejadores ou microaspersores defeituosos, adequação e ajuste da pressão, seja esquecida. Sintetizando, a implementação de programas de manutenção preventiva e corretiva, fundamental para se obter um manejo cada vez mais adequado da irrigação, vem proporcionar também uma maior eficiência na quimigação.

A vida útil de qualquer sistema de irrigação depende em primeiro lugar de um manejo correto do sistema e de uma manutenção preventiva dos equipamentos que o compõem.

O manejo dos equipamentos de um conjunto de irrigação deve ser executado de modo a mantê-los o maior tempo possível na sua forma original, sem deformações, rachaduras, trincas e outros danos, os quais podem

provocar vazamentos que, além de reduzirem a vida útil, ainda comprometem a eficiência do sistema.

Deve-se ter cuidado para não expor estes equipamentos a intempéries desnecessariamente, como deixá-los expostos a sol, chuva e vento, quando estes não estiverem em funcionamento. Nas situações, onde a exposição a fatores adversos for inevitável (irrigação com água salina) ou mesmo necessária (caso da quimigação), deve-se seguir à risca todas as instruções recomendadas para evitar o desgaste excessivo dos equipamentos.

A atenção deve ser dirigida também no sentido de se reduzir ao mínimo, a necessidade de reposição de peças, de modo a tornar os sistemas menos onerosos possível.

Os sistemas de irrigação de um modo gerais têm exigências particulares quanto ao seu manejo, em função da maior ou menor complexidade tecnológica envolvida. Quanto maior a complexidade do sistema, mais equipamentos são necessários e, portanto, tem-se maior custo.

Os sistemas convencionais, apesar de fazerem uso de uma tecnologia mais simples, exigem cuidados especiais, pois neles ocorre a maior interferência do irrigante. Portanto, não sendo adequadamente manejados, não cumprirão seu objetivo principal, que é o de irrigar de forma eficiente a maior área com o menor custo. Os sistemas de laterais com movimentação manual exigem um contato ainda maior com o irrigante, em função de sua própria composição.

Os cuidados para o manejo adequado dos sistemas de irrigação por aspersão devem ser tomados com relação a todos os equipamentos que formam o corpo do sistema (motobomba, tubulações, etc.). Ao colocar a motobomba em funcionamento, deve-se verificar se ela está escorvada e se o registro da linha de recalque está fechado para não sobrecarregar o motor. Tão logo a bomba atinja a velocidade normal de funcionamento, o registro deverá ser aberto lentamente. Processo inverso, isto é fechamento lento do registro deve ser feito antes de desligar o motor. Os tubos devem ser mantidos alinhados para evitar maior esforço nas juntas de vedação. Nos casos em que as linhas forem desmontadas, evitar a exposição das peças ao sol, para que estas não se ressequem e percam sua função. As partes submetidas a desgastes como aspersores giratórios, bocais e juntas de vedação deverão ser examinadas periodicamente e, se necessário, substituídas.

A manutenção refere-se às operações de conservação para o bom desempenho dos sistemas, evitando o desgaste prematuro das peças. Para a aspersão convencional, é uma tarefa muito simples de ser realizada e refere-se praticamente à manutenção do conjunto motobomba.

Para os conjuntos motobomba com motor a explosão, a manutenção consiste na limpeza do filtro de ar, troca do óleo lubrificante e filtro de óleo do motor. Estas trocas devem ser realizadas no momento e nas proporções recomendadas pelos fabricantes. Para as bombas, deve-se ter o cuidado de se verificar o nível do óleo lubrificante, completando-o sempre que necessário; raramente há necessidade de substituição deste óleo. A drenagem da voluta da bomba é uma operação de manutenção que só deve ser realizada quando a bomba não vai ser utilizada por um longo período.

Os sistemas de irrigação localizada variam com as peculiaridades de cada tipo e concepção, sendo em princípio, semelhantes. A composição de um sistema de irrigação por gotejamento pode ser considerada como um modelo básico desse método de irrigação.

A irrigação localizada é um sistema fixo e se fundamenta na passagem de pequena vazão em orifícios de diâmetro reduzido de estruturas especiais chamadas de emissores. Estes são adaptados a mangueiras flexíveis colocadas ligeiramente acima ou imediatamente abaixo da superfície do solo. A filtragem da água, para evitar o entupimento dos emissores, a possibilidade de aplicação de fertilizantes via água de irrigação, o controle volumétrico e o fornecimento de água com a pressão requerida pelo sistema são realizados pelo cabeçal de controle, o qual recebe a água da fonte de abastecimento através da tubulação de sucção, impulsionado por um conjunto motobomba.

## **5. NECESSIDADES HÍDRICAS**

A determinação da necessidade hídrica de uma cultura é fundamental para o planejamento e a condução de sistemas de produção agrícola, determinando na escolha da época de plantio e da necessidade de irrigação.

As fruteiras apresentam diferentes necessidades de água. Isto se deve principalmente a características morfológicas e fisiológicas das plantas e a características edafoclimáticas da região de cultivo, havendo também influência dos tratos culturais como adubação, podas, controle de pra-

gas e doenças e capinas.

Pode-se ressaltar ainda, que o requerimento de água varia em uma mesma cultura em seus diferentes estádios de desenvolvimento e em diferentes épocas do ano.

Em algumas fruteiras, o requerimento de água é bem estudado e os parâmetros para a sua determinação podem facilmente ser encontrados na literatura. Para outras fruteiras, entretanto, a informação necessária pode não estar facilmente disponível. Nessas situações, normalmente são realizados ajustes baseados nos valores encontrados para culturas com características semelhantes. Também se deve destacar a necessidade de uso criterioso das informações disponíveis, sendo muitas vezes necessária a realização de ajustes, devido a diferentes situações, como uso de novas variedades ou mudanças nos tratamentos culturais utilizados convencionalmente.

Em algumas regiões onde ocorrem baixas precipitações e alta demanda evapotranspirométrica, como no caso do semi-árido brasileiro, torna-se necessário o fornecimento de água por meio de irrigação, considerando o atendimento das necessidades fisiológicas de desenvolvimento, manutenção e produção de frutas.

A mangueira requer uma quantidade anual de água que dependerá da evapotranspiração local, podendo atingir valores de 1.197 a 1.368 mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo que se pode, a princípio, basear-se numa demanda no inverno de 2,2 mm.dia<sup>-1</sup> e 4,4 mm.dia<sup>-1</sup> no verão. É uma cultura que pode resistir à deficiência de água no solo por um período de até oito meses. A mangueira necessita de água durante a formação floral, todavia essa necessidade não chega a ser crítica. Trabalhos de pesquisa têm mostrado que a irrigação não é desejável durante a diferenciação do broto floral e deve iniciar-se somente na emergência da panícula, após a diferenciação floral. O estresse hídrico do solo retarda o crescimento das gemas vegetativas e colabora com o crescimento das gemas florais. O período mais crítico para a irrigação da manga é de 4 a 6 semanas após o estabelecimento dos frutos (Coelho et al., 2000).

Tapia e Vega (1994) afirmam que resultados experimentais permitem sugerir que a mangueira requer ao menos 15 dias de estresse hídrico, aplicação de fertilizantes no solo e aplicações foliares de nitratos para produzir brotos florais. Já o estresse hídrico excessivo pode resultar em malformações florais e enfermidades que podem reduzir a produção. Desta forma, a falta

de uma programação definida na aplicação do estresse hídrico na mangueira pode levar a uma interrupção no crescimento vegetativo e, conseqüentemente, a uma redução na produtividade.

No caso da mangueira cultivada nas condições de clima tropical, a imposição do estresse hídrico tem sido considerada efetiva na indução floral. Nestas condições, a aplicação de água, através da irrigação, representa uma alternativa que pode ser utilizada tanto para garantir o desenvolvimento da cultura como para estabelecer as condições fisiológicas de estresse hídrico adequadas para indução floral. Neste aspecto, o manejo do suprimento de água, realizado através da irrigação, passa a ter um papel importante no controle da época de produção da cultura com benefícios diretos na rentabilidade do produtor (Silva et al., 1996).

## **6. COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR**

Choudhury e Soares (1992), citados por Soares e Costa (1995), em estudo realizado em latossolo, na cultura da mangueira, variedade 'Tommy Atkins', sob irrigação por aspersão sobcopa, na fazenda Fruitfort, Petrolina-PE, constataram que 68% das raízes de absorção e 86% das raízes de sustentação estão localizadas na faixa horizontal de 90 a 260 cm em relação ao caule e na profundidade de 0 a 120 cm. Na distribuição vertical, 65% das raízes de absorção e 56% das raízes de sustentação ocorrem na profundidade de 0 a 60cm.

## **7. MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Para o sucesso de um empreendimento de irrigação ou sustentabilidade da produção, vários aspectos devem ser considerados, por exemplo, manejo adequado do solo e da cultura. Especificamente do ponto de vista da irrigação, quatro aspectos são fundamentais: a qualidade do projeto, do equipamento, da implantação e do manejo do sistema no campo. Considerando a situação atual da indústria, dos equipamentos disponíveis e das firmas prestadoras de serviços, verifica-se que os três primeiros pontos estão ao alcance do produtor, dependendo, é claro, da disponibilidade de recursos financeiros. Talvez o ponto que exija maiores cuidados seja o manejo da irrigação, ou seja, a condução da lavoura irrigada, definindo-se de forma

precisa as necessidades hídricas da cultura, bem como a lâmina e o momento de irrigação mais adequados. Também se incluem aí os cuidados de avaliação, manutenção e ajustes no sistema de irrigação, no controle efetivo da fertirrigação e muitos outros do cotidiano do sistema de produção.

A implantação de um programa de manejo apresenta várias vantagens, destacando-se: aumento da produtividade e da rentabilidade, ampliação da área irrigada, otimização da utilização da mão-de-obra, energia elétrica, nutrientes e outros insumos, além da preservação do meio ambiente.

Uma pergunta que tem desafiado os especialistas é o por quê do atual atraso da aplicação das técnicas de manejo de irrigação em condições de campo. Esse fato não é restrito ao Brasil. Na verdade, é exceção a região do mundo onde o manejo tecnificado da irrigação é aplicado de forma sistemática.

Como princípios importantes, deve-se lembrar que o manejo da irrigação envolve a interação do solo, da água, do clima, com a planta a ser cultivada, sendo por isso impossível definir uma receita geral. Dessa forma, é imprescindível que se tome cuidado com generalizações e transposições de critérios e recomendações. Uma simplificação metodológica pode redundar em grandes limitações na precisão e na continuidade do processo. Por outro lado, deve-se considerar que o emprego da metodologia será no campo e o sucesso do processo de implantação dependerá das análises e decisões diárias, realizadas no local, com pessoal nem sempre qualificado para este trabalho. Nesse ponto, é fundamental considerar que qualquer que seja a proposta de manejo, ela deverá levar em conta os aspectos técnicos e operacionais. Essas considerações parecem óbvias, mas observa-se que muitos insucessos em programas de manejo advêm da falta de compreensão dessas questões operacionais, que são um importante alerta para o especialista responsável pelo sistema de produção.

O manejo racional da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como conseqüência, o desperdício de energia e de água, usados em um bombeamento desnecessário.

Segundo estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG (1993), se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproxi-

madamente 20% da água e 30% da energia consumida seriam economizadas; sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados para a irrigação.

Uma grande meta da fruticultura nacional é atingir os exigentes mercados internacionais. A qualidade na produção de frutas é uma exigência mundial, não basta ter um produto de qualidade, mas todo um sistema da produção monitorado, com sustentabilidade, enfatizando a proteção ao meio ambiente, segurança alimentar, condições de trabalho, saúde humana e viabilidade econômica.

Para que a fruta brasileira seja aceita para exportação, criaram-se mecanismos de certificação que atestam as condições de cultivo, garantindo, desta forma, que foi obtida a partir de boas práticas agrônômicas. Dentre os mecanismos de certificação, destaca-se a produção integrada de frutas (PIF). Para que este mecanismo seja adotado em uma propriedade, o produtor deve seguir as Normas Técnicas para Produção Integrada de Frutas (NTGPIF). Dentre as normas relacionadas à irrigação, destacam-se a recomendação da utilização de sistemas de irrigação com maior uniformidade de aplicação de água e a realização do manejo da irrigação baseado no balanço da água no solo.

A implantação de um programa de manejo de irrigação requer conscientização, com visão integrada, tecnologia apropriada e operacionalidade, além de possibilitar a otimização do uso de insumos, aumento da produtividade e da rentabilidade e ampliação da área irrigada. Ainda contribui para implantação de uma exploração sustentável, preservando o meio ambiente, por meio da utilização adequada da água e energia, não promovendo percolação profunda, minimizando a lixiviação de produtos químicos e, conseqüentemente, a contaminação do lençol freático.

O manejo adequado dos recursos hídricos deixou de ser um procedimento limitado às propriedades rurais e aos engenheiros agrônomos e agrícolas a partir da criação da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa Lei estabelece que a Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público; a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico; em situações de escassez, o uso

prioritário dos recursos hídricos é para o consumo humano e de animais; a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica é a unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; e a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

É importante frisar que implementar um programa de manejo significa, entre outras coisas, implantar um sistema de monitoramento, que pode ser via solo, clima, planta, ou associação entre eles.

### *7.1. Métodos usados no manejo da irrigação*

O manejo da irrigação pode ser feito através de diversos métodos. De uma maneira geral, os métodos existentes baseiam-se na medição da demanda de água em um ou mais componentes do sistema solo-planta-atmosfera. Desta forma, a definição de quando e quanto irrigar para suprir as necessidades hídricas da cultura pode ser feita por meio de medidas no solo, na planta ou de parâmetros climáticos.

- a) *Métodos que se baseiam em medidas no solo*: estes métodos baseiam-se unicamente no conhecimento do estado hídrico do solo, ou seja, no manejo da água útil do solo e do nível de esgotamento permissível. Os principais métodos pertencentes a esse grupo são: padrão de estufa, tensiômetro, colman, boyoucos, sonda de nêutrons, TDR e Dupea.
- b) *Métodos que se baseiam em medidas na planta*: estes métodos baseiam-se nos conhecimentos do estado hídrico da planta como indicador do estresse hídrico, seja de forma direta, como é o caso da câmara de tensão xilemática, seja de forma indireta, através da temperatura do dossel vegetativo, por meio do termômetro de infravermelho. Estes métodos apresentam-se como alternativas futuras, mas ainda sem aplicação em nível de propriedade rural, sendo mais utilizados em trabalhos de pesquisa científica.

c) *Métodos que se baseiam em medidas de parâmetros climáticos*: estes métodos são os mais operacionais em nível de propriedade rural. As variáveis climáticas mais comumente utilizadas são: temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa, velocidade do vento, radiação solar, insolação e precipitação. Com base nessas informações, é possível determinar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), que consiste na demanda hídrica de uma cultura hipotética, e a partir deste dado, através de coeficientes apropriados, determinar a demanda hídrica da cultura a ser manejada, também conhecida como evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). Para a determinação da ET<sub>o</sub>, podem-se usar desde simples medidas de evaporação da água de um tanque evaporímetro, como o tanque “Classe A”, até complexas equações empíricas.

Todos os métodos citados apresentam vantagens e desvantagens técnicas e operacionais, sendo recomendável a associação de dois ou mais deles.

Em nível de propriedade, o que se tem observado é que dentre os métodos citados, os que têm se apresentado como mais operacionais são o tensiométrico e os que se baseiam na medida de parâmetros climáticos, como o método FAO, sendo por isso adotados por alguns fruticultores para o manejo da irrigação.

### *7.1.1. Método tensiométrico*

No método tensiométrico, a umidade do solo é determinada de forma indireta a partir da tensão em que a água está retida pelas partículas do solo. Para a transformação dos valores de tensão em percentagem de umidade, é necessário fazer a curva característica de retenção da água no solo.

O tensiômetro, equipamento utilizado para a aplicação do método, é constituído basicamente por uma cápsula porosa de cerâmica ou porcelana, ligada a um manômetro de mercúrio ou a um vacuômetro metálico por um tubo preenchido com água, onde se lê a tensão com que a água está retida no solo. A cápsula porosa do tensiômetro está sempre saturada pela água que preenche o tubo do tensiômetro. Ao ser colocada no solo, a cápsula porosa deverá ficar na profundidade em que se quer avaliar a umidade. Após entrar em contato com o solo, a água contida na cápsula, por estar

com um potencial hídrico maior que o solo que a circunda, receberá a mesma tensão pela qual a água do solo está sendo retida, formando um vácuo no final do tubo do tensiômetro, sendo esta tensão medida pelo vacuômetro.

Os tensiômetros podem ter comprimentos variados de acordo com a profundidade que se deseja monitorar. Por ser um sensor de vácuo, possui um limite teórico de medição de 1,0 atm. Na prática, contudo, sua faixa de medição é de 0 a 0,75 atm, pois, após este nível de tensão, a água evapora-se, ocorrendo entrada de ar pelos poros da cápsula, o que faz o vacuômetro parar de funcionar. A leitura zero indica que o solo está saturado e que as raízes das plantas podem sofrer pela falta de oxigênio. Assim, o tensiômetro é capaz de avaliar apenas uma parte da água útil do solo. Este intervalo de funcionamento, de 0 a 0,75 atm, representa cerca de 70% da água retida em solos arenosos e 40% da água retida em solos argilosos. Desta forma, o manejo da água no solo com tensiômetros deverá ser conduzido, preferencialmente, em solos arenosos e em áreas irrigadas, com intervalo curto entre irrigações. Neste contexto, a umidade estará sempre próxima à capacidade de campo, sendo a água retida em tensões menores, dentro do intervalo de leitura do aparelho, possibilitando a avaliação da umidade do solo. Segundo Azevedo et al. (1983), de 0,1 a 0,6 atm de tensão, o teor de água no solo é adequado para a maioria das culturas.

A determinação da umidade do solo através do tensiômetro, caso o equipamento seja utilizado corretamente, apresenta boa precisão. Porém, em nível de propriedade rural, têm sido observadas dificuldades operacionais no uso e manuseio dos tensiômetros no campo, o que tem limitado a adoção deste método pelos fruticultores.

### *7.1.2. Método FAO*

O método FAO foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO) e se baseia na medição de parâmetros climáticos para a determinação do consumo de água das plantas cultivadas, por meio do modelo apresentado na equação 1.

$$ETc = ETo.Kc.Ks.Kl \quad \text{eq. 1}$$

em que

- ETc – evapotranspiração da cultura, mm;
- ETo – evapotranspiração de referência, mm;
- Kc – coeficiente de cultura, adimensional;
- Ks – coeficiente de umidade do solo, adimensional;
- Kl – coeficiente de localização, adimensional.

### 7.1.2.1. Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura corresponde ao consumo de água das plantas cultivadas num determinado período. A ETc depende da planta, do solo e do clima, sendo este último fator predominante sobre os demais, de modo que a quantidade de água requerida por uma cultura, varia com a extensão da área coberta pelo vegetal e com os meses do ano.

A determinação da evapotranspiração da cultura dependerá da evapotranspiração de referência e de coeficientes de ajustes determinados experimentalmente. Dessa forma, a determinação da ETo é o primeiro passo para o cálculo da evapotranspiração da cultura.

### 7.1.2.2. Evapotranspiração de referência (ETo)

A nova conceituação da evapotranspiração de referência estabelece a determinação da ETo padrão com base no conceito de uma cultura hipotética, que apresenta altura de 0,12 m, resistência aerodinâmica do dossel de 70 s.m<sup>-1</sup> e albedo de 0,23 (Smith et al., 1991). Essa ETo assemelha-se à ETo de uma superfície extensa, coberta com grama, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade (Sediyama, 1996).

A ETo padrão é determinada pela equação de Penman-Monteith, parametrizada pela FAO. Para tal, faz-se necessária a medição dos seguintes dados climáticos: temperatura (máxima, média e mínima), umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluvial. Vale ressaltar que as variáveis climáticas que mais influenciam na determinação da ETo são a radiação solar e a velocidade do vento.

Para a obtenção de todas as variáveis climáticas necessárias para a determinação da ETo padrão por meio da equação de Penman-Monteith, faz-se necessário o uso de estações meteorológicas completas. O ideal neste caso é a utilização de estações agrometeorológicas automáticas (Figura 4), que medem as variáveis climáticas, normalmente em base horária e armazenam os dados por um período de tempo que depende do modelo e da marca da estação. Em sistemas mais tecnificados, a estação automática pode ser conectada ao computador central da propriedade e o monitoramento do clima, para subsidiar a tomada de decisão nas diferentes etapas que compõem o sistema produtivo, poderá ser feito à distância.



( A )

( B )

Figura 4 – Estação agrometeorológica automática: (A) detalhe e (B) instalada no campo juntamente com o Tanque “Classe A” (Fotos: Fazenda FAHMA – Lote 29M, Gleba C2, Projeto Jaíba, Matias Cardoso-MG).

Apesar do grande avanço relacionado à simplificação do manuseio e diminuição dos custos das estações agrometeorológicas automáticas, as mesmas ainda são pouco acessíveis em um grande número de situações, principalmente para pequenas propriedades. Para exemplificar, uma estação automática com qualidade para o monitoramento do clima, visando o manejo da irrigação e o auxílio na tomada de decisão de outros fatores relacionados com o sistema produtivo, com previsão de doenças, controle fitossanitário e indução floral, apresenta um custo da ordem de US\$ 3.000,00 a US\$ 4.000, 00.

Uma outra possibilidade, é a utilização de estações simplificadas, compostas de um abrigo meteorológico, termômetro de máxima e mínima e pluviômetro (Figura 5). Neste caso o conjunto, com características técnicas e de qualidade, apresenta um custo da ordem de US\$ 170,00. Para a determinação da ETo neste caso, devem-se utilizar equações simplificadas que necessitam apenas de valores medidos de temperatura, como as equações de Hargreaves & Samani e Blaney & Cridlle. Diversos resultados de pesquisas recomendam a utilização da metodologia de Hargreaves & Samani para regiões de clima árido e a de Blaney & Cridlle para regiões de clima úmido.



( A )



( B )

Figura 5 – Abrigo meteorológico com termômetro de máxima e mínima (A) e pluviômetro (B) (Foto: Everardo Chartuni Mantovani).

Outra forma mais simplificada, porém menos precisa, de se determinar a evapotranspiração de referência, é por meio do uso de tanques de evaporação, como o tradicional Tanque “Classe A”. Este equipamento tem a característica de promover uma integração nos fatores que influenciam na ETo, apresenta baixo custo e é de fácil manuseio no campo, sendo passível de utilização em pequenas e médias propriedades.

Vale ressaltar, que para determinação da Eto, existem diversos métodos, porém para se obter maior precisão nos resultados e com isso maior sucesso no manejo da irrigação, deve-se usar o maior número possível de variáveis climáticas, usando sempre que possível o método proposto por Penman-Monteith, considerado pela FAO como o método padrão para a

determinação da ETo. Assim, sempre que possível convém fazer uma correlação entre o método de Penman-Monteith com outros métodos mais simples como o Tanque “Classe A” e os propostos por Hargreaves & Samani e Blaney & Criddle, visando uma correção no valor da ETo usada para a determinação da evapotranspiração da cultura. Com o avanço dos recursos computacionais e o advento de *softwares* empregados nas mais diversas fases do processo produtivo, este procedimento está cada vez mais facilitado e passível de ser adotado em nível de propriedade rural.

A seguir são apresentados os modelos e procedimentos para a determinação da ETo, pelos métodos de Penman-Monteith, Blaney & Criddle e Hargreaves & Samani e pelo Tanque “Classe A”.

#### a) Equação de Penman-Monteith

A equação combinada, baseada na equação de Penman-Monteith, considerada pela FAO como padrão para a determinação da Eto, é apresentada a seguir (equação 2).

$$ETo = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} K_1 \frac{0,622 \lambda p}{P} \frac{1}{r_a} (e_s - e_d) \quad \text{eq. 2}$$

em que

ETo - evapotranspiração de referência, MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

R<sub>n</sub> - saldo de radiação à superfície, MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

G - fluxo de calor no solo, MJ.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>;

K<sub>1</sub> - coeficiente de conversão de unidades;

P - pressão atmosférica média estimada, kPa;

e<sub>s</sub> - pressão máxima de saturação de vapor, kPa;

e<sub>d</sub> - pressão atual de vapor, kPa;

r<sub>a</sub> - resistência aerodinâmica, s.m<sup>-1</sup>;

l - calor latente de evaporação, MJ.kg<sup>-1</sup>;

λ - densidade do ar seco, kg.m<sup>-3</sup>;

Δ - tangente da curva de saturação de vapor, em função da temperatura do ar, kPa.°C<sup>-1</sup>;

γ - constante psicrométrica, kPa.°C<sup>-1</sup>; e

γ\* - constante psicrométrica modificada, kPa.°C<sup>-1</sup>.

O cálculo do saldo de radiação à superfície ( $R_n$ ) é estimado através da equação 3.

$$R_n = (1 - a) R_s - R_b \quad \text{eq. 3}$$

em que

- $R_s$  - saldo de radiação de ondas curtas,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ;
- $R_b$  - saldo de emissão efetiva de ondas longas,  $\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ ;
- $a$  - reflectância de ondas curtas ou albedo, adimensional.

b) Equação de Blaney & Criddle (FAO)

$$E_{To} = a + b [p (0,46 T + 8,13)] \quad \text{eq. 4}$$

em que

- $E_{To}$  - evapotranspiração de referência,  $\text{mm.d}^{-1}$ ;
- $a$  e  $b$  - fatores de ajuste local, adimensional;
- $p$  - porcentagem diária média de horas anuais de brilho solar; e
- $T$  - temperatura média,  $^{\circ}\text{C}$ .

Os fatores de ajuste  $a$  e  $b$  são determinados em função da umidade relativa média, da duração do dia e da velocidade média do vento.

c) Equação de Hargreaves & Samani

$$E_{To} = 0,0023 R_a (T_{\max} - T_{\min})^{1/2} (T_{\text{med}} + 17,8) \quad \text{eq. 5}$$

em que

- $E_{To}$  - evapotranspiração de referência,  $\text{mm.d}^{-1}$ ;
- $T_{\text{med}}$  - temperatura média,  $^{\circ}\text{C}$ , [ $T_{\text{med}} = 0,5 (T_{\max} + T_{\min})$ ];
- $T_{\max}$  - temperatura máxima,  $^{\circ}\text{C}$ ;
- $T_{\min}$  - temperatura mínima,  $^{\circ}\text{C}$ ; e
- $R_a$  - radiação solar no topo da atmosfera,  $\text{mm.d}^{-1}$ .

Com o avanço dos recursos computacionais e o advento de *softwares* especializados usados para o manejo da irrigação, como o *Irriga*, desenvolvido no âmbito do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, a determinação da ETo por meio de equações complexas, que envolvem vários parâmetros climáticos, como a equação de Penman-Monteith, pode ser facilmente adotada em nível de propriedade rural, desde que o produtor tenha meios de medir as variáveis climáticas exigidas por cada equação.

#### d) Tanque “Classe A”

É o tipo de evaporímetro mais utilizado. Consiste em um tanque circular de aço galvanizado ou de metal, com 1,21 m de diâmetro interno e 25,5 cm de altura, circundado por grama ou solo nu. O tanque deve ser instalado sobre um estrado de madeira de 10 cm de altura e cheio d'água até que o seu nível fique a 5 cm da borda superior do tanque. A evaporação da água é medida com um micrômetro de gancho, assentado sobre um poço tranqüilizador. A oscilação máxima do nível da água dentro do tanque deve ser de 2 cm.

Para se determinar a ETo por meio Tanque “Classe A”, utiliza-se a equação 6.

$$ETo = Ev.Kt \quad \text{eq. 6}$$

em que

ETo - evapotranspiração de referência, mm.dia<sup>-1</sup>;

Ev - evaporação medida no Tanque “Classe A”, mm.dia<sup>-1</sup>; e

Kt - coeficiente do tanque, adimensional.

O coeficiente do tanque (Kt) varia em função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e da cobertura do solo que o circunda, tendo os seus valores tabelados, conforme apresentado no Quadro 2.

Em virtude de seu baixo custo de implantação e fácil manejo, o Tanque “Classe A” tem sido empregado em vários projetos de irrigação. Apre-

senta erro considerável quando utilizado para determinação da evapotranspiração diária e pode apresentar erros operacionais quando não instalado e manejado de forma adequada.

Simão et al. (2003), comparando a ETo obtida pelo Tanque “Classe A” com a calculada pela equação de Penman-Monteith, para as condições da região norte de Minas Gerais, concluíram que o tanque não deve ser utilizado para controle de irrigações com turno de rega diário, devido ao grande erro padrão de estimativa encontrado para esta situação (2,54 mm.dia<sup>-1</sup>).

Quadro 2 - Valores do coeficiente do tanque (Kt) em função da velocidade do vento, da umidade relativa do ar e da cobertura do solo que o circunda, segundo Doorenbos e Pruitt (1977).

Vento (km.dia <sup>-1</sup> )	Posição do Tanque R (m) <sup>1</sup>	Tanque circundado por grama			Posição do Tanque R (m) <sup>1</sup>	Tanque circundado por solo un		
		UR média (%)				UR média (%)		
		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70		Baixa <40	Média 40-70	Alta >70
Leve < 175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 – 425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425 – 700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

<sup>1</sup>Distância radial do dossel vegetativo ou do solo nu em torno do Tanque “Classe A”.

### *7.1.2.3. Coeficiente de cultura (Kc)*

O Kc é o coeficiente que corrige e ajusta a evapotranspiração para as condições da cultura manejada. O valor do Kc é estabelecido em função da cultura, da fase fenológica, do clima, do manejo cultural, da densidade de plantio, entre outros fatores. O método FAO divide a cultura em quatro fases, cada qual com um Kc específico, conforme apresentado no Quadro 3.

Na fase I, o Kc é definido principalmente pela evaporação na superfície do solo, que continua influenciando na primeira parte da fase II, sendo gradativamente substituída pela transpiração da cultura, aumentando de forma linear. Na fase III, a cobertura do solo atinge seu máximo e o Kc é definido pela transpiração da cultura. Na fase IV, o Kc decresce linearmente até a colheita.

No Quadro 4, são apresentados valores sugeridos de Kc para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura da mangueira cultivada na região Norte de Minas Gerais. E na Figura 6, é apresentado o gráfico com a evolução do Kc durante o crescimento vegetativo da cultura da mangueira e em três ciclos produtivos, evidenciando as fases de indução floral, com o uso de paclobutrazol (PBZ) e nitratos ( $\text{NO}_3$ ), florescimento e frutificação (Flor) e colheita.

Quadro 3 – Valores de Kc em função do estágio de desenvolvimento da cultura.

Estádio de desenvolvimento	Caracterização do Estádio	Kc
I. Inicial	Da germinação até a cultura cobrir 10% da superfície do terreno ou 10% a 15% do seu desenvolvimento vegetativo.	0,2 a 1,0
II. Secundário ou de desenvolvimento vegetativo	Do final do primeiro estágio até a cultura cobrir de 70% a 80% da superfície do terreno ou atingir de 70% a 80% do seu desenvolvimento vegetativo.	Varia linearmente entre os valores do primeiro e terceiro estádios
III. Intermediário ou de produção	Do final do segundo estágio até o início da maturação, também denominado estágio de produção.	0,9 a 1,25
IV. Final ou de maturação	Do início da maturação até a colheita ou final da maturação.	Varia linearmente entre os valores do terceiro estágio e 1,0 a 0,3

Fonte: Doorenbos e Kassan (1979).

Quadro 4 - Valores sugeridos de Kc para os diferentes estágios de desenvolvimento da cultura da mangueira cultivada na região Norte de Minas Gerais.

Fase	Estádio de desenvolvimento	Duração (dias)	Kc
Crescimento Vegetativo	0 – 6 meses	180	0,30
	7 – 12 meses	180	0,35
	13 – 18 meses	180	0,40
	19 – 24 meses	180	0,45
	25 – 36 meses	360	0,55
Produção	Indução floral – PBZ	90 - 120	0,75 – 0,85
	Indução floral – NO <sub>3</sub>	15	0,20 – 0,30
	Floração + frutificação	105	0,80 – 0,90
	Colheita + preparo p/ próxima safra	45	0,50 – 0,60
	Desenvolvimento dos ramos	70 - 90	0,60 – 0,70
	Indução floral – PBZ	90 - 120	0,75 – 0,85

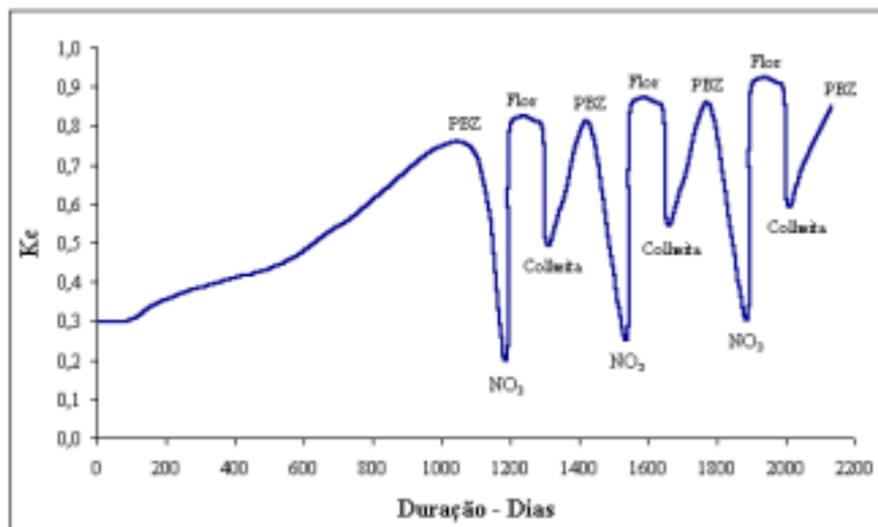


Figura 6 – Evolução do Kc durante os estádios de desenvolvimento da cultura da mangueira.

#### 7.1.2.4. Coeficiente de umidade do solo ( $K_s$ )

O coeficiente de umidade do solo pode ser determinado por três metodologias. A primeira, descrita na equação 7, foi proposta por Bernardo (1996); a segunda, apresentada na equação 8, é utilizada em algumas situações específicas, como no caso da irrigação de alta frequência ou irrigação em solos muito arenosos. A terceira metodologia é apresentada pela equação 9.

$$K_s = \frac{\ln(LAA + 1,0)}{\ln(CTA + 1,0)} \quad \text{eq. 7}$$

$$K_s = 1,0 \quad \text{eq. 8}$$

$$K_s = \frac{U_a - PM}{CC - PM} \quad \text{eq. 9}$$

em que

- Ks – coeficiente de umidade do solo, adimensional;
- ln – logaritmo neperiano;
- LAA – lâmina atual de água no solo, mm;
- CTA – capacidade total de armazenamento de água no solo, mm;
- Ua – umidade atual do solo, mm;
- PM – ponto de murcha permanente, mm; e
- CC – capacidade de campo, mm.

#### 7.1.2.4. Coeficiente de localização (Kl) e percentagem de área molhada (Pw)

Em irrigação localizada somente uma parte da superfície do solo é molhada. Em consequência, são reduzidos a evaporação direta da água do solo e o efeito da alta frequência de aplicação de água, mantendo o solo sempre próximo à capacidade de campo, favorecendo o aumento da transpiração. No balanço supõe-se uma diminuição na evapotranspiração da cultura (ETc), cuja magnitude depende de várias características das partes transpirantes das plantas, como: massa foliar, superfície total das folhas, volume da copa, entre outras características. Assim, em irrigação localizada, é necessário fazer uma correção na evapotranspiração da cultura determinada para os demais métodos de irrigação.

Numerosos procedimentos têm sido propostos para corrigir a ETc devido ao efeito da localização. Entre eles, estão selecionados como mais práticos, aqueles que se baseiam na percentagem de área sombreada, que é definida como “a fração da superfície do solo sombreada pela cobertura vegetal ao meio-dia no solstício de verão, em relação à superfície total” (Pizarro, 1990). Assim, a correção devido à localização, consiste em multiplicar a ETc por um coeficiente de localização (Kl), cujo valor depende da percentagem de área sombreada definida anteriormente.

Um dos fatores importantes a considerar no cálculo de um projeto de irrigação localizada, é a proporção da superfície ou volume de solo que deve ser umedecido em relação à superfície total. Essa proporção designa-se percentagem de área molhada ( $P_w$ ) e depende do volume de água aplicada em cada ponto de emissão, do espaçamento entre emissores e do tipo de solo que está sendo irrigado.

Diversos autores têm estudado a relação entre  $Kl$  e a percentagem de área sombreada e/ou molhada, obtendo as mais variadas equações. A seguir são apresentadas algumas equações propostas por diversos autores para a determinação de  $Kl$ .

Keller (1978)

$$Kl = P + 0,15(1 - P) \quad \text{eq. 10}$$

Keller e Bliesner (1990)

$$Kl = \sqrt{P} \quad \text{eq. 11}$$

Keller e Karmeli (1975)

$$Kl = \frac{P}{0,85} \quad \text{eq. 12}$$

Fereres (1981)

$$\text{Se, } P \geq 65\% \rightarrow Kl = 1,0 \quad \text{eq. 13}$$

$$\text{Se, } 20\% < P < 65\% \rightarrow Kl = 1,09P + 0,30 \quad \text{eq. 14}$$

$$\text{Se, } P \leq 20\% \rightarrow Kl = 1,94P + 0,1 \quad \text{eq. 15}$$

Aljibury et al. (1974), citados por Hernandez Abreu et al. (1987)

$$Kl = 1,34P \quad \text{eq. 16}$$

Decroix (comunicação pessoal), citado por Vermeiren e Jobling (1980)

$$Kl = 0,1 + P \quad \text{eq. 17}$$

Hoare et al. (1974), citados por Hernandez Abreu et al. (1987)

$$Kl = P + 0,5(1 - P) \quad \text{eq. 18}$$

Bernardo (1996)

$$Kl = P \quad \text{eq. 19}$$

Em todas as equações,  $P$  representa o valor da percentagem de área sombreada ou molhada, em decimal, devendo sempre utilizar a que fornecer o maior valor.

Estes métodos supõem que a evapotranspiração na área sombreada se comporta quase igual à evapotranspiração da superfície de um solo sob irrigação convencional, enquanto a área não sombreada elimina água com uma intensidade muito menor. As equações propostas por Hoare et al. (1974), citados por Hernandez Abreu et al. (1987) e Keller (1978), mostram a influência da parte sombreada ( $P$ ) e da não sombreada ( $1 - P$ ) pela cultura, no valor de  $Kl$ .

Segundo Pizarro (1990), uma crítica que se pode fazer a estas equações é que em todas elas, com exceção das propostas por Fereres (1981) e Keller e Bliesner (1990), a relação entre  $Kl$  e  $P$  é linear. Trabalhos conduzidos na Califórnia por Fereres (1981), com as culturas da amendoeira e do pessegueiro, mostram que tal relação não se cumpre e que, para pequenos valores de  $P$ , as necessidades calculadas podem ser menores que as reais.

Em alguns métodos, para maiores valores de  $P$ , ocorrem valores de  $Kl$  maiores que um. Nestes casos, deve-se considerar o valor de  $Kl$  igual a um. E no caso de ausência de cultivo ( $P=0$ ), algumas equações fornecem valores não nulos de  $Kl$ . Por estas razões, é recomendável, ao aplicar estas equações, não perder de vista o seu significado real.

Apesar de não existirem resultados de pesquisas conclusivos, dentre os métodos citados, os que têm maior aceitabilidade entre técnicos e pesquisadores que trabalham com fruticultura irrigada, sendo por isso mais adotados em nível de propriedade rural, são os propostos por Keller (1978) e Fereres (1981). Na Figura 7, é apresentado um gráfico comparando os valores de  $Kl$  em função da percentagem de área sombreada ou molhada pelos métodos propostos por estes pesquisadores.

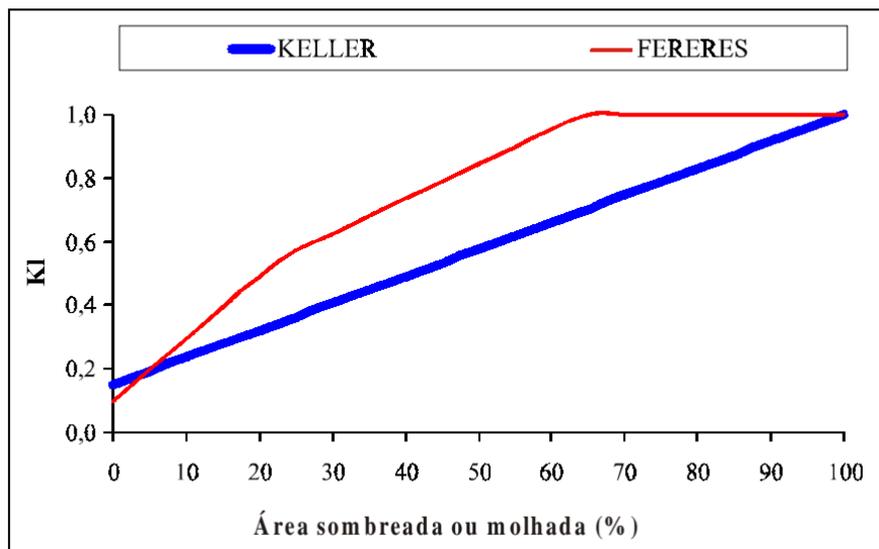


Figura 7 - Valores de KI em função da porcentagem de área sombreada ou molhada pelos métodos propostos por Keller (1978) e Fereres (1981).

Observa-se que no método proposto por Keller (1978), o valor de KI apresenta um comportamento linear em função do aumento da porcentagem de área sombreada ou molhada. Já no método proposto por Fereres (1981), o valor de KI não varia linearmente com o aumento da porcentagem de área sombreada ou molhada e, a partir de 65% de área sombreada ou molhada, não se considera mais o efeito da localização, apresentando valor de KI igual a um.

Para a mangueira cultivada sob irrigação localizada com valores de porcentagem de área molhada ( $P_w$ ) inferiores ou iguais a 50%, recomenda-se para o cálculo do KI, o método proposto por Fereres (1981). Já para cultivos com valores de  $P_w$  superiores a 50%, recomenda-se para o cálculo do KI, o uso do método proposto por Keller (1978). Esta recomendação baseia-se na segurança do sistema de irrigação em fornecer água para a cultura.

Vale ressaltar que a metodologia de cálculo do KI se baseia na porcentagem de área molhada ( $P_w$ ) proporcionada pelo sistema de irrigação ou na porcentagem de área sombreada ( $P_s$ ) pela cultura, devendo sempre

ser usado, no momento do manejo da irrigação, o maior valor entre as duas. Assim, num plantio de manga sob irrigação localizada com Pw, por exemplo, de 40%, deve-se usar o método proposto por Fereres (1981) para o cálculo do KI, sendo o seu valor igual a 0,74. Porém, se a cultura, em determinada fase fenológica, apresentar um valor de área sombreada igual a 70%, o valor do KI passará para um, pois no método proposto por Fereres (1981), quando os valores de Pw ou Ps forem superiores ou iguais a 65%, o valor do KI é igual a um.

De maneira geral, valores elevados de Pw aumentam a segurança do sistema, sobretudo em caso de avaria na instalação ou situações de extrema evapotranspiração. Por outro lado, ao aumentar-se o Pw, geralmente se aumenta também o custo de implantação do sistema. Enfim, pode-se dizer que, quanto maior é o intervalo entre irrigações, maior é o risco no caso de um valor de Pw muito próximo ao mínimo. Um aspecto que deve ser observado no dimensionamento de sistemas de irrigação localizada é que quanto maior o volume de solo molhado e, portanto, o explorado pelas raízes, menor será a possibilidade de se produzir um estresse hídrico, pelo aumento da reserva de água no solo.

Segundo Pizarro (1990), valores de Pw na ordem de 30 a 40% podem ser suficientes. Keller (1978) aconselha para árvores, valores de Pw superiores a 20%, em zonas com altas precipitações e solos de textura média a argilosa, onde a irrigação é aplicada durante os períodos secos, geralmente curtos, e entre 33 e 50% em zonas com baixas precipitações. Já San Juan (1988) afirma que é comprovado o aumento de produção quando se irriga mais de 50% do volume ocupado pelas raízes.

Para plantios mais espaçados, Keller e Bliesner (1990) recomendam valores de Pw entre 33 e 67% e afirmam que em regiões com considerável suprimento de chuvas, valores menores que 33% são aceitáveis para solos de textura média a argilosa. Os mesmos autores consideram que valores de Pw superiores a 33% promovem um desenvolvimento satisfatório do sistema radicular das plantas.

## **8. EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO**

Através da determinação da evapotranspiração da cultura, discutida anteriormente, conhece-se a lâmina de irrigação real necessária. Para a aplicação desta lâmina, visando suprir as necessidades hídricas da cultura, faz-se necessário o conhecimento da eficiência de irrigação do sistema. Desta forma, pode-se determinar a lâmina de irrigação total necessária por meio da equação 20.

$$ITN = \frac{IRN}{Ei} \quad \text{eq. 20}$$

em que

ITN – lâmina de irrigação total necessária, mm;

IRN – lâmina de irrigação real necessária, mm; e

Ei – eficiência de irrigação, decimal.

A eficiência de irrigação é função das perdas de água que ocorrem na condução da água do ponto de captação até o de emissão; das perdas por evaporação e arraste pelo vento, a partir da saída da água do emissor até alcançar a superfície do solo; das perdas por escoamento superficial para fora da área irrigada e das perdas por percolação abaixo do sistema radicular.

Na seleção de sistemas de irrigação, é necessário o conhecimento da eficiência de cada método de aplicação de água. A eficiência de irrigação pode ser definida como a relação entre a quantidade de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade. Quanto menores as perdas de água devido ao escoamento superficial, à evaporação, ao arraste pelo vento e à drenagem profunda, maior será a eficiência de irrigação de um sistema. Valores médios de eficiência de irrigação para os diferentes métodos são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Eficiência de irrigação e consumo de energia em diferentes métodos de irrigação.

<b>Método de irrigação</b>	<b>Eficiência de irrigação (%)</b>	<b>Consumo de Energia (kWh.m<sup>-3</sup>)</b>
Superfície	40 a 75	0,03 a 0,3
Aspersão	60 a 85	0,2 a 0,6
Localizada	80 a 95	0,1 a 0,4

Fonte: Marouelli et al., 1994.

### 8.1. Avaliação do sistema de irrigação

A avaliação do desempenho de um sistema de irrigação é etapa fundamental antes de qualquer estratégia de manejo de irrigação, visto que é com base nos seus resultados que será possível adequar o equipamento e a sua utilização em relação aos requerimentos de água das plantas cultivadas, considerando-se a eficiência e a uniformidade de aplicação de água do sistema.

De maneira geral, em sistemas de irrigação por aspersão, a avaliação visa determinar o padrão de distribuição de água no campo e a eficiência de irrigação, relacionada com as perdas de água por evaporação, por arrastamento pelo vento e por percolação. Já na irrigação localizada, visa-se determinar a uniformidade de aplicação de água pelo sistema.

### 8.2. Uniformidade de distribuição de água

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um parâmetro de grande importância. A baixa uniformidade da lâmina de água aplicada ao longo da área leva a resultados insatisfatórios, com redução da eficiência de aplicação de água. A uniformidade de distribuição da água em sistemas de irrigação por aspersão é influenciada principalmente pelo tipo de perfil de distribuição do aspersor, pela relação entre a pressão e o diâmetro do bocal, pela variação de pressão no sistema e pela velocidade e direção do vento. Para sistemas de irrigação localizada, os principais fato-

res que afetam a uniformidade de distribuição de água estão relacionados à variação da vazão ao longo da linha lateral, que é principalmente afetada pelo projeto hidráulico, pelo coeficiente de variação de fabricação dos emissores e pelo entupimento total ou parcial desses mesmos emissores.

Na irrigação por aspersão, a água é aplicada na forma de uma precipitação artificial, caindo na superfície do solo com uma certa uniformidade decorrente do projeto realizado. Esta uniformidade com que a água é aplicada, é consequência de diversos fatores, tais como: seleção adequada do aspersor, pressão de serviço, ângulo de inclinação, espaçamento adotado no dimensionamento e condições climáticas.

Em geral, a baixa eficiência nos projetos de irrigação por aspersão está relacionada com a desuniformidade de aplicação da água e com a perda de água por evaporação e por arrastamento pelo vento. Para determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão, instala-se um conjunto de pluviômetros equidistantes entre quatro aspersores, sendo dois em cada linha lateral. Em seguida, liga-se o sistema de irrigação por um período nunca inferior a duas horas. Durante o teste, medem-se a pressão e a vazão no bocal do aspersor, a direção e a velocidade do vento e o volume ou a lâmina de água coletada em cada pluviômetro.

Merriam e Keller (1978) apresentam o seguinte critério geral para interpretação dos valores do coeficiente de uniformidade de um sistema de irrigação: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; entre 70 e 80%, regular; e menor que 70%, ruim.

O principal parâmetro que descreve a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942). Na irrigação por aspersão, o CUC pode ser determinado por meio da equação 21.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_i^n |L_i - L|}{n.L} \right) \quad \text{eq. 21}$$

em que

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

Li – lâmina de água coletada em cada pluviômetro, mm;

L – média das lâminas coletadas em todos os pluviômetros, mm; e

n – número de pluviômetros.

A uniformidade para sistemas de irrigação localizada está geralmente limitada à uniformidade de descarga dos emissores para suprir a água requerida pelas plantas individualmente. A baixa uniformidade de distribuição levará a um aumento da quantidade de água aplicada, uma vez que, para que as plantas que recebem menor lâmina d'água recebam a quantidade suficiente, a lâmina de irrigação deverá ser aumentada. Com isso, a maior parte das demais plantas receberá um excesso de água que se perderá. Salienta-se, ainda, que, além de maior produtividade, uma maior uniformidade é importante para homogeneizar a distribuição de fertilizantes na cultura, quando o sistema de irrigação é também usado para a fertirrigação.

O uso do coeficiente de uniformidade de Christiansen, determinado por meio da equação 22, para o cálculo da uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação localizada, permite a obtenção de resultados bastante confiáveis. Porém, ela requer a medição da vazão de todos os emissores do sistema, demandado muito tempo e muita mão-de-obra. Um outro método proposto por Keller e Karmeli (1975) recomenda a medição de vazões em quatro pontos ao longo da linha lateral, ou seja, no primeiro emissor, no emissor situado a  $1/3$  do comprimento, no emissor situado a  $2/3$  do comprimento e no último emissor. Neste mesmo método, as linhas laterais selecionadas para a determinação das vazões, ao longo da linha de derivação, devem ser a primeira linha lateral, a linha lateral situada a  $1/3$  do comprimento, a situada a  $2/3$  do comprimento e a última linha lateral. Devido ao pequeno número de pontos determinados em cada linha lateral, principalmente em se tratando de linhas laterais de maior comprimento, DENÍCULI et al. (1980) sugerem a coleta de dados em oito emissores por linha lateral, determinando-se a vazão do primeiro emissor da linha lateral, dos situados a  $1/7$ ,  $2/7$ ,  $3/7$ ,  $4/7$ ,  $5/7$ ,  $6/7$  do comprimento da linha lateral e do último emissor da linha, mantendo-se o mesmo critério proposto por Keller e Karmeli (1975) para a seleção das linhas laterais a serem avaliadas.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_i^n |Q_i - Q|}{n \cdot Q} \right) \quad \text{eq. 22}$$

em que

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

$Q_i$  – vazão coletada em cada emissor,  $L \cdot h^{-1}$ ;

$Q$  – média das vazões coletadas em todos os emissores,  $L \cdot h^{-1}$ ; e

$n$  – número de emissores avaliados.

Em geral, quando se aplica uma lâmina de irrigação ( $L_A$ ) para satisfazer as necessidades hídricas requeridas pela cultura ( $L_R$ ), parte da água se perde por evaporação direta e arrastamento pelo vento, sendo que a maior parte chega ao solo ( $L_L$ ).

A Figura 8 apresenta um diagrama típico de distribuição da água na irrigação por aspersão e ilustra o que ocorre, quando se aplica uma lâmina de irrigação ( $L_A$ ) para satisfazer as necessidades hídricas requeridas pela cultura ( $L_R$ ). A lâmina aplicada ( $L_A$ ) não é uniforme. Enquanto numa fração da área  $L_A$  excede a  $L_R$ , perdendo-se por percolação profunda ( $L_P$ ), em outra fração a lâmina aplicada é inferior à requerida, produzindo um déficit ( $L_D$ ). Como resultado da falta de uniformidade na aplicação da água, somente uma parte da lâmina total aplicada fica armazenada na zona radicular ( $L_M$ ).

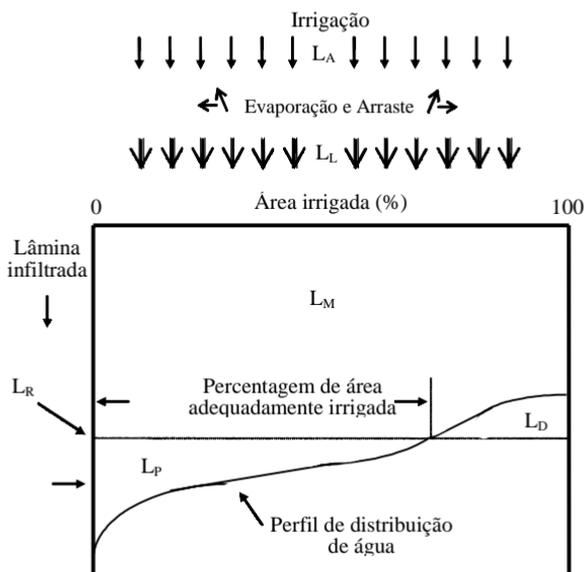


Figura 8 – Diagrama típico de distribuição de água na irrigação por aspersão.

### 8.3. Perdas por evaporação e arraste

As perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento são influenciadas pelos elementos climáticos, como velocidade do vento, umidade relativa, temperatura do ar e radiação solar. Além dos elementos climáticos, existem outros fatores que afetam estas perdas, como a distância percorrida pela gota, a intensidade de aplicação de água do sistema e a distribuição e o tamanho das gotas, que são função do diâmetro do bocal e da pressão de serviço do aspersor.

A evaporação da água no ar e o arrastamento da água pelo vento são perdas que influenciam diretamente a eficiência de aplicação. Muitos pesquisadores quantificaram as perdas por evaporação e arraste. Clark e Finkely, citados por Edling (1985), estimaram perdas por evaporação e arraste médias que excederam a 15%, sob condições de velocidade média do vento maior que  $6 \text{ m.s}^{-1}$ , e perdas menores que 10% para condições de velocidade média do vento menor que  $4 \text{ m.s}^{-1}$ . Ali e Barefoot (1981) mediram perdas

por evaporação e arraste pelo vento, variando de zero a 48%, sob diferentes combinações de condições de operação. Estas perdas variaram de 20 a 47%, zero a 20%, 29 a 48%, e de 13 a 45%, para condições de vento fraco e umidade relativa do ar baixa, vento fraco e umidade relativa do ar alta, vento forte e umidade relativa do ar baixa e vento forte e umidade relativa do ar alta, respectivamente.

Paz (1990), em estudo realizado em condições de campo no Nordeste brasileiro para avaliar as perdas de água de um aspersor de média pressão, observou que as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento variaram de 16 a 43% do volume total de água aplicada, com valores de umidade relativa média variando entre 24 e 68%, velocidade do vento variando entre 0,5 e 4,6 m.s<sup>-1</sup> e temperatura média do ar oscilando entre 25 e 35°C.

## 9. PARÂMETROS DE DESEMPENHO DA IRRIGAÇÃO

Através da avaliação da uniformidade de distribuição de água no solo por um sistema de irrigação, podem-se determinar todos os parâmetros de avaliação de desempenho envolvidos no manejo da irrigação.

A eficiência de aplicação de água ( $E_a$ ) é determinada pela equação 23.

$$E_a = 100 (L_{arm} / L_{apl}) \quad \text{eq. 23}$$

em que

- $E_a$  - eficiência de aplicação de água, %;
- $L_{arm}$  - lâmina média armazenada, mm; e
- $L_{apl}$  - lâmina aplicada, mm.

A lâmina média armazenada é determinada com base no perfil de distribuição de água obtido por meio da avaliação da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação.

A eficiência potencial de aplicação de água ( $E_{Pa}$ ) é calculada, segundo a equação apresentada por Bernardo (1996).

$$EPA_{Bernardo} = 100 (Lcol Lapl^{-1}) \quad \text{eq. 24}$$

em que

$EPA_{Bernardo}$  - eficiência potencial de aplicação de água, %; e  
 $Lcol$  - lâmina média coletada, mm.

A eficiência potencial de aplicação de água é a estimativa da porcentagem total de água aplicada na irrigação que atinge a superfície do solo ou as plantas. Quando não existirem perdas por percolação, a eficiência potencial de aplicação (EPA) é igual à eficiência de aplicação (Ea). Ela reflete a perda de água por evaporação direta e arrastamento pelo vento no trajeto das gotas d'água até o solo ou as plantas.

A determinação da eficiência potencial de aplicação diretamente no campo, por meio dos valores das perdas por evaporação direta e arraste pelo vento, durante a realização dos testes de uniformidade, fornece um valor momentâneo para as condições em que o teste foi realizado. O método descrito por Keller e Bliesner (1990), apresentado nas equações 25 e 26, permite estimar a EPA para as condições médias do dia da avaliação, representando, assim, um valor mais abrangente das condições gerais.

$$EPA_{Keller} = 0,976 + 0,005ETo - 0,00017ETo^2 + 0,0012Vv - CI (0,00043ETo + 0,00018Vv + 0,000016ETo Vv) \quad \text{eq. 25}$$

$$CI = 0,032 p^{1,3} Db^{-1} \quad \text{eq. 26}$$

em que

$ETo$  - evapotranspiração de referência, mm.d<sup>-1</sup>;  
 $Vv$  - velocidade média do vento, km.h<sup>-1</sup>;  
 $CI$  - coeficiente adimensional que caracteriza o potencial de evaporação e arraste;  
 $Db$  - diâmetro do bocal do emissor, mm; e  
 $p$  - Pressão de serviço do emissor, KPa.

Para os valores de CI, tem-se:  
 se  $CI < 7$ , considerar  $CI = 7$ ;  
 se  $7 \leq CI \leq 17$ , substituir o valor diretamente na equação 15; e  
 se  $CI > 17$ , considerar  $CI = 17$ .

A eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada (EDad) é calculada para a aplicação de uma lâmina de irrigação que possibilite atingir uma percentagem de área adequadamente irrigada (Pad) pré-estabelecida. Para a mangueira, deve-se adotar um valor de 90% para área adequadamente irrigada, por se tratar de uma cultura de alto valor econômico e sistema radicular bem desenvolvido, sendo os valores da EDad obtidos por meio do método apresentado por Keller e Bliesner (1990), descrito na equação 27.

$$EDad = 100 + (606 - 24,9Pad + 0,349Pad^2 - 0,00186Pad^3) \cdot (1 - CUC \cdot 100^{-1}) \quad \text{eq. 27}$$

em que

EDad - eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada, %;  
 Pad - percentagem de área adequadamente irrigada desejada, %; e  
 CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %.

A eficiência de irrigação (Eipad), para uma dada área adequadamente irrigada, utilizada na determinação da lâmina de irrigação a ser aplicada para suprir as necessidades hídricas de uma cultura, é calculada pela equação 28, a partir dos valores da eficiência de distribuição para área adequadamente irrigada (EDad) e da eficiência potencial de aplicação (Epa), obtidos pelos métodos apresentados por Keller e Bliesner (1990).

$$Eipad = EDad \cdot Epa_{Keller} \cdot Ec \quad \text{eq. 28}$$

em que

Eipad - eficiência de irrigação para área adequadamente irrigada, decimal;

EDad - eficiência de distribuição para uma percentagem de área adequadamente irrigada, decimal;

EPa<sub>Keller</sub> - percentagem efetiva de água que alcança a superfície do solo, ou, eficiência potencial de aplicação, decimal; e

Ec - eficiência de condução, decimal.

A eficiência de condução (Ec) reflete as perdas de água por vazamento, sendo função das condições de manutenção do sistema de irrigação. Em condições de boa manutenção, elas são menores que 1%. Entretanto, em sistemas com manutenção inadequada, esse valor pode chegar a 10%, ou seja, a eficiência de condução da água será somente de 90%. Essas perdas ocorrem, principalmente, nos acoplamentos das tubulações.

O coeficiente de déficit (Cd) é expresso pela razão entre a lâmina de água deficitária e a lâmina de água requerida pela cultura, denominada de lâmina de irrigação real necessária, conforme apresentado na equação 29.

$$Cd = 100 (Ldef / IRN^{-1}) \quad \text{eq. 29}$$

em que

Cd - coeficiente de déficit, %;

Ldef - lâmina de déficit, mm; e

IRN - lâmina de irrigação real necessária, mm.

A lâmina de água deficitária é determinada através da diferença entre a lâmina de irrigação real necessária e a lâmina média armazenada (equação 30).

$$Ldef = IRN - Larm \quad \text{eq. 30}$$

A perda por percolação (Pp) é a parte da água aplicada que se movimenta para a região abaixo da zona radicular, podendo ser expressa pela razão entre a lâmina percolada e a lâmina média coletada (equação 31).

$$Pp = 100 (L_{per} / L_{col}^1) \quad \text{eq. 31}$$

em que

Pp - perda por percolação, %; e  
Lper - lâmina percolada, mm.

A lâmina percolada é determinada através da diferença entre a lâmina média coletada e a lâmina média armazenada, conforme apresentado na equação 32.

$$L_{per} = L_{col} - L_{arm} \quad \text{eq. 32}$$

## **10. O MODELO IRRIGA PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO**

Para a determinação da necessidade hídrica em tempo real com o objetivo de se realizar um correto manejo da irrigação, é necessário considerar vários fatores que interferem no processo. Para facilitar a decisão de quando e quanto irrigar, é desejável que se utilizem sistemas computacionais associados a estações agrometeorológicas, sendo mais adotado o uso de planilhas eletrônicas, que são de difícil configuração em especial quando são necessárias alterações nos parâmetros utilizados ou softwares especificamente desenvolvidos para esta finalidade.

Para manejo de irrigação também são utilizados outros métodos que integram os fatores envolvidos no processo, como os tensiômetros e o tanque classe "A". Entretanto, eles apresentam alguns problemas operacionais, além de não poderem ser utilizados para outras finalidades, como o planejamento de diversas atividades através de simulações e a previsão de ocorrência de doenças.

Para que a implantação de um projeto de irrigação atinja seus objetivos, é necessário, além de um projeto adequadamente dimensionado, o ma-

nejo eficiente da irrigação e dos diversos fatores a ela relacionados, como: nutricionais, fitopatológicos, edáficos, climáticos e fitotécnicos. O conceito de manejo eficiente da irrigação é complexo e, no seu sentido mais amplo, relaciona tanto o aspecto do manejo da água como também o manejo do equipamento, com o objetivo de adequar a quantidade de água a ser aplicada e o momento certo desta aplicação. O manejo adequado da irrigação não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, tendo, por um lado o compromisso com a produtividade da cultura explorada e por outro, o uso eficiente da água, promovendo a conservação do meio ambiente.

A agricultura irrigada representa o maior consumidor de água dentre os diversos usuários, chegando em muitos países, a totalizar 80% do consumo. No Brasil, estima-se que metade da água consumida ocorra na agricultura irrigada. Estes números indicam que qualquer política e/ou trabalho relacionado ao manejo dos recursos hídricos devem considerar a irrigação como um componente fundamental.

Dentro deste contexto e considerando a necessidade de uma utilização mais eficiente da água, desenvolveu-se o *Irriga*, um sistema informatizado voltado para o monitoramento de áreas irrigadas, visando dar sustentabilidade à irrigação em áreas agrícolas, possibilitando um uso mais eficiente dos recursos hídricos e racionalizando o uso da água em lavouras irrigadas.

O *Irriga*, cuja tela principal está apresentada na Figura 9, é um sistema de apoio à decisão na área da agricultura irrigada, com módulos que permitem o manejo do sistema de irrigação (*Avalia*) e da água (*Manejo e Decisão*) e simulações de cenários como ferramenta de planejamento agrícola (*Simula*).



Figura 9 - Tela principal do *software Irriga*.

Desenvolvido no âmbito do Grupo de Estudos e Soluções para Agricultura Irrigada (GESAI) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, coordenado pelo Prof. Everardo Chartuni Mantovani, o *Irriga* está inserido dentro de uma política de parceria e de solução para o grave problema associado à falta de manejo da irrigação em condições de campo. Incorpora uma visão técnica sem perder de vista a operacionalidade necessária no dia-a-dia.

O programa é parte de uma filosofia de trabalho que vem sendo desenvolvida nos últimos 10 anos, envolvendo uma solução efetiva para qualquer sistema de irrigação pressurizado, cultura, tamanho de área, região, solo, clima, topografia e outras fontes de variação, consistindo num agrupamento de ferramentas para o gerenciamento da irrigação. Desde que foi criado, o *Irriga* é atualizado anualmente. Em 2003, porém, ele ganhou uma nova versão com novo *design* e implementação de melhorias.

A seguir, são apresentadas algumas características dos módulos do *Irriga*.

### **a) Decisão**

Indica por parcela a severidade do déficit de água no solo, a lâmina e o tempo de irrigação em cada uma das parcelas do campo por meio de uma escala de cores (azul, amarelo e vermelho). É de fácil acesso para ser utilizado no dia-a-dia pelo pessoal de campo ou escritório.

### **b) Manejo**

Indica o déficit, momento, lâmina de irrigação e cerca de outras 50 variáveis, por meio de gráficos e relatórios padronizados ou personalizados. É mais indicado para técnicos visando analisar cada parcela de forma detalhada.

### **c) Simula**

Ferramenta de planejamento usada para a definição da lâmina de projeto, déficit hídrico, veranico, horas de irrigação, consumo de energia e uma infinidade de variáveis na forma de gráficos e relatórios. Dispõe de dados climáticos diários de mais de 500 estações meteorológicas de todo o Brasil, permitindo utilização de critérios de probabilidade de forma muito simples.

### **c) Avalia**

Permite avaliação dos diversos sistemas de irrigação, possibilitando os cálculos de eficiência de irrigação por diversas metodologias.

O *Irriga* já foi implantado em escala de produção em diversas localidades brasileiras, com diferentes culturas e características edafoclimáticas, em pequenas e grandes propriedades e diferentes sistemas de irrigação pressurizados, sendo, portanto, ajustável às mais diversas necessidades de uso.

Maiores informações sobre o software e outros produtos e serviços prestados pelo GESAI podem ser obtidos no site [www.irriga.com.br](http://www.irriga.com.br) ou pelo e-mail [irriga@irriga.com.br](mailto:irriga@irriga.com.br).

No programa, antes de utilizar o sistema de manejo e a simulação de irrigação, o usuário deve fornecer informações básicas sobre o sistema de produção (solo, clima, água, cultura e sistema de irrigação). Com a base de dados climáticos abrangendo todo o território nacional, quando o usuário

identifica a localidade onde está o cultivo, o sistema identifica as estações meteorológicas mais próximas, para que o usuário selecione uma ou mais estações, visando futuras simulações que auxiliarão no processo de planejamento agrícola.

O *Irriga* utiliza o monitoramento do clima para o cálculo das necessidades hídricas da cultura, o que permite a definição do tempo de irrigação. Tal método foi selecionado pela praticidade e operacionalidade. Para correção de possíveis desvios ou erros nesta estimativa o sistema permite ao usuário a entrada de dados de umidade do solo.

Diante do exposto, pode-se verificar a importância de um bom programa de manejo da irrigação. Com um sistema bem manejado, pode-se reduzir o número de irrigações e economizar água e energia, de acordo com as diferentes necessidades hídricas de cada fase da cultura a manejar.

O manejo da irrigação, utilizando o *software Irriga*, possibilita o uso racional da água, indicando as necessidades hídricas das culturas e minimizando a percolação de água além da camada de solo explorada pelo sistema radicular, entre outros recursos disponíveis para suporte à decisão em cultivos sob irrigação.

## **11. FERTIRRIGAÇÃO**

A irrigação teve avanço considerável nas últimas décadas, tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos quanto ao incremento de novas áreas irrigadas. Dentre as vantagens da irrigação, está aquela que possibilita utilizar este próprio sistema como meio condutor e distribuidor de produtos químicos, como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas, reguladores de crescimento, simultaneamente com a água de irrigação, prática conhecida como quimigação.

A fertirrigação é o mais eficiente meio de fertilização e combina os dois principais fatores essenciais no crescimento e desenvolvimento das plantas: água e nutrientes. É definida como sendo a aplicação dos fertilizantes via água de irrigação. Sua introdução agrega vantagens como melhoria da eficiência e uniformidade de aplicação de adubo, desde que o sistema de irrigação também tenha boa uniformidade; possibilidade de redução na dosagem de nutrientes com a aplicação dos nutrientes no momento e na quantidade exatos requeridos pelas plantas; maior aproveitamento do equipa-

mento de irrigação; menor compactação e redução dos danos físicos às plantas com a redução do tráfego de máquinas dentro da área; redução de contaminação do meio ambiente devido ao melhor aproveitamento dos nutrientes móveis no solo quando aplicados via irrigação localizada e diminuição da utilização de mão-de-obra, dentre outras. Esta técnica, quando utilizada racionalmente, pode proporcionar melhor desenvolvimento das plantas e qualidade dos frutos, proporcionando aumento na competitividade do fruticultor.

Inserida no contexto da agricultura sustentável, a fertirrigação é o sistema mais racional de aplicação de fertilizantes. A possibilidade de distribuir os nutrientes em cada fase do desenvolvimento fenológico permite sincronizar o suporte nutricional no solo com a exportação realizada pela planta. Na fertirrigação, tanto a irrigação quanto a fertilização afetam o comportamento do vegetal, podendo os ajustes em um dos fatores determinar limites impostos pelo outro. Para se obter o desempenho vegetativo e reprodutivo ideal nas plantas via fertirrigação, todos os fatores que contribuem para o incremento da irrigação-fertilização devem ser balanceados, de modo que nenhum deles imponha limite significativo.

Em contrapartida, há limitações ao emprego da fertirrigação, como a necessidade de conhecimentos técnicos dos adubos e cálculos das dosagens; treinamento de pessoal para manuseio dos adubos e injetores; danos ambientais com procedimentos inadequados; corrosão dos equipamentos de irrigação; toxidez ao agricultor, toxidade e queima das folhas das plantas; custo inicial elevado do sistema de irrigação e aumento das perdas de carga no sistema de irrigação.

Alguns fatores devem ser considerados para se ter uma fertirrigação adequada, como seleção adequada dos adubos e o seu parcelamento, a nutrição e a classificação das plantas, o tipo de solo, a qualidade da água, o tipo de injetor, a sua posição e a taxa de injeção, o tempo, a quantidade e a uniformidade de aplicação dos produtos na água de irrigação. Deve ser observada a relação custo/benefício em função da adoção desta técnica.

## *11.1. Levantamento de informações para planejamento da fertirrigação*

### *11.1.1. Dados gerais da propriedade e da cultura*

Para o início do planejamento da fertirrigação, é fundamental a aquisição de todos os detalhes que possam ser fornecidos pelo proprietário ou pelo gerente agrícola da propriedade, como localização, área, identificação das culturas, localização das fontes de água e dados históricos de cultivos anteriores. Essas informações são de extrema importância para o engenheiro agrícola ou agrônomo delinearem a execução do projeto.

Para uma adequada programação da fertirrigação, são necessárias informações técnicas como variedade utilizada, profundidade média do sistema radicular na condição de cultivo, data de plantio, espaçamento e densidade de plantio, duração total do ciclo produtivo, duração média das fases da cultura e períodos de maior exigência nutricional, porcentagem de área sombreada por fase de desenvolvimento da cultura, época ou data da colheita, taxa de absorção de macro e micronutrientes e potencial de produtividade, todas importantes para o planejamento da fertirrigação.

### *11.1.2. Características químicas e físicas do solo*

O conhecimento das condições químicas e físicas do solo, atuais e anteriores, orientam o engenheiro responsável sobre a evolução da estruturação do solo e sobre a sua fertilidade. Com esta informação, é possível utilizar a fertirrigação para corrigir ou manter as condições atuais do solo, oferecendo ao cultivo ambiente mais propício ao desenvolvimento.

O processo de fertirrigação é complexo, por envolver aspectos físicos, químicos e, principalmente, biológicos (Carrizo et al., 1999). Portanto, é necessário o entendimento dos componentes que envolvem o processo para o aproveitamento de todos os benefícios da prática da fertirrigação.

Entre as análises requeridas para o solo destaca-se a de fertilidade do solo, sendo os fatores mais considerados, o pH, a condutividade elétrica, os teores de cálcio e magnésio trocáveis, a matéria orgânica e a CTC total.

Deve, também, ser feita a análise textural do solo, com a determinação dos teores de argila, areia e silte. A determinação da curva de retenção de água no solo e a densidade determinam a capacidade de armazenamento de água no solo, importante para fins de projeto e manejo.

### *11.1.3. Características químicas e biológicas da água de irrigação*

A avaliação da qualidade da água a ser utilizada na irrigação das culturas é indispensável e de primordial importância, sobretudo quando se trata de projetos de irrigação ou exploração das áreas em regiões áridas e semi-áridas, visto que, na falta de informações relevantes para a qualidade da água e o manejo adequado, essas áreas podem se tornar improdutivas devido à salinização e sodificação, causando enormes prejuízos socioeconômicos (Gheyi et al., 1995).

A qualidade da água influencia o processo de fertirrigação. A solubilidade dos fertilizantes altera-se em função de variações de pH, e alguns nutrientes podem até se precipitar quando combinados aos sais naturalmente presentes na água, exigindo controle da lâmina de irrigação e da concentração de nutrientes na calda de fertirrigação (Nielsen et al., 1995).

A amostragem da água para fins de irrigação deve ser representativa observando-se alguns detalhes: se a fonte foi um poço, a amostra deve ser coletada depois da bomba e 30 minutos após seu funcionamento; no caso de lagos, rios ou reservatórios, as amostras deverão ser coletadas em local próximo da sucção e abaixo da lâmina d'água. A qualidade das fontes de água está sujeita à variação sazonal. Portanto, deve ser analisada periodicamente, ao menos duas vezes no ano.

### *11.1.4. Sistema de irrigação*

A implantação e manutenção corretas dos sistemas de irrigação são condições básicas para o adequado fornecimento de fertilizantes via água de irrigação, aliados ao dimensionamento adequado e à uniformidade de aplicação de água. A desuniformidade no fornecimento de água resulta em enormes variações na quantidade aplicada de fertilizantes, colocando a uniformidade de aplicação de fertilizantes como dependente direta da correta e uniforme aplicação de água.

Atualmente, a fertirrigação é mais freqüentemente utilizada nos sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão. A fertirrigação localizada é a que melhor distribui os adubos, contemplando maior número de raízes absorventes sob a copa.

### *11.2. Equipamentos utilizados para fertirrigação*

Para a correta utilização da fertirrigação, são necessários alguns equipamentos e acessórios que variam de acordo com o sistema de irrigação utilizado. Para a escolha dos equipamentos, devem ser considerados o volume a ser aplicado, a capacidade, a precisão ou fidelidade de funcionamento, a forma de operação e a mobilidade do equipamento e a diluição dos fertilizantes.

Os tanques de soluções fertilizantes podem ser de diversos materiais, considerando-se sua característica não corrosiva. O tamanho e o formato são função da estratégia agrônômica da produção, do tamanho do pomar, da capacidade de injeção e da solubilidade do adubo utilizado. Pela Equação 33, determina-se a capacidade do tanque de fertilizantes.

$$V_t = \frac{Q_p \cdot q_i \cdot P}{C_a \cdot Q} \quad \text{eq. 33}$$

em que

$V_t$  - capacidade do tanque,  $m^3$ ;

$Q_p$  - quantidade de produto a ser colocado no tanque, g;

$q_i$  - taxa de injeção do produto,  $m^3 \cdot h^{-1}$ ;

$P$  - percentagem do nutriente no adubo, %;

$C_a$  - concentração desejada da solução na tubulação de irrigação,  $g \cdot cm^{-3}$ ; e

$Q$  - vazão do sistema de irrigação,  $m^3 \cdot h^{-1}$ .

Os principais tipos de injetores de fertilizantes são os tanques pressurizados, o injetor Venturi, os dosificadores hidráulicos e as bombas de injeção direta.

### **a) Tanque pressurizado**

Tanques pressurizados são tanques metálicos com tampas herméticas que são conectados a dois pontos da tubulação principal do sistema de irrigação. Para haver injeção da solução fertilizante que está dentro do tanque, é necessário que haja um diferencial de pressão entre o ponto de entrada da água do sistema no tanque e o de saída da solução. A solução é incorporada na tubulação de descarga do sistema de irrigação através da segunda tubulação que sai do reservatório. Um registro de fechamento lento é instalado entre os pontos de entrada e saída das duas tubulações citadas, justamente para criar o diferencial de pressão que permite o funcionamento do tanque pressurizado, que faz com que a água seja desviada em maior ou menor volume para o interior do tanque. A tubulação de entrada conduz a água limpa para o tanque que contém a solução a ser aplicada e, após a diluição, ela passa a ser conduzida pela tubulação de saída e introduzida na tubulação principal do sistema de irrigação. São baratos, de fácil operação, porém com baixa uniformidade de aplicação do produto.

### **b) Injetor Venturi**

Os injetores Venturi são peças plásticas ou metálicas, ocas, em forma de “T”, que possuem uma seção convergente gradual, seguida de um estrangulamento com grande constrição interna no diâmetro, e de uma seção divergente gradual com o mesmo diâmetro da tubulação, ao qual está conectado, instalado em “by-pass”, com a tubulação principal (Figura 10). Seu princípio de funcionamento é baseado na pressão negativa causada pela mudança brusca de velocidade do fluxo de água ao atravessar a constrição, com a conseqüente sucção do fertilizante contido num reservatório aberto e incorporação na água de irrigação que passa pelo injetor. Seu custo é baixo; possui grande capacidade de injeção para pressões e vazões bem definidas; tem possibilidade de controle da taxa, usando-se apenas um registro; pode ser usado para outros tipos de produtos na quimigação, e é de fácil manutenção, podendo sofrer variação na taxa de injeção do produto. As perdas de carga podem alcançar de 20 a 30% da pressão de serviço, sendo mais acentuadas quando instalados em série na tubulação do sistema de irrigação (Pinto, 2001).

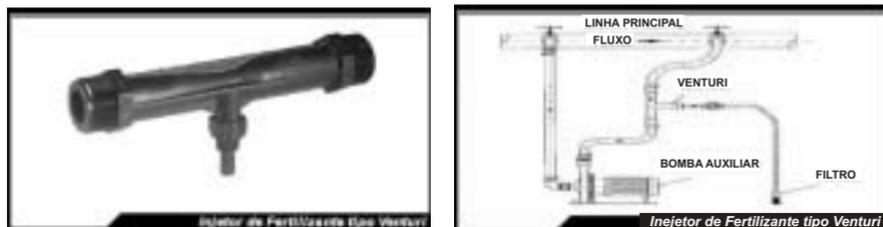


Figura 10 – Injetor tipo Venturi e esquema de montagem.

### c) Dosificador hidráulico

Dosificadores hidráulicos são sistemas complexos de material plástico ou de aço inox, tendo como principal vantagem o uso da energia hidráulica para seu acionamento (Figura 11). Seu princípio de funcionamento é semelhante ao do carneiro hidráulico, ou seja, a pressão da rede aciona o movimento do eixo vertical que comprime um diafragma de borracha, para que ocorra a injeção do fertilizante. São mais precisos, têm alto preço e capacidade de injeção limitada.

### d) Bomba de injeção direta

As bombas de injeção direta são outra possibilidade para uso em fertirrigação (Figura 12). Têm boa precisão, podem ser de pistão ou diafragma, necessitando de fonte auxiliar de energia para seu funcionamento. As de diafragma são confeccionadas com materiais resistentes à pressão. As de pistão podem ter um ou mais pistões acoplados em blocos metálicos que se movimentam impulsionados por meio de sistemas tipo bielas ou acoplados em roldanas. No início de cada ciclo, há a abertura de uma válvula de aspiração que deixa passar para o interior da câmara um volume da solução proveniente de um reservatório. Quando o pistão executa o movimento em sentido contrário, a válvula de aspiração se fecha e a válvula propulsora se abre. O aumento da pressão no interior do cilindro provoca a abertura da válvula de descarga, que deixa passar o volume de solução anteriormente aspirado, e daí, esta solução passa a ser injetada na tubulação de irrigação. Estas bombas podem ter capacidade de injeção ilimitada dependendo do seu tamanho. O custo é elevado e varia em função da taxa de

injeção relacionada ao tamanho da bomba, podendo inviabilizar seu uso para pequenas áreas. Requerem materiais anticorrosivos e manutenção periódica.

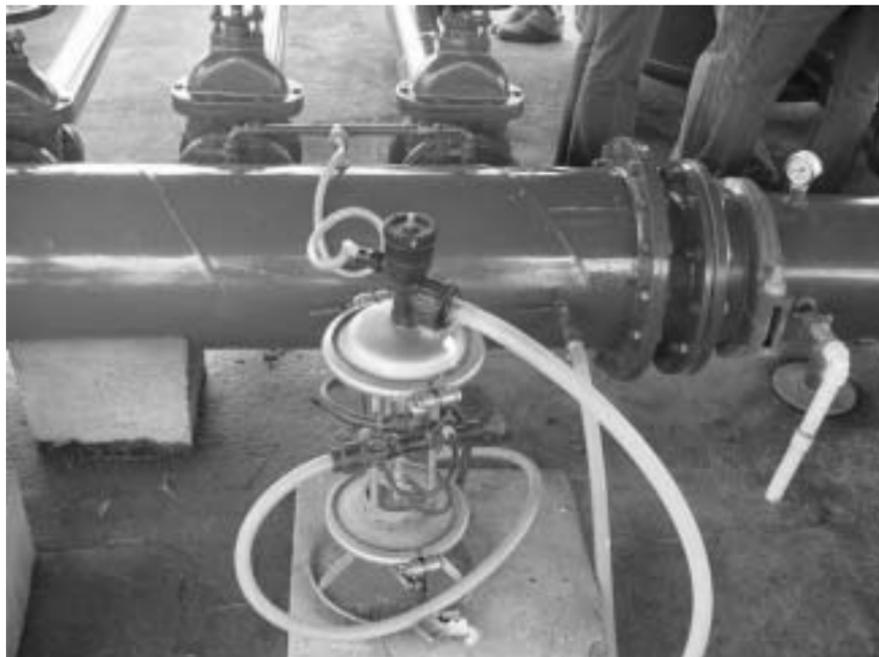


Figura 11 – Injetor de fertilizante com acionamento hidráulico para fertirrigação.



Figura 12 - Sistema de injeção de fertilizante com bomba de injeção direta e pá misturadora de acionamento elétrico (Foto: Fazenda FAHMA – L29M/C2 – Projeto Jaíba).

Para o correto manejo da fertirrigação, alguns acessórios como filtros e válvulas são necessários. É recomendado que o injetor de fertilizantes seja instalado no sentido do fluxo de água, após o filtro de areia e antes dos filtros de discos ou tela. Também se pode fazer uso de misturadores da solução fertilizante, de medidores de vazão, de válvulas de abertura e fechamento automáticas, de manômetros e de sensores de pH e condutividade elétrica.

### *11.3. Principais fertilizantes utilizados em fertirrigação*

#### *11.3.1. Características desejáveis*

Existem diferentes fontes de fertilizantes e cada produto deve ser escolhido em função do sistema de irrigação, da cultura, do tipo de solo, da solubilidade do produto e do seu custo.

Os fertilizantes a serem utilizados em fertirrigação podem ser líquidos, comercializados em forma de solução pronta para aplicação, ou sólidos, que devem ser dissolvidos antes da aplicação e apresentar alta solubilidade, para evitar entupimentos nos emissores e diferenças na concentração aplicada. A pureza do fertilizante pode interferir na solubilidade em água, pois esta é calculada a partir de produtos puros e os valores tabelados devem ser aplicados apenas a fertilizantes com alto grau de pureza. No Quadro 6, são listados os principais fertilizantes utilizados na fertirrigação e suas características.

Quadro 6 - Principais fertilizantes utilizados na fertirrigação e suas características.

Fertilizantes	N (%)	P (%)	K (%)	Outros nutrientes (%)	Solubilidade (g.L <sup>-1</sup> a 20° C)	Índice parcial de salinidade (%)	Índice de acidez/basicidade
Nitrato de amônio	34	-	-	28% CaO	1180	2,99	110
Nitrato de cálcio	14	-	-	7% CaO 3% MgO	1020	4,41	-20
Nitrocálcio	27	-	-	59% SO <sub>3</sub>	1000	-	26
Sulfato de amônio	20	-	-	-	710	3,25	110
Uréia	45	-	-	-	780	1,62	71
Nitrato de potássio	13	-	44	-	320	1,30	-115
Nitrato de sódio	16	-	-	-	73	5,34	-
Ácido fosfórico	-	54	-	-	46	-	110
MAP	9	48	-	-	380	0,53	60
DAP	16	45	-	-	700	0,56	88
KCl branco	-	60	--	40% Cl	340	1,94	0
Sulfato de potássio	-	-	48	16% S	110	0,96	0
Sulfato duplo K e S	-	-	22	18% MgO 22% S	290	-	-
Ácido bórico	-	-	-	18% B	63	-	-
Sulfato de zinco	-	-	-	22% Zn	965	-	-

Fonte: Antunes et al., 2001.

Segundo Pinto (2001), os fertilizantes ricos em nitrogênio, potássio e micronutrientes são, na sua maioria, solúveis em água e não apresentam problemas de uso. Já os fosforados são mais problemáticos para serem utilizados em fertirrigação. Embora existam alguns fertilizantes fosforados solúveis, como o fosfato de amônio, alguns apresentam perigo de serem utilizados em águas com elevado teor de cálcio, pois pode ocorrer precipitação como fosfato de cálcio, que é insolúvel, levando a obstruções nas tubulações e emissores.

Produtos contendo cálcio devem ser evitados para evitar precipitação, devendo-se restringir aos solos muito ácidos e com alto teor de sódio. A fonte de cálcio mais recomendada é o nitrato de cálcio, adubo mais solúvel em água. Como alternativa, pode-se usar o cloreto de cálcio. Alguns fertilizantes com concentração de cálcio superior a 6 meq.L<sup>-1</sup> podem se precipi-

tar no sistema de irrigação, assim como as concentrações de bicarbonatos acima de 5 meq.L<sup>-1</sup>.

A alteração do pH da água pela solução fertilizante pode causar precipitado, sendo aconselhável manter esse pH entre 5,0 e 6,0, utilizando-se um peagâmetro para aferição. A aplicação de amônia anidra não é recomendada, devido à possibilidade de aumento dos níveis de pH da água de irrigação. Quando o pH for maior que 7,5, o Ca e o Mg podem se acumular nos filtros, nas tubulações e nos emissores, contribuindo para sua obstrução, principalmente quando o valor de saturação do carbonato de cálcio for maior que 0,5 e a concentração da solução for maior que 30 meq.L<sup>-1</sup>.

Um dos problemas causados pela adoção da fertirrigação é a corrosão dos equipamentos do sistema de irrigação, sendo necessária a utilização de componentes plásticos ou inoxidáveis e cuidados na aplicação de ácidos.

O parcelamento dos produtos na água da fertirrigação deverá ser maior nas regiões de chuva intensa e solos arenosos, para evitar perda do adubo pela lixiviação, trazendo maior eficiência e segurança na fertirrigação.

Por serem utilizados produtos tóxicos na fertirrigação, cuidados especiais devem ser tomados para evitar a contaminação do meio ambiente. Caso haja uma parada imprevista no sistema de irrigação, a solução contida nos tubos pode retornar e parar na fonte de água, principalmente nos sistemas com injetores Venturi ou quando a sucção da solução for feita pela própria tubulação de irrigação, casos em que se trabalha com pressão negativa nos sistema de injeção. Dispositivos de segurança são imprescindíveis para evitar estes riscos, como registros e válvulas de controle.

A possibilidade de automação, além de minimizar as perdas dos produtos e reduzir a mão-de-obra, evita o risco de contaminação do operador do sistema e melhora sua eficácia. Existem sistemas computadorizados que permitem que os produtos sejam aplicados separadamente de acordo com a necessidade das culturas.

### *11.3.2. Compatibilidade entre fertilizantes utilizados em fertirrigação*

A compatibilidade entre os adubos deve ser considerada visto que alguns íons são incompatíveis entre si, como pode ser observado no Quadro 7.

**Quadro 7 – Grau de compatibilidade entre alguns fertilizantes – Incompatível (I), com Solubilidade Reduzida (S) e Compatível (C).**

	U	NA	SA	NC	NP	CP	SP	SF	QF	SM	AF	AS	AN	MAP
Uréia – U														
Nitrato de amônio – NA	C													
Sulfato de amônio – AS	C	C												
Nitrato de cálcio – NC	C	C	I											
Nitrato de potássio – NP	C	C	C	C										
Cloreto de potássio – CP	C	C	C	C	C									
Sulfato de potássio – SP	C	C	S	I	C	S								
Sulfato Fe, Zn, Cu, Mn – SF	C	C	C	I	C	C	S							
Quelato Fé,Zn,Cu, Mn – QF	C	C	C	S	C	C	C	C						
Sulfato de magnésio – SM	C	C	C	I	C	C	S	C	C					
Ácido fosfórico – AF	C	C	C	C	C	C	C	I	S	C				
Ácido sulfúrico – AS	C	C	C	I	C	C	S	C	C	C	C			
Ácido nítrico – NA	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	C		
MAP	C	C	C	I	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

Fonte: Antunes et al., 2001.

Utilizando-se misturas de compatibilidade desconhecida, deve-se proceder ao “teste da jarra”, misturando os fertilizantes em um recipiente de vidro, na proporção a ser utilizada e aguardar duas horas. O ânion sulfato é incompatível com o cálcio e os fosfatos com o cálcio e o magnésio. Caso ocorra a formação de precipitados, há possibilidade de ocorrer entupimentos nos sistema de filtragem e nos emissores, como é o caso da aplicação de cálcio na água rica em bicarbonatos, que formam precipitados de gesso.

A injeção do cloreto de potássio aumenta a salinidade da água de irrigação e pode causar problemas de intoxicação nas culturas. A mistura de sulfato de amônia reduz significativamente a solubilidade do fertilizante no tanque.

#### 11.4. Manejo eficiente da fertirrigação

A nutrição mineral pode afetar bastante o desenvolvimento da planta, sua produtividade e a qualidade de seus frutos. A aplicação eficiente de fertilizantes via água de irrigação deve seguir as recomendações de período de aplicação, frequência, doses e fontes, assegurando, desta maneira, uma adequada disponibilidade de água e nutrientes na zona radicular da planta.

A irrigação localizada tem uma influência marcante na fruticultura, por proporcionar uma elevada concentração das raízes num volume de solo relativamente inferior ao reservado para a planta, em comparação com os resultados obtidos para irrigação por aspersão ou sulco. Esse aspecto determina uma alta frequência de irrigação, bem como a aplicação localizada e parcelada de fertilizantes ao longo do ciclo fenológico da cultura, o que proporciona maior eficiência de aproveitamento de fertilizantes, em comparação com os resultados conseguidos com a adubação convencional.

Os procedimentos adequados à aplicação de fertilizantes via água de irrigação compreendem três etapas distintas. Durante a primeira etapa, deve-se pôr a funcionar o sistema de irrigação, para equilibrar, hidraulicamente, as subunidades, com cerca de  $\frac{1}{4}$  do tempo total programado para a irrigação. Na segunda etapa, faz-se a injeção dos fertilizantes no sistema de irrigação por um período que corresponda a dois quartos do tempo total de irrigação. Na terceira etapa, o sistema de irrigação deverá continuar funcionando, para completar o tempo total de irrigação, lavar completamente o sistema de irrigação e carrear os fertilizantes da superfície para camadas profundas do solo.

Algumas recomendações importantes sugeridas por Gonzaga Netto (2001), para a preparação e injeção dos fertilizantes, são apresentadas a seguir:

- ✓ usar 75 % da solubilidade recomendada pelo fabricante;
- ✓ conhecer o volume do tanque de solubilização dos fertilizantes;
- ✓ observar os graus de compatibilidade dos fertilizantes, para reduzir a possibilidade de formação de precipitados;
- ✓ quantificar os fertilizantes a serem injetados de acordo com o planejamento da fertirrigação por unidade de rega;

- ✓ adicionar água ao tanque de dissolução, colocar o fertilizante e iniciar o processo de agitação com pá motorizada ou rodo;
- ✓ desmanchar os torrões de fertilizantes remanescentes e prosseguir com a agitação;
- ✓ seguir as recomendações de cada fertilizante quanto ao tempo de agitação e repouso da solução;
- ✓ transferir a solução para o tanque de sucção, realizando uma pré-filtragem com uma peneira de malha fina, sem agitar a solução;
- ✓ iniciar a injeção, provocando um gradiente de pressão de acordo com a vazão de injeção requerida;
- ✓ não agitar a solução durante a injeção, para evitar que impurezas ou resíduos de fertilizantes sejam injetados;
- ✓ para uréia ou sulfato de amônio, recomendam-se 20 minutos de agitação e 10 minutos de repouso no tanque de dissolução;
- ✓ para o cloreto de potássio, recomendam-se 20 minutos de agitação, quebrar os torrões, reiniciar o processo de agitação por mais 20 a 30 minutos, enquanto se procede a retirada da espuma gelatinosa sobrenadante;
- ✓ para o MAP, recomendam-se 20 minutos de agitação, quebrar os torrões, reiniciar a agitação por mais 40 minutos e deixar em repouso, no mínimo, por seis horas. O ideal é preparar a solução um dia antes da aplicação;
- ✓ para o nitrato de cálcio, devem-se seguir os mesmos procedimentos recomendados para o MAP, além de retirar o gel sobrenadante; e
- ✓ para os demais fertilizantes, à exceção dos líquidos, as maneiras de preparação das respectivas soluções deverão enquadrar-se num dos procedimentos descritos acima, com alguns ajustes.

## 12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, S. M. A. e BAREFOOT, A. D. **Low trajectory sprinkler patterns and evaporation loss.** (Paper, 81-2085) St. Joseph: ASAE, 1981, 24p.

ALJIBURY, F. K., MARSH, A. W. e HUNTAMER, J. Water use with drip irrigation. **En 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings:** p.341-345. California, USA, 1974.

ANTUNES, R.C.B. e BUENO, A.C. In: ZAMBOLIM, L. Manejo Integrado de Doenças e Pragas: Produção Integrada Fruteiras Tropicais. 5º encontro sobre Manejo Integrado de Doenças e Pragas de fruteiras tropicais, Viçosa, MG, 2003, p.381-456.

AZEVEDO, J.A. de, SILVA, E.M. da, RESENDE, M. e GUERRA, A.F. **Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o Cerrado.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1983, 52p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 16).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 6.ed. Viçosa:UFV, 1996. 657 p.

CASTRO NETO, M.T., COELHO, E.F. e CUNHA, da G.A.P. **Tratos culturais.** In: Manga. Produção: aspectos técnicos. Embrapa Mandioca e Fruticultura (Cruz das Almas, BA), p.31-34, 2000.

CEMIG. Estudo de Otimização Energética. Belo Horizonte, 1993. 22p.

CHOUDHURY, E.N. e SOARES, J.M. Comportamento do sistema radicular de fruteiras irrigadas. I. Mangueira em solo arenoso sob irrigação por aspersão sob-copa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 12., 1993, Porto Alegre, RS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v.14, n.3, p.169-176, 1992.

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

COELHO, E.F., BORGES, A.L., SOUZA, V.F., OLIVEIRA, A.S. de e NETTO, A. de O.A. **Irrigação e fertirrigação da mangueira.** Cruz das Almas-BA: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2000. Circular Técnica, 39. 26p.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO PARNAÍBA E SÃO FRANCISCO (CODEVASF). **Fruticultura**. Disponível em: [www.codevasf.org.br](http://www.codevasf.org.br). Acessado em setembro de 2004.

DENÍCULI, W., BERNARDO, S., THIÁBAUT, J. T. L. e SEDIYAMA, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Ceres**, v.27, n.50, p.155-162, 1980.

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

DOORENBOS, J. e PRUITT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194p. (FAO. Riego e Drenaje, 24).

EDLING, R. J. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.5, p. 1543-1550, 1985.

FERERES, E. Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado. **Ponencia en IV Seminario Latinoamericano de Microirrigación**. Barquisimeto, Venezuela, 1981. (En prensa).

GONZAGA NETO, L. Goiaba – Produção: Aspectos Técnicos. Embrapa – Semi-Árido (Petrolina, PE) – Brasília: Embrapa – Informação Tecnológica, 2001, 72p.

HERNANDEZ. A. J. M.; RODRIGO LOPEZ, J.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, F. El riego por goteo. Madrid, 1987. 317 p.

HOARE, E. R., GARZOLI, K. V. e BLACKWELL, J. Plant water requirements as related to trickle irrigation. **En 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings**: p.323-328. California, USA, 1974.

KELLER, J. **Trickle irrigation**. En Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978, 129p.

KELLER, J. e BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. Van Nostrand Reinold, New York, 1990. 652p.

KELLER, J. e KARMELI, D. Trickle irrigation design. Rain bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133p.

MANTOVANI, E. C. A Irrigação do Cafeeiro. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, Araguari-MG, Universidade Federal de Viçosa – **Resumos Expandidos (Boletim Técnico n.4)**. Viçosa, MG. 2001 p. 2-23.

MAROUELLI, W.A; SILVA, W. L. de C.; SILVA, H. R. da. Manejo de irrigação em hortaliças. EMBRAPA – SPI, Brasília – DF, 1994, p. 60.

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

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Sistema de informações – Fruticultura irrigada**. Disponível em: [www.integração.gov.br](http://www.integração.gov.br). Acessado em setembro de 2004.

NEILSEN, G. H.; HOYT, P. B.; NEILSEN, D. Soil chemical changes associated with NP-fertigated and drip irrigated high-density apple orchards. Canadian Journal of Soil Science, n.75, p.307-310, 1995.

PAZ, V. P. S. Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por aspersão. Viçosa, MG: UFV, 1990. 59p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.

PINTO, J. M. Fertirrigação em fruticultura irrigada – p.14-23. In: Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM. n.49, ABID,2001, 82p.,

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. 2.ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990, 471p.

RUGGIERO, C.; et al. Maracujá para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília: EMBRAPA, (Publicação técnica da FRUPEX, 19). 1996. 64 p.

SAN JUAN, J. A. M. Riego por gotejo. Teoria y practica. 3. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1988. 256 p.

SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n° 139, p.54-62, 1986.

SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração: necessidade de água para as plantas cultivadas. In: **Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior**. Curso de Engenharia e Manejo de Irrigação, módulo 2. Brasília, DF : ABEAS; Viçosa, MG : UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, 1996. 173p.

SILVA, D.A.M. da, VIEIRA, V.J. de S., MELO, J.J. de L., ROSA JÚNIOR, C.D.R.M. e FILHO, A.V. da S. Mangueira cultivado sob condição irrigada. Recife, 1994. 42p. (Agricultura, 9).

SILVA E.M., da; PINTO, A.C. de Q. e AZEVEDO, J.A. de. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 77p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 61).

SIMÃO, A. H. Influência da percentagem de área molhada no desenvolvimento da cultura da bananeira irrigada por microaspersão. Viçosa – M. G., 2002 80p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, 2002.

SIMÃO, F.R.; MANTOVANI, E.C.; SIMÃO, A.H.; NASCIMENTO, C.C.C.; BRAZ, V.B.; ZINATO, C.E. Comparação da Evapotranspiração de Referência obtida pelo tanque “Classe A” e pela Equação de Penman-Monteith nas condições da região norte de Minas Gerais In: XIII Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem: Sumário XIII CONIRD Juazeiro-BA, 2003, 9p.

SMITH, M., SEGEREN, A., PEREIRA, L. S., PERRIER, A. e ALLEN, R. **Report on the expert consultation on procedures for revision of FAO guideline for prediction of crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45p.

SOARES, J.M. e COSTA, F.F. da. **Irrigação**. In: Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-árido brasileiro. EMBRAPA-CPATSA, Petrolina, p.43-79. 1995.

TAPIA, V.L.M. e VEJA, A. Adelanto de la cosecha de mango Haden mediante manejo de agua en el Valle de Apatzingán. **Terra**, v12, p.304-310, 1994.

VERMEIREN, L. e JOBLING, G. A. **Localized irrigation**. Rome: FAO, 1980. 203p. (Irrigation and Drainage Paper, 36).