

**AGROMETEOROLOGIA COMO SUPORTE AO MANEJO
DE RECURSOS HÍDRICOS E PRESERVAÇÃO DE
MANANCIAIS**

MÉTODOS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

**CENTRO DE ECOFISIOLOGIA E BIOFÍSICA
INSTITUTO AGRONÔMICO**

Contrato FUNDAG – FEHIDRO

CBH-PCJ-107/99

Apoio – PRONAF

NOVEMBRO - 1999

MÉTODOS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

**Regina C. de M. Pires¹, Emílio Sakai¹, Flávio B. Arruda¹, Mamor Fujiwara¹,
Rinaldo de O. Calheiros¹**

1. INTRODUÇÃO

A história da irrigação se confunde com a do desenvolvimento e prosperidade das civilizações. Essa técnica de produção de alimentos já era utilizada a mais de 4.000 anos e hoje, aproximadamente 17% da agricultura praticada no globo é irrigada, no entanto, essa pequena parcela contribui com 40% do total produzido.

A água é o fator limitante para o desenvolvimento agrícola, sendo que sua falta ou excesso afetam fundamentalmente o desenvolvimento, a sanidade e a produção das plantas. Conforme relatado por Caruso (1998) a água doce própria para consumo humano e produção de alimentos não passa de 1% do total de água líquida encontrada no globo terrestre (97% é água salgada e 2% gelo). Atualmente a atividade agrícola utiliza mais de 70% do volume de água doce consumida no mundo, dessa forma, observa-se a grande necessidade do uso racional da água para produção de alimentos diante de uma população mundial crescente.

A irrigação é uma prática agrícola que visa principalmente atender as necessidades hídricas das culturas no momento adequado. Por ser uma prática cara, além da aplicação de água, a irrigação deve ser utilizada em todo seu potencial, como para a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas, prevenção de geadas e controle de temperatura. Baseada na viabilidade técnica e econômica pode-se dispor de um ou outro método de aplicação de água à planta.

O adequado manejo das irrigações tem por objetivo maximizar a produção agrícola racionalizando o uso de mão-de-obra, energia e água, evitando a ocorrência de problemas fitossanitários relacionados à aplicações excessivas ou deficientes de água e o desperdício de fertilizantes.

¹ Pesquisadores Científicos – Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo

As irrigações podem ser manejadas com lâminas constantes ou não, combinadas com intervalos fixos ou não. A adoção de um critério está associada ao nível de tecnificação da propriedade, instrumentação disponível, cultura, condições edafoclimáticas do local, custo e disponibilidade de água, sistema de irrigação utilizado e a rentabilidade da cultura. Como a lâmina de irrigação representa a capacidade de armazenamento de água no solo para uma dada situação em particular de solo e cultura, a utilização de lâminas variáveis pode não ser a melhor opção, principalmente para culturas sensíveis ao estresse hídrico, pois a planta fica submetida a diferentes níveis de estresse hídrico. A opção de lâminas constantes e intervalos fixos, não consideram a variação de demanda de água pela atmosfera, podendo ser opção em regiões onde o clima é uma constante e não em regiões que dias de elevada evaporação são sucedidos ou precedidos por dias nublados ou chuvosos. No manejo das irrigações utilizando intervalos variáveis e lâminas constantes, a disponibilidade de água no solo após a irrigação pode variar ou não, pois o intervalo de tempo em que se aplica água pode não permitir que seja atingida a capacidade de armazenamento de água no solo. Nesses casos, Pires & Arruda (1995) sugerem o acréscimo de lâmina adicional à inicialmente projetada quando se optar pela reposição da água de uma lâmina previamente estipulada. Essa lâmina adicional torna-se mais importante quanto menor a lâmina de irrigação. Para que não ocorra variação na disponibilidade de água no solo após as irrigações, estas devem ser realizadas com lâminas e intervalos variáveis. As lâminas variáveis devem representar a lâmina de irrigação mais o ajuste para o valor da evapotranspiração da cultura no período, uma vez que esta não é previsível e nem assume valores exatos na natureza.

2. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

2.1. Generalidades

A irrigação pode ser realizada por diferentes métodos: aspersão, localizada, superfície e subterrânea. Com relação à escolha do método de irrigação, não

existe um melhor que o outro, e sim o que mais se adapta a cada situação em particular. Existem vantagens e limitações no emprego de cada um deles.

Para escolha do método adequado de irrigação, alguns aspectos devem ser considerados, como a disponibilidade e qualidade da água, energia e mão-de-obra despendida, a topografia e o tipo de solo, o custo de implantação, o clima e a cultura.

Até o início dos anos 80, no Brasil irrigava-se aproximadamente 1 milhão de hectares, sendo o método superficial por inundação o que ocupava a maior parte dessas áreas. A partir daí, com o incentivo do Programa Nacional de Irrigação (PRONI), houve um grande impulso na irrigação pressurizada, alcançando no ano agrícola 86/87 uma área irrigada de 2,3 milhões de hectares. Tomando esse ano agrícola como referência, a área irrigada correspondia a somente 4% do total cultivado, porém, com alta produtividade, representando 16% de todo alimento produzido, de alto valor comercial, gerando renda de 25% do total. Atualmente, a área irrigada situa-se em torno de 2,7 a 3 milhões de ha, correspondendo a 4,9 a 5% da área cultivada, e responsável pela produção de 18 a 20% da produção.

2.2. Irrigação por aspersão

A água é aplicada ao solo na forma de chuva artificial, através do fracionamento do jato de água em gotas. Esse fracionamento é obtido pela passagem do fluxo de água sob pressão pelos bocais dos aspersores. Vários fatores alteram as características de aplicação de água dos aspersores: o tipo, a pressão de serviço, o diâmetro, o número e o ângulo de inclinação dos bocais. Para cada combinação entre pressão de serviço e diâmetro do bocal, obtêm-se diferentes vazões e diâmetros molhados. A escolha do aspersor é baseada na lâmina de água fornecida, a qual é função da pressão de serviço, diâmetro do bocal e espaçamento entre eles. Aspersores, trabalhando em pressões acima da especificação, acarretam pulverização excessiva da água, produzindo gotas de tamanho (< 1 mm) com excesso de precipitação próximo ao aspersor e perda no alcance do jato. Por outro lado, quando a pressão está abaixo dos limites recomendados ocorrerá maior precipitação na extremidade da área molhada,

prejudicando a uniformidade de aplicação e produzindo gotas de tamanho maior (4 mm).

Em relação à pressão de serviço, os aspersores podem ser classificados em aspersores de baixa, média e alta pressão. As características destes aspersores são descritas por Gomes (1994). Os de baixa pressão trabalham com pressões inferiores a 20 mca, e as vazões não superam 1 m³/h, e normalmente são empregados em espaçamentos inferiores a 15 m. Os aspersores de média pressão trabalham a pressões que variam de 20 a 40 mca, e a vazão aplicada situa-se na faixa de 1 a 6 m³/h, em espaçamento de 12 a 36 m. Já os aspersores de alta pressão trabalham com pressões superiores a 40 mca (podendo chegar até 100 mca), com vazões acima de 6 m³/h (até 120 m³/h como os canhões hidráulicos), com alcance maior que 30 m.

A aspersão é um método que não exige sistematização do terreno, é de fácil instalação em culturas já estabelecidas, podendo ser utilizada em diferentes tipos de solo. Permite aplicação de fertilizantes e defensivos, e um bom controle de lâmina de irrigação e da salinidade do solo, eleva a umidade do ar e possibilitam irrigações noturnas, proteção contra geadas ou altas temperaturas. Além disso, é eficiente, de rápida instalação e fácil operação, e não causa erosão desde que a taxa de aplicação de água do aspersor esteja de acordo com a capacidade de infiltração da água no solo.

Como desvantagens, os sistemas de irrigação por aspersão têm custo inicial relativamente elevado comparado à irrigação por superfície; a distribuição da água é afetada pelo vento, facilita a disseminação de patógenos e, dependendo do tamanho da gota, pode causar problemas de compactação do solo ao longo do tempo. As irrigações devem ser programadas para não promover lavagem de defensivos e exige mão-de-obra qualificada.

2.3. Irrigação localizada

Na irrigação localizada, a água é aplicada ao solo diretamente na região das raízes, molhando apenas parte do volume do solo, com baixa vazão e pressão, permitindo alta frequência de irrigação e conseqüentemente, mantendo o

solo com umidade elevada (próxima à capacidade de campo). Dentre as modalidades de irrigação localizada, o gotejamento e a microaspersão são os mais utilizados. Existem ainda outros sistemas de menor expressão como gotejamento, tubos perfurados ou porosos, jato pulsante e cápsulas porosas.

O gotejamento foi originalmente desenvolvido para a aplicação de água em cultivos em casa de vegetação e em plantas que se encontravam relativamente distantes umas das outras, como no caso de pomares e parreiras. A água é aplicada pontualmente em gotas através dos gotejadores que possuem orifícios de diâmetro muito reduzido, diretamente sobre a zona radicular da planta. Os gotejadores trabalham a baixas pressões, em torno de 10 mca, com vazões de 2 a 20 l/h.

Na microaspersão, a água é aspergida pelos microaspersores, em círculos de 1 a 3 m de raio, podendo atingir até 5 m. Trabalha com pressões um pouco maiores que o gotejamento, de 10 a 20 mca, e fornecem vazões de 20 a 120 l/h. Sendo os orifícios de saída dos microaspersores um pouco maiores que os dos gotejadores, o sistema de filtragem pode ser mais simples. A microaspersão proporciona visualização do funcionamento do equipamento. Quando se utiliza a microaspersão, a distribuição de umidade lateralmente ao emissor é maior quando comparada ao gotejamento, o que permite melhor ajuste da área úmida à área do sistema radicular. Para solos de textura arenosa, a microaspersão proporciona área molhada bem maior quando comparada ao bulbo molhado formado pelo gotejador.

Devido às características de aplicação de água, as irrigações no gotejamento podem caracterizar-se por intervalo entre irrigações menor que na microaspersão, em função da evapotranspiração, armazenamento de água no solo, sistema radicular e presença ou não de lençol freático.

A forma e o tamanho do bulbo úmido formado pelo gotejador dependem das características do solo, da vazão do gotejador e do tempo de aplicação. O tamanho e a forma do bulbo molhado são parâmetros importantes para projetos e manejo de sistemas de irrigação localizada. Considerando-se um gotejador com a mesma vazão, em solos argilosos o bulbo molhado tende a ser mais raso e largo;

já em solos arenosos ocorre o inverso: o movimento vertical da água predomina e o bulbo fica mais alongado; em solos de textura média, o formato do bulbo é intermediário.

A vazão do gotejador também influencia o formato do bulbo molhado. O aumento da vazão favorece o movimento horizontal da água, sem acréscimo na profundidade atingida. Já para uma mesma vazão do gotejador, quanto maior o tempo de irrigação, mais alongada se torna a forma do bulbo.

Alguns autores consideram que o valor mínimo da área molhada pelos emissores em relação ao espaçamento da cultura deve ser de 33%, em condições onde a irrigação é prática essencial; e de 20% para condições de irrigação suplementar. Outros consideram como ideal, uma faixa que varia de 33 a 50% para o primeiro caso e de 80% da área sob a projeção da copa quando em caráter de suplementar. Convém salientar que a área molhada pelo bulbo corresponde a uma área maior do que a visualizada na superfície do solo. A área molhada pelo emissor deve ser medida um dia após o teste de campo e na faixa de 10 a 20 cm de profundidade, onde normalmente situa-se o maior diâmetro molhado.

A irrigação localizada tem como vantagens: alta eficiência de aplicação, redução nas perdas por escoamento superficial e percolação profunda, economia de água, energia e mão-de-obra, além de permitir automatização, fertirrigação e de não interferir nos tratos fitossanitários.

As principais desvantagens do método são a sensibilidade ao entupimento, o alto custo de implantação, não permitir o controle eficaz do microclima e o fato de poder condicionar limitações ao sistema radicular em regiões áridas. Em regiões com problema de salinidade, ocorre o acúmulo gradual de sais na extremidade do bulbo molhado, necessitando de lavagem periódica do solo.

2.4. Irrigação por superfície

Na irrigação por superfície, a água é aplicada diretamente sobre a superfície do solo. Este método de irrigação predomina nas principais regiões irrigadas do mundo. Dentre as modalidades de aplicação superficial, destacam-se a irrigação por sulcos, por inundação, em faixas e em taças.

Para viabilização deste sistema de irrigação, é fundamental grande disponibilidade de água, terreno plano e solos com baixa capacidade de infiltração. A baixa taxa de infiltração dos solos é um parâmetro desejável para a utilização deste método, caso contrário ter-se-á uma grande rede de sulcos curtos, que dificultam ou até inviabilizam o manejo e a operação do sistema de irrigação no campo, além de reduzir drasticamente a eficiência de aplicação de água no sistema. Uma das razões da pouca utilização deste sistema no Estado de São Paulo é devido às características dos solos, pois os sulcos teriam comprimento reduzido e dificultariam sua operacionalização.

A irrigação por superfície é de baixo custo inicial, de fácil operação após a implantação, não é afetado pelo vento, com baixo consumo de energia, não interferindo no controle fitossanitário.

A uniformidade de aplicação do sistema é baixa, quando comparada com os métodos de irrigação pressurizados; a demanda de água é alta quanto a topografia do terreno; não se adapta bem a solos permeáveis e algumas vezes necessita de sistematização da área e controle das perdas por perlocação profunda.

2.5. Irrigação subterrânea

Na irrigação subterrânea, a água é aplicada diretamente sob a superfície do solo. Esta aplicação é realizada pela manutenção e controle do lençol freático a uma profundidade favorável ao desenvolvimento da cultura, ou pela aplicação de água através de tubos ou manilhas perfuradas ou porosas. A irrigação subterrânea pode ser opção viável em áreas de várzeas, e em solos com horizonte subsuperficial impermeável, com presença de lençol freático.

Atualmente, nos países onde a agricultura é desenvolvida ou realizada com alta tecnologia, uma técnica moderna associando o método subterrâneo com o localizado, como o gotejamento e a enxudação por tubos porosos, está em franca expansão devido a enormes vantagens oferecidas. Dentre essas vantagens, destaca-se a aplicação exata e uniforme de água e nutrientes diretamente na zona radicular, principalmente de fósforo e potássio; diminuição de perdas de água e

nutrientes pelo fracionamento das irrigações; facilidade de adaptar as concentrações dos nutrientes de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura e das condições climatológicas; possibilita que a superfície do solo (3 a 5 cm) permaneça seco diminuindo a incidência de plantas invasoras e de pragas e doenças.

Por outro lado, essa tecnologia de irrigação traz algumas desvantagens ou cuidados que se devem ser tomados pelo irrigante, como, a falta da visualização do caminhamento da água para a cultura; a susceptibilidade ao entupimento dos emissores pelas raízes se não perfeitamente manejado; danos pelo ataque de roedores e passagem de implementos agrícolas às tubulações e emissores; descarga e lavagem da tubulação após as irrigações para evitar a precipitação de materiais em suspensão e quando semeado com baixa umidade pode ocorrer problemas na germinação de sementes.

2.6. Cuidados no planejamento de sistemas de irrigação

O dimensionamento correto dos equipamentos é fundamental, pois afetam diretamente a capacidade de aplicação de água no sistema, bem como sua uniformidade de distribuição. Para elaboração de projetos é necessário levantamento topográfico, estudo da disponibilidade e qualidade da água, determinações de parâmetros de solo e planta e, estimativa do consumo de água. Com relação à estimativa de água, certos cuidados devem ser tomados, uma vez que a falta de dados mais elaborados de evapotranspiração leva à utilização de valores médios mensais, índices de valor reduzido para projetos de irrigação em condições de clima subtropical, podendo subestimar as necessidades de irrigação, por incluir em seu cálculo, as baixas evaporações dos dias chuvosos e nublados.

Após a instalação e periodicamente com o tempo de uso do equipamento, é importante a avaliação da uniformidade de distribuição da água no campo a fim de que seja evitada a desuniformidade na qualidade e produção.

3. EFICIÊNCIA DE IRRIGAÇÃO

Conforme o método de irrigação a lâmina de irrigação e a uniformidade de distribuição pelo sistema de irrigação devem ser avaliadas. Por exemplo, para o sistema convencional de aspersão, distribuem-se coletores formando uma malha quadriculada entre dois ou quatro aspersores para avaliação da uniformidade de aplicação de água do sistema. A distância entre coletores nesse caso varia de acordo com o espaçamento dos aspersores e, de um modo geral se utiliza em torno de 100 coletores em cada ponto de avaliação.

A eficiência de irrigação pode ser aproximada aos coeficientes utilizados para avaliação da uniformidade de aplicação.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) é o mais importante deles e é dado por:

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - m|}{n \cdot m}\right) \quad (1)$$

onde CUC é em porcentagem ou decimal, n é o número de observações, m é a média das precipitações e $|x_i - m|$ é o desvio absoluto de cada observação.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (UD) é dos mais fáceis de aplicar e valoriza os menores valores:

$$UD = \frac{m_{25}}{m} \quad (2)$$

onde: m_{25} é a média dos 25% menores valores de precipitação.

O coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) é de mais ampla compreensão:

$$CUE = 100 - \%CV \quad (3)$$

onde %CV é o coeficiente de variação das observações dos pluviômetros.

Discussão detalhada sobre o assunto é apresentada nos livros básicos de irrigação: Bernardo (1992), Jensen (1980), Israelsen & Hansen (1962).

A eficiência de irrigação (Ei) pode ser então aproximada por $0,95 \cdot CUC$, admitindo-se uma perda de 5% por evaporação durante a irrigação por aspersão. As perdas por evaporação durante as irrigações são pequenas, para as condições tropicais e subtropicais. Observação deve ser feita quanto a não consideração da

água livre na superfície da folha como perda por evaporação: energia utilizada nessa evaporação seria consumida na transpiração da água de dentro das folhas.

Em geral, os valores adotados em projetos de irrigação no Estado de São Paulo são os seguintes:

Sistema de Irrigação	E_i
Inundação	30 – 50%
Sulcos de infiltração	40 – 60%
Aspersão convencional	75 – 85%
Auto-propelido	75 – 80%
Pivot-central	80 – 90%
Localizada	80 – 95%

Considerando a eficiência de irrigação, a lâmina bruta de irrigação será:

$$h_b = \frac{h_i}{E_i} \quad (4)$$

onde h_b é a lâmina bruta de irrigação (mm), h_i a lâmina de irrigação segundo as equações 1 e 2 (mm) e E_i a eficiência de irrigação.

4. MANEJO DAS IRRIGAÇÕES

O manejo da irrigação consiste na determinação do momento, da quantidade e de como aplicar a água, dentro de um conceito amplo, levando em consideração outros aspectos do sistema produtivo como a adubação (fertirrigação), o controle fitossanitário (quimigação), os aspectos climatológicos e econômicos, o manejo e as estratégias de condução da cultura.

O manejo ou monitoramento da irrigação pode ser realizado via planta, solo, clima, ou pela associação destes. O manejo das irrigações também pode ser diferenciado nos estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com a maior ou menor sensibilidade ao estresse hídrico e seu efeito na produção.

4.1. Manejo da água via planta

Considerando a planta como referencial para as irrigações, existem alguns métodos indicativos do estado hídrico das plantas que podem ser utilizados, tais como: potencial hídrico das folhas, resistência estomática, temperatura do dossel vegetativo, determinação do grau de turgescência das folhas, entre outros. Tais métodos são promissores, porém complexos, tem sido utilizados para fins de pesquisa, tem em geral custo elevado e necessita de automação e cuidados especiais para utilização em grande escala. Devido às dificuldades envolvidas no manejo via planta, comumente o manejo da água é feito via solo, clima ou a associação de ambos.

4.2. Manejo de água via solo

Para o manejo das irrigações via solo existem vários métodos e instrumentos que podem ser utilizados, dentre eles: gravimétrico, sonda de nêutrons, TDR, blocos de gesso, tensiômetros, entre outros.

O tensiômetro tem sido utilizado em varias culturas e locais com obtenção de bons resultados no manejo das irrigações e é um equipamento simples e econômico. No manejo das irrigações o tensiômetro é um aparelho útil que permite o monitoramento do potencial matricial da água no solo até o limite de -0,1 MPa. Na prática o intervalo do uso dos tensiômetros situa-se entre o zero (saturação) até aproximadamente -0,08 MPa. Esse equipamento permite determinar o momento da irrigação (quando irrigar) e de forma indireta o controlar e aferir a lâmina de irrigação (quanto irrigar), identificando irrigações excessivas ou deficientes, com conseqüente adequação da aplicação de água.

Para determinação do momento das irrigações os tensiômetros devem ser instalados à metade da profundidade do sistema radicular. Desta forma, as irrigações devem ser realizadas sempre que o aparelho atingir o valor potencial de água no solo crítico para a cultura de interesse (Tabela 1). Porém para controle da frente de molhamento e adequação da lâmina de irrigação recomenda-se instalar também tensiômetros no limite da profundidade efetiva das raízes. Após a realização de algumas irrigações, a leitura diária dos tensiômetros, auxilia no ajuste da lâmina de irrigação. Se após a realização das irrigações (1 dia) observar-

se que os tensiômetros registram leituras próximas de zero, pode-se diminuir um pouco (de 10 a 20%) o tempo de irrigação utilizado, e prosseguir as notações diárias das leituras para verificar se existe necessidade ou não de outro ajuste. Por outro lado, caso se observe que as leituras não se enquadram nos níveis adequados (valores próximos da capacidade de campo), deve se aumentar o tempo de irrigação, e prosseguir com as observações. Desta forma, ao longo do tempo consegue-se ajustar as lâminas de irrigação.

Na instalação de tensiômetros ou qualquer outro instrumento de medição ou estimativa da umidade do solo deve-se escolher cuidadosamente o local de implantação junto às plantas. Em culturas perenes nunca instalar junto ao tronco, mas na região de projeção da copa, ou melhor, onde se concentrarem as raízes mais ativas do sistema radicular. Já em culturas anuais os aparelhos devem ser implantados a cerca de 10 a 20 cm ao lado das plantas. A uniformidade de distribuição (UD) de água do sistema de irrigação influi na necessidade do número de sensores a serem implantados em uma área irrigada. Em sistemas com distribuição uniforme o número de sensores pode ser menor quando comparado a sistemas menos eficientes. De qualquer forma, deve ser utilizada mais de uma estação tensiométrica para o manejo da água e estas deverão ser implantadas em locais que recebam a lâmina média de água aplicada pelo equipamento. O local de instalação deve ter fácil acesso e ser representativo do solo e do desenvolvimento da cultura da área irrigada. Depois de instalados os equipamentos evitar o pisoteio excessivo ao redor dos mesmos. Em cada estação tensiométrica deverão ser instalados de 2 a 3 sensores. Como sugestão podem ser instaladas 2, 3 e 4 estações em áreas irrigadas de 8, 32 e 64 ha, respectivamente.

Com relação ao método de irrigação, no gotejamento os sensores de umidade não devem ser instalados junto ao emissor. Podem ser instalados a aproximadamente 20 a 30 cm de distância, dependendo do tamanho do bulbo molhado e especialmente os instrumentos menos profundos.

O uso de sensores de umidade do solo tem a desvantagem de refletir uma medida pontual e requerer cuidados na instalação e no seu manuseio.

Tabela 1- Potencial de água no solo crítico para obtenção de altas produções em algumas culturas econômicas.

Cultura	Potencial de água no solo (bar)	Referências bibliográficas
Alface	0,2	Howel & Hanson (1976)
Alho	0,4 – 0,5	Silva et al. (1981)
Arroz	0	Giudice et al. (1974)
Banana	0,3 – 1,5	Taylor (1965)
Batata	0,3 – 0,7	Doorenbos & Kassam (1979)
Cana-de-açúcar (2)	0,8 – 1,5	Doorenbos & Kassam (1979)
Cebola	0,1	Abreu et al. (1980)
Cenoura	0,24	Klar et al. (1975)
Citros	0,3 – 0,6	Doorenbos & Kassam (1979)
Coco	0,2 – 0,6	Nogueira et al. (1998)
Ervilha	0,6	Mello (1992)
Feijão (2)	0,6	Doorenbos & Kassam (1979)
Fruteiras	0,6 – 1,0	Doorenbos & Kassam (1979)
Fumo	0,3 – 0,8	Taylor (1965)
Gramma	0,4 – 0,6	Taylor (1965)
Laranja	0,2 – 1,0	Taylor (1965)
Melão	0,3 – 0,8	Doorenbos & Kassam (1979)
Milho (2)	0,5 – 1,0	Taylor (1965)
Morango	0,1 – 0,35	Pires (1998)
Ornamentais (flores)	0,1 – 0,5	Doorenbos & Kassam (1979)
Pepino	1,0	Doorenbos & Kassam (1979)
Repolho	0,6 – 1,0	Doorenbos & Kassam (1979)
Soja	0,5 – 1,5	Doorenbos & Kassam (1979)
Sorgo (2)	0,6 – 1,3	Doorenbos & Kassam (1979)
Tomate	1,0	Chodhury et al. (1980)
Trigo (1, 2)	0,35 – 0,7	Espinoza et al. (1980)
Uva	0,15 – 0,50	Peacock et al. (1987), Calame (1988)

(1) De 15 dias após a germinação até 30 dias a cultura tolera um estresse de até 0,8 a 1,5 bar para uniformização do perfilhamento.

(2) Valores mais altos que os citados acima podem ser aplicados no período de amadurecimento.

4.3. Manejo das irrigações via clima

O manejo das irrigações via clima pode simplesmente repor a demanda atmosférica do dia ou de dias anteriores desde a última irrigação ou realizar balanço hídrico (BH).

O balanço hídrico considera todos os fluxos de água que entram e saem do volume de solo explorado pelas raízes. A irrigação e a precipitação são as componentes de entrada no BH. Já as perdas por percolação profunda, escoamento superficial e consumo de água pelas plantas (evapotranspiração) são as componentes de saída do BH. As perdas por escoamento superficial ou percolação profunda devem ser eliminadas com o manejo de água adequado. Portanto, para fins de controle do BH restam às irrigações, as precipitações e a evapotranspiração.

As irrigações devem ser quantificadas pela estimativa da lâmina de irrigação, para proporcionar umedecimento uniforme no solo até onde se concentram a maioria das raízes absorventes.

A estimativa da lâmina de irrigação (h_i) delimita o armazenamento de água do solo para uma dada situação e cultura e pode ser calculada pelas seguintes equações:

$$h_i = \frac{U_{cc} - U_{PMP}}{10} d_{g.p.y} \quad (5)$$

ou

$$h_i = \frac{U_{cc} - U_i}{10} . d_{g.p} \quad (6)$$

onde:

h_i : lâmina de irrigação, em mm;

U_{cc} : umidade do solo com base em peso seco na capacidade de campo, em %;

U_{PMP} : umidade do solo com base em peso seco no ponto de murcha permanente, em %;

U_i : umidade do solo com base em peso seco no momento de irrigação, em %;

d_g : densidade global do solo, em g.cm⁻³;

p : profundidade efetiva das raízes, em cm;

y : fator de consumo de água no solo, ou fator de depleção.

A equação 5 é indicada para avaliações generalizadas das necessidades hídricas de projeto, por outro lado, a equação 6 é mais adequada para controle das irrigações. A equação 5 ainda é muito utilizada no manejo de água, mas já vem sendo substituída com vantagens pela equação 6.

A umidade do solo na capacidade de campo (U_{cc}) corresponde à capacidade máxima de retenção da água no solo, ou seja, representa o limite superior de água que um solo pode reter. Embora seja um conceito arbitrário é útil para fins de irrigação. Pode ser determinada por diferentes métodos, de campo, de laboratório e indireto. Para determinação da U_{cc} no campo deve-se proceder a molhamento abundante do solo (irrigação em volume excessivo de água), em área delimitada, deixando desta forma, o solo saturado. Após essa irrigação excessiva cobre-se a área evitando evaporação do solo. Após 24 horas iniciam-se determinações de umidade do solo seqüenciais, até observar-se que a umidade do solo permanece constante. Em geral, isso ocorre cerca de 2 a 3 dias após o molhamento do solo em solos de textura média a arenosa. No método de laboratório relaciona-se a U_{cc} a um potencial de água no solo de -0,010 a -0,030 MPa, obtida através da câmara de pressão de Richards. Utilizando-se -0,010 MPa para solos de textura grosseira e -0,03 MPa para solos de textura fina. O método indireto relaciona a umidade na capacidade de campo ao teor de argila mais silte (Arruda et al., 1987) conforme a seguinte relação:

$$U_{cc} = 3,1 + (0,629.X) - 0,00348 (X)^2 \quad (7)$$

onde:

X: teor de argila mais silte

Sempre que possível, a determinação da capacidade de campo deve ser obtida pelo método de campo e quando este não for viável, pelo método de laboratório seguido pelo método indireto.

A umidade no ponto de murcha permanece (U_{PMP}) equivale a umidade na qual o solo não pode mais suprir água as plantas em quantidade suficiente para manter a turgescência e a planta entra em murcha permanente. Para fins de irrigação, o ponto de murcha permanente (PMP) representa o limite inferior de disponibilidade de água do solo. U_{PMP} pode ser determinada pelo método fisiológico (direto), de laboratório ou indireto. O método fisiológico embora direto e básico é demorado e trabalhoso. O método de laboratório relaciona a U_{PMP} ao potencial de água no solo de -1,5 MPa, determinado por meio da câmara de

pressão de Richards. O método indireto relaciona a U_{PMP} ao teor de argila mais silte (Arruda et al., 1987) conforme a equação a seguir:

$$U_{PMP} = \frac{398,9.X}{(1308,1 + X)} \quad (8)$$

onde:

X: teor de argila mais silte (%)

Com referência a U_{PMP} , deve-se lembrar que o seu valor prático é reduzido. Ele serve como um guia geral do limite inferior de disponibilidade de água para as plantas. Os sintomas de murchamento nas plantas, pois os decréscimos na produção por estresse hídrico ocorrem antes que o potencial de água no solo atinja -1,5 MPa (15 atm) (Salter & Goode, 1967).

A profundidade efetiva das raízes (z) compreende a camada desde a superfície do solo até onde se concentra a maior parte das raízes absorventes ou finas. Esta profundidade é importante não somente para determinação da lâmina de irrigação como também para a instalação de sensores para monitoramento da água do solo no controle das irrigações. A profundidade efetiva do sistema radicular é aquela onde se encontram cerca de 80% do total de raízes finas das culturas. A Tabela 2 apresenta resultados de profundidade efetiva das raízes de algumas culturas.

As condições locais onde se desenvolvem as plantas afetam a distribuição e profundidade de raízes. Seu desenvolvimento depende de muitos fatores relativos ao solo, como a resistência mecânica, a umidade, a aeração e a fertilidade. O desenvolvimento radicular também é afetado pelo método de irrigação, densidade de plantio e pelas características individuais de cada cultivar.

As maiores discrepâncias entre informações de regiões temperadas aplicadas às tropicais são observadas com relação ao sistema radicular das culturas.

Investigação local sobre o desenvolvimento das raízes é de extrema importância. Com um pequeno aumento da profundidade do sistema radicular, permite a alteração da lâmina de irrigação (equações 5 e 6), e possibilitam a redução no número de irrigações (Pires, 1992).

Tabela 2- Profundidade efetiva do sistema radicular de algumas culturas econômicas.

Culturas	Profundidade efetiva, cm	Culturas	Profundidade efetiva, cm
Abacaxi	20	Morango	30
Abacaxi	70	Pêssego	50
Algodão	30	Pepino	30
Arroz	10-25	Pupunha	40-45
Arroz-várzea	15-20	Quiabo	20
Batata	15-20	Rami	20
Café	50	Soja	50
Cana-de-açúcar	70	Tomate	50
Citros	60	Trigo	35
Coco	60	Uva	55
Ervilha	30		
Feijão	25-40	Hortaliças	10-15
Mamão	50	Cereais	20-40
Milho	40	Fruteiras	50

O fator de depleção ou de consumo de água no solo, “y”, representa a porcentagem da água disponível no solo que pode ser consumida antes das irrigações sem que ocorram prejuízos ao desenvolvimento e produção das plantas.

O fator y relaciona-se com a susceptibilidade da cultura ao estresse hídrico e com o tipo de órgão ou parte da planta que se deseja colher o maximizar (Fischer & Hagan, 1965).

De acordo com a cultura, de um modo geral pode-se utilizar os seguintes valores para o fator de consumo de água (y):

Tipo de cultivo	Fator de consumo de água (y)
Hortaliças de folhas	0,25
Hortaliças de raízes e frutos	0,25-0,40
Cereais e pastagens	0,50
Café e citros	0,50-0,60
Pomares	0,50-0,70

Doorenbos e Kassan (1979) separaram as principais culturas em quatro grupos para relacionar os valores de y à taxa evaporativa da atmosfera. No

entanto, esses resultados em alguns casos não estão de acordo com o observado nas condições subtropicais brasileiras. Um reagrupamento das culturas é apresentado na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta a relação do fator de consumo de água (y) para cada grupo de cultura observado na Tabela 3, em função da variação da taxa de evapotranspiração do local.

Tabela 3- Grupos de culturas de acordo com a susceptibilidade ao estresse hídrico. Dados adaptados da FAO (Doorenbos e Kassan, 1979), para as condições do E. São Paulo.

Grupo	Culturas
1	Cebola, arroz, alho, folhosas
2	Feijão, trigo, ervilha
3	Milho, girassol, tomate, batata
4	Algodão, amendoim, sorgo, soja

Tabela 4- Fator de consumo de água (u) para grupos de culturas, em função da evapotranspiração máxima diária (ETm) conforme Doorenbos e Kassan (1979).

Grupo de cultura	ETm (mm/dia)					
	2	3	4	5	6	>7
1	0,500	0,425	0,350	0,300	0,250	0,225
2	0,675	0,575	0,475	0,400	0,350	0,325
3	0,800	0,700	0,600	0,500	0,450	0,425
4	0,875	0,800	0,700	0,600	0,550	0,500

Os valores do fator de consumo de água (y) apresentados, ainda são tentativos e adaptados daqueles da FAO, porém podem ser ponto de partida para estimativa da lâmina de irrigação, para situações em que não existam dados de pesquisa local.

A U_i equivale à umidade do solo no potencial de água crítico para cada cultura em particular. O potencial de água no solo crítico determina o momento da irrigação. O potencial de água crítico indica o valor até o qual as irrigações podem ser realizadas sem que ocorram prejuízos a produtividade. A determinação da umidade do solo é feita diretamente por amostragem do solo ou indiretamente por meio de tensiômetro ou sensores eletrométricos.

Estabelecendo-se o valor crítico do potencial da água no solo no momento de irrigação e conhecendo sua relação com a umidade, a lâmina de irrigação pode ser determinada.

A Tabela 1 apresenta para algumas culturas o potencial de água no solo crítico, na região de maior concentração de raízes para o manejo das irrigações. Portanto, irrigações realizadas até esses valores de potencial evitam redução de produção por estresse hídrico.

Por meio de medições sistemáticas da água disponível e armazenamento da água no solo em condições de campo e em laboratório para diversas regiões, solos e condições topográficas, Brunini et al. (1998) apresentaram valores médios de disponibilidade hídrica até 40 cm de profundidade para alguns solos do Estado de São Paulo.

Tipos de solo	Disponibilidade de água (mm/cm)
Latossolos	0,85-1,05-1,25
Podzolizados – Areias Quartzosas	0,80

Os resultados apresentados foram avaliados nos seguintes tipos de solo: Latossolo Roxo (em topografia plana em Campinas e Ribeirão Preto e em topografia ondulada em Jaboticabal), Terra Roxa Estruturada (em Ribeirão Preto em topografia ondulada), Latossolo Vermelho Fase Arenosa (em Jaboticabal em topografia ondulada) e Podzolizado Lins – Marília (em Pindorama em condições de topografia plana e ondulada).

Esses valores podem ser utilizados inicialmente para os tipos de solo avaliados quando não houver a possibilidade da determinação da lâmina de irrigação conforme as equações 5 e 6. Para a estimativa da lâmina de água são necessários a profundidade do sistema radicular e o fator de depleção de água no solo adequado a cultura em questão.

A estimativa do consumo de água pelas culturas (ETc) é importante tanto na elaboração de projetos como para manejo das irrigações.

A evapotranspiração da cultura (ETc) pode ser medida diretamente por lisímetros. Os lisímetros normalmente são utilizados para fins de pesquisa. Além

de medir a evapotranspiração, também estima valores de coeficiente de cultura (K_c) e desta forma fornece meios para o cálculo da demanda de água. A ET_c pode ser estimada por vários métodos e equações, estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) e do coeficiente de cultura (K_c).

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) existem vários métodos, a escolha depende do clima local, finalidade e material meteorológico existente. Os diferentes métodos podem utilizar uma ou mais variáveis e as estimativas podem ser feitas por meio de equações simples a complexas. Jensen (1973) alerta que para estimativa de necessidade de irrigações freqüentes, o uso de fórmulas mais simples, ou estimativas com base em médias mensais pode resultar em dados imprecisos. Em regiões onde ocorrem precipitações elevadas, o uso de dados mensais de evapotranspiração pode levar ao subdimensionamento do equipamento, por considerar os dias nublados e chuvosos onde a evapotranspiração é baixa (Arruda & Barroso, 1984).

Alfonsi et al. (1990) descrevem as características gerais e o instrumental meteorológico necessário, para estimativa da evapotranspiração de referência através dos métodos: Penman, Penman simplificado, Camargo e tanque classe A. O método de Penman é o mais preciso, porém tem sido menos utilizado pelos agricultores, pela necessidade da medida de muitas variáveis de clima, sendo necessários anemômetro, termômetro de máxima e de mínima, heliógrafo e psicrômetro. Neste método a medição da umidade por meio da temperatura de bulbo úmido e seco necessita de leitura três vezes por dia e o procedimento de cálculo é complexo. Já no método de Penman simplificado o evaporímetro de Piché substitui o anemômetro e é um método de aplicação mais simples. Entretanto, com estações climatológicas automáticas e microcomputador, a leitura e o cálculo ficaram facilitados. Os dados de estações automáticas podem ser utilizados por vários agricultores nas proximidades de instalação, o que poderia reduzir o custo do investimento inicial. Por outro lado, o tanque classe A é um evaporímetro útil e eficiente e, tem sido utilizado para o manejo das irrigações em várias culturas em diferentes locais do mundo, com sucesso e custo reduzido, necessitando de medição diária única e tem procedimento simples de cálculo,

porém é passível de erro de leitura ou transbordamento do tanque com chuvas intensas. A partir da evaporação do tanque classe A (ECA) a evapotranspiração de referência é calculada pela seguinte relação:

$$ET_o = K_p \cdot ECA$$

onde:

ET_o: evapotranspiração de referência (mm/dia) que representa a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento vegetativo ativo, sem restrição hídrica (água facilmente disponível) e cobrindo totalmente a superfície do solo e (Pereira et al., 1997);

K_p: coeficiente do tanque classe A;

ECA: evapotranspiração do tanque classe A (mm/dia).

Os valores de K_p variam com o tamanho e a característica de vegetação da bordadura onde está instalado o tanque, com a velocidade do vento e a umidade relativa conforme Doorenbos & Kassam (1979). Os valores de K_p encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5- Coeficiente de tanque para tanque classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento.

Fonte: Doorenbos & Kassam (1979).

UR (%)	Tanque instalado em área com grama				Tanque instalado em solo descoberto			
	Tamanho da bordadura (1)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%	Tamanho da bordadura (1)	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

(1) Distância (m) entre o extremo da bordadura e o tanque, medida na direção dos ventos predominantes.

A estimativa do consumo de água pelas culturas (ETc) representa a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais (Pereira et al., 1997).

O consumo de água pela cultura relaciona-se a evapotranspiração de referência estimada por métodos climatológicos à evapotranspiração máxima das culturas, segundo a equação abaixo (Doorenbos & Kassam, 1979):

$$ETc = ETo \cdot Kc$$

onde:

ETc: evapotranspiração da cultura (mm/dia)

ETo: evapotranspiração de referência (mm/dia)

Kc: coeficiente de cultura

O Kc varia com a planta, local, clima, práticas culturais, desenvolvimento vegetativo, disponibilidade de água no solo, estágio de desenvolvimento e condições de cultivo com ou sem controle de ervas daninhas. Na realidade o valor de Kc integra o efeito dos fatores acima mencionados.

O coeficiente de cultura (Kc) em sido intensivamente objeto de determinação local em estudos de consumo de água. A FAO apresenta uma compilação dos valores de Kc para as principais culturas ao longo de seu ciclo (Doorenbos e Pruitt, 1984 e Doorenbos e Kassan, 1979), que vem sendo utilizados como diretriz para irrigação quando não se tem dados determinados no local de interesse (Tabela 6).

Na inexistência de pesquisa local para determinação de Kc e, sendo este um coeficiente complexo que integra diferentes fatores de produção, pode-se adotar inicialmente os coeficientes médios recomendados pela FAO apresentados na Tabela 6. Outra, alternativa prática para o uso de Kc é adotar no dia da irrigação Kc igual a 1,0 e, nos demais dias o valor da porcentagem de cobertura vegetal (%Cveg), dividido por 100, isto devido a estreita relação entre Kc e % Cveg observada em algumas culturas como feijão e ervilha (Medeiros & Arruda 1997 e Mello & Arruda, 1996). A adoção desses valores de Kc não é a situação ideal, porém pode auxiliar o manejo das irrigações. Quando se trata de culturas

perenes esta relação se torna mais complexa e também é afetada pelo sistema de condução da cultura no limpo ou com mato nas entrelinhas. A adequação da lâmina de irrigação poderá ser feita com a observação de leituras diárias de tensiômetros realizadas no decorrer das primeiras irrigações, como será discutido posteriormente.

Tabela 6- Coeficiente de cultura (Kc) nos vários estádios de seu desenvolvimento.

Fonte Doorenbos & Kassam (1979). (1)

Cultura	Estádios de desenvolvimento da cultura (2)					Período total de crescimento
	I	II	III	IV	V	
Alfafa	0,3-0,4				1,05-1,2	0,85-1,05
Algodão	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,9	0,65-0,7	0,8-0,9
Amendoim	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,75-0,85	0,55-0,6	0,75-0,8
Arroz	1,1-1,15	1,1-1,5	1,1-1,3	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Banana						
-tropical	0,4-0,5	0,7-0,85	1,0-1,1	0,9-1,0	0,75-0,85	0,7-0,8
-sub-tropical	0,5-0,65	0,8-0,9	1,0-1,2	1,0-1,15	1,0-1,15	0,85-0,95
Batata	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95	0,7-0,75	0,75-0,9
Beterraba	0,4-0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9-1,0	0,6-0,7	0,8-0,9
Cana	0,4-0,5	0,7-1,0	1,0-1,3	0,75-0,8	0,5-0,6	0,85-1,05
Cebola						
-seca	0,4-0,6	0,7-0,8	0,95-1,1	0,85-0,9	0,75-0,85	0,8-0,9
-verde	0,4-0,6	0,6-0,75	0,95-1,05	0,95-1,05	0,95-1,05	0,65-0,8
Citros						
-controle de ervas						0,65-0,75
-sem controle						0,85-0,9
Ervilha (fresca)	0,4-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	1,01-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
Feijão						
- verde	0,3-0,4	0,65-0,75	0,95-1,05	0,9-0,95	0,85-0,95	0,85-0,9
- seco	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,25-0,3	0,7-0,8
Fumo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0	0,75-0,85	0,85-0,95
Girassol	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,7-0,8	0,35-0,45	0,75-0,85
Melancia	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,05	0,8-0,9	0,65-0,75	0,75-0,85
Milho						
-verde	0,3-0,5	0,7-0,9	1,05-1,2	1,1-1,15	0,95-1,1	0,8-0,95
-em grãos	0,3-0,5	0,8-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95	0,55-0,6	0,75-0,9
Pimenta (fresca)	0,3-0,4	0,6-0,75	0,95-1,1	0,85-1,0	0,8-0,9	0,7-0,8
Repolho	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,9-1,0	0,8-0,95	0,7-0,8
Soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,1-1,15	0,7-0,8	0,4-0,5	0,75-0,9
Sorgo	0,3-0,4	0,7-0,75	1,1-1,15	0,75-0,8	0,5-0,55	0,75-0,85
Tomate	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95	0,6-0,65	0,75-0,9
Trigo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75	0,2-0,25	0,8-0,9
Videira	0,35-0,55	0,6-0,8	0,7-0,9	0,6-0,8	0,55-0,7	0,55-0,75

(1) Primeiro número: sob alta umidade relativa ($UR_{min} > 70\%$) e vento fraco ($V < 5\text{m/s}$). Segundo número: Sob baixa umidade relativa ($UR_{min} < 20\%$ e vento forte ($V > 5\text{m/s}$).

(2) Caracterização dos estádios

Estádio I: Da germinação até 10% de cobertura solo

Estádio II: De 10 a 80% de cobertura do solo

Estádio III: De 80% da cobertura do solo até o início do amadurecimento

Estádio IV: Do início do amadurecimento até a colheita

Estádio V: Colheita

Uma vez determinada a lâmina de irrigação, a estimativa do consumo de água pelas plantas e as precipitações ocorridas o BH contabiliza diariamente as entradas e as saídas do sistema. Considera-se que após as irrigações o armazenamento de água no solo esteja completo, e a partir daí a precipitação é somada ao BH como entrada, e a ET_c da cultura é subtraída como saída. Quando consumido o valor da lâmina, realiza-se a irrigação.

Para realização do manejo das irrigações via BH são necessárias estimativas da lâmina de irrigação, ET_c e das precipitações. O BH é simples, eficiente e de fácil manejo nas propriedades agrícolas, e ainda, com o equipamento necessário para estimativa da evapotranspiração e precipitação pode-se realizar o BH de varias culturas e em diferentes estádios de desenvolvimento numa mesma propriedade ou região.

4.4. Associação de métodos para o manejo da água

A associação do BH determinando o quanto irrigar e de tensiômetros para indicar quando irrigar tem levado a bons resultados no manejo das irrigações. Desta forma, as irrigações são realizadas com lâminas e intervalos variáveis. O uso dos tensiômetros em associação ao BH além do auxílio na detecção do momento das irrigações, também auxilia na adequação da lâmina de irrigação.

5. LITERATURA CITADA

ALFONSI, R.R.; PEDRO JR., M.J.; ARRUDA, F.B.; ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O. **Métodos agrometeorológicos para controle da irrigação**. Campinas, Instituto Agrônômico, 1990, 62p. (Boletim Técnico, 133).

ARRUDA, F.B. & BARROSO, L.F.S. Estimativa do uso da água para fins de projetos de irrigação, em função da evaporação de tanque, em Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas, v.43, n.2, p.677-682, 1984.

ARRUDA, F.B.; ZULLO JR., J. & OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível baseado na textura do solo. **Rev. bras. Ci. Solo**, Campinas, 11:11-15, 1987.

BRUNINI, O.; PINTO, H.S.; ZULLO, J.; PELLEGRINI, G.Q.; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; PIRES, R.C. de M. Sistema de aconselhamento agrometeorológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA, 2., Goiânia, 1998. **Anais**. Goiânia: Sociedade Brasileira de Biometeorologia, 1998. p.15-37.

CARUSO, R. Água, vida. Campinas, Fundação Cargill, 1998. 112p.

DOORENBOS, J. & KASSAN, A.H. **Yield response to water**. FAO. Irrig. and Drain. Paper 33, 1979, 193p.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W.O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1984. 144p. (FAO, Irrigation and Drainage Paper, 24).

FISCHER, R.A. & HAGAN, R.M. Plant water relations, irrigation management and crop yield. **Expl. Agric.** v.1, p.161-177, 1965.

GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. João Pessoa, Ed. Universitária/UFPB, 1994, 344P.

HSIAO, T.C. & ACEVEDO, E. Plant response to water deficits water use efficiency and drought resistance. **Agric. Meteorol.**, v.14 p.59-84, 1974.

JENSEN, M.E.; WRIGHT, J.L. & PRATT, B.J. Estimating soil moistures depletion from climate, crop and soil data. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 14:954-959, 1971.

JENSEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York, ASCE, 1973. 215p.

KLUTE, A. Methods of soil analysis. Part I. Physical and mineralogical. American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin. 1986. 1188p.

MEDEIROS, G.A. & ARRUDA, F.B. Influence of canopy crop on water consumption and basal crop coefficient of bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING AGENG'96, 1996, Madrid, 1996, v.I, p.619-620.

MEDEIROS, G.A. & ARRUDA, F.B. Transferência dos valores de coeficiente de cultura basal do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) obtidos em evapotranspirômetros para as condições de cultura irrigada. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Rio de Janeiro, 1997.

MELLO, A.C.; ARRUDA, F.B. Efeito do dossel vegetativo no consumo de água e no coeficiente de cultura basal da ervilha (*Pisum sativum* L.). In: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA e II CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA. 1996. Baurú, SP.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PIRES, R.C. de M. Simulação da irrigação suplementar de culturas em Ribeirão Preto, São Paulo. Piracicaba, 1992. 115p. Tese (Mestrado) – ESALQ/USP, 1992.

PIRES, R.C. de M.; ARRUDA, F.B. Lâmina adicional de irrigação. **Bragantia**, v.54, n.1, p.201-207, 1995.

PIRES, R.C. de M.; CALHEIROS, R. de O.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M. & ARRUDA, F.B. **Informações básicas sobre irrigação e drenagem**. In: Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo, 6 ed. Campinas, Instituto Agrônômico, p.222-225, 1998. (IAC. Boletim 200).

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas, **Fundação Cargill**, 1985. 445p.

SALTER, P.J. & GOODE, J.E. **Crop responses to water at different stages of growth**. Bucks, Commonwealth Agricultural Bureaux, 1967. 246p. (Research Review, 2).

VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils. **Soil Sci.**, Baltimore, 68:75-94, 1949.