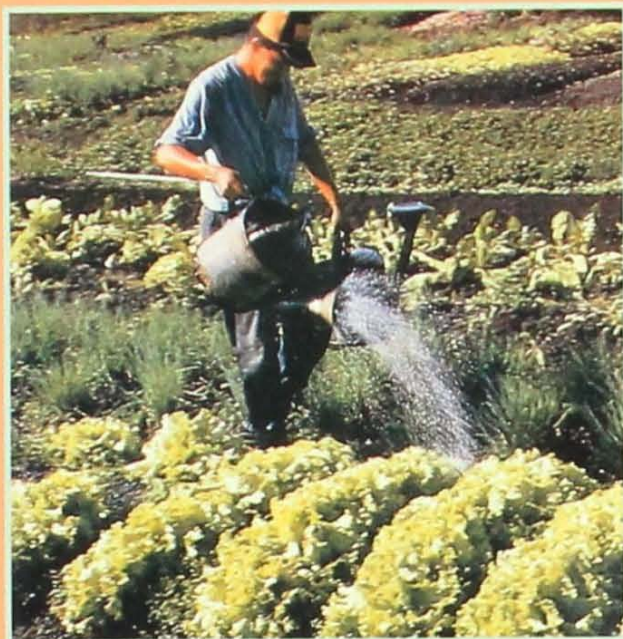


MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM HORTALIÇAS



República Federativa do Brasil

Presidente

Fernando Henrique Cardoso

Ministério da Agricultura e do Abastecimento

Ministro

Arlindo Porto Neto

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Presidente

Alberto Duque Portugal

Diretores

Elza Angela Battaglia Brito da Cunha

Dante Daniel Giacomelli Scolari

José Roberto Rodrigues Peres

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças - CNPH
Ministério da Agricultura e do Abastecimento - MA*

MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM HORTALIÇAS

5ª edição
revista e ampliada

*Waldir Aparecido Marouelli
Eng. Agríc., M.Sc.
Washington Luiz de Carvalho e Silva
Eng. Agr., Ph.D.
Henoque Ribeiro da Silva
Eng. Agr., Ph.D.*

Serviço de Produção de Informação - SPI
Brasília, DF
1996

© Embrapa - 1996

Exemplar desta publicação pode ser solicitado à:

Embrapa

Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças - CNPH

Km 09 - BR-060 - Rodovia Brasília/Anápolis

Caixa Postal 218

70359-970 Brasília, DF

Tel.: (061) 556-5011

Fax: (061) 556-5744

Embrapa

Serviço de Produção de Informação - SPI

SAIN Parque Rural. Av. W/3 Norte (final)

C. Postal 040315

CEP 70770-901 Brasília, DF

Tel.: (061) 348-4236

Fax: (061) 272-4168

Parte do texto desta publicação foi editada anteriormente, dentro da Série Circular Técnica do CNPH.

1ª edição: janeiro/86 - 2.000 exemplares

1ª reimpressão: abril/87 - 5.000 exemplares

2ª edição: agosto/89 - 1.000 exemplares

3ª edição: janeiro/93 - 5.000 exemplares

4ª edição: dezembro/94 - 2.000 exemplares (livro)

5ª edição (revista e ampliada): setembro/96 - 5.000 exemplares

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Serviço de Produção de Informação (SPI) da Embrapa.

Marouelli, Waldir Aparecido.

Manejo da irrigação em hortaliças / Waldir Aparecido Marouelli, Washington Luiz de Carvalho e Silva, Henoque Ribeiro da Silva; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças - 5.ed., rev. ampl. - Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 72p.

ISBN 85-85007-27-3.

1. Hortaliça - Irrigação - Manejo. I. Silva, Washington Luiz de Carvalho e. II. Silva, Henoque Ribeiro da. III. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças (Brasília, DF). IV. Título.

CDD 635.87

SUMÁRIO

Apresentação	5
Introdução	7
Disponibilidade de Água no Solo	9
Capacidade de campo	10
Ponto de murcha permanente	10
Densidade aparente	11
Profundidade efetiva do sistema radicular	11
Curva característica de umidade do solo	14
Necessidade de Água das Hortaliças	15
Evapotranspiração do cultivo de referência	15
Método de Blaney-Criddle	16
Método de Hargreaves	16
Método de Penman	18
Método do tanque classe A	25
Evapotranspiração da cultura	28
Métodos de Manejo da Irrigação	31
Método do turno de rega calculado	33
Método do balanço de água do solo	36
Método da tensão de água no solo	39
Manejo da Água em Microirrigação	44
Necessidades hídricas em microirrigação	45
Volume a aplicar	45
Uniformidade de distribuição	46
Conceito de bulbo molhado	46
Alternativas de manejo	46

Fertirrigação de Hortaliças	48
Tipos de nutrientes	48
Fontes de nutrientes	48
Características dos fertilizantes	49
Princípios, métodos e equipamentos de aplicação	50
Manejo da fertirrigação	50
Perigo de contaminação	52
Manejo de Água versus Ocorrência de Doenças	53
Manejo de Água na Fase de Pré-emergência e Transplante	57
Época de Paralisação das Irrigações	58
Lâmina de Água Total Necessária	59
Exemplos Práticos	60
Método do turno de rega calculado	60
Método do balanço de água no solo	64
Método da tensão de água no solo	65
Recomendações para o Uso de Tensiômetros	66
Preparo	66
Instalação	66
Manutenção	67
Armazenamento	67
Bibliografia	69

Apresentação

As hortaliças constituem um grupo de plantas que requerem cuidados especiais em seu cultivo. Um desses cuidados está relacionado à água, tanto no que diz respeito à quantidade quanto à oportunidade de seu suprimento.

Na área de irrigação e manejo de água, o Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças-CNPH tem desenvolvido desde a sua criação, muitos trabalhos de pesquisa, cujos resultados se refletem no conteúdo desta publicação.

Este livro, que trata exatamente do manejo adequado da água de irrigação em hortaliças, iniciou-se com a edição de uma circular técnica em 1986 e, após sucessivas reedições, chega à 5ª edição revisada e ampliada, com a responsabilidade de ser melhor que os 15.000 exemplares já distribuídos nestes 10 anos no Brasil, e até mesmo no exterior.

O grupo de pesquisadores do CNPH responsável por esta publicação tem mostrado competência e experiência suficientes para apresentar este trabalho, que, de maneira simples e objetiva, facilita o entendimento das relações entre o solo, a água e a planta, além de apresentar relevantes considerações sobre o uso e manejo da microirrigação e da fertirrigação e sobre o controle de doenças de hortaliças em áreas irrigadas.

Ruy Rezende Fontes

Chefe do CNPH

Introdução

Em geral, as hortaliças têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência de água é, normalmente, o fator mais limitante à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. A reposição de água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para o sucesso da horticultura.

Para o manejo adequado da água de irrigação, é necessário o controle diário da umidade do solo e/ou da evapotranspiração, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto, é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima, para determinar o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada.

O manejo racional da água de irrigação visa minimizar o consumo de energia (que, para sistemas pressurizados, varia entre 3-8 kWh/mm de água/ha), maximizar a eficiência do uso da água e manter favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas. Pode basear-se em critérios relacionados ao *status* da água no solo e nas plantas, na taxa de evapotranspiração da cultura ou na combinação de dois ou mais deles. A escolha do critério a ser seguido vai depender principalmente da disponibilidade de informações relacionadas ao sistema solo-água-planta-clima, de equipamentos para medições, e também do grau de conhecimento do irrigante.

Este trabalho tem por objetivo enfatizar o uso racional e eficiente da irrigação por meio de informações básicas relacionadas às exigências hídricas das hortaliças e da descrição de métodos de manejo da água de irrigação.

Disponibilidade de Água no Solo

O tamanho e a natureza das partículas minerais, bem como o arranjo dos elementos estruturais, dão ao solo características próprias de armazenamento de água. Em termos gerais, a textura é o parâmetro mais intimamente relacionado à capacidade de armazenamento de água, podendo-se dizer que solos de textura arenosa apresentam menor capacidade de retenção de água do que solos argilosos.

Há casos em que a estrutura do solo é tão ou mais importante que a textura. Em solos compactados, por exemplo, pode ocorrer um decréscimo significativo da capacidade de armazenamento de água em função da redução da porosidade total. Outro exemplo são os solos de cerrados; mesmo aqueles com teor de argila superior a 60% apresentam baixa capacidade de retenção de água, quando comparados a outros tipos de solos argilosos. Isto se deve ao alto grau de desenvolvimento da estrutura desses solos, que apresentam uma macroporosidade semelhante à de solos de textura moderadamente grossa.

A disponibilidade total de água no solo para as plantas depende basicamente da capacidade de retenção do solo e da profundidade do sistema radicular das plantas, e é calculada pela seguinte expressão:

$$LTD = \frac{CC - PM}{10} \cdot Da \cdot Z \quad (1)$$

em que:

LTD= lâmina de água total disponível, em mm;

CC= capacidade de campo, em % de peso seco;

PM= ponto de murcha permanente, em % de peso seco;

Da= densidade aparente do solo, em g/cm³;

Z= profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, em cm.

O crescimento e a produtividade das espécies vegetais, no entanto, respondem diferentemente aos níveis de umidade do solo compreendido entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento. Dessa maneira, as

irrigações devem ser realizadas quando a umidade do solo estiver reduzida a um nível crítico, a partir do qual começa a prejudicar o desenvolvimento das plantas. Nesse caso, a quantidade de água no solo prontamente disponível às plantas pode ser obtida por:

$$LRD = \frac{CC - UI}{10} \cdot Da \cdot Z \quad (2)$$

em que:

LRD= lâmina de água real disponível, em mm;

UI= umidade de irrigação, em % de peso seco.

A umidade adequada do solo para promover a irrigação (UI) é obtida experimentalmente, sendo função da espécie cultivada, do clima, do tipo de solo e até mesmo da cultivar.

Capacidade de campo

O termo capacidade de campo representa a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso é drenado livremente. Sua determinação tem sido usualmente realizada em laboratório, mas sempre que possível deve ser avaliada diretamente no campo.

Os valores clássicos da umidade do solo na capacidade de campo estão geralmente associados às tensões de água de 10 kPa para solos de textura grossa e 33 kPa para solos de textura fina. Estudos recentes, todavia, indicam que essas tensões são da ordem de 6 a 10 kPa, em solos submetidos a drenagem em condições de campo. É recomendável, portanto, utilizar a tensão de 6 kPa para solos arenosos e 10 kPa para solos argilosos.

Ponto de murcha permanente

O conceito de ponto de murcha permanente representa o limite mínimo de umidade existente no solo, abaixo do qual uma planta em crescimento ativo apresenta perda de turgescência das folhas, da qual não se recupera, mesmo quando colocada em atmosfera saturada durante a noite.

Embora o ponto de murcha possa variar entre as diferentes espécies de plantas e de acordo com o estágio de desenvolvimento, o tipo de solo

e as condições climáticas, é comumente aceito como a umidade do solo correspondente à tensão de 1.500 kPa, independentemente da espécie e das condições ambientais, e, portanto, estimado indiretamente em laboratório. É comum utilizar o girassol ou o feijão como plantas indicadoras da determinação direta do ponto de murcha permanente.

Densidade aparente

A densidade aparente do solo, também chamada de densidade global, geralmente expressa em g/cm^3 , é a relação entre a massa do solo seco a 105-110 °C e o seu volume total, incluindo o espaço poroso. Permite estimar o grau de compactação de um solo e transformar as percentagens de umidade gravimétrica do solo em termos de umidade volumétrica e, dessa forma, determinar a lâmina de água no solo.

Entre os métodos existentes para a determinação da densidade aparente, o do cilindro e o da proveta são os mais conhecidos. O método do cilindro possibilita resultados bastante confiáveis, sendo considerado padrão para fins de irrigação. Já o método da proveta pode propiciar resultados compatíveis com aqueles obtidos pelo método do cilindro apenas para solos arenosos ou desestruturados. Em solos muito arenosos, o método da proveta é o mais indicado para a determinação da densidade do solo, dadas as dificuldades de amostragem por meio de anéis. Métodos como o da parafina e o de raios gama também são opções para a determinação da densidade aparente do solo.

Na ausência de valores reais da densidade aparente do solo medidos em campo, estes poderão ser estimados, de maneira aproximada, conforme a Figura 1, na qual são apresentados valores médios de densidade em função da composição granulométrica do solo. Exemplificando a utilização da Figura 1, tem-se que, para um solo com 55% de argila, 12% de silte e 33% de areia, a densidade aparente estimada é de $1,05\text{g/cm}^3$.

Profundidade efetiva do sistema radicular

Em irrigação, normalmente não se considera todo o perfil do solo explorado pelo sistema radicular das plantas, mas apenas a profundidade efetiva, que deve ser tal que de 80% a 90% do sistema radicular esteja nela contido. Sua determinação para fins de manejo da irrigação é fundamental; a

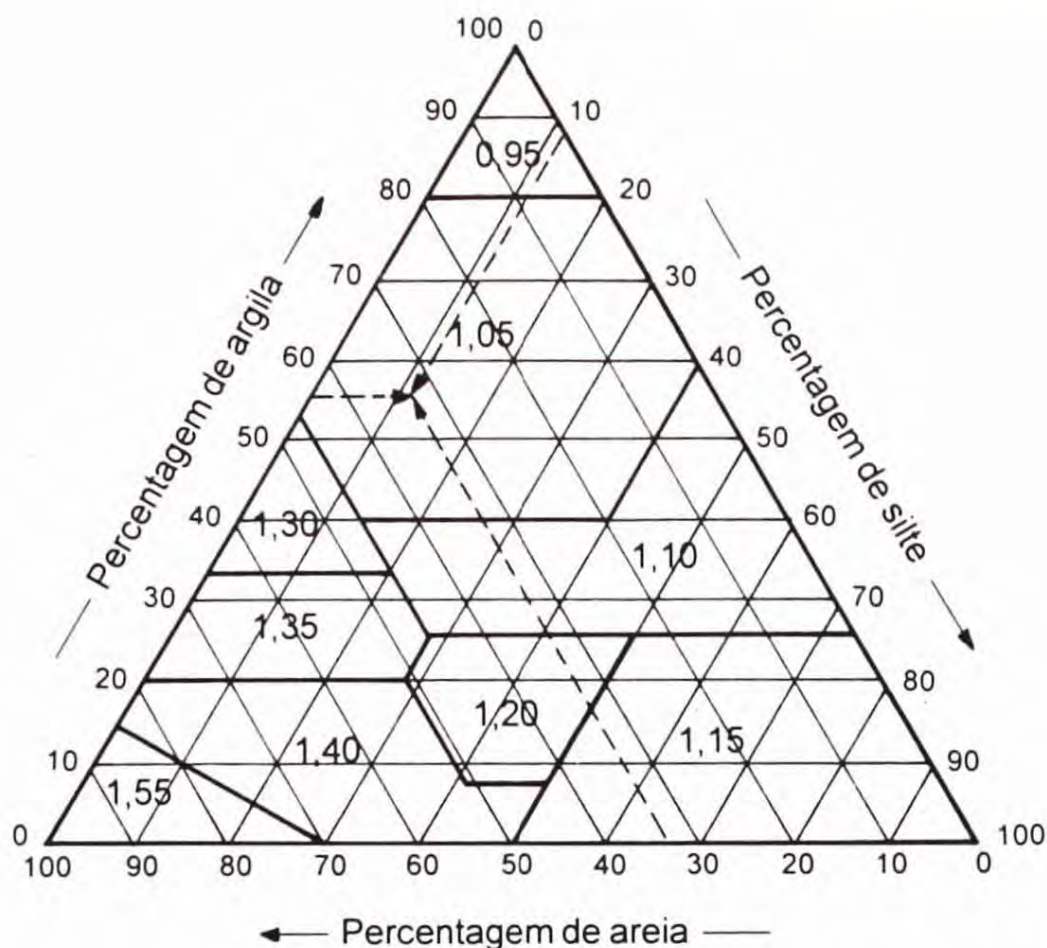


FIG. 1. Densidade aparente do solo, em g/cm^3 , em função de sua granulometria.

adoção de valores maiores que os reais pode implicar a aplicação de grandes quantidades de água com conseqüências indesejáveis, enquanto valores menores podem resultar em aplicações deficientes e em turnos de rega muito pequenos.

Solos compactados, além de apresentarem menor capacidade de retenção de água, oferecem grande resistência ao desenvolvimento radicular e aumentam os riscos de escoamento superficial de água. A presença de camadas compactadas no perfil do solo, além de dificultar a penetração das raízes, pode provocar a formação de um lençol freático temporário, resultando em problemas de aeração para as plantas. Sendo assim, é necessário um manejo de solo que vise destruir camadas compactadas, bem como evitar que estas se formem durante o preparo do solo.

Na Tabela 1, são apresentados valores médios da profundidade efetiva do sistema radicular de algumas hortaliças em seu estágio de máxi-

mo desenvolvimento vegetativo, cultivadas em solos de textura média, férteis e com drenagem livre. Muitos fatores, como textura e fertilidade do solo, práticas culturais, solos rasos, irrigações muito freqüentes e horizontes fortemente diferenciados, podem afetar consideravelmente o desenvolvimento radicular das plantas. Assim, para um melhor conhecimento da profundidade efetiva, é aconselhável avaliar o sistema radicular nos diferentes estádios de desenvolvimento e no próprio local de cultivo, em vez de utilizar os valores apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Profundidade efetiva do sistema radicular (Z) de algumas hortaliças, no seu estágio de máximo desenvolvimento vegetativo, em solos de textura média.

Hortaliça	Z (cm)	Hortaliça	Z (cm)
Abóbora	50-80	Ervilha	50-70
Alcachofra	70-100	Espinafre	40-70
Alface	15-30	Melancia	50-120
Aspargo	120-160	Melão	50-120
Batata	25-60	Milho-doce	50-120
Batata-doce	50-100	Morango	20-40
Berinjela	50-80	Nabo	55-80
Beterraba	40-70	Pepino	35-50
Cebola	25-60	Pimentão	30-70
Cenoura	35-60	Rabanete	20-30
Couve	25-50	Tomate	25-70
Couve-flor	25-50	Vagem	40-60

Fonte: Adaptado de Raposo (1980).

Existem vários métodos de avaliação da profundidade efetiva do sistema radicular. Em geral, todos são trabalhosos e nenhum pode ser considerado padrão e indicado para todas as situações. Na prática, a abertura de uma trincheira perpendicularmente à linha de plantio e a avaliação visual do sistema radicular, nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, pode dar uma idéia aproximada das profundidades a serem consideradas para fins de manejo da irrigação.

Curva característica de umidade do solo

A curva de retenção de água no solo, também conhecida como curva característica de umidade, é uma das propriedades básicas no estudo dos processos de movimentação e retenção de água no solo, e representa a relação entre a percentagem de umidade e o potencial matricial ou a tensão da água no solo. Essa relação não é única, isto é, a curva tem uma forma no processo de secamento e outra no de umedecimento, resultando no fenômeno denominado histerese. Na prática da irrigação, todavia, assume-se a curva característica de secamento.

Entre os vários métodos existentes para sua determinação, o extrator de pressão de Richards tem sido considerado padrão e utilizado como rotina por grande parte dos laboratórios de física de solos, quer usando amostras com estruturas deformadas quer não-deformadas. Apesar de bem mais trabalhoso, o processo que utiliza amostras não-deformadas possibilita resultados mais precisos, principalmente na faixa de tensão até 100 kPa.

A curva de retenção pode também ser obtida no campo, correlacionando a umidade do solo, determinada pelo método padrão de estufa ou outro qualquer, com a tensão de água no solo, determinada com o auxílio de tensiômetros, para a faixa de funcionamento do instrumento. O processo consiste em instalar, na profundidade de interesse, de três a quatro tensiômetros em uma área previamente saturada de aproximadamente 1m². Diariamente, pela manhã, faz-se a leitura das tensões e coletam-se amostras de solo com o auxílio de um trado, para a determinação da umidade. Esse método é prático e útil, principalmente quando se deseja manejar a irrigação com o emprego de tensiômetros.

Outro método de campo relativamente simples é o do gotejador. Consiste em aplicar vazões crescentes de água sobre o solo inicialmente seco, por intermédio de uma fonte pontual, como, por exemplo, um ou mais gotejadores. De posse de informações de vazão, diâmetro médio da área saturada após equilíbrio dinâmico, para cada vazão, e avanço da frente de molhamento em função do tempo, é possível, seguindo a metodologia apresentada e exemplificada por Oliveira (1988), determinar a curva característica de retenção de água do solo.

Necessidade de Água das Hortaliças

As plantas obtêm praticamente toda a água de que necessitam através do sistema radicular. Da água absorvida, a planta não retém mais que 2%, sendo o restante transferido para a atmosfera pela transpiração, após vários processos fisiológicos. A água também pode-se “perder” diretamente na atmosfera pela evaporação do solo e da superfície vegetal molhada. A esse processo de “perda” conjunta de água do solo e da planta na atmosfera dá-se o nome de evapotranspiração. A água evapotranspirada deve ser totalmente reposta ao solo, sob pena de comprometer o desenvolvimento das plantas e o sucesso do empreendimento.

Além de variar com a espécie cultivada, a evapotranspiração é afetada pelo solo e principalmente pelo clima. Entre os fatores climáticos que influenciam o processo, destacam-se: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Vários métodos são utilizados para estimar a evapotranspiração, podendo ser divididos em métodos diretos e indiretos. Entre os métodos diretos, têm-se o balanço de água no solo, que inclui lisímetros, câmaras portáteis, medição de fluxo de calor e o método de entrada-saída em grandes áreas. Indiretamente, a evapotranspiração pode ser estimada com base no balanço de energia, com o uso de evaporímetros e equações ou fórmulas.

Evapotranspiração do cultivo de referência

É a quantidade de água evapotranspirada de uma superfície totalmente coberta por vegetação rasteira (em geral, gramíneas verdes com 8 a 15cm de altura), em fase de crescimento ativo, sem restrições de umidade e com bordadura adequada. Por causa das dificuldades na obtenção da evapotranspiração em medições diretas, os métodos indiretos são largamente empregados, possibilitando resultados satisfatórios.

Entre os métodos indiretos, Blaney-Criddle, Hargreaves e tanque classe A estão entre os mais usados em várias partes do mundo, por possibilitarem resultados satisfatórios e exigirem um número reduzido de informações climáticas. Os dois primeiros são mais indicados para o dimensionamento de projetos/sistemas de irrigação, por não estimarem a evapotranspiração

com precisão em períodos inferiores a 30 dias. Entretanto, podem ser utilizados para manejar a irrigação pelo método do turno de rega calculado, que é pouco criterioso e será apresentado posteriormente.

Ainda que seja considerado um método padrão para a estimativa da evapotranspiração de referência, o método de Penman tem sido pouco empregado no Brasil, em razão do grande número de dados meteorológicos envolvidos e do trabalho de determinação da evapotranspiração. Essa dificuldade, entretanto, pode ser minimizada com o uso de um computador.

Método de Blaney-Criddle

A equação de Blaney-Criddle é, provavelmente, a mais conhecida expressão de estimativa das exigências hídricas dos cultivos, para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação. Desenvolvida para a região semi-árida dos Estados Unidos, permite estimar a evapotranspiração de um período de tempo mínimo de um mês, quando o único dado meteorológico disponível é a temperatura média mensal, conforme relação a seguir (Bernardo, 1986):

$$ET_o = P(0,46T + 8,13) \quad (3)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração do cultivo de referência, em mm/mês;

P = horas de luz solar possíveis no mês, em relação ao total anual, em % (Tabela 2);

T = temperatura média mensal, em °C.

Método de Hargreaves

O método de Hargreaves, testado no Nordeste brasileiro com resultados satisfatórios, permite estimar a evapotranspiração de referência de um período de tempo mínimo de 30 dias, quando se dispõem de dados meteorológicos médios de temperatura e umidade relativa do ar. A equação de Hargreaves, apresentada por Silva & Silva (1983), é dada por:

$$ET_o = 2,09TP(1 - 0,01UR_m) \quad (4)$$

em que:

ET_o = evapotranspiração do cultivo de referência, em mm/mês;

TABELA 2. Horas de luz solar, em %, para latitudes de 0° a 36° Sul.

Lat. (graus)	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0	8,50	7,65	8,48	8,23	8,50	8,22	8,49	8,51	8,22	8,48	8,12	8,49
2	8,57	7,70	8,49	8,20	8,43	8,16	8,42	8,45	8,21	8,51	8,29	8,57
4	8,63	7,74	8,50	8,17	8,38	8,06	8,35	8,41	8,20	8,55	8,35	8,66
6	8,69	7,79	8,51	8,13	8,32	7,98	8,27	8,37	8,20	8,58	8,42	8,74
8	8,77	7,83	8,52	8,09	8,27	7,89	8,20	8,33	8,19	8,60	8,49	8,82
10	8,82	7,88	8,53	8,06	8,20	7,82	8,14	8,23	8,18	8,63	8,56	8,90
12	8,90	7,92	8,54	8,02	8,14	7,75	8,06	8,22	8,17	8,67	8,63	8,98
14	9,98	7,98	8,55	7,99	8,06	7,68	7,96	8,18	8,16	8,69	8,70	9,07
16	9,08	8,00	8,56	7,97	7,99	7,61	7,89	8,12	8,15	8,71	8,76	9,16
18	9,17	8,04	8,57	7,94	7,95	7,52	7,79	8,08	8,13	8,75	8,83	9,23
20	9,26	8,08	8,58	7,89	7,88	7,43	7,71	8,02	8,12	8,79	8,91	9,33
22	9,35	8,12	8,59	7,86	7,75	7,33	7,62	7,95	8,11	8,83	8,97	9,42
24	9,44	8,17	8,60	7,83	7,64	7,24	7,54	7,90	8,10	8,87	9,04	9,53
26	9,55	8,22	8,63	7,81	7,56	7,14	7,46	7,84	8,10	8,91	9,15	9,66
28	9,65	8,27	8,63	7,78	7,49	7,04	7,38	7,78	8,08	8,95	9,20	9,76
30	9,75	8,32	8,64	7,73	7,44	6,93	7,28	7,70	8,07	8,99	9,26	9,88
32	9,85	8,37	8,66	7,70	7,36	6,82	7,18	7,62	8,06	9,03	9,35	10,00
34	9,96	8,43	8,67	7,65	7,25	6,70	7,08	7,55	8,05	9,07	9,44	10,14
36	10,07	8,50	8,68	7,62	7,14	6,58	6,98	7,48	8,04	9,12	9,53	10,26

Fonte: Bernardo (1986).

T= temperatura média mensal, em °C;

P= horas de luz solar possíveis no mês, em relação ao total anual, em % (Tabela 2);

UR_m = umidade relativa média mensal ao meio-dia, em %.

No caso de não se dispor da umidade relativa ao meio-dia, esta pode ser estimada, segundo Al Barrach, citado por Pera (1971), pela seguinte equação:

$$UR_m = 1,0 + 0,4UR + 0,004 UR^2 \quad (5)$$

em que:

UR= umidade relativa média mensal, em %.

Método de Penman

A equação de Penman combina o balanço de energia no sistema com princípios aerodinâmicos relacionados ao processo de transporte de massa. Desde que foi desenvolvida, tem sido bastante utilizada em todo o mundo, quer na sua forma original quer nas inúmeras modificações introduzidas por diferentes autores. Entre elas, a adaptada por Doorenbos & Pruitt (1977), representada pela equação 6, tem sido uma das mais empregadas.

$$ET_o = c \left[\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) R_n + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) 2,7 (1 + 0,01 U_2) (e_s - e_a) \right] \quad (6)$$

em que:

ET_o= evapotranspiração do cultivo de referência, em mm/dia;

c= coeficiente de calibração, adimensional;

Δ= declividade da curva de pressão de saturação de vapor, em kPa/°C;

γ= constante psicrométrica, em kPa/°C;

R_n= radiação solar líquida disponível expressa em equivalente de evaporação, em mm/dia;

U₂= velocidade do vento a 2,0m da superfície do solo, em km/dia;

e_s= pressão de saturação de vapor à temperatura média do ar, em kPa;

e_a= pressão atual de vapor à temperatura média do ar, em kPa.

Como os termos energético e aerodinâmico podem ter maior ou menor peso dependendo das condições climáticas predominantes, os autores, baseados em análises estatísticas de parâmetros meteorológicos e dados de lisímetros, introduziram o fator de ajuste “c”, que é função da umidade relativa máxima, radiação solar global, velocidade do vento no período diurno e razão da velocidade do vento diurno e noturno (Tabela 3). Quando a ETo é determinada com o auxílio de computador, o valor de “c” pode ser determinado pela seguinte equação de regressão (Cuenca, 1989):

$$c = 0,68 + 0,0028 UR_{\max} + 0,018 R_s - 0,068 U_{\text{dia}} + 0,013 (U_{\text{dia}} / U_{\text{noite}}) + 0,0097 U_{\text{dia}} (U_{\text{dia}} / U_{\text{noite}}) + 0,43 \cdot 10^{-4} UR_{\max} R_s U_{\text{dia}} \quad (7)$$

em que:

c = coeficiente de calibração, adimensional;

UR_{\max} = umidade relativa máxima do ar, em %;

R_s = radiação solar global expressa em equivalente de evaporação, em mm/dia;

U_{dia} = velocidade do vento durante o dia, a 2,0m da superfície do solo, em m/s;

$U_{\text{dia}}/U_{\text{noite}}$ = relação entre a velocidade do vento durante o dia e à noite.

Os parâmetros Δ e γ da equação 6 podem ser determinados pelas seguintes equações (Cuenca, 1989):

$$\Delta = 0,2 (0,00738T + 0,8072)^2 - 0,000116 \quad (8)$$

em que:

Δ = declividade da curva de pressão de saturação de vapor, em kPa/°C;

T = temperatura média do ar, em °C;

$$\gamma = 0,16134 \frac{(1013 - 0,1055 A)}{(2500,78 - 2,3601 T)} \quad (9)$$

TABELA 3. Coeficiente de calibração (c) para a equação de Penman, em função da umidade relativa, radiação global e velocidade do vento.

U _{dia} (m/s)	UR _{max} = 30%				UR _{max} = 60%				UR _{max} = 90%			
	Rs (mm/dia)				Rs (mm/dia)				Rs (mm/dia)			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
U _{dia} /U _{noite} = 4												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,79	0,84	0,92	0,97	0,92	1,00	1,11	1,19	0,99	1,10	1,27	1,32
6	0,68	0,77	0,87	0,93	0,85	0,96	1,11	1,19	0,94	1,10	1,26	1,33
9	0,55	0,65	0,78	0,90	0,76	0,88	1,02	1,14	0,88	1,01	1,16	1,27
U _{dia} /U _{noite} = 3												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,76	0,81	0,88	0,94	0,87	0,96	1,06	1,12	0,94	1,04	1,18	1,28
6	0,61	0,68	0,81	0,88	0,77	0,88	1,02	1,10	0,86	1,01	1,15	1,22
9	0,46	0,56	0,72	0,82	0,67	0,79	0,88	1,05	0,78	0,92	1,06	1,18
U _{dia} /U _{noite} = 2												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,69	0,76	0,85	0,92	0,83	0,91	0,99	1,05	0,89	0,98	1,10	1,14
6	0,53	0,61	0,74	0,84	0,70	0,80	0,94	1,02	0,79	0,92	1,05	1,12
9	0,37	0,48	0,65	0,76	0,59	0,70	0,84	0,95	0,71	0,81	0,96	1,06
U _{dia} /U _{noite} = 1												
0	0,86	0,90	1,00	1,00	0,96	0,98	1,05	1,05	1,02	1,06	1,10	1,10
3	0,64	0,71	0,82	0,89	0,78	0,86	0,94	0,99	0,85	0,92	1,01	1,05
6	0,43	0,53	0,68	0,79	0,62	0,70	0,84	0,93	0,72	0,82	0,95	1,00
9	0,27	0,41	0,59	0,70	0,50	0,60	0,75	0,87	0,62	0,72	0,87	0,96

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977).

em que:

γ = constante psicrométrica, em kPa/°C;

A = altitude local, em m;

T = temperatura média do ar, em °C.

O valor de e_s pode ser determinado em função da temperatura média do ar por meio da equação 10, apresentada por Sedyama (1987). Já o valor de e_a pode ser estimado de várias formas, dependendo dos dados disponíveis. A mais simples é a partir da umidade relativa média diária e da pressão de saturação de vapor média (e_s), como mostra a equação 11 (Jensen 1973).

$$e_s = 0,13329 \exp \left[21,07 - 5336 / (T + 273,1) \right] \quad (10)$$

em que:

e_s = pressão de saturação de vapor à temperatura T, em kPa;

T = temperatura do ar, em °C.

$$e_a = \frac{UR \cdot e_s}{100} \quad (11)$$

em que:

e_a = pressão atual de vapor (média diária), em kPa;

UR = umidade relativa média do ar, em %.

Um parâmetro da equação 6 que pode apresentar dificuldades para a sua obtenção é a velocidade do vento a 2,0m de altura. Em regiões onde a velocidade é tomada a uma altura diferente de 2,0m da superfície, a equação de Pasquill, apresentada por Jensen (1973), pode ser usada para obter a velocidade do vento equivalente à altura de 2,0m:

$$U_2 = U_z (2/Z)^{0,2} \quad (12)$$

U_2 = velocidade do vento a 2,0m da superfície do solo em km/dia;

U_z = velocidade do vento à altura z em km/dia;

Z = altura de instalação do anemômetro, em m.

Quando não se dispõem de valores medidos da radiação solar líquida (R_n), estes podem ser estimados por meio de fórmulas empíricas, como a de Brunt (equação 13), apresentada por Chang (1968):

$$R_n = (1 - \alpha_s) R_s - 2,02 \cdot 10^{-9} (T + 273)^4 (0,36 - 0,05 \sqrt{10e_s}) (0,1 + 0,9n/N) \quad (13)$$

em que:

R_n = radiação solar líquida disponível expressa em equivalente de evaporação, em mm/dia;

α_s = albedo (0,23 pode ser usado como valor médio);

R_s = radiação solar global expressa em equivalente de evaporação, mm/dia;

T = temperatura média do ar, em °C;

e_s = pressão atual de vapor, em kPa;

n = número de horas reais de insolação no dia;

N = número máximo de horas de insolação no dia (Tabela 4).

As constantes empíricas da equação 13 são apresentadas como gerais e possibilitam uma estimativa razoável de R_n .

A maioria das estações meteorológicas não dispõe sequer da radiação global. Nesse caso, o valor de R_s pode ser estimado com base na relação proposta por Ångström (equação 14), apresentada por Doorenbos & Pruitt (1977), a partir da radiação solar no topo da atmosfera (R_a) e dos números real e máximo de horas de insolação no dia:

$$R_s = (0,25 + 0,50 n/N) R_a \quad (14)$$

em que:

R_s = radiação solar global expressa em equivalente de evaporação, mm/dia;

n = número de horas reais de insolação no dia;

N = número máximo de horas de insolação no dia (Tabela 4);

R_a = radiação solar total no topo da atmosfera expressa em equivalente de evaporação, mm/dia (Tabela 5).

As constantes da equação de Ångström são dependentes das condições locais e da época do ano. Para efeito prático, podem-se considerar os

TABELA 4. Duração máxima de horas de insolação no dia (N), para latitudes de 0° a 36° sul.

Lat. (graus)	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
2	12,2	12,2	12,1	12,1	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2
4	12,3	12,2	12,1	12,0	11,9	11,8	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4
6	12,4	12,3	12,1	12,0	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,2	12,4	12,5
8	12,5	12,4	12,1	11,9	11,7	11,6	11,7	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6
10	12,6	12,4	12,1	11,9	11,7	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
12	12,7	12,5	12,2	11,8	11,6	11,4	11,5	11,7	12,0	12,4	12,7	12,8
14	12,8	12,6	12,2	11,8	11,5	11,3	11,4	11,6	12,0	12,4	12,8	12,9
16	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,2	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
18	13,1	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,1	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
20	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
22	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	10,9	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
24	13,5	12,9	12,3	11,5	10,9	10,7	10,8	11,2	11,9	12,6	13,3	13,6
26	13,6	12,9	12,3	11,5	10,8	10,5	10,7	11,2	11,9	12,7	13,4	13,8
28	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
30	13,9	13,1	12,3	11,4	10,6	10,2	10,4	11,0	11,9	12,8	13,6	14,1
32	14,0	13,2	12,3	11,3	10,5	10,0	10,3	10,9	11,9	12,9	13,7	14,2
34	14,2	13,3	12,3	11,3	10,3	9,8	10,1	10,9	11,9	12,9	13,9	14,4
36	14,3	13,4	12,4	11,2	10,2	9,7	10,0	10,7	11,9	13,0	14,0	14,6

Fonte: Sediya (1987).

TABELA 5. Radiação solar total no topo da atmosfera (R_a), expressa em equivalente de evaporação (mm/dia), para latitudes de 0° a 36° sul.

Lat. (graus)	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977).

valores 0,25 e 0,50 como médios; em caso de disponibilidade na região, eles devem ser empregados.

Basicamente todos os parâmetros requeridos pela equação 6 podem ser obtidos com a utilização de um piranômetro, um anemômetro e um psicrômetro. Caso esses sensores estejam conectados a um computador, a determinação de ETo será simples e totalmente automatizada.

Método do tanque classe A

Na evaporação de uma superfície de água livremente exposta como num tanque classe A, integram-se os efeitos dos diferentes fatores climáticos que influenciam o processo de evapotranspiração das culturas. Utilizando-se coeficientes obtidos empiricamente, pode-se estimar a ETo a partir da evaporação do tanque, por meio da seguinte relação:

$$E_{To} = K_p \cdot E_{ca} \quad (15)$$

em que:

ETo= evapotranspiração do cultivo de referência, em mm/dia;

Kp= coeficiente de tanque, adimensional;

Eca= evaporação do tanque classe A, em mm/dia.

Os valores de Eca podem ser obtidos em postos meteorológicos da região, estações experimentais ou no próprio local de cultivo.

O tanque USWB classe A (Figura 2) consiste de um recipiente circular de aço inoxidável ou de ferro galvanizado, com 121cm de diâmetro interno e 25,5cm de profundidade. O tanque deve ser instalado sobre um estrado de madeira de 10cm de altura e estar cheio de água, de modo que o nível máximo fique a 5cm da borda superior. A oscilação máxima do nível de água dentro do tanque não deve ser superior a 2,5cm.

A evaporação pode ser medida com um micrômetro de gancho ou régua dentro do poço tranqüilizador, ou ainda com o uso de mangueira transparente e escala conectadas externamente à parede lateral do tanque.

O valor de Kp pode ser determinado a partir da Tabela 6, sendo função da velocidade do vento a 2,0m da superfície, umidade relativa do ar e tamanho da bordadura (grama ou solo nú). Dispondo-se de valores de Kp ajustados ou determinados para condições específicas, estes deverão ser utilizados. Dados de velocidade de vento medidos a uma altura diferente de 2,0m devem ser ajustados, usando-se a equação 12.



FIG. 2. Tanque USWB classe A.

Os valores de K_p podem também ser determinados pela equação 16, apresentada por Cuenca (1989). Essa equação, obtida a partir da Tabela 6 por análises de regressão, foi derivada apenas para o caso do tanque circundado por grama, sendo útil quando se dispõe de um computador para auxiliar no manejo da irrigação:

$$K_p = 0,475 - 0,24 \cdot 10^{-4} U_2 + 0,00516 UR + 0,00118 d - 0,16 \cdot 10^{-4} UR^2 - \quad (16)$$

$$0,101 \cdot 10^{-5} d^2 - 0,8 \cdot 10^{-8} UR^2 U_2 - 1,0 \cdot 10^{-8} UR^2 d$$

em que:

K_p = coeficiente de tanque, adimensional;

U_2 = velocidade do vento a 2,0m da superfície do solo, em km/dia;

UR = umidade relativa média do ar, em %;

d = distância mínima com vegetação ao redor do tanque, em m ($d \leq 1000m$).

Os valores de K_p apresentados na Tabela 6 devem ser utilizados com critério, especialmente quando o tanque estiver em áreas com pouca cobertura vegetal ou desnudo. Sob tais condições, a temperatura do ar ao nível do tanque pode ser de 2 a 5°C maior e, conseqüentemente, a umidade relativa 20% a 30% menor. Assim, em regiões áridas, com ventos fortes e extensas áreas de solo nu, sugere-se reduzir os valores de K_p em até 20%. Por outro lado, se o tanque estiver instalado em meio a uma cultura com altura superior a 2,0m, recomenda-se que os valores sejam aumentados em

TABELA 6. Coeficiente Kp para o tanque classe A, para estimativa da ETo.

		Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu			
Umidade relativa (%)		Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%	
Vento (m/s)	Posição do tanque R (m)*				Posição do tanque R (m)*			
Leve <2	0	0,55	0,65	0,75	0	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 2-5	0	0,50	0,60	0,65	0	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 5-8	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,60	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte >8	0	0,40	0,45	0,50	0	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

Nota: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de Kp em 20% em condições de alta temperatura e vento forte, e de 10% a 15% em condições de moderada temperatura, vento e umidade.

* Por R entende-se a menor distância (expressa em metros) do centro do tanque ao limite da bordadura (grama ou solo nu).

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977).

até 30%, nos casos de climas secos e ventos fortes, e em 10% em condições de ventos fracos e umidade relativa elevada.

Um dos cuidados que se deve ter quando da utilização de tanques de evaporação é evitar que animais bebam água no tanque, o que pode ocasionar erros significativos na estimativa da evaporação. Uma maneira simples de evitar tais problemas é cercar uma área de aproximadamente 25m² (5m x 5m) ao redor do tanque com uma tela de arame fino e de malha grande. Nesse caso, os valores de K_p apresentados na Tabela 6 poderiam ser adotados sem maiores problemas, visto que os parâmetros responsáveis pela evaporação da água praticamente não seriam afetados. Entretanto, a colocação da tela sobre o tanque altera consideravelmente a taxa de evaporação, invalidando a utilização da Tabela 6 sem uma calibração prévia.

Por ser um método simples, de custo relativamente baixo, que possibilita resultados satisfatórios e permite uma estimativa diária da evapotranspiração, o tanque classe A tem sido um dos métodos mais empregados em todo o mundo para a obtenção da ETo . Maior precisão, entretanto, pode ser obtida quando empregado por períodos de, pelo menos, cinco dias.

Evapotranspiração da cultura

É a quantidade de água evapotranspirada por uma cultura que cresça sem restrições de umidade, fertilidade ou qualquer outro fator. Para fins de manejo da água de irrigação, em razão das dificuldades para sua medida direta e precisa no campo, a evapotranspiração da cultura tem sido estimada indiretamente a partir da ETo por meio de coeficientes de cultura (equação 17). Esses coeficientes são determinados empiricamente, considerando as necessidades hídricas de cada espécie vegetal nos seus diversos estádios de desenvolvimento. Sempre que possível, devem ser determinados para cada condição edafoclimática específica.

$$ET_c = K_c \cdot ETo \quad (17)$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm/dia;

K_c = coeficiente de cultura, adimensional;

ETo = evapotranspiração do cultivo de referência, em mm/dia.

Na Tabela 7, são apresentados valores de Kc para algumas hortaliças, nos diferentes estádios de desenvolvimento. Os estádios estão subdivididos em quatro e caracterizados como a seguir:

Estádio I - Da emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo.

Estádio II - Desde o final do estágio I até 70% a 80% do desenvolvimento vegetativo (início de florescimento).

Estádio III - Desde o final do estágio II até o início da maturação.

Estádio IV - Desde o final do estágio III até a colheita.

Subdividir os estádios de desenvolvimento das plantas é relativamente simples, uma vez estabelecido o início e o término do estágio III, ou seja, o período correspondente a 80% do máximo desenvolvimento vegetativo e início de maturação das plantas. No caso de hortaliças como ervilha e tomate, por exemplo, o estágio III é definido pelo período entre o florescimento e o início da maturação de grãos ou de frutos.

Para as hortaliças que produzem tubérculos, o estágio III é definido pelo início da formação dos tubérculos até o momento em que atingem o máximo desenvolvimento. Para as hortaliças herbáceas, como a couve-flor e o repolho, o estágio III compreende o período entre o início da formação da inflorescência ou da cabeça e o seu máximo desenvolvimento.

Para espécies tipo raízes, como a cenoura, o estágio III compreende o período entre o desenvolvimento acentuado de raízes e o início da senescência da parte aérea.

Estabelecer o estágio III para as hortaliças folhosas é mais difícil, uma vez que essas plantas são geralmente consumidas antes de atingirem o período reprodutivo. Nestes casos, não se incorrerá em erro se se considerar o estágio III como o período entre 80% do máximo desenvolvimento da planta e a sua colheita.

Sob condições de alta frequência de irrigação (1 a 2 dias), comuns em solos arenosos e alta demanda evaporativa, tem sido recomendado que, no primeiro estágio de desenvolvimento das plantas, empreguem-se valores de Kc maiores que aqueles apresentados na Tabela 7, ou seja, algo entre 0,70-0,90 para irrigações diárias e 0,60-0,80 para frequência de dois dias.

TABELA 7. Coeficiente de cultura (Kc) em diferentes estádios de desenvolvimento, em função da umidade relativa e velocidade do vento, para diversas hortaliças.

Hortaliça	Estádios de desenvolvimento			
	I*	II	III	IV
Abóbora	0,40-0,50	0,65-0,75	0,90-1,00	0,70-0,80
Aipo	0,30-0,50	0,70-0,85	1,00-1,15	0,90-1,05
Alcachofra	0,30-0,50	0,65-0,75	0,95-1,05	0,90-1,00
Alface	0,50-0,60	0,70-0,80	0,95-1,05	0,90-1,00
Batata	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,20	0,70-0,75
Berinjela	0,30-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,80-0,90
Beterraba	0,40-0,50	0,75-0,85	1,05-1,20	0,60-0,70
Brássicas**	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,80-0,95
Cebola	0,40-0,60	0,70-0,80	0,95-1,10	0,75-0,85
Cenoura	0,50-0,60	0,70-0,85	1,00-1,15	0,70-0,85
Ervilha seca	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	0,25-0,30
Ervilha seca***	0,40-0,50	0,65-0,75	0,70-0,80	0,25-0,30
Ervilha verde	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	0,95-1,10
Espinafre	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,90-1,00
Lentilha	0,40-0,50	0,75-0,85	1,05-1,15	0,25-0,30
Melancia	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,65-0,75
Melão	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,65-0,75
Milho-doce	0,30-0,50	0,70-0,90	1,05-1,20	0,95-1,10
Pepino	0,40-0,50	0,65-0,75	0,90-1,00	0,70-0,80
Pimentão	0,40-0,50	0,60-0,65	0,95-1,10	0,80-0,90
Rabanete	0,50-0,60	0,55-0,65	0,80-0,90	0,75-0,85
Repolho	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,10	0,80-0,95
Tomate	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,60-0,65
Tomate indust.***	0,50-0,60	0,60-0,65	0,75-0,85	0,60-0,65
Vagem	0,30-0,50	0,65-0,75	0,95-1,05	0,85-0,90

Primeiro número: sob alta umidade (UR > 70%) e vento fraco (V < 5 m/s).

Segundo número: sob baixa umidade (UR < 50%) e vento forte (V > 5 m/s).

* Para turno de rega de 1 e 2 dias consultar item 3.2 para estimativa de Kc.

** Brócolos, couve-flor, couve-de-bruxelas etc.

*** Para condições edafoclimáticas da região de cerrados do Brasil Central.

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979).

Métodos de Manejo da Irrigação

A irrigação deve ser realizada quando a deficiência de água no solo for capaz de causar decréscimo acentuado nas atividades fisiológicas da planta e, conseqüentemente, afetar o desenvolvimento e a produtividade. Na prática, esse critério é simplificado de acordo com cada caso particular, podendo ser baseado em critérios relacionados à planta, ao solo, a condições práticas limitantes ou, conjuntamente, em mais de um critério.

A quantidade de água aplicada por irrigação, que, de maneira geral, é a necessária para elevar a umidade à capacidade de campo na camada de solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular, pode ser determinada de duas maneiras: a primeira, baseada no solo, consiste em determinar a sua umidade momentos antes da irrigação; a segunda, baseada na planta, consiste em determinar a água evapotranspirada pela cultura entre duas irrigações consecutivas. Havendo problemas de salinidade, o que ocorre principalmente em regiões áridas e semi-áridas, deve-se aplicar uma fração de água adicional para manter o balanço de sais no solo em um nível aceitável.

Os métodos comumente empregados para o manejo da irrigação são os baseados no turno de rega calculado, no balanço e na tensão de água no solo. O método do turno de rega calculado, apesar de pouco criterioso, é um dos mais utilizados. Os métodos do balanço e da tensão de água no solo são mais eficientes e racionais no controle da irrigação, além de práticos.

A forma de distribuição de água ao usuário é o fator que primeiramente influencia a escolha do método de manejo da água de irrigação. No caso de distribuição em rotação em dias fixos, o que é comum em empreendimentos coletivos, o método do balanço de água no solo, a partir de um turno de rega fixo, é um dos mais indicados. Já na distribuição por demanda, em que a água está sempre disponível, ou em projetos isolados, em que esta é bombeada pelo próprio usuário, as irrigações podem ser realizadas em regime de frequência variável, de acordo com as necessidades hídricas da cultura, por meio do método do balanço ou da tensão de água no solo.

Existem muitos resultados de pesquisa que mostram o efeito de níveis de umidade no solo sobre a produtividade das culturas e a qualidade dos produtos. Informações básicas que permitem definir o nível de manejo da irrigação em algumas hortaliças, por meio da tensão da água no solo, são

apresentadas na Tabela 8. No caso de solos salinos, os valores recomendados são inferiores àqueles apresentados na Tabela 8, uma vez que, nessas condições, o potencial osmótico da solução do solo passa a ser significativo.

TABELA 8. Tensão de água no solo em que se deve promover a irrigação para se obter produtividade máxima, para algumas hortaliças.

Hortaliça	Tensão de água no solo* (kPa)	Fonte
Aipo	20-30	Haise & Hagan (1967)
Alface	40-60	Pew (1958)
Alface (semente)	80	Izzeldin et al. (1980)
Alho	15-30	Marouelli et al. (1990a, 1992)
Aspargo	50	Wilcox-Lee (1987)
Batata	20-40	Marouelli et al. (1988)
Batata-doce	240	Jones (1961)
Brócolos	40-70	Pew (1958)
Cebola	15-45	Carrijo et al. (1990)
Cebola (semente)	150	Haise & Hagan (1967)
Cenoura	20-30	Silva et al. (1982)
Cenoura (semente)	75-200	Marouelli et al. (1990b)
Couve-flor	60-70	Pew (1958)
Ervilha	100-200	Marouelli et al. (1991a)
Lentilha	200-400	Saraf & Baitha (1985)
Melão	30-80	Doorenbos & Pruitt (1977)
Milho-doce	50-100	Taylor (1965)
Morango	20-30	Haise & Hagan (1967)
Pepino	100-300	Doorenbos & Pruitt (1977)
Repolho	60-70	Pew (1958)
Tomate salada	30-100	Silva & Simão (1973)
Tomate industrial	100-400	Marouelli et al. (1991b)
Vagem	25-70	Singh (1989)

* Valores à esquerda: evapotranspiração alta (> 5 mm/dia) e períodos críticos ao déficit de umidade do solo (Tabela 9).

Obs.: 1 kPa tem a mesma grandeza que 1 cbar.

Os valores apresentados na Tabela 8 são mais indicados para os métodos de irrigação por aspersão e por superfície. Esses valores devem ser adotados com reserva caso a irrigação seja por gotejamento, visto que, geralmente, as culturas irrigadas por gotejamento apresentam melhor desempenho quando submetidas a tensões inferiores às aquelas consideradas satisfatórias para outros métodos de irrigação.

De maneira geral, as plantas apresentam períodos em que a falta de água ocasiona quedas pronunciadas na produtividade e na qualidade do produto colhido. Já em outros períodos, déficits hídricos moderados não afetam significativamente a produção. Períodos críticos ao déficit hídrico em algumas hortaliças são apresentados na Tabela 9. Essas informações, apesar de qualitativas, podem auxiliar na tomada de decisão no momento da irrigação.

Para o cálculo das necessidades de água das hortaliças que não constam nas tabelas apresentadas, recomenda-se o uso de valores de espécies que apresentem particularidades comuns. Por exemplo, para as folhosas (acelga, chicória etc.), podem ser utilizadas informações disponíveis sobre a alface. Para a beterraba, dados disponíveis sobre a cenoura; para o grão-de-bico, informações sobre a lentilha; e assim por diante.

Método do turno de rega calculado

Apesar de não ser criterioso para efeito de controle da irrigação, o método do turno de rega possibilita o cálculo de vazão, o dimensionamento de tubulações ou canais e a seleção de motobombas em projetos de irrigação. Este método somente é recomendado para fins de manejo da água de irrigação, quando não se dispõem de dados e/ou equipamentos que permitam o emprego de um método mais eficiente.

Por esse método, realiza-se o controle da irrigação determinando-se previamente o intervalo entre irrigações consecutivas (equação 18), para cada estágio de desenvolvimento das plantas. É função da capacidade de armazenamento de água pelo solo, das condições climáticas e da espécie cultivada.

$$TR = \frac{CC - UI}{10 ET_c} \cdot Da \cdot Z \quad (18)$$

TABELA 9. Período crítico ao déficit de umidade no solo para algumas hortaliças.

Hortaliça	Período crítico
Abóbora	Floração e desenvolvimento de frutos
Alface	Particularmente antes da colheita
Batata	Floração e tuberização
Berinjela	Floração e desenvolvimento de frutos
Beterraba	Durante os primeiros 60 dias
Brócolos	Formação da inflorescência
Cebola	Desenvolvimento do bulbo
Cenoura	Especialmente durante os primeiros 40 dias
Couve-flor	Formação da inflorescência
Ervilha	Floração e enchimento de vagens
Lentilha	Floração e enchimento de vagens
Melancia	Florescimento até a colheita
Melão	Florescimento até a colheita
Milho-doce	Pendoamento e formação de grãos
Morango	Desenvolvimento de frutos à maturação
Nabo	Desenvolvimento das raízes até a colheita
Pepino	Florescimento até a colheita
Pimentão	Formação e desenvolvimento de frutos
Pimentas	Frutificação até a colheita
Rabanete	Desenvolvimento das raízes
Repolho	Formação e desenvolvimento da cabeça
Tomate	Formação e desenvolvimento de frutos
Vagem	Floração e enchimento de vagens

Fonte: Adaptado de Doorenbos & Pruitt (1977) e Withers & Vipond (1977).

em que:

TR = turno de rega, em dias;

CC = capacidade de campo, em % de peso seco;

UI = umidade de irrigação, em % de peso seco;

Da = densidade aparente do solo, em g/cm³;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, em cm;

ETc = evapotranspiração da cultura, em mm/dia.

A umidade ideal do solo para se promover a irrigação (UI) deve ser determinada com base na tensão de água no solo recomendada para a espécie cultivada (Tabela 8) e na curva de retenção de água no solo. Não se dispondo da curva de retenção, o turno de rega pode ser determinado pela seguinte expressão:

$$TR = \frac{CC - PM}{10 ETc} \cdot Da \cdot f \cdot Z \quad (19)$$

em que:

PM = ponto de murcha permanente, em % de peso seco;

f = fração real de água disponível à cultura, decimal.

Os demais parâmetros já foram definidos e têm a mesma grandeza daqueles apresentados na equação 18.

O valor de f pode ser determinado, de maneira aproximada, conforme a Figura 3, na qual são apresentadas curvas típicas de cinco diferentes texturas de solo. Neste caso, o valor f será aquele correspondente à tensão crítica de água no solo recomendada para a espécie cultivada, conforme Tabela 8.

A evapotranspiração em cada estágio de desenvolvimento deve ser estimada segundo dados experimentais médios disponíveis da região ou, indiretamente, a partir de uma série histórica de dados climáticos médios mensais. Assim, equações anteriormente apresentadas, como as de Blaney-Criddle e Hargreaves, poderão ser usadas para a estimativa de ETc.

Por ser o turno de rega previamente calculado a partir da evapotranspiração média mensal e histórica, igualmente distribuída durante o mês em consideração, a irrigação pode ser deficiente ou em quantidade excessiva, uma vez que não são consideradas as variações na demanda

evaporativa da atmosfera ao longo do tempo. Assim, o turno de rega calculado não deve ser tomado como um valor fixo, mas como uma aproximação ou um guia de irrigação.

A lâmina de água necessária para cada irrigação é dada por:

$$LRN = TR \cdot ET_c \quad (20)$$

em que:

LRN = lâmina de água real necessária, em mm;

TR = turno de rega, em dias;

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm/dia.

Método do balanço de água do solo

O método do balanço de água no solo consiste na realização de um controle sistemático da precipitação pluvial, evapotranspiração, lâmina de irrigação e perdas por percolação profunda e escoamento superficial.

Muitas variações e simplificações desse método existem na prática, dependendo de como seus parâmetros são avaliados. Uma dessas variações consiste em avaliar diariamente a lâmina de água disponível por meio da evapotranspiração estimada e da precipitação pluvial local. A irrigação deve ser realizada sempre que a disponibilidade de água no solo estiver reduzida a um valor mínimo que não prejudique o desempenho da cultura, ou seja, quando a relação a seguir for verdadeira:

$$\sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - Pe_i) \geq LRD \quad (21)$$

em que:

n = número de dias entre duas irrigações consecutivas;

ET_c = evapotranspiração da cultura, em mm/dia;

Pe = precipitação efetiva, em mm/dia;

LRD = lâmina de água real disponível no solo, em mm (equação 2).

Pela equação 21, infere-se que o lençol freático é profundo o suficiente para tornar o fluxo capilar ascendente desprezível.

A umidade de irrigação (UI), na equação 2, deve ser estimada com base na tensão de água no solo recomendada para a espécie de interesse

(Tabela 8) e na curva característica de água no solo. Não sendo possível estimar a lâmina de água real disponível no solo por meio da equação 2, esta poderá ser estimada, de maneira aproximada, pela seguinte equação:

$$\text{LRD} = f \cdot \text{LTD} \quad (22)$$

em que:

LRD= lâmina de água real disponível no solo, em mm;

LTD= lâmina de água total disponível no solo, em mm (equação 1);

f= fração real de água disponível à cultura, decimal (Figura 3).

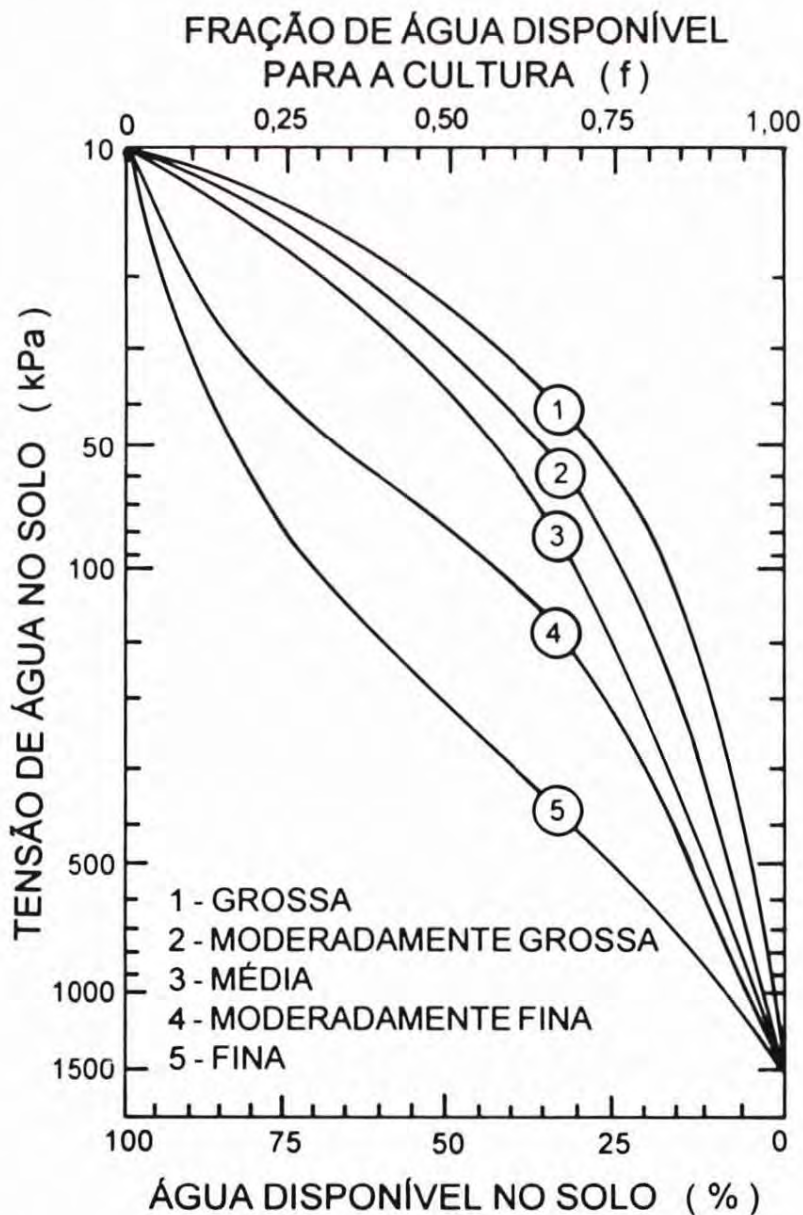


FIG. 3. Relação entre a tensão de água no solo e a fração real de água disponível à cultura, para diferentes texturas (Taylor, 1965).

Para a estimativa da evapotranspiração, deve-se empregar um método que permita o seu cálculo diário. Entre os métodos existentes, o do tanque classe A é um dos que têm sido mais utilizados, possibilitando resultados satisfatórios. Dispondo-se dos dados meteorológicos necessários, o método de Penman deve ser usado preferencialmente.

Nem sempre toda a água proveniente de precipitações está disponível à cultura. Quando isso ocorre, deve-se considerar somente a precipitação efetiva, ou seja, a diferença entre a precipitação total e a perda por percolação profunda e/ou escoamento superficial.

A estimativa da precipitação efetiva (P_e), para períodos de um dia, é difícil e trabalhosa na prática. Para fins de manejo da irrigação, P_e pode ser estimada, de maneira aproximada, em função da precipitação pluvial (P_p) e da lâmina de água necessária para que a umidade do solo retorne à capacidade de campo na camada correspondente ao sistema radicular das plantas (LRN), desde que assumidas algumas condições.

Primeiramente, presume-se que, se a precipitação pluvial é inferior à deficiência atual de água no solo, a água perdida por escoamento superficial é desprezível. Isto se baseia no fato de que, em áreas irrigadas, a quantidade de água necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo é muitas vezes inferior a 20-30mm, e que chuvas dessa magnitude raramente provocam escoamento superficial, exceto em solos de baixa permeabilidade, declivosos ou extremamente compactados.

No caso de chuvas intensas, ou quando a deficiência de água no solo (LRN) for pequena, pode ocorrer tanto escoamento superficial quanto drenagem profunda. Nesse caso, supõe-se que a precipitação pluvial ocorrida, mesmo que provoque escoamento superficial, seja capaz de elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Assim sendo, não é necessário quantificar as perdas de água devidas ao escoamento superficial e/ou percolação abaixo do sistema radicular da cultura.

Com base nas suposições anteriores, pode-se admitir que:

se $P_p < \text{LRN}$, então $P_e = P_p$;

e se $P_p \geq \text{LRN}$, então $P_e = \text{LRN}$.

O valor de LRN pode ser determinado pela equação 23, em que “n” é o número de dias entre a última irrigação e a data da chuva.

Determinado o momento da irrigação, a quantidade de água necessária é dada pelo somatório da diferença entre a água evapotranspirada e a precipitação efetiva ocorrida desde a última irrigação (equação 23).

$$LRN = \sum_{i=1}^n (ETc_i - Pe_i) \quad (23)$$

em que:

LRN= lâmina de água real necessária, em mm;

n= número de dias entre duas irrigações consecutivas;

ETc= evapotranspiração da cultura, em mm/dia;

Pe= precipitação efetiva, em mm/dia.

Pelo método de balanço de água no solo, é possível também controlar a irrigação a partir de um turno de rega fixo ou predeterminado. Neste caso, a lâmina de água a ser aplicada, em cada irrigação, pode ser estimada pela equação 23, sendo o valor de "n" igual ao número de dias do turno de rega a ser adotado.

A adoção de um turno de rega fixo é extremamente conveniente para o controle da irrigação, uma vez que facilita consideravelmente a programação das irrigações, de pulverizações e outros tratos culturais. Existem condições, entretanto, em que a adoção de um turno de rega fixo não só é conveniente, mas também é uma necessidade, como por exemplo em projetos coletivos de irrigação, em que cada irrigante recebe água em dias previamente estabelecidos.

A maior praticidade no controle da irrigação, quando da fixação de um intervalo de irrigação, pode muitas vezes se dar em detrimento da eficiência no uso da água. Isso ocorre porque, quando se estabelece um turno de rega fixo, mesmo aplicando-se a lâmina total de água evapotranspirada no período, as plantas poderão sofrer com a falta de água, principalmente quanto maior for o turno de rega adotado, ou seja, mais próximo daquele que seria determinado pela equação 18 ou 19.

A adoção de um turno de rega muito pequeno, por outro lado, pode trazer problemas fitossanitários e desenvolvimento superficial das raízes, entre outros. Turnos de rega entre 1 e 2 dias, no entanto, são muito usados em irrigação localizada e em solos arenosos.

Método da tensão de água no solo

O manejo da irrigação por esse método é simples. A irrigação será efetuada sempre que a tensão atingir um valor máximo que não prejudique o desenvolvimento das plantas (Tabela 8). Assim, é necessário o

monitoramento contínuo da tensão no campo, que pode ser feito por meio de instrumentos específicos ou pelo método gravimétrico para determinação da umidade do solo, desde que se disponha da curva de retenção de água do solo.

O controle da tensão é geralmente realizado com o auxílio de tensiômetros (Figuras 4 e 5), para valores até 70 kPa, pela medição direta da tensão, ou por meio de blocos de resistência elétrica (Figura 6) devidamente calibrados, para valores maiores que 70 kPa. Métodos como dispersão de nêutrons (Figura 7), gravimétricos e outros tipos de sensores (Figura 8) também têm sido utilizados, porém em escala reduzida.

Embora tenha o limite de funcionamento restrito a tensões inferiores a 70 kPa, o tensiômetro é um instrumento útil no controle da irrigação, visto que as tensões recomendadas como adequadas para a maioria das hortaliças são menores que esse valor (Tabela 8) e que grande parte da água disponível nos solos cultivados está retida abaixo desse limite.



FIG. 4. Tensiômetro com manômetro metálico.

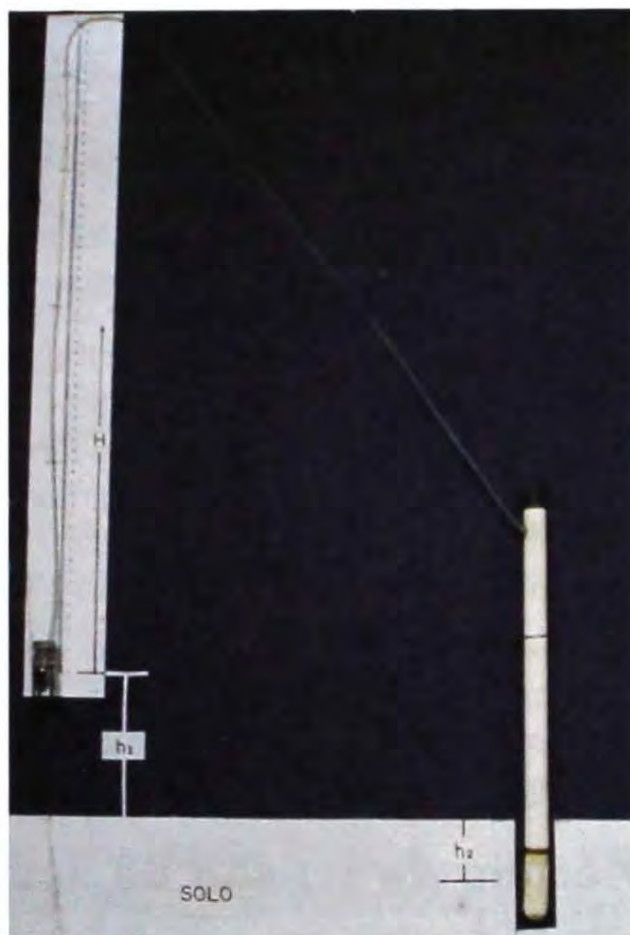


FIG. 5. Tensiômetro com manômetro de mercúrio.

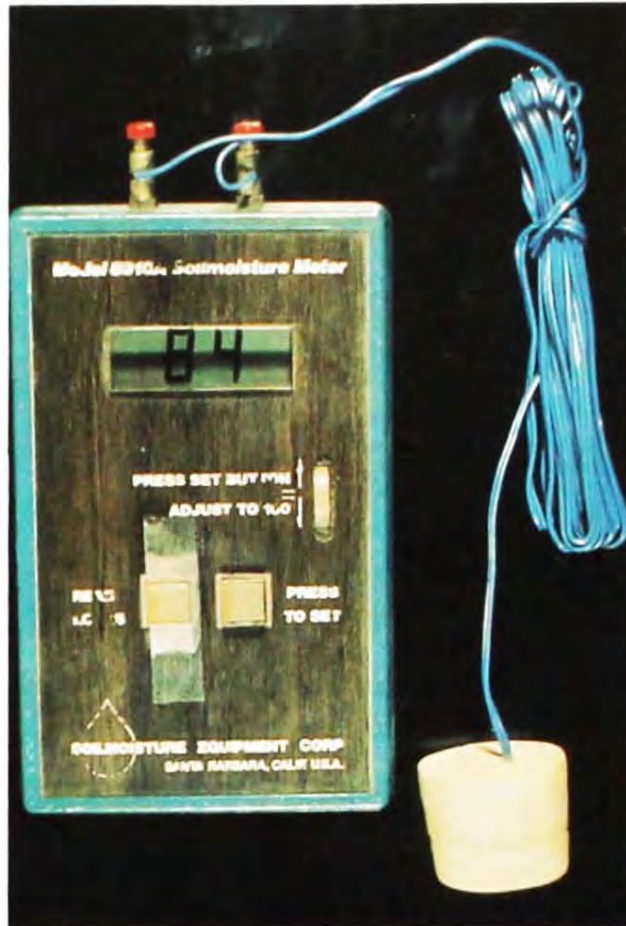


FIG. 6. Medidor e bloco de resistência elétrica.

Os tensiômetros disponíveis comercialmente apresentam-se com manômetro do tipo metálico ou de mercúrio. O manômetro do tipo metálico é de menor precisão do que o manômetro de mercúrio, porém é de instalação mais fácil. Quando se usam tensiômetros de mercúrio, a expressão simplificada que fornece a coluna de mercúrio para uma tensão preestabelecida é a seguinte:

$$H = \frac{10,2T_s + h_1 + h_2}{12,6} \quad (24)$$

em que:

H = leitura da coluna de mercúrio, em cm;

T_s = tensão da água no solo, em kPa;

h_1 = altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo, em cm;

h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro, em cm.



FIG. 7. Sonda de nêutrons utilizada para medir umidade do solo.



FIG. 8. TDR (Time Domain Reflectometry) utiliza ondas eletromagnéticas para estimar a umidade do solo.

Para uma unidade de irrigação, devem-se instalar os medidores de tensão em pelo menos três pontos representativos da área, com o controle da irrigação realizado pela média das leituras. Quanto à profundidade de instalação, sugere-se que sejam instalados em duas profundidades: 1/3 e 2/3 da profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, com o controle das irrigações baseado na média das duas leituras.

Se os sensores forem em número limitado, a profundidade de instalação poderá ser igual a 1/2 da profundidade efetiva, variando em decorrência do estágio de desenvolvimento. Se a irrigação for feita em sulcos, os sensores deverão ser instalados a 1/4 de distância do final dos sulcos.

Determinado o momento da irrigação, a quantidade de água a ser repostada ao solo poderá ser calculada pela equação 25:

$$LRN = \frac{CC - UI}{10} \cdot Da \cdot Z \quad (25)$$

em que:

LRN= lâmina de água real necessária, em mm;

CC= capacidade de campo, em % de peso seco;

UI= umidade de irrigação correspondente à tensão preestabelecida em % de peso seco;

Da= densidade aparente do solo, em g/cm³;

Z= profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, em cm.

Para determinação da UI, é indispensável que se disponha da curva de retenção de água no solo.

O cálculo da lâmina de irrigação a partir da evapotranspiração (equação 23) é mais recomendado nas condições em que os sensores de umidade usados tiverem baixa precisão ou forem em pequeno número, ou em solos com grande variabilidade.

Manejo da Água em Microirrigação

O termo microirrigação, que desde meados dos anos 80 começou a substituir a denominação irrigação localizada, compreende os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e similares.

As principais vantagens da microirrigação estão relacionadas à possibilidade de aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Essa alternativa, conhecida por fertirrigação, propicia elevado grau de controle e completa automatização do sistema, com maior economia e eficiência no consumo de água, energia, fertilizantes e mão-de-obra. A principal desvantagem é o perigo de entupimento de emissores, que pode ser minimizado pelo uso correto dos fertilizantes e de eficientes sistemas de filtragem da água (Figura 9).

Os sistemas de microirrigação possuem características peculiares quanto à determinação das necessidades hídricas e ao processo de infiltração da água no solo. Por serem sistemas fixos, a água pode ser aplicada de forma contínua ou intermitente. Essa característica é especialmente vantajosa em situações de solos arenosos e de clima árido ou semiárido, pois propicia condições de alta umidade na zona radicular das plantas, reduzindo até mesmo problemas de salinidade do solo.



FIG. 9. Conjuntos de filtros de areia e tela para filtragem da água de irrigação.

Necessidades hídricas em microirrigação

Com a microirrigação, a área molhada é menor do que a área total, o que significa menor quantidade de água evaporada da superfície do solo. Para esses sistemas, o ideal seria estimar, separadamente, a quantidade de água transpirada pelas plantas e a quantidade evaporada pelo solo. Isso, entretanto, não é prático, e, para contornar a dificuldade, surgiram, conceitos de fração de área molhada e de área sombreada, para ajustar as necessidades hídricas estimadas pelos métodos tradicionais às condições de microirrigação.

Volume a aplicar

Tomando, por exemplo, a irrigação diária por gotejamento de tomate estaqueado, pimentão, melão ou melancia, com um emissor ou gotejador por planta, pode-se usar a seguinte expressão para o cálculo do volume de água por gotejador:

$$V = ETo \left[a + 0,15 (1 - a) \right] \frac{As}{Cu} Kc \quad (26)$$

em que:

V = volume aplicado por cada gotejador, em ℓ/dia;

ETo = evapotranspiração do cultivo de referência, mm/dia;

a = fração da área molhada, em decimais;

As = área sombreada, em m²;

Cu = coeficiente de uniformidade de aplicação, em decimais;

Kc = coeficiente de cultura, adimensional.

A evapotranspiração de referência ETo pode ser obtida pelos mais diversos métodos mostrados anteriormente. O coeficiente de cultivo Kc também pode ser encontrado na Tabela 7, para várias hortaliças. A fração da área molhada a varia de próximo de zero até 1,0 (um), o que significa que toda a área cultivada está recebendo irrigação, o que foge das características da microirrigação. No caso do melão, por exemplo, com espaçamento de 2,0m x 0,5m, o valor máximo de a pode variar de 0,3 a 0,5.

Quanto à área sombreada As, esta também é uma fração da área de influência de cada planta, num determinado espaçamento. O valor de As

representa a área de “projeção da copa” de cada planta. No caso do meloeiro, dependendo do estágio de desenvolvimento das plantas, os valores de A_s variam de 0,1 a 1,0m², sendo o valor máximo para o caso de cobertura completa do solo, na região representativa de cada planta.

Uniformidade de distribuição

Os coeficientes de uniformidade de aplicação C_u em sistemas de microirrigação geralmente são elevados quando comparados a coeficientes de outros sistemas de irrigação. O C_u deve ser determinado no próprio local, considerando as características de cada instalação. Em geral, valores de C_u abaixo de 90% para microirrigação não são aceitáveis, pois significam sistemas com sérios problemas de dimensionamento e/ou de manejo.

Pela equação 26, observa-se que quanto mais baixo o coeficiente de uniformidade, maior o volume calculado por gotejador, para compensar a desuniformidade da aplicação, reduzindo o efeito de déficit hídrico nas plantas. Isso, entretanto, não é razoável, pois tende a eliminar uma das vantagens da microirrigação, que é a economia de água.

Conceito de bulbo molhado

O manejo da irrigação, depois de definidos a frequência e o volume a aplicar por gotejador, se completa com o monitoramento da água do solo. Isso geralmente é feito com tensiômetros instalados em várias profundidades e distâncias da fonte, seja gotejador ou microaspersor, no volume de solo denominado bulbo molhado.

O bulbo molhado tem forma e tamanho que variam com o tipo de solo, principalmente. Em solos arenosos, o bulbo é mais alongado verticalmente, como uma cenoura, em virtude de o movimento da água ser dominado pela ação da gravidade e da pouca capacidade de retenção de água desses tipos de solo. Em solos argilosos, o movimento horizontal da água prevalece e o bulbo toma uma forma mais achatada como uma cebola.

Alternativas de manejo

A aplicação de água a partir de uma fonte pontual, de forma discreta ou não-contínua, associada à variabilidade espacial e ao processo de infiltração tridimensional da água no solo, resulta em dificuldades para o manejo da microirrigação, especialmente no que diz respeito à uniformidade da aplicação e à colocação de sensores para o monitoramento da irrigação.

O procedimento largamente utilizado e recomendado consiste de aplicações diárias, com monitoramento da umidade do solo com instrumentos, como tensiômetros, blocos de resistência elétrica e outros.

Quando o monitoramento indicar que a quantidade de água na zona radicular não é suficiente para o bom desenvolvimento das plantas, isto significará que o manejo não está adequado e que nova definição de parâmetros precisa ser feita. O mais comum é aumentar o volume aplicado por irrigação. Esse volume é diretamente proporcional à área sombreada, à área molhada e ao coeficiente de cultivo, aumentando com o aumento desses, seja individualmente ou não.

Deve-se analisar qual parâmetro necessita ser redefinido para compensar o déficit de água constatado. O aumento da frequência da irrigação também pode ser uma solução. Em solos com baixa capacidade de retenção de água e/ou onde a demanda da atmosfera é alta, como em condições de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar, a frequência de irrigação em hortaliças pode ser de até três vezes por dia.

Em hortaliças de ciclo muito curto, há necessidade de um acompanhamento para evitar falta de água para as plantas. Ao se constatar que houve ou que está havendo déficit hídrico, já será tarde demais para as plantas se recuperarem e produzirem normalmente.

Fertirrigação de Hortaliças

Fertirrigação é o processo de aplicação simultânea de água e fertilizantes às plantas, por meio de sistemas de irrigação. Com a expansão da microirrigação, tornou-se imperativo o emprego desses sistemas para a aplicação de fertilizantes, pois têm características estruturais e operacionais favoráveis a essa prática.

As principais vantagens da fertirrigação são: eficiência e economia de fertilizantes e mão-de-obra, aplicação da dosagem correta na profundidade adequada, possibilidade de veiculação de diversos tipos de produtos, menor risco, maior facilidade de aplicação e versatilidade de uso em qualquer tipo de solo. As principais desvantagens são os riscos de entupimentos de emissores e de contaminação ambiental.

Tipos de nutrientes

Tanto macro como micronutrientes podem ser aplicados via fertirrigação. Os macronutrientes mais usados são: nitrogênio, potássio e fósforo, nessa ordem. Nitrogênio e potássio são largamente utilizados por serem elementos essenciais e de alta mobilidade no solo e, conseqüentemente, mais sujeitos a perdas por lixiviação. O parcelamento de sais de nitrogênio e potássio é muito apropriado à utilização em fertirrigação pela alta solubilidade desses produtos.

O fósforo, por ser um elemento pouco móvel no solo, não é muito indicado em aplicação via água de irrigação. Os produtos fosfatados também são muito sujeitos à precipitação, o que contribui para o entupimento de gotejadores.

Cálcio, magnésio e enxofre em geral não são aplicados via água de irrigação, e sim fornecidos ao solo na forma de calagem ou adubação de plantio. Micronutrientes como zinco, molibidênio, manganês, ferro e cobre também podem ser aplicados via fertirrigação, devendo-se observar, entretanto, a compatibilidade, a solubilidade e outras características dos fertilizantes que contiverem esses elementos.

Fontes de nutrientes

- Nitrogênio

Para suprir as necessidades nutricionais das plantas, são utilizados vários produtos como fertilizantes. Como fonte de nitrogênio têm-se, por

exemplo, a uréia (com 45% de nitrogênio), o sulfato de amônio (20%), o nitrato de amônio (32%), a amônia anidra (82%) e o sulfuran (20%). O fator determinante na escolha de um ou de outro produto geralmente é o custo e a disponibilidade no mercado. Outros fatores também devem ser levados em conta. Uréia, por exemplo, tende a acidificar o solo. Amônia anidra deve ser manejada com muito cuidado por ser produto muito volátil e tóxico. O uso de sulfuran traz o benefício adicional de conter aproximadamente 4% de enxofre. Finalmente, deve-se considerar a compatibilidade com outros fertilizantes, no caso de misturas.

- Potássio

Como fonte de potássio, o produto mais empregado é o cloreto de potássio, que contém 60% de K_2O . O nitrato de potássio também é bastante usado, pois além de conter 44% de K_2O , contém ainda 14% de N, aproximadamente. Também são usados o hidróxido de potássio (70%) e o sulfato de potássio (50%). Íons acompanhantes, como cloreto e sulfato, podem causar toxicidade às plantas.

- Fósforo

As principais fontes de fósforo são os ácidos ortofosfórico (30% a 45% de P_2O_5) e superfosfórico (70 a 83% de P_2O_5). Esses ácidos são menos sujeitos a reações químicas, que formariam outros compostos, que poderiam precipitar e causar entupimentos.

Características dos fertilizantes

Os produtos fertilizantes usados em fertirrigação são classificados como soluções (*clear liquid*) e suspensões. As soluções caracterizam-se por uma completa dissolução das matérias-primas (fertilizantes). São ideais para sistemas de gotejamento, pois evitam entupimentos. As suspensões geralmente usam argila como agente para manter os elementos nutrientes em suspensão. Para aplicações uniformes, é necessária contínua agitação durante o processo de aplicação.

Adicionalmente, os produtos devem ter características fundamentais, como: conter os elementos necessários de forma prontamente disponível ou rapidamente convertível e serem formulados de maneira a não conter elementos que possam causar entupimentos em emissores e queima às plantas.

Princípios, métodos e equipamentos de aplicação

Basicamente existem três métodos de aplicação de produtos, os quais empregam diferentes princípios e equipamentos (Figura 10):

1. O tanque de injeção é um cilindro hermeticamente fechado, onde o fertilizante é colocado e por onde parte da água que se destina às plantas passa por diferença de pressão, transportando, dessa forma, o produto até os aplicadores ou emissores;
2. A bomba injetora é um equipamento que retira o produto a ser aplicado de um reservatório e o injeta diretamente no sistema de irrigação. São basicamente de dois tipos: pistão e diafragma. A bomba de pistão é mais indicada para trabalhar em sistemas de alta capacidade e alta pressão;
3. O Venturi é um injetor que se baseia no princípio hidráulico de Venturi, que consiste de um estrangulamento de uma tubulação, causando uma sucção resultante da mudança na velocidade de fluxo.

Cada um dos métodos apresenta vantagens e desvantagens comparativas. O tanque é relativamente barato, mas tem a desvantagem de aplicar o produto de forma não-uniforme, em relação ao tempo de aplicação. É mais recomendável em aplicações mais demoradas ou pouco frequentes. As bombas injetoras mais usadas atualmente vêm acopladas a motores elétricos, mas também podem trabalhar com a pressão da própria água. São geralmente muito precisas, mas de custo elevado. O injetor Venturi tem construção bastante simples, é de boa precisão e de baixo custo. A perda de carga causada no sistema é compensada pelas vantagens citadas. Atualmente existem no mercado vários tipos e tamanhos para qualquer tipo de aplicação.

Manejo da fertirrigação

O manejo da fertirrigação consiste basicamente na determinação da quantidade adequada de nutrientes a ser aplicada nos momentos oportunos. O processo de fertirrigação, de forma geral, pode ser dividido em três etapas: a primeira se refere à aplicação da água, apenas; a segunda é a aplicação do fertilizante dissolvido na água; e a terceira diz respeito à aplicação de água novamente para lavar o sistema e colocar os nutrientes na zona radicular das plantas.

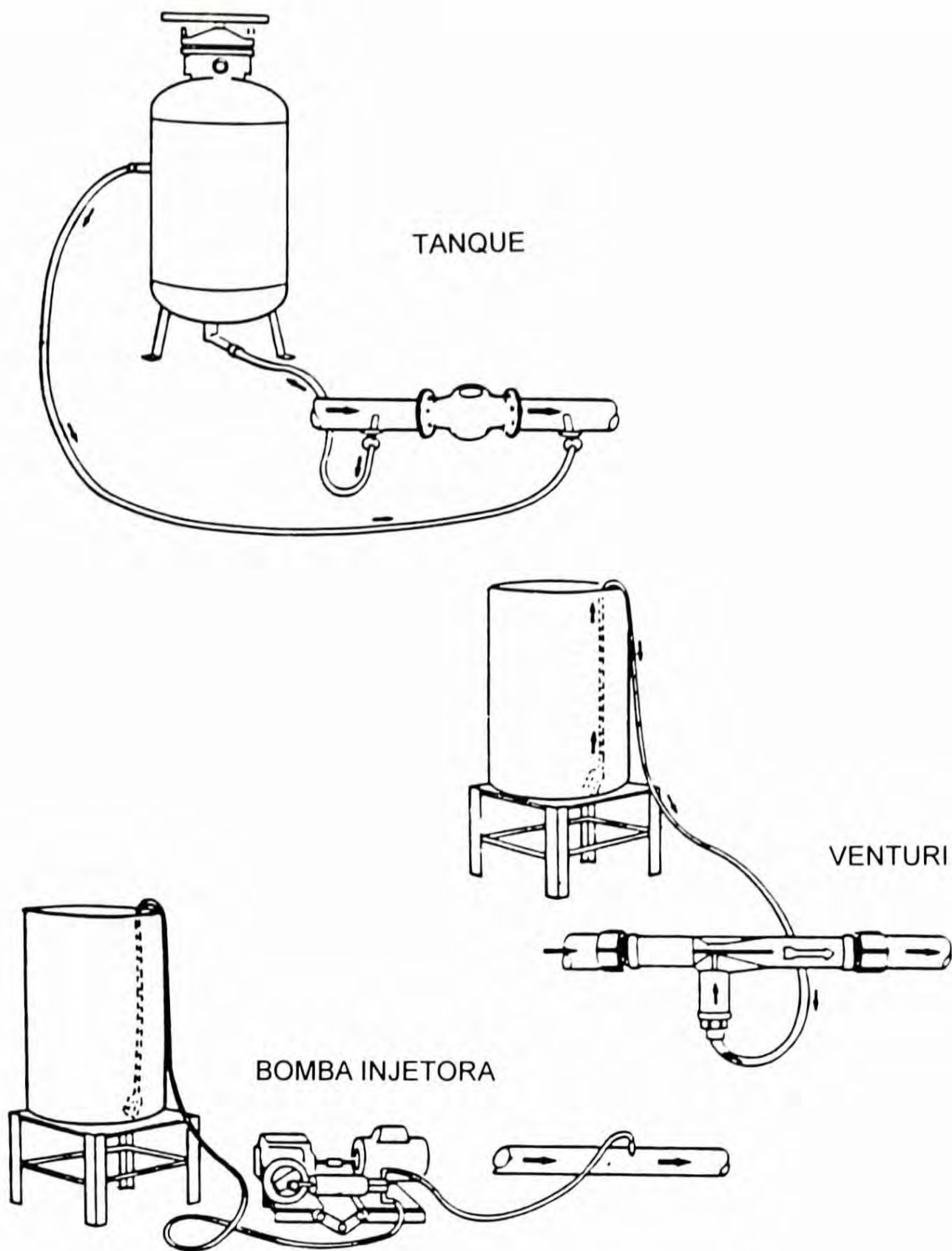


FIG. 10. Sistemas e equipamentos para injeção de fertilizantes.

O tempo correspondente a cada uma dessas etapas depende principalmente do equipamento, da evapotranspiração da cultura, da vazão dos emissores e da frequência de irrigação. Em irrigações de alta frequência, quando geralmente a quantidade de água a aplicar é pequena, nem sempre é possível seguir à risca as três etapas do processo.

Perigo de contaminação

Como em qualquer processo de manipulação de produtos químicos, com fertirrigação existe o perigo de contaminação ambiental. Pode ocorrer a interrupção do bombeamento de água por falha elétrica ou mecânica, enquanto o sistema de injeção continuar operando; e também a bomba injetora pode deixar de funcionar e o sistema de irrigação continuar operando.

No primeiro caso, a solução fertilizante pode retornar e contaminar a fonte de água, além de ocasionar a perda do produto. No segundo caso, a água de irrigação pode retornar ao reservatório de fertilizantes, causando extravasamento da solução ou, em muitos casos, retornando à fonte de água, causando poluição ambiental.

Duas medidas são importantes para a prevenção desses possíveis acidentes. A primeira, é a aquisição de equipamentos de prevenção de retorno, como válvulas de retenção, válvula solenóide etc. A segunda, é a interconexão dos equipamentos com comando elétrico para o fechamento de válvulas.

Manejo de Água versus Ocorrência de Doenças¹

As hortaliças em geral se caracterizam por um alto teor de água em seus tecidos, o que as tornam especialmente sensíveis ao ataque de doenças, principalmente as de origem fúngica e bacteriana. A água e a temperatura são fatores fundamentais no desenvolvimento de doenças de plantas. Flutuações no potencial de água no solo afetam sobremaneira a atividade metabólica, o crescimento vegetativo e a reprodução de vários microrganismos de solo, inclusive os fitopatogênicos, resultando em maior ou menor intensidade, manutenção e propagação de uma doença.

Diferentemente de outros organismos, inclusive as plantas, muitos fungos e bactérias sobrevivem e se multiplicam em limites extremos de temperatura e disponibilidade de água. Por esse motivo, estudos de ecologia e epidemiologia de doenças de plantas quase sempre são relacionados, direta ou indiretamente, com o potencial de água no solo. Sabe-se também que, além do efeito direto, o teor de água no solo afeta populações antagônicas de bactérias, fungos e actinomicetos, que exercem, em diferentes níveis, o controle biológico natural em muitos patossistemas.

Grosseiramente, pode-se afirmar que populações bacterianas são dominantes em solos úmidos, e populações fúngicas dominam em solos secos. Observa-se, por exemplo, um declínio acentuado de população bacteriana quando o potencial da água do solo se mantém abaixo de -100 kPa, enquanto os actinomicetos aumentam com a redução da umidade até -330 kPa. Esse fato explica por que a sarna-da-batata (*Streptomyces scabies*), por exemplo, aumenta de intensidade em solos mais secos; essa doença é controlada com a manutenção do potencial de água acima de -40 kPa por três a quatro semanas a partir do início da tuberização. A proteção contra a infecção por *S. scabies* provavelmente se dá pela colonização das lenticelas, sítios de entrada, por bactérias não-patogênicas predominantes em solos mais úmidos.

Os maiores problemas de água com relação às hortaliças advêm, entretanto, do seu excesso associado a altas temperaturas, situação freqüente em regiões de países tropicais como o Brasil. Sob essas condições, as doenças se propagam mais fácil e intensamente, e limitam o cultivo de várias hortaliças, como as solanáceas e algumas raízes e tubérculos (Figura 11).

¹ Colaboração do Dr. Carlos A. Lopes, fitopatologista do CNPH.



FIG. 11. Água em excesso apodrece a batata-semente antes da emergência, provocando falhas no estande.

Mesmo durante a estação seca, a irrigação inadequada concorre para que as doenças atinjam proporções epidemiologicamente inaceitáveis. Cultivos de batata irrigados, por exemplo, dificilmente deveriam apresentar problemas graves como as podridões-moles, causadas por espécies de *Erwinia*, ou como a sarna-pulverulenta, causada por *Spongospora subterranea*. Entretanto, estas continuam sendo disseminadas e provocando grandes perdas decorrentes de excesso de água ou de vazamentos nos sistemas de irrigação (Figuras 12 e 13).



FIG. 12. Acúmulo de água na cultura é foco de doenças.

Outros exemplos de doenças associadas ao manejo inadequado da água de irrigação e da drenagem são a murcha-bacteriana da batata e do tomate, a murcha-de-esclerócio e a rizoctoniose do tomate, a podridão-de-esclerotínia do tomate e da ervilha, a murcha-de-fitóftora do pimentão e a hérnia das crucíferas, todas doenças de solo. Mas a irrigação inadequada, além de outros problemas, dificulta também o controle de doenças da parte aérea, seja através da lavagem dos produtos químicos aplicados, seja pela manutenção de elevada condição de umidade entre as plantas (Figura 14).

Muitos fracassos observados na produção de sementes no Nordeste e nos cerrados do Brasil central, com estação seca bem definida, podem ser creditados ao desconhecimento sobre manejo da irrigação. Não é sem propósito que os especialistas em doenças de plantas, que conhecem bem as relações entre umidade e enfermidade, constantemente incluem o manejo adequado da irrigação como medida de controle integrado de doenças.



FIG. 13. *Vazamentos em tubulações são focos de doenças.*



FIG. 14. *Déficit hídrico afeta a absorção de nutrientes como o cálcio, provocando podridão apical.*

Manejo de Água na Fase de Pré-emergência e Transplante

As irrigações na fase de pré-emergência, desenvolvimento inicial e transplante dependem do tipo de planta, do solo e das condições climáticas. Em geral, são freqüentes e de pequena intensidade, procurando manter úmida a camada superficial do solo. Observações locais e recomendações de turno de rega são bastante úteis para o manejo da irrigação nesses períodos.

De maneira geral, o plantio e o transplante devem ser realizados em solos previamente irrigados, seguidos de uma nova irrigação. Hortaliças de sementes grandes (ervilha, milho-doce etc.) podem ser semeadas, sem maiores problemas, em solos secos. A primeira irrigação, no entanto, deve elevar a umidade do solo até a capacidade de campo numa camada de solo entre 15 e 30cm.

Hortaliças de sementes pequenas, em especial aquelas com baixo vigor vegetativo, como a cenoura e a beterraba, devem ser irrigadas com turno de rega de um a dois dias até o estabelecimento inicial da cultura (20 a 30 dias), principalmente em solos com tendência de formação de crostas na superfície e alta demanda evaporativa da atmosfera. Irrigações diárias, ou até mesmo duas irrigações por dia, também devem ser realizadas por ocasião do transplante dessas hortaliças.

Para hortaliças que se propagam por ramos (morango, batata-doce etc.), as irrigações devem ser realizadas de um a três dias, para regiões com alta demanda evaporativa e solos tendendo a arenoso, e de quatro a sete dias, para regiões de clima ameno e solos mais argilosos.

No caso da batata e do chuchu, que se propagam por brotações, e hortaliças de sementes grandes e de alto vigor (ervilha, milho-doce etc.), as irrigações devem ser realizadas na freqüência de três a quatro dias, a fim de evitar problemas de fungos de solo. Entretanto, quando a demanda evaporativa for baixa e/ou o solo apresentar alta capacidade de retenção de água, deve-se adotar turno de rega de cinco a sete dias, ou até mesmo superior.

Em sementeiras, as irrigações devem ser diárias ou até mesmo feitas duas vezes por dia em condições extremas de baixa umidade relativa e alta temperatura do ar, procurando manter o solo próximo à capacidade de campo, pois as plântulas são geralmente sensíveis à deficiência de água.

Estabelecido o turno de rega, a quantidade de água a ser aplicada pode ser estimada a partir da equação 20.

Época de Paralisação das Irrigações

A suspensão das irrigações em época inadequada pode reduzir tanto a produtividade quanto a qualidade do produto.

Em geral, as hortaliças folhosas devem ser irrigadas até por ocasião da colheita, visto que são plantas bastante susceptíveis à deficiência de água.

No caso das leguminosas (lentilha, ervilha, grão-de-bico), as irrigações devem ser paralisadas quando cerca de 50% a 70% dos grãos apresentarem-se completamente desenvolvidos. Irrigações durante a maturação dos grãos podem implicar pior qualidade do produto. Em solos profundos e com alta capacidade de retenção de umidade, as irrigações podem ser paralisadas logo no início da formação dos grãos.

Para hortaliças de frutos, raízes, tubérculos, caules e bulbos, a paralisação depende das características de cada espécie. No caso da cenoura, por exemplo, as irrigações devem ser realizadas até por ocasião da colheita, pois além de propiciarem raízes mais tenras, facilitam a colheita. Para a batata, a suspensão das irrigações cinco a sete dias antes da colheita permite melhor conservação dos tubérculos. Em cultivos de cebola e de alho, as irrigações interrompidas aproximadamente aos cinco e dez dias antes da colheita, respectivamente, também garantem melhor conservação dos produtos. Em tomate industrial, a máxima produção de sólidos solúveis pode ser obtida paralisando as irrigações em torno de 20 dias antes da colheita ou quando cerca de 50% das plantas apresentarem pelo menos um fruto maduro.

Lâmina de Água Total Necessária

Os valores de LRN, determinados por quaisquer dos métodos anteriormente descritos, representam a lâmina líquida de água que deve ser repostada ao solo. Contudo, a eficiência de aplicação de água de qualquer sistema de irrigação é inferior a 100%. É necessário, portanto, corrigir o valor da lâmina real de água necessária, em função da eficiência de irrigação do sistema, ou seja:

$$LTN = \frac{LRN}{E_i} \quad (27)$$

em que:

LTN= lâmina de água total necessária, em mm;

LRN= lâmina de água real necessária, em mm;

E_i= eficiência de irrigação, decimal.

A eficiência da irrigação depende fundamentalmente do sistema/método adotado, das condições em que o projeto foi implantado e da habilidade do irrigante.

Outros fatores, como as condições climáticas, também podem influenciar a eficiência da irrigação. Vento forte, por exemplo, pode afetar consideravelmente a uniformidade de distribuição e, conjuntamente com a temperatura e umidade relativa do ar, a eficiência da rega por aspersão.

Enquanto nos métodos de irrigação superficial a eficiência de irrigação raramente ultrapassa os 50%, na aspersão situa-se frequentemente entre 70% e 80%, podendo, em alguns casos, como no pivô-central, atingir 90%. Já na irrigação por gotejamento, a eficiência varia entre 85% e 95%.

Exemplos Práticos

A seguir, são apresentados exemplos práticos, com base em situação real, de como usar os métodos de manejo da água de irrigação. Os exemplos são dados apenas para um determinado estágio de desenvolvimento da cultura. Na prática, os cálculos deverão ser realizados nos diferentes estádios.

Local: CNP Hortaliças, Brasília, DF.

Cultura: milho-doce.

Dados climáticos:

Valores médios mensais: Tabela 10;

Valores diários: Tabela 11;

Bordadura de tanque: 40m (grama).

Período: setembro de 1990.

Estádio fenológico: enchimento de grãos;

Profundidade efetiva do sistema radicular: 50 cm.

Solo: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico

Curva de retenção da água no solo: Figura 8;

Capacidade de campo: 10 kPa;

Densidade aparente: 1,10g/cm³.

Método do turno de rega calculado

a. Época de irrigação

a.1 Capacidade de campo (CC)

Pela curva de retenção da água no solo (Figura 15), tem-se que:

CC = 37,7% em peso seco (para a tensão de 10 kPa).

a.2 Evapotranspiração da cultura (ET_c)

Pela Tabela 10, para o mês de setembro, tem-se que:

TABELA 10. Dados médios mensais de temperatura, umidade relativa, velocidade de vento e evaporação do tanque classe A da estação agroclimatológica do CNPH, Brasília, no período de 1971 a 1990.

Mês	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Vento* (m/s)	Evaporação (mm/dia)
Janeiro	22,7	74	0,9	4,5
Fevereiro	22,9	74	1,0	4,9
Março	22,9	75	0,8	4,5
Abril	22,6	71	0,9	4,7
Maio	21,6	66	0,9	5,0
Junho	20,5	60	1,0	5,4
Julho	20,4	54	1,1	6,4
Agosto	22,3	48	1,2	8,2
Setembro	23,6	53	1,2	7,9
Outubro	23,5	65	1,0	6,1
Novembro	22,9	73	1,1	4,7
Dezembro	22,5	77	0,9	4,2

* Valores referentes ao período entre 1971 e 1983.

TABELA 11. Manejo da água de irrigação pelo método do balanço de água no solo.

Data	Eca (mm/dia)	UR (%)	Vento (m/s)	Kp	Kc	ETc (mm/dia)	Chuva (mm/dia)	Σ (ETC -Pe) (mm)	Irriga- ção** (?)	LRN (mm)
01.09.90	5,9	66	2,8	0,70	1,10	4,5	0,0	24,2	Sim	24,2
02.09.90	6,6	77	1,1	0,85	1,10	6,2	6,6	4,5	Não	-
03.09.90	1,3	70	2,6	0,75	1,10	1,1	0,0	4,1	Não	-
04.09.90	4,3	68	3,7	0,70	1,10	3,3	4,5	5,2	Não	-
05.09.90	6,2	47	3,2	0,70	1,10	4,8	4,7	4,0	Não	-
06.09.90	7,5	52	3,2	0,70	1,10	5,8	0,0	4,1	Não	-
07.09.90	7,8	45	3,4	0,70	1,10	6,0	0,0	9,9	Não	-
08.09.90	7,4	50	2,1	0,70	1,10	5,7	0,0	15,9	Não	-
09.09.90	7,2	70	1,6	0,85	1,10	6,7	0,0	21,6	Não	-
10.09.90	3,7	68	1,2	0,75	1,10	3,1	1,2	28,3	Sim	28,3
11.09.90	2,7	54	2,6	0,70	1,10	2,1	0,0	1,9	Não	-
12.09.90	10,0	71	2,8	0,75	1,10	8,3	28,0	4,0	Não	-
13.09.90	13,7	91	1,4	0,85	1,10	12,8	43,3	0,0	Não	-
14.09.90	*	89	3,1	0,75	1,10	*	121,5	0,0	Não	-
15.09.90	3,3	80	1,6	0,85	1,10	3,1	7,5	0,0	Não	-
16.09.90	2,8	66	1,1	0,75	1,10	2,3	0,0	0,0	Não	-
17.09.90	6,5	48	1,4	0,75	1,10	5,4	0,0	2,3	Não	-
18.09.90	6,1	48	3,0	0,70	1,10	4,7	0,0	7,7	Não	-
19.09.90	8,3	47	3,7	0,70	1,10	6,4	0,0	12,4	Não	-
20.09.90	8,5	45	2,4	0,70	1,10	6,5	0,0	18,8	Não	-
21.09.90	7,5	41	2,5	0,70	1,10	5,8	0,0	25,3	Sim	25,3

* Dados perdidos em razão do transbordamento do tanque.

** Irrigar quando Σ (ETc - Pe) \geq 24,8 mm.

Obs.1: Não dispondo de valores diários de umidade relativa e velocidade do vento, determinar o valor de Kp a partir de valores médios mensais.

Obs.2: A determinação de Pe a partir da chuva foi baseada em critérios apresentados no item 4.2.

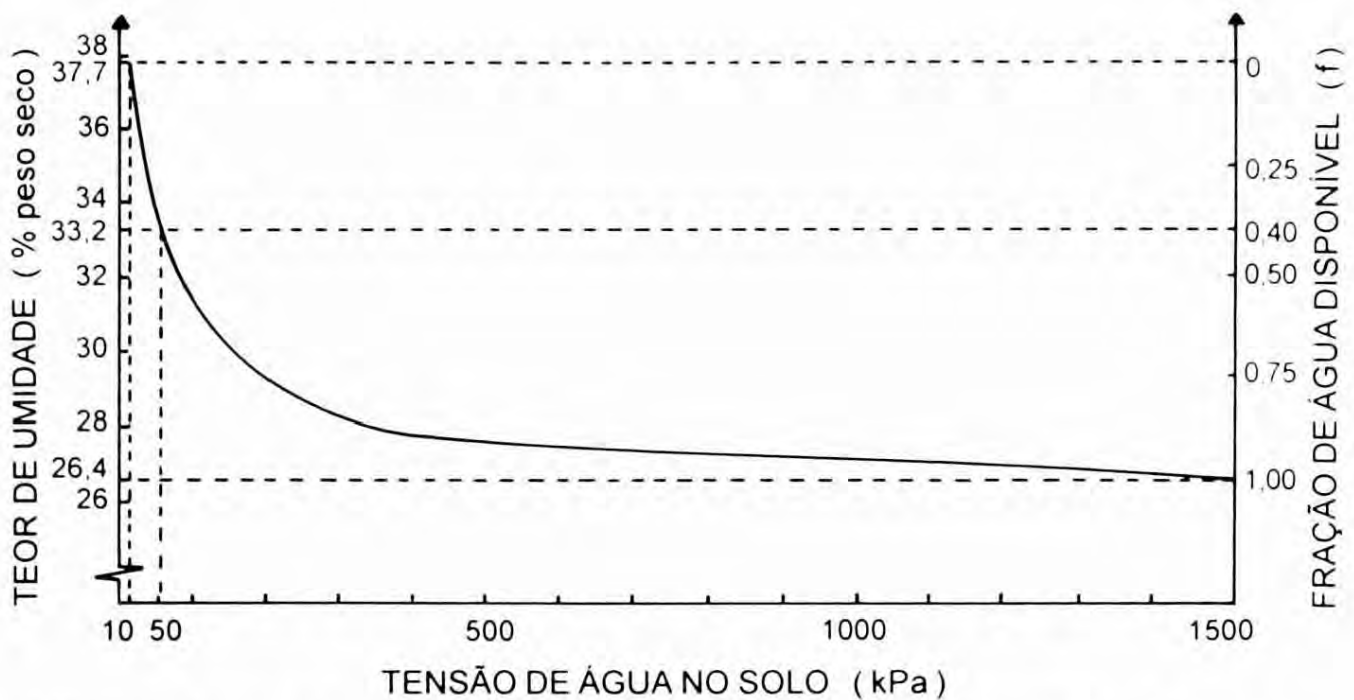


FIG. 15. Curva de retenção de água em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa.

$E_{ca} = 7,9 \text{ mm/dia}$;

Umidade relativa: 53%;

Velocidade do vento: 1,2m/seg.

Pela Tabela 6, para bordadura com grama de 40 m e dados de umidade relativa e velocidade do vento médios mensais (Tabela 10), tem-se que:

$K_p = 0,75$.

Assim, pela equação 15:

$E_{To} = 0,75 \times 7,9 = 5,9 \text{ mm/dia}$

Pela Tabela 7, para o estágio de enchimento de grãos (III) e dados climáticos, tem-se que:

$K_c = 1,10$;

$E_{Tc} = 1,10 \times 5,9 = 6,5 \text{ mm/dia}$.

a.3 Umidade de irrigação (UI)

Pela Tabela 8, para E_{Tc} de 6,5 mm/dia e estágio de desenvolvimento crítico ao déficit de umidade do solo (Tabela 9), tem-se que:

$T_s = 50 \text{ kPa}$.

Pela Figura 8, para 50 kPa, tem-se que:

$UI = 33,2\%$ em peso seco.

a.4 Turno de rega (TR)

Pela equação 18, tem-se que:

$$TR = \frac{37,7 - 33,2}{10 \times 6,5} \times 1,10 \times 50 = 4 \text{ dias.}$$

b. Lâmina de água real necessária (LRN)

Pela equação 20, tem-se que:

$LRN = 4 \times 6,5 = 26,0 \text{ mm}$.

Método do balanço de água no solo

a. Época de irrigação

a.1 Capacidade de campo (CC) e umidade de irrigação (UI)

$CC = 37,7\%$ em peso seco (ver a.1)

$UI = 33,2\%$ em peso seco (ver a.3)

a.2 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Eca (ver Tabela 11);

K_p - determinado a partir da Tabela 6, para bordadura com grama de 40 m e dados médios diários de umidade relativa e velocidade de vento (ver Tabela 11);

$K_c = 1,10$ (ver a.2);

ETc calculado pela equação 17 (ver Tabela 11).

a.3 Quando irrigar

Pela equação 2, tem-se que:

$$LRD = \frac{37,7 - 33,2}{10} \times 1,10 \times 50 = 24,8 \text{ mm}$$

Pela equação 21, irrigar quando:

$$\sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - P_{e_i}) \geq 24,8\text{mm (ver Tabela 11)}.$$

b. Lâmina de água real necessária (LRN) calculada usando a equação 23 (ver Tabela 11).

Método da tensão de água no solo

a. Época de irrigação

a.1 Tensão de água no solo para reinício da irrigação (Ts)

Ts = 50 kPa (ver a.3.)

a.2 Leitura da coluna de mercúrio (tensiômetro) para reinício da irrigação (H)

Profundidade de instalação do tensiômetro (h_2) = 25cm (metade da profundidade efetiva do sistema radicular);

Considerar 15 cm a altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo (h_1).

Assim, pela equação 24:

$$H = \frac{(10,2 \times 50 + 15 + 25)}{12,6} = 44\text{cm}$$

b. Lâmina de água real necessária

b.1 Capacidade de campo (CC) e umidade de irrigação (UI)

CC = 37,7% em peso seco (ver a.1)

UI = 33,2% em peso seco (ver a.3)

b.2 Lâmina de água real necessária (LRN)

Pela equação 25, tem-se que:

$$LRN = \frac{37,7 - 33,2}{10} \times 1,10 \times 50 = 24,8\text{mm}$$

Recomendações para o Uso de Tensiômetros

Neste item, é apresentado um roteiro prático dos cuidados e procedimentos que devem ser observados no preparo, instalação, manutenção e armazenamento de tensiômetros, tanto com manômetro metálico quanto de mercúrio. Tais recomendações são indispensáveis para que esses equipamentos apresentem maior durabilidade e desempenho satisfatório.

Preparo

- a) remover a tampa e encher com água destilada, fervida e fria;
- b) para saturar a cápsula, colocar o tensiômetro em um recipiente com água, de modo que a cápsula fique submersa durante dois a quatro dias. O nível de água dentro do tensiômetro deve ser mantido acima do nível de água do recipiente;
- c) com o auxílio de uma bomba de vácuo (elétrica ou manual), acoplada ao tensiômetro, succionar água através da cápsula, a fim de saturar por completo os seus poros. Para eliminar bolhas de ar aderidas à parede interna do tubo, às vezes é necessário bater com o dedo levemente no corpo do tensiômetro;
- d) completar o tensiômetro com água e fechar a tampa;
- e) pendurar o tensiômetro ao ar livre para que a água evapore através da cápsula (para acelerar o processo, pode ser usado um ventilador);
- f) quando a leitura do manômetro indicar valor de pelo menos 50 kPa, retirar o tensiômetro e submergir a cápsula em um recipiente com água. A leitura do manômetro deve cair rapidamente para 0-10 kPa. Se o tensiômetro não passar nesse teste, é porque apresenta problemas de vazamento.

Instalação

- a) fazer um buraco, preferencialmente em solo úmido, com um trado ou tubo com diâmetro igual ou ligeiramente inferior ao da cápsula, até a profundidade desejada;
- b) introduzir o tensiômetro cuidadosamente no buraco, de forma a permitir um contato íntimo entre a cápsula e o solo;
- c) comprimir levemente a superfície do solo ao redor do tensiômetro;

- d) elevar o solo em volta do tensiômetro, cerca de 3 cm, para evitar a infiltração de água junto ao tubo do tensiômetro;
- e) retirar o ar do tensiômetro (ver item 9.3), completar a água e fechar a tampa;
- f) colocar uma estaca ao lado do tensiômetro, para que este possa ser facilmente localizado e não seja danificado.

Manutenção

A manutenção deve ser realizada a cada dois a quatro dias ou a qualquer momento em que forem notadas bolhas de ar na extremidade superior do tensiômetro (nível de água cerca de 3,0cm abaixo do manômetro) ou no interior da mangueira transparente, no caso de tensiômetro com manômetro de mercúrio. Para isso, seguir os seguintes passos:

- a) retirar a tampa e completar a água (destilada e fervida);
- b) acoplar a bomba de vácuo (manual) na extremidade do tensiômetro e bombear repetidamente até que o manômetro indique cerca de 70 kPa;
- c) deixar a bomba de vácuo acoplada ao tensiômetro por cerca de 10 a 20 segundos, até que cesse a subida de bolhas de ar;
- d) no caso de tensiômetro com manômetro de mercúrio, além das duas operações anteriores, é necessário injetar água sob pressão no interior do tensiômetro, com auxílio de uma piseta com rolha perfurada, para eliminar o ar existente na mangueira transparente do manômetro;
- e) completar a água do tensiômetro e colocar a tampa;
- f) caso o tensiômetro não esteja funcionando satisfatoriamente, substituí-lo para verificar problemas de vazamento;
- g) evitar o pisoteio ao redor dos tensiômetros, a fim de não alterar as características físico-hídricas do solo.

As opções descritas nos itens “b” e “c” poderão ser dispensadas, dependendo da quantidade de ar no interior do tensiômetro, e ser realizado apenas o que dispõe o item “e”.

Armazenamento

- a) antes dos tensiômetros serem guardados, as cápsulas devem ser lavadas com água limpa, com uma escova de cerdas macias;

b) em caso de reutilização dentro de um período de até 60 dias, os tensiômetros podem ser guardados dentro de um recipiente com água limpa, a fim de que as cápsulas permaneçam saturadas. A cápsula também pode ser acondicionada em um saquinho de plástico, que terá a extremidade superior lacrada por uma fita adesiva ou elástica junto ao tubo do tensiômetro;

c) quando for necessário armazená-los por um longo período de tempo, estes deverão ser guardados a seco, após retirada toda a água de seu interior.

Bibliografia

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1986. 488 p.
- BRUEHL, G.W. **Soilborne plant pathogens**. New York: Collier Macmillan, 1987. 368p.
- CARRIJO, O.A.; MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, C.A.S.; SILVA, W.L.C. Produção de cebola sob diferentes regimes de umidade no solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 8, n.1, 1990. Resumo.
- CHANG, J. **Climate and agriculture; an ecological survey**. Chicago: Aldine Publishing, 1968. 304p.
- CUENCA, R.H. **Irrigation system design; an engineering approach**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1989. 552p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predictings crop water requirements**. Roma: FAO, 1977. 144p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).
- HAISE, H.R.; HAGAN, R.M. Soil, plant, and evaporative measurements as criteria of scheduling irrigation. In: HAGAN, R.M. et al. **Irrigation of agricultural lands**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p. 577-604. (Agronomy Series, 11).
- IZZELDIN, H.; LIPPERT, L.F.; TAKATORI, F.H. An influence of water stress at different growth stages on yield and quality of lettuce seed. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 105, n. 1, p. 68-71, 1980.
- JENSEN, M.E. (Ed.). **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1973. 215 p.
- JONES, S.T. Effect of irrigation at different levels of soil moisture on yield and evapotranspiration rate of sweetpotatoes. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 79, p. 458-462, 1961.

- LIDDELL, C.M. Measurement and control of soil temperature and water potential. In: SINGLETON, L.L.; MIHAIL, J.D.; RUSH, C.M. (Eds.). **Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi**. Minnesota: APS, 1992. p. 187-203.
- MAROUELLI, W.A.; GIORDANO, L.B.; OLIVEIRA, C.A.; CARRIJO, O.A. Desenvolvimento, produção e qualidade da ervilha sob diferentes tensões de água no solo, em dois estádios da cultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 26, n.7, p.1041-1047, 1991a.
- MAROUELLI, W.A.; MENEZES SOBRINHO, J.A.; CARRIJO, O.A. Resposta da cultura do alho a diferentes regimes de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.8, n.1, p.50, 1990a. Resumo.
- MAROUELLI, W.A.; MENEZES SOBRINHO, J.A.; SILVA, W.L.C. Influência da água e do nitrogênio na produção, pseudoperfilhamento e chochamento do alho. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.10, n.1, p.59, 1992. Resumo.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R.; OLIVEIRA, C.A.S. Produção de tomate industrial sob diferentes regimes de umidade no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.26, n.9, p.1531-1537, 1991b.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Adequação da época de paralisação das irrigações em tomate industrial no Brasil Central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.11, n.2, p.118-121, 1993.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; OLIVEIRA, C.A.S. Produção de sementes de cenoura sob diferentes regimes de umidade no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.25, n.3, p.339-343, 1990b.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; OLIVEIRA, C.A.S.; SILVA, H.R. Resposta da batata a diferentes regimes de irrigação. **Revista Latinoamericana da la Papa**, v.1, n.1, p.25-34, 1988.
- OLIVEIRA, C.A.S. **Determinação da condutividade hidráulica e da curva de retenção de água no solo com método simples de campo**. Brasília: Embrapa-CNPQ, 1988. 11p. (Embrapa-CNPQ. Circular Técnica, 6).
- PERA, P.C. **Seminário de irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1971.

- PEW, W.D. Effects of soil moisture on cantaloupe growth, and production. **Western Grower and Shipper**, v.29, p.22-24, 1958.
- RAPOSO, J.R. **A rega por aspersão**. Lisboa: Livraria Clássica Editora, 1980. 339p.
- SARAF, C.S.; BAITHA, S.P. Water use patterns and water requirement of lentil planted on different dates. **Lens Newsletter**, v.12, n.1, p.12-15, 1985.
- SEDIYAMA, G.C. **Necessidade de água para os cultivos**. Brasília: ABEAS, 1987. 143p.
- SILVA, A.M.; SILVA, E.L. Necessidade de água para irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.100, p.6-13, 1983.
- SILVA, J.F.; SIMÃO, S. Influência da umidade do solo na produção do tomateiro. **Boletim Técnico. DNOCS**, Fortaleza, v.31, n.2, p.159-193, 1973.
- SILVA, W.L.C.; VIEIRA, J.V.; CARRIJO, O.A. Efeito de diferentes tensões de umidade do solo sobre a cultura da cenoura em fase de desenvolvimento ativo do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.2, p.221-224, 1982.
- SINGH, B.P. Irrigation water management for bush snap bean production. **HortScience**, v.24, n.1, p.69-70, 1989.
- TAYLOR, S.A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, v.8, p.433-436, 1965.
- WILCOX-LEE, D. Soil matric potential, plant water relations and growth in asparagus. **HortScience**, v.22, n.1, p.22-24, 1987.
- WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. São Paulo: EPU, 1977. 339p.

Coordenação Editorial

Marina A. Souza de Oliveira e Araquem Calhão Motta

Projeto Gráfico

Sirlene Siqueira

Revisão Gramatical

Corina Barra Soares

Revisão de Composição

Marcela Bravo Esteves

Tratamento Editorial

Terezinha Santana G. Quazi

Editoração Eletrônica

Flávio Cordeiro

Impressão e Acabamento

Embrapa - SPI



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*



BRASIL
GOVERNO FEDERAL

Arte e Impressão: Embrapa - SPI

ISBN 85-85007-94-X



9 788585 0079