

Waldir Aparecido Marouelli, Eng. - Agrfc., M.Sc.
Henoque Ribeiro da Silva, Eng. - Agr.
Washington Luiz de Carvalho e Silva, Eng. - Agr., Ph.D.
EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças

Manejo da Irrigação em Hortaliças

1. INTRODUÇÃO

De maneira geral, as hortaliças têm desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de clima e de umidade do solo. A deficiência de água é, freqüentemente, o fator mais limitante para a obtenção de altas produtividades, mas o excesso pode também ser prejudicial.

O solo armazena uma quantidade limitada de água, sendo somente parte desta disponível às plantas. Para que o manejo da irrigação ocorra dentro de um critério racional, é necessário o controle da umidade do solo durante todo o ciclo da cultura; só deste modo podem ser determinados o momento da irrigação e a quantidade de água a ser aplicada. Para tanto, é indispensável o conhecimento prévio de parâmetros relacionados com a planta, solo e clima.

Este trabalho é destinado principalmente a extensionistas e técnicos ligados à produção de hortaliças. Tem por objetivo enfatizar o uso racional e eficiente da água de irrigação, através de informações básicas relacionadas às exigências hídricas de algumas hortaliças e da descrição de métodos para o manejo da irrigação.

2. PROFUNDIDADE EFETIVA DO SISTEMA RADICULAR

Em irrigação, normalmente não se considera todo o perfil do solo explorado pelo sistema radicular da cultura, mas apenas a profundidade efetiva, a qual deve ser tal que 80% do sistema radicular esteja nela contido. Sua determinação para cada projeto de irrigação é fundamental; a adoção de valores maiores que o real pode levar à aplicação de grandes quantidades de água com conseqüências danosas, ao passo que va-

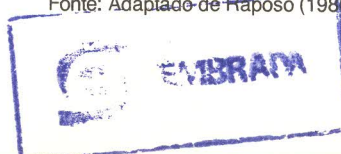
lores menores podem resultar em aplicações deficientes e em turnos de rega muito pequenos.

Na Tabela 1 são apresentados valores médios da profundidade efetiva do sistema radicular para algumas hortaliças em seu estágio de máximo 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 e horizontes fortemente diferenciados, podem afetar consideravelmente o desenvolvimento radicular das plantas. Assim, para melhor noção da profundidade efetiva, é aconselhável avaliar o sistema radicular da cultura no próprio local de cultivo, em vez de utilizar valores médios como os da Tabela 1.

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

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

Fonte: Adaptado de Raposo (1980).



Entretanto, para um eficiente manejo da irrigação, o ideal é considerar as profundidades efetivas para as diferentes etapas do ciclo da cultura, visto que as raízes crescem com o desenvolvimento da planta.

Solos compactados oferecem grande resistência ao desenvolvimento radicular das plantas. O manejo do solo de forma a destruir as camadas compactadas e evitar que estas se formem durante o preparo do solo é decisivo para um perfeito desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente, para a racionalização do uso de água na irrigação.

3. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Evapotranspiração é o processo da perda conjunta de água do solo pela evaporação e da planta pela transpiração, devendo ser reposta ao solo através de irrigações, na ausência de chuvas.

Além de variar em função da espécie cultivada, a evapotranspiração depende do solo e principalmente do clima. Dentre os fatores climáticos que influenciam este processo, destacam-se a radiação solar, a luminosidade, a temperatura, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento.

Vários são os métodos para avaliar a evapotranspiração, os quais podem ser divididos em métodos diretos e indiretos. Dentre os métodos diretos têm-se os lisímetros, parcelas experimentais de campo, controle da umidade do solo e método da entrada-saída em grandes áreas.

Indiretamente, a evapotranspiração pode ser determinada através de evapôrimetros e de equações.

3.1. 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 15 cm de altura), em fase de crescimento ativo, sem restrições de umidade e com bordadura adequada. Devido à dificuldade de sua obtenção através de medições diretas e exatas, em condições reais, os métodos indiretos são largamente utilizados, possibilitando resultados satisfatórios.

São vários os métodos indiretos para a estimativa da evapotranspiração do cultivo de referência, porém os mais utilizados, em virtude da facilidade de seu emprego, são os de Blaney-Criddle, de Hargreaves e do tanque classe A. Em trabalhos de pesquisa, a equação de Penman tem sido largamente utilizada; contudo, na prática, sua utilização é limitada pelo grande número de dados meteorológicos exigidos.

3.1.1. Métodos de Blaney-Criddle

Foi desenvolvido para estimar a evapotranspiração (equação 1), quando o único dado meteorológico disponível for o de temperatura.

$$ET_o = P (0,46 T + 8,13) \quad (1)$$

em que

ET_o = evapotranspiração do cultivo de referência, mm/mês;
P = horas de luz solar mensal possíveis, em relação ao total anual, % (Tabela 2);
T = temperatura média mensal, °C.

3.1.2. Método de Hargreaves

Este método tem sido amplamente utilizado no Nordeste brasileiro, com resultados satisfatórios. A equação cor-

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	8,78	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).

respondente é a seguinte:

$$ET_o = 2,09 T P (1 - 0,001 UR_m) \quad (2)$$

em que

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

T = temperatura média mensal, °C;

P = horas de luz solar mensal possíveis, em relação ao total anual, % (Tabela 2);

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

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:

$$UR_m = 1,0 + 0,4 UR + 0,004 UR^2 \quad (3)$$

em que

UR = umidade relativa média mensal, %.

3.1.3. Método do tanque classe A

Na evaporação de uma superfície de água livremente exposta, integram-se os efeitos dos diferentes fatores climáticos que influem na evapotranspiração dos vegetais. Utilizando coeficientes obtidos empiricamente, pode-se estimar a ET_o a partir da evaporação do tanque, por meio da seguinte equação:

$$ET_o = K_p E_{ca} \quad (4)$$

em que

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

K_p = coeficiente de tanque, adimensional;

E_{ca} = evaporação do tanque classe A, mm/dia.

Os valores de E_{ca} podem ser obtidos nos postos meteorológicos da região, estações experimentais ou no próprio local de cultivo.

O tanque USWB classe A (Fig. 1) consiste em um recipiente circular de aço inoxidável ou de ferro galvanizado, com



FIG. 1. Tanque USWB classe A.

121 cm de diâmetro interno e 25,5 cm de profundidade. O tanque deve ser instalado sobre um estrado de madeira de 10 cm de altura e cheio de água, de modo que o nível fique a 5 cm da borda superior. A oscilação máxima do nível de água dentro do tanque não deve ser superior a 2,5 cm.

A evaporação pode ser medida com um micrômetro de gancho ou com uma régua colocada em posição inclinada, no poço tranquilizador, ou com uso de mangueira transparente e escala conectada à parede lateral do tanque.

Valores de K_p devem ser determinados para cada região. Na falta destes dados, pode ser utilizada a Tabela 3, na qual os valores de K_p são dados em função da velocidade do vento, umidade relativa e tamanho da bordadura (grama ou solo nu).

3.2. Evapotranspiração da cultura

É o uso de água pela cultura, crescendo sem restrições, incluindo a evaporação do solo e da vegetação molhada. Pode ser estimada através de um método direto, ou indiretamente a partir da ET_o por meio dos coeficientes de cultura (equação 5). Estes são determinados empiricamente, considerando as características da cultura sobre suas necessidades hídricas nos diversos estádios de desenvolvimento.

$$ET_c = K_c ET_o \quad (5)$$

em que

ET_c = evapotranspiração da cultura, mm/dia;

K_c = coeficiente de cultura, adimensional;

ET_o = evapotranspiração do cultivo de referência, mm/dia.

Na Tabela 4 são apresentados valores de K_c, com razoável grau de precisão, para os diferentes estádios de desen-

TABELA 3. Coeficiente K_p para o tanque classe A, para estimativa da ET_o.

Umidade relativa (%)	Tanque circundado por grama			Tanque circundado por solo nu			
	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)*			
	0	0,55	0,65	0,75	0	0,70	0,80
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65
Leve < 2	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60
	0	0,50	0,60	0,65	0	0,65	0,75
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60
Moderado 2 - 5	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55
	0	0,45	0,50	0,60	0	0,60	0,65
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55
	100	0,60	0,65	0,75	100	0,45	0,50
Forte 5 - 8	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45
	0	0,40	0,45	0,50	0	0,50	0,60
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45
Muito forte > 8	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1977).

Nota: Para extensas áreas de solo nu, reduzir os valores de K_p 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).

volvimento da cultura. Os estádios são 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.

Dispondo-se de valores de Kc, determinados experimentalmente para a região, estes deverão ser utilizados.

TABELA 4. 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	0,40-0,50*	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	0,30-0,50*	0,70-0,85*	1,00-1,15	0,70-0,85
Ervilha	0,40-0,50	0,70-0,85	1,05-1,20	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	0,30-0,40	0,60-0,65	0,95-1,10	0,80-0,90
Rabanete	0,30-0,40*	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
Vagem	0,30-0,40	0,65-0,75	0,95-1,05	0,65-0,90

Primeiro número: sob alta umidade ($UR_{min} > 70\%$) e vento fraco ($V < 5$ m/s).

Segundo número: sob baixa umidade ($UR_{min} < 20\%$) e vento forte ($V > 5$ m/s).

* Valores adaptados pelos autores.

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

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

4. MÉTODOS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO

A irrigação deve ser realizada quando o déficit de água no solo for capaz de causar decréscimo acentuado nas atividades fisiológicas da planta, e, conseqüentemente, afetar seu desenvolvimento e produtividade. Na prática, este critério é simplificado de acordo com as condições de cada caso particular.

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

A resposta da cultura às condições de umidade do solo e demanda evaporativa da atmosfera são os elementos básicos para o manejo adequado da irrigação. Existe na literatura inúmeros resultados de pesquisa objetivando avaliar o efeito de níveis de umidade no solo sobre a produtividade das culturas. Informações básicas que permitem definir o nível de manejo da irrigação para algumas hortaliças, através da tensão da água no solo, são apresentadas na Tabela 5.

De maneira geral, as culturas apresentam períodos em que a falta de água ocasiona uma queda pronunciada na produtividade. Já em outros, a ocorrência de défices hídricos moderados não afeta significativamente a produção. Períodos críticos ao déficit hídrico para algumas hortaliças são apresentados na Tabela 6. Estas informações, apesar de qualitativas, podem auxiliar na tomada de decisão no momento da irrigação.

A quantidade de água a ser aplicada é um dos aspectos básicos num projeto de irrigação. A lâmina de água a ser aplicada é geralmente a necessária para elevar a umidade do solo à

TABELA 5. Tensão da água no solo em que se deve promover a irrigação para obter produtividade máxima, para algumas hortaliças.

Hortaliça	Tensão da água no solo* (bar)	Fonte
Aipo	0,20-0,30	Haise & Hagan (1967)
Alface	0,40-0,60	Pew (1958)
Alface (semente)	0,80	Izzeldin et al. (1980)
Alho	0,20-0,40	Marouelli et al.**
Batata	0,30-0,60	Marouelli et al. (1988)
Batata-doce	2,40	Jones (1961)
Brócolo	0,40-0,70	Pew (1958)
Cebola	0,15-0,45	Carrijo et al.**
Cebola (semente)	1,50	Haise & Hagan (1967)
Cenoura	0,30	Silva et al. (1982)
Cenoura (semente)	0,75-2,00	Marouelli et al. (1989b)
Couve-flor	0,60-0,70	Pew (1958)
Ervilha	1,00-2,00	Marouelli et al. (1989a)
Lentilha	2,00-4,00	Saraf & Baitha (1985)
Melão	0,30-0,80	Doorenbos & Pruitt (1977)
Milho-doce	0,50-1,00	Taylor (1965)
Morango	0,20-0,30	Haise & Hagan (1967)
Pepino	1,00-3,00	Doorenbos & Pruitt (1977)
Repolho	0,60-0,70	Pew (1958)
Tomate	0,30-1,00	Silva et al. (1973)
Tomate rasteiro	1,00-4,00	Marouelli et al.**
Vagem	0,25-0,70	Singh (1989)

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

** Pesquisa em andamento no CNPH.

TABELA 6. Períodos críticos ao déficit de umidade do solo, para algumas hortaliças.

Hortaliça	Períodos críticos
Alface	Particularmente antes da colheita
Batata	Floração e tuberação
Beterraba	Durante os primeiros 60 dias
Brócolo	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	Florescimento e formação de grãos
Morango	Desenvolvimento do fruto à maturação
Nabo	Desenvolvimento das raízes até a colheita
Pepino	Florescimento até a colheita
Pimentão	Formação e desenvolvimento de frutos
Rabanete	Desenvolvimento das raízes
Repolho	Formação e desenvolvimento da cabeça
Tomate	Formação e desenvolvimento de frutos

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

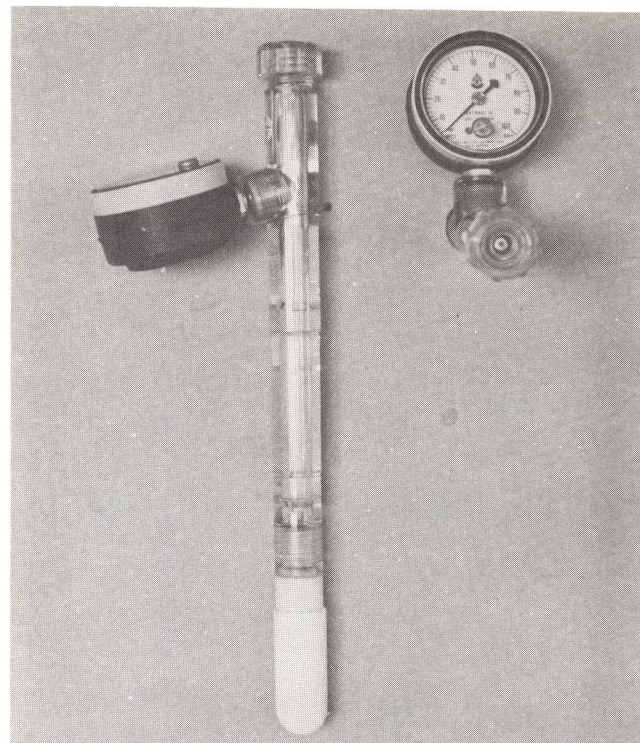


FIG. 2. Tensiômetro com vacuômetro.

capacidade de campo, na camada de solo correspondente à profundidade efetiva das raízes da cultura.

4.1. Método da tensão da água no solo

O manejo da irrigação, através deste método, é relativamente prático e fácil de ser realizado. A irrigação é efetuada a todo momento que a tensão atingir um valor máximo que não prejudique o desempenho da cultura (Tabela 5). Assim sendo, é necessário o monitoramento contínuo da tensão em campo, que pode ser feito por meio de instrumentos específicos ou através de um método gravimétrico para determinação da umidade do solo, desde que se disponha da curva de retenção de água no solo.

O controle da tensão é geralmente realizado com o auxílio de tensiômetros (Fig. 2 e 3), para valores menores que 0,8 bar, através da medição direta da tensão, ou por meio de blocos de bouyoucos (Fig. 4), para valores maiores que 0,8 bar. Para utilização desses blocos, deve-se fazer uma calibração prévia de seu medidor em função da tensão.

Embora tenha seu limite de funcionamento restrito a tensões menores que 0,8 bar, o tensiômetro é um instrumento bastante útil no controle a irrigação, visto que as tensões recomendadas como adequadas para a maioria das hortaliças são menores que 0,8 bar (Tabela 5).

Os tensiômetros utilizados podem ser do tipo metálico ou de mercúrio. O tensiômetro com vacuômetro metálico possui menor precisão e custo maior do que o de manômetro de mercúrio, sendo, contudo, de instalação mais fácil. Quando se utiliza o tensiômetro de mercúrio, a expressão simpli-

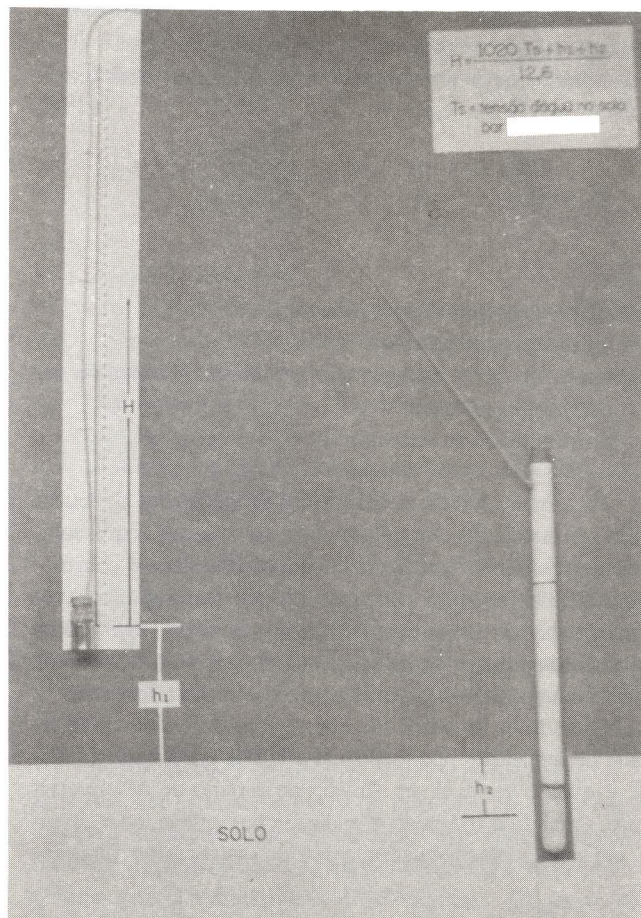


FIG. 3. Tensiômetro com manômetro de mercúrio.

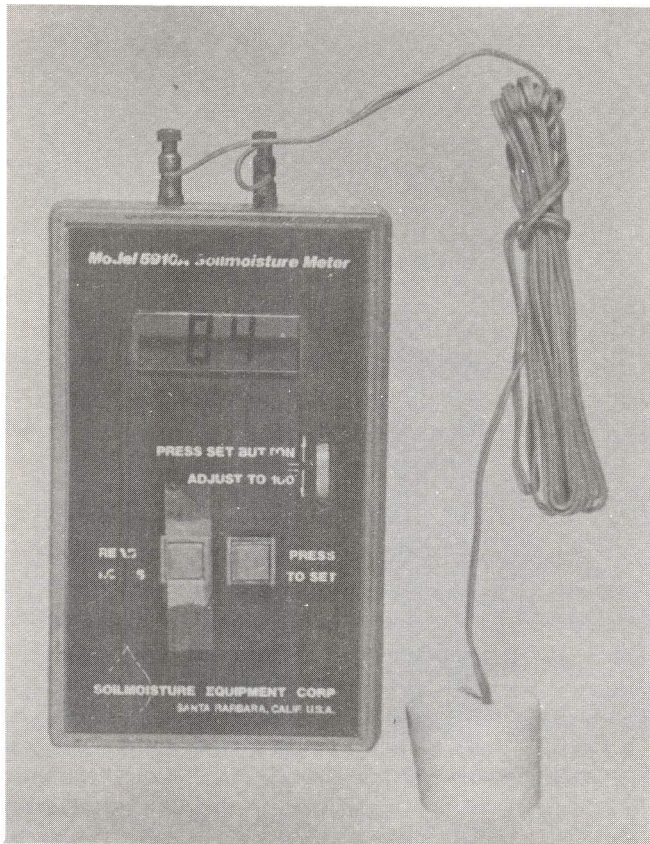


FIG. 4. Medidor e bloco de bouyoucos.

ficada que fornece a coluna de mercúrio para uma tensão pré-estabelecida é a seguinte:

$$H = \frac{1020 T_s + h_1 + h_2}{12,6} \quad (6)$$

em que

H = leitura da coluna de mercúrio, cm;

T_s = tensão da água no solo, bar;

h₁ = altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo, cm;

h₂ = profundidade de instalação do tensiômetro, cm.

Para uma unidade de irrigação, os medidores de tensão devem ser instalados em, pelo menos, três pontos representativos da área, sendo 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 da cultura, sendo o controle das irrigações baseado na média das duas leituras.

Quando os sensores são em número limitado, a profundidade de instalação pode ser igual a 1/2 da profundidade efetiva, a qual é variável em função do estágio de desenvolvimento. Quando a irrigação é realizada por sulcos, os medidores, em geral, são instalados a 1/4 de distância do final dos sulcos.

Determinado o momento da irrigação, a quantidade de água a ser recolocada ao solo pode ser calculada pela equação

7 ou em função da evapotranspiração da cultura ocorrida no período.

$$QRN = \frac{CC - UI}{10} Da Z \quad (7)$$

em que

QRN = quantidade de água real necessária, mm;

CC = capacidade de campo, % em peso seco;

UI = umidade de irrigação correspondente à tensão pré-estabelecida, % em peso seco;

Da = densidade aparente do solo, g/cm³;

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

Para determinar a UI é indispensável que se disponha da curva de retenção de água no solo. Esta curva é característica para cada solo e associa cada valor de tensão da água no solo a um teor de umidade retido no solo sob aquela tensão.

A curva de retenção é geralmente determinada em laboratório, utilizando-se amostras com estrutura natural ou deformada, por meio de aparelhos especiais. Pode ainda ser determinada no campo, com auxílio de tensiômetros, na faixa de funcionamento do instrumento.

4.2. Método do balanço de água do solo

O manejo da irrigação com base no balanço de água no solo consiste na realização de um controle diário da precipitação, da irrigação, da evapotranspiração e das perdas por percolação profunda ou além do sistema radicular.

Em alguns países em que o uso da irrigação é uma prática já incorporada ao processo produtivo e o recurso água é escasso, existem firmas especializadas responsáveis para executar o balanço de água no solo e indicar ao agricultor quando e quanto de água deve ser aplicado.

Muitas variações e simplificações deste 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 local. A irrigação deve ser realizada a todo momento em 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:

$$\sum_{i=1}^n (ETc_i - Pe_i) \geq f LTD \quad (8)$$

em que

n = número de dias entre duas irrigações consecutivas;

ET_c = evapotranspiração da cultura, mm/dia;

Pe = precipitação efetiva, mm/dia;

f = fração máxima da água disponível a ser consumida, decimal;

LTD = lâmina de água total disponível no solo, mm.

A lâmina de água total disponível no solo é dada por:

$$LTD = \frac{CC - PM}{10} Da Z \quad (9)$$

em que

CC = capacidade de campo, % em peso seco;

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

Da = densidade aparente do solo, g/cm³;

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

Para cada cultura, a fração máxima da água disponível a ser consumida (f) deve ser determinada com base na tensão de água no solo para o reinício da irrigação (Tabela 5) e na curva de retenção de água do solo, e não como se costuma fazer, isto é, usar um mesmo valor para f, indistintamente, para qualquer tipo de solo. A tensão com que a água é retida pelo solo é mais importante no sentido de limitar o desenvolvimento da planta do que a disponibilidade de água no solo, e para uma mesma tensão, o valor de f pode variar significativamente, dependendo do tipo de solo. Não dispondo da curva característica do solo, pode-se utilizar, com alguma reserva, uma das curvas apresentadas na Fig. 5.

Para estimativa da evapotranspiração, deve-se utilizar um método que permita o seu cálculo diário. Dentre os métodos para a estimativa diária da ETc, o do tanque classe A é um dos que têm sido mais utilizados, possibilitando resultados satisfatórios.

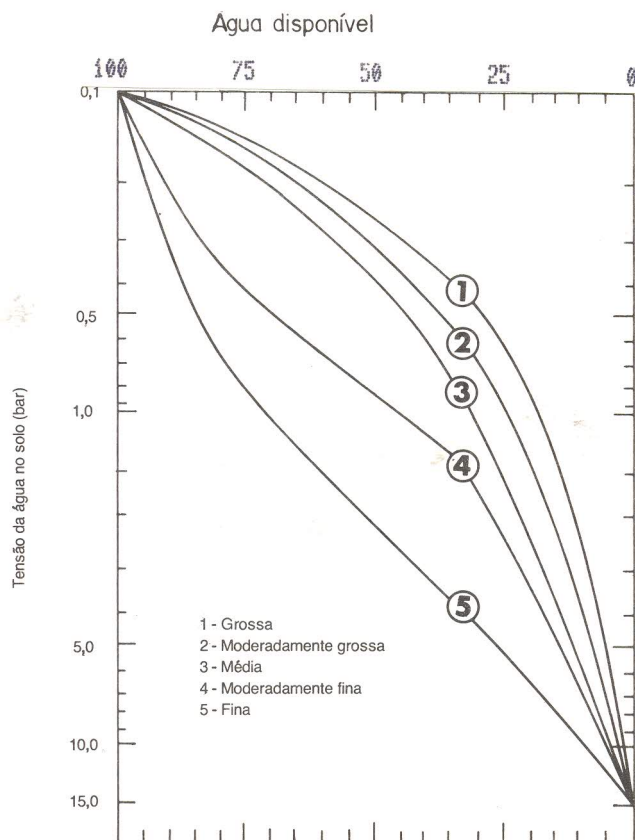


FIG. 5. Relação entre disponibilidade e tensão de água no solo para diferentes texturas (Taylor, 1965).

Nem sempre toda a água proveniente de precipitações fica 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 quantidade de água necessária, no momento da irrigação, é dada pela seguinte equação:

$$QRN = \sum_{i=1}^n (ETc_i - Pe_i) \quad (10)$$

em que

QRN = quantidade de água real necessária, mm;

n = número de dias entre duas irrigações consecutivas;

ETc = evapotranspiração da cultura, mm/dia;

Pe = precipitação efetiva, mm/dia.

4.3. Método do turno de rega

Apesar de não ser um método criterioso, como os anteriores, para efeito de controle da irrigação, é o que possibilita o cálculo de projetos de irrigação, ou seja, vazão necessária e dimensionamento de tubulações ou canais e motobombas.

O controle da irrigação por este método é realizado determinando-se, previamente, o intervalo entre irrigações consecutivas, para cada estágio de desenvolvimento da cultura. É função da capacidade de armazenamento de água pelo solo, das condições climáticas e da cultura, conforme a equação 11.

$$TR = \frac{CC - PM}{10 ETc} Da f Z \quad (11)$$

em que

TR = turno de rega, dias;

CC = capacidade de campo, % em peso seco;

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

Da = densidade aparente do solo, g/cm³;

f = fração máxima da água disponível a ser consumida, decimal;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, cm;

ETc = evapotranspiração da cultura, mm/dia.

A fração máxima de água disponível a ser consumida pela cultura deve ser determinada, preferencialmente, com base na tensão de água no solo para reinício da irrigação (Tabela 5) e na curva de retenção de água no solo, conforme comentários realizados no item referente ao método do balanço de água no solo.

Neste sistema de manejo, a evapotranspiração da cultura deve ser estimada a partir de uma série de dados mensais médios, admitidos como igualmente distribuídos durante o mês em consideração. Os dados necessários dependem do método para a estimativa de ETc escolhido. Dispondo-se de dados experimentais de ETc para a região, estes deverão ser utilizados.

A quantidade de água necessária por irrigação é dada por:

$$QRN = TR ETC \quad (12)$$

em que

QRN = quantidade de água real necessária, mm;

TR = turno de rega, dias;

ETC = evapotranspiração da cultura, mm/dia.

5. EXEMPLOS DE MANEJO

Local: CNPH, Brasília, DF

Cultura: tomate salada

Profundidade efetiva do sistema radicular

- até o início do florescimento: 15 cm;
- a partir do início do florescimento: 30 cm.

Evaporação do tanque classe A

- valores médios mensais: Tabela 7
- valores diários: Tabela 8
- bordadura: 40 m (grama)

Período: junho

Estádio fenológico: frutificação

Solo: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Curva de retenção da água no solo: Fig. 6

Capacidade de campo: 0,1 bar

Ponto de murcha permanente: 15,0 bar

Densidade aparente: 1,10 g/cm³

TABELA 7. Dados meteorológicos de umidade relativa, velocidade do vento e evaporação da estação agroclimatológica do CNPH, 1971 a 1983.

Meses	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m/s)	Evaporação do tanque classe A (mm/dia)
Janeiro	75	0,9	4,32
Fevereiro	73	1,0	4,43
Março	74	0,8	4,12
Abril	71	0,9	4,17
Mai	66	0,9	5,06
Junho	60	1,0	5,66
Julho	53	1,1	6,73
Agosto	46	1,2	8,98
Setembro	52	1,2	8,18
Outubro	65	1,0	6,30
Novembro	75	1,1	4,29
Dezembro	76	0,9	4,00

5.1. Pelo método do turno de rega

a. Época de irrigação

a.1. Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PM)

- Pela curva de retenção da água no solo (Fig. 6), tem-se que:

CC = 37,7% em peso seco (0,1 bar)

PM = 26,4% em peso seco (15,0 bar)

a.2. Evapotranspiração da cultura (ETC)

- Pela Tabela 7, para o mês de junho, tem-se que:

Eca = 5,7 mm/dia

Umidade relativa: 60%

Velocidade do vento: 1,0 m/s

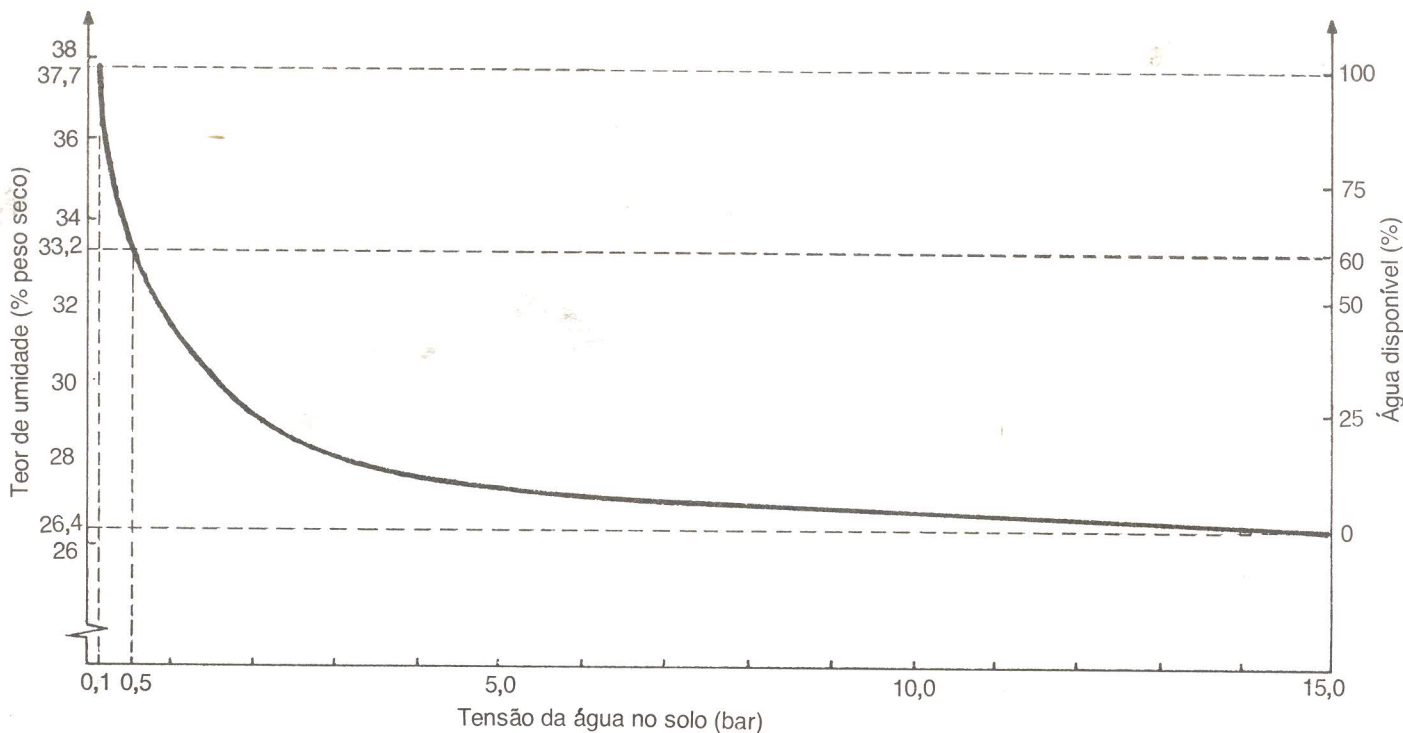


FIG. 6. Curva de retenção da água no solo para Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa.

TABELA 8. Manejo da irrigação pelo método do balanço de água no solo.

Data	Eca (mm/dia)	Kp	Kc	ETc (mm/dia)	Pe (mm/dia)	Σ (ETc-Pe) (mm)	Irrigação* (?)	QRN (mm)
01.06.84	5,5	0,75	1,15	4,7	0,0	15,1	Sim	15,1
02.06.84	5,2	0,75	1,15	4,5	0,0	4,5	Não	-
03.06.84	6,5	0,75	1,15	5,6	0,0	10,1	Não	-
04.06.84	3,8	0,75	1,15	3,3	0,0	13,4	Não	-
05.06.84	4,6	0,75	1,15	4,0	0,0	17,4	Sim	17,4
06.06.84	4,6	0,75	1,15	4,0	0,0	4,0	Não	-
07.06.84	5,1	0,75	1,15	4,4	0,0	8,4	Não	-
08.06.84	4,7	0,75	1,15	4,1	0,0	12,5	Não	-
09.06.84	3,9	0,75	1,15	3,4	0,0	15,9	Sim	15,9
10.06.84	2,9	0,75	1,15	2,5	0,0	2,5	Não	-

* Irrigar quando $\Sigma (ETc - Pe) \geq 14,9$ mm.

- Pela Tabela 3, para bordadura com grama de 40 m e os dados de umidade relativa e velocidade do vento, tem-se que:

$$Kp = 0,75$$

- Assim, pela equação 4:
- $ETo = 0,75 \times 5,7 = 4,3$ mm/dia
- Pela Tabela 4, para o estágio de frutificação (III) e os dados climáticos, tem-se que:

$$Kc = 1,15$$

- Assim, pela equação 5:
- $ETc = 1,15 \times 4,3 = 4,9$ mm/dia

a.3. Fator de disponibilidade de água (f)

- Pela Tabela 5, para ETc de 4,9 mm/dia e estágio de desenvolvimento crítico ao déficit de umidade do solo, tem-se que:
- $Ts = 0,5$ bar

- Pela Fig. 6, para 0,5 bar, tem-se que:
- $f = 0,4$

a.4. Turno de rega (TR)

- Pela equação 11, tem-se que:

$$TR = \frac{37,7 - 26,4}{10 \times 4,9} \times 1,10 \times 0,4 \times 30 = 3 \text{ dias}$$

b. Quantidade de água real necessária (QRN)

Pela equação 12, tem-se que:

$$QRN = 3 \times 4,9 = 14,7 \text{ mm}$$

5.2. Pelo método do balanço de água no solo

a. Época de irrigação

a.1. Capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PM)

- $CC = 37,7\%$ em peso seco (veja 5.1. - a.1.)
- $PM = 26,4\%$ em peso seco (veja 5.1. - a.1.)

a.2. Evapotranspiração da cultura (ETc)

- ECa (veja Tabela 8)
- $Kp = 0,75$ (veja 5.1. - a.2.)
- $Kc = 1,15$ (veja 5.1. - a.2.)
- ETc calculado pelas equações 4 e 5 (veja Tabela 8)

a.3. Fator de disponibilidade de água (f)

- $f = 0,4$ (veja 5.1. - a.3.)

a.4. Quando irrigar

- Pela equação 9, tem-se que:

$$LTD = \frac{37,7 - 26,4}{10} \times 1,10 \times 30 = 37,3 \text{ mm}$$

- Pela equação 8, irrigar quando:

$$\sum_{i=1}^n (ETc_i - Pe_i) \geq 14,9 \text{ mm (veja Tabela 8)}$$

b. Quantidade de água real necessária (QRN)

- Calculada usando a equação 10 (veja Tabela 8)

5.3. Pelo método da tensão da água no solo

a. Época de irrigação

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

- $Ts = 0,5$ bar (veja 5.1. - a.3.)

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

- Profundidade de instalação do tensiômetro (h_2) = 15 cm (metade da profundidade efetiva do sistema radicular)
- Considerar de 15 cm a altura do nível de mercúrio na cuba, em relação à superfície do solo (h_1)
- Assim, pela equação 6:

$$H = \frac{(1020 \times 0,5 + 15 + 15)}{12,6} = 43 \text{ cm}$$

b. Quantidade de água real necessária

b.1. Capacidade de campo (CC)

- $CC = 37,7\%$ em peso seco (veja 5.1. - a.1.)

b.2. Umidade de irrigação (UI)

- Pela Fig. 6, para 0,5 bar, tem-se que:
- $UI = 33,2\%$ em peso seco

b.3. Quantidade de água real necessária (QRN)

- Pela equação 7, tem-se que:

$$QRN = \frac{37,7 - 33,2}{10} \times 1,10 \times 30 = 14,9 \text{ mm}$$

Deve-se observar que os exemplos foram calculados apenas para determinado estágio de desenvolvimento da cultura. Entretanto, na prática, os cálculos deverão ser realizados para os diferentes estádios.

6. QUANTIDADE DE ÁGUA TOTAL NECESSÁRIA

Os valores de QRN, determinados por quaisquer dos métodos anteriormente descritos, representam a quantidade de

água que deve ser reposta ao solo. Contudo, a eficiência de aplicação de água nos métodos de irrigação é inferior a 100%. É necessário, portanto, corrigir o valor da quantidade real de água necessária, em função da eficiência de irrigação, ou seja:

$$QTN = \frac{QRN}{Ei} \quad (13)$$

em que

QTN = quantidade de água total necessária, mm;

QRN = quantidade de água real necessária, mm;

Ei = eficiência de irrigação, decimal.

A eficiência de irrigação depende fundamentalmente do método adotado, das condições em que o projeto foi implantado e da habilidade do irrigante. A interferência do irrigante verifica-se sobretudo nos métodos de irrigação superficial.

Outros fatores podem também influenciar a eficiência de irrigação, como as condições climáticas. Assim, o vento forte pode afetar bastante a uniformidade de distribuição e, conjuntamente com a temperatura e umidade relativa do ar, afetar a eficiência de aplicação na rega por aspersão.

Enquanto nos métodos de irrigação superficial a eficiência de irrigação raramente ultrapassa os 60%, na rega por aspersão situa-se freqüentemente entre 70% e 80%, podendo em alguns casos atingir 90%. Já na irrigação por gotejamento, esta eficiência varia entre 80% e 95%.

7. LITERATURA CITADA

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, Imprensa Universitária, 1986. 488p.
- 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 predicting 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, Wisconsin, 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. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, **105**(1):68-71. 1980.
- JONES, S.T. Effect of irrigation at different levels of soil moisture on yield and evapotranspiration rate of sweetpotatoes. **Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.**, **77**:458-62, 1961.
- MARQUELLI, W.A.; GIORDANO, L.B.; OLIVEIRA, C.A.S. & CARRIJO, O.A. Desenvolvimento, produção e qualidade de ervilha sob diferentes tensões de água no solo. **Pesq. agropec. bras.**, 1989a. (no prelo).
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. & OLIVEIRA, C.A.S. Produção de sementes de cenoura sob diferentes regimes de umidade no solo. **Pesq. Agrop. Bras.** 1989b. (no prelo).
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. & OLIVEIRA, C.A.S. Resposta da batata a diferentes regimes de irrigação. **R. Latinoam. Papa**, **1**(1):25-34, 1988.
- 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**, **29**:22-4, 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**, **12**(1):12-5, 1985.
- SILVA, J.F. & SIMÃO, S. Influência da umidade do solo na produção do tomateiro. **B. Téc., DNOCS**, **31**(2):159-93, 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. **Pesq. Agropec. Bras.**, **17**(2):221-4, 1982.
- SINGH, B.P. Irrigation water management for bush snap bean production. **Hort. Sci.**, **24**(1):69-70, 1989.
- TAYLOR, S.A. Managing irrigation water on the farm. **Amer. Soc. Agr. Eng. Trans.**, **8**:433-6, 1965.
- WITHERS, B. & VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**, São Paulo, E.P.U., 1977. 339p.



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Vinculada ao Ministério da Agricultura
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças - CNPH

PORTE PAGO
DR BDB
ISR 47 140/86

Rodovia BR-060 Brasília - Anápolis, Km 9, Caixa Postal 07-0218
Telex (061) 2445 Tel.: 556-5011 - CEP 70359 Brasília, DF

IMPRESSO

Circular Técnica já publicadas:

- Nº 1 - Variação estacional de preços das hortaliças no mercado atacadista do DF.
- Nº 2 - Manejo da irrigação em hortaliças.
- Nº 3 - Batata-doce.
- Nº 4 - Manejo de plantas daninhas em hortaliças.
- Nº 5 - Manejo da cultura da batata para o controle de doenças.
- Nº 6 - Determinação da condutividade hidráulica e de curva de retenção de água no solo com método simples de campo.
- Nº 7 - Manejo integrado das doenças da batata.

1ª Impressão: Janeiro/86 - 2.000 exemplares
2ª Impressão: Abril/87 - 5.000 exemplares
2ª Edição atualizada e revisada: Outubro/89 - 1.000 exemplares

CNPH

O Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças é uma unidade descentralizada da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, do Ministério da Agricultura. Foi criado em maio de 1981, com a finalidade de gerar e difundir conhecimentos tecnológicos relativos à produção de hortaliças e coordenar um Programa Nacional de Hortaliças executado pelo

Sistema Cooperativo de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, Órgãos Estaduais de Pesquisa, Universidades e Iniciativa Privada).

A série Circular Técnica do CNPHortaliças é destinada a Engenheiros-Agrônomos e demais técnicos especializados em atividades ligadas à agricultura.