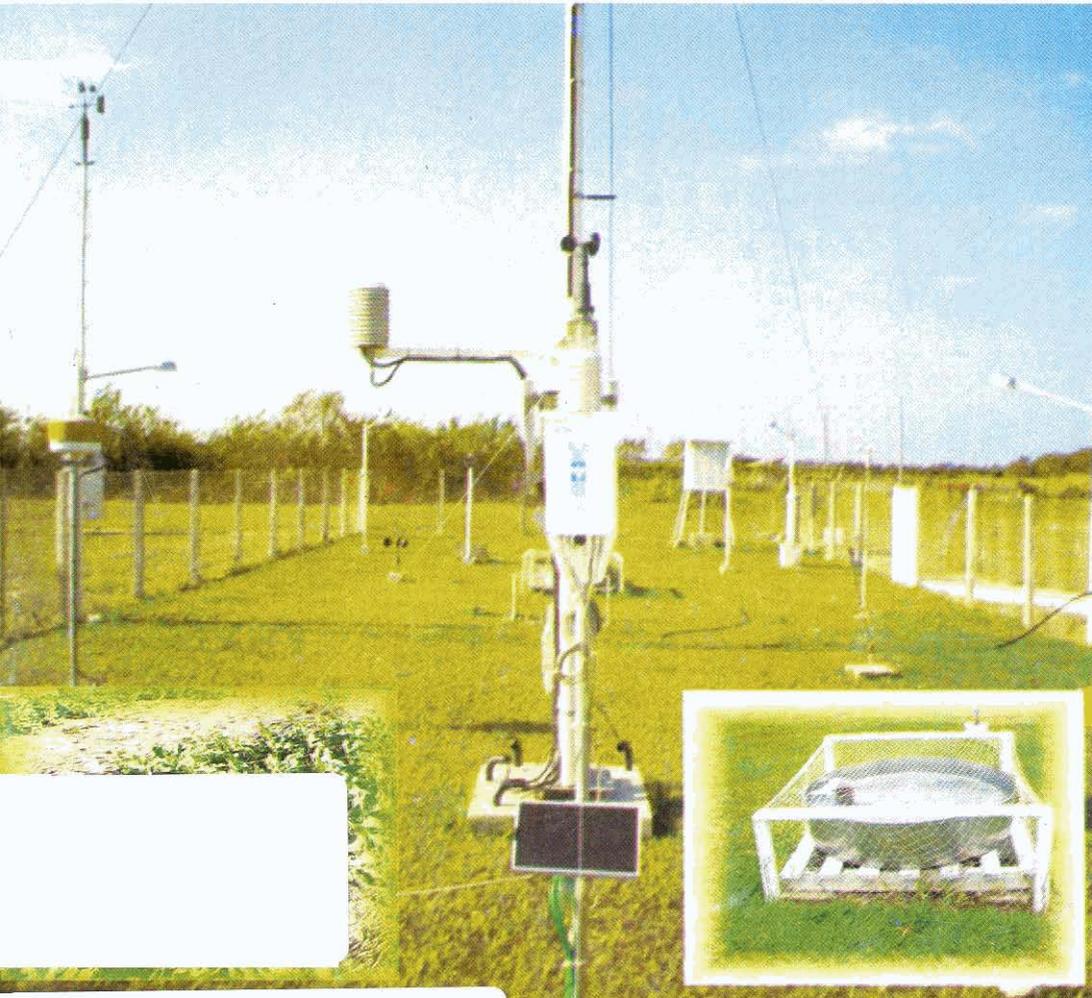


MANEJO DE IRRIGAÇÃO



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Conselho de Administração

Luís Carlos Guedes Pinto
Presidente

Sílvio Crestana
Vice-Presidente

Alexandre Kalil Pires

Hélio Tollini

Ernesto Paterniani

Marcelo Barbosa Saintive

Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Sílvio Crestana
Diretor-Presidente

Tatiana Deane de Abreu Sá

José Geraldo Eugênio de França

Kepler Euclides Filho

Diretores-Executivos

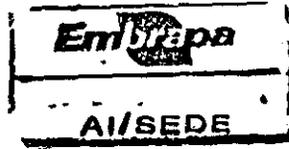
Embrapa Meio-Norte

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral

Aderson Soares de Andrade Júnior
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Paulo Henrique Soares da Silva
Chefe-Adjunto de Comunicação e Negócios

Valdomiro Aurélio Barbosa de Souza
Chefe-Adjunto de Administração



Embrapa

ISSN 0104-866X

Dezembro, 2005

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 113

MANEJO DE IRRIGAÇÃO

**Edson Alves Bastos
Aderson Soares de Andrade Júnior
Valdemício Ferreira de Sousa**

**Teresina, PI
2005**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio-Norte

Av. Duque de Caxias, 5.650, Bairro Buenos Aires
Caixa Postal 01
CEP 64006-220 Teresina, PI.
Fone: (86) 3225-1141
Fax: (86) 3225-1142
Home page: www.cpamn.embrapa.br
E-mail: sac@cpamn.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Luiz Fernando Carvalho Leite
Secretária: Executiva: Ursula Maria Barros de Araújo
Membros: Alitiane Moura Lemos Pereira, Ângela Puchnik Legat,
Humberto Umbelino de Sousa, Semiramis Rabelo Ramalho Ramos, José
Almeida Pereira, Rosa Maria Cardoso Mota de Alcântara

Supervisor editorial: Lígia Maria Rolim Bandeira
Revisor de texto: Lígia Maria Rolim Bandeira
Normalização bibliográfica: Orlane da Silva Maia
Editoração eletrônica: Erlândio Santos de Resende

1ª edição

1ª impressão (2005): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Meio-Norte

Bastos, Edson Alves.

Manejo de irrigação / Edson Alves Bastos, Aderson Soares de
Andrade Júnior, Valdemício Ferreira de Sousa. - Teresina : Embrapa
Meio-Norte, 2005.

54 p. : il. ; 21 cm. - (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN
0104-866X ; 113).

1. Irrigação por aspersão. 2. Irrigação localizada. 3. Cultura irrigada.
4. Água de irrigação. 5. Balanço hídrico. 6. Evapotranspiração.
I. Bastos, Edson Alves. II. Andrade Júnior, Aderson Soares de. II. Sousa,
Valdemício Ferreira. III. Embrapa Meio-Norte. IV. Título. V. Série.

CDD 631.587 (21. ed.)

© Embrapa, 2005

Embrapa	
Unidade:	Ai - Seale
Valor aquisição:	_____
Data aquisição:	_____
N.º N. Fiscal/Fatura:	_____
Fornecedor:	_____
N.º OCS:	_____
Origem:	Jocões
N.º Registro:	00350/07 ex - 2

Autores

Edson Alves Bastos

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,
Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 1,
CEP 64006-220 Teresina, PI.
edson@cpamn.embrapa.br

Aderson Soares de Andrade Júnior

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,
Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 1, CEP 64006-220
Teresina, PI.
aderson@cpamn.embrapa.br

Valdemício Ferreira de Sousa

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Irrigação e Drenagem,
Embrapa Meio-Norte, Caixa Postal 1, CEP 64006-220
Teresina, PI.
vfsousa@cpamn.embrapa.br

Apresentação

O uso racional da água de irrigação tem se tornado imprescindível nos dias de hoje, dado a escassez crescente do produto, necessidade de outorgas para o uso da água e uma pressão da sociedade, cada vez maior, pelo uso ecologicamente correto desse nobre bem da natureza.

Para que isso ocorra, é necessário que o irrigante possua conhecimento de técnicas sobre manejo da irrigação. Nesse contexto, apresentamos este documento, em que são discutidas informações que irão orientar técnicos, estudantes e produtores a calcular a demanda hídrica das culturas em suas diversas fases de desenvolvimento. Também, são apresentados diversos métodos de estimativa de evapotranspiração e diferentes métodos de manejo de irrigação.

O texto é enriquecido com ilustrações, exemplos práticos para o cálculo da lâmina e do tempo de irrigação em sistemas por aspersão e localizada, bem como exemplos do manejo de irrigação, baseado no balanço de água no solo. Além disso, são disponibilizadas informações sobre o manejo de irrigação em tempo real e uso de planilha eletrônica para o controle da irrigação.

Espera-se que este documento possa contribuir para prática de uma irrigação mais tecnicada na Região Meio-Norte do Brasil, com o uso cada vez mais eficiente da água de irrigação.

Valdemício Ferreira de Sousa
Chefe-Geral da Embrapa Meio-Norte

Sumário

Lista de Tabelas	9
Lista de Figuras	11
Introdução	13
Manejo de Irrigação	13
Manejo de irrigação: requerimentos básicos	14
Métodos de manejo de irrigação	34
Manejo de irrigação em tempo real	36
Cálculo da lâmina e do tempo de irrigação em um sistema por aspersão	37
Exemplo prático do manejo de irrigação no milho, usando um sistema de aspersão	39
Necessidades hídricas em irrigação localizada	42
Programação da irrigação em planilha eletrônica	47
Referências Bibliográficas	52

Lista de Tabelas

Tabela	Pág.
1. Valores de tensão de água no solo em que se deve reiniciar a irrigação visando a maximizar a produtividade das culturas.	16
2. Fração de esgotamento de água no solo (F) para grupos de culturas e evapotranspiração máxima (ETM)	18
3. Valores de coeficiente do tanque Classe A circundado por grama, em função da velocidade do vento, bordadura e umidade relativa do ar.	22
4. Valores de coeficiente do tanque Classe A em solo nu em função da velocidade do vento, bordadura e umidade relativa do ar.	23
5. Valores de radiação solar extraterrestre (Q_0) para o hemisfério sul, em milímetro de evaporação equivalente, no dia 15 de cada mês.	25
6. Valores da constante e para cálculo de $ET_0 = c WR_s$	27
7. Valores de K_c para algumas culturas em diferentes estádios de desenvolvimento.	32
8. Manejo da irrigação na cultura do milho sob irrigação por aspersão, utilizando-se o modelo simplificado do balanço de água no solo.	42
9. Manejo da irrigação na cultura do meloeiro sob gotejamento, utilizando-se o modelo simplificado do balanço de água no solo.	46

Lista de Figuras

Fig.	Pág.
1. Curva de retenção de um solo Neossolo Quartzarênico. Parnaíba, PI.....	17
2. Detalhe do tanque Classe A equipado com parafuso micrométrico	21
3. Pluviômetro caseiro instalado no campo (A); Proveta plástica e coletores feitos de lata e PVC (B).	33
4. Tensiômetro com vacuômetro metálico.	36
5. Capa da planilha para Manejo de Irrigação de Culturas Anuais - Milho	48
6. Layout da pasta "Dados de Entrada"	49
7. Layout da pasta "Manejo"	51

MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Edson Alves Bastos

Aderson Soares de Andrade Júnior

Valdemício Ferreira de Souza

Introdução

A deficiência de água é um dos fatores mais limitantes para a obtenção de elevadas produtividades e produtos de boa qualidade, ressaltando-se, porém, que o excesso também pode ser prejudicial. Assim, a reposição da água ao solo por irrigação, na quantidade e no momento oportuno, constitui uma tecnologia imprescindível para garantir o sucesso da lavoura.

A quantidade de água a ser aplicada em cultivos irrigados é determinada pela necessidade hídrica das culturas em suas diversas fases de desenvolvimento, podendo ser estimada pela evapotranspiração da cultura ou por meio da tensão de água no solo. O momento de irrigação pode ser definido com base nos parâmetros citados anteriormente e, também, com o estabelecimento de um turno de irrigação.

Manejando-se racionalmente a água de irrigação, o agricultor minimiza os custos com energia elétrica, maximiza a eficiência do uso da água e mantém favoráveis as condições de umidade do solo e de fitossanidade das plantas.

Dessa forma, este documento tem por objetivo orientar técnicos e irrigantes sobre o manejo adequado da irrigação, apresentando informações básicas relacionadas às exigências hídricas das culturas e descrevendo alguns métodos de manejo da água de irrigação.

Manejo de irrigação: requerimentos básicos

O manejo racional da água de irrigação pode ser baseado no conteúdo de água do solo, na evapotranspiração da cultura ou na combinação dessas duas ou mais variáveis. Para tanto, é necessário que o irrigante disponha e saiba interpretar algumas informações sobre o sistema solo-planta-atmosfera, as quais serão abordadas a seguir.

Disponibilidade de água no solo

Uma maneira prática para se identificar a disponibilidade de água no solo é considerá-lo como um reservatório de água, uma vez que é muito difícil caracterizar todos os fatores envolvidos na disponibilidade de água para os vegetais.

Dessa forma, a disponibilidade total de água no solo para as plantas pode ser definida como uma lâmina de água armazenada no solo, cuja estimativa pode ser feita pela equação 1 (adaptada de Marouelli et al., 1996).

$$LTD = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) \times Z \quad \dots\dots\dots(1a)$$

em que:

- LTD- lâmina de água total disponível (mm).
- CC- capacidade de campo (% de volume).
- PMP- ponto de murcha permanente (% de volume).
- Z- profundidade efetiva do sistema radicular (cm).

Alguns laboratórios fornecem os valores de CC e PMP, com base em % de massa. Nesse caso, para o cálculo da LTD, deve-se acrescentar a densidade do solo (equação 1b).

$$LTD = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) \times Z \times D_s \quad \dots\dots\dots(1b)$$

em que:

Ds: densidade do solo (g/cm³)

O termo capacidade de campo (CC) representa a quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso é drenado livremente, podendo ser determinada em laboratório ou em campo. Os valores clássicos da umidade do solo na capacidade de campo estão associados às tensões de água de 10 kPa (0,1 atm) para solos de textura grossa e 33 kPa (0,33 atm) para solos de textura fina. Entretanto, estudos recentes recomendam utilizar valores de 6 kPa (0,06 atm) para solos arenosos e 10 kPa para solos argilosos (Marouelli et al., 1996).

O ponto de murcha permanente (PMP) representa o limite mínimo do conteúdo de água no solo, abaixo do qual a planta não se recupera mais, mesmo se fosse colocada em condições saturadas durante a noite. Embora o PMP possa variar para diferentes espécies, é comumente aceito como a umidade do solo correspondente a uma tensão de 1.500 kPa (15 atm).

Considera-se profundidade efetiva do sistema radicular (Z) aquela que contém 80% a 90% das raízes da planta. Sua determinação para fins de manejo de irrigação é fundamental, pois a adoção de valores maiores ou menores que os reais pode implicar em grande desperdício de água ou déficit hídrico para as plantas, respectivamente.

Disponibilidade de água real para as plantas

Um manejo adequado de irrigação tem por objetivo fornecer água às culturas de forma suficiente para atender suas exigências hídricas, a ponto de não ocorrer redução significativa da produção. Para isso, o teor de água no solo deve ser mantido em um nível que permita a planta realizar seus processos fisiológicos, de forma a maximizar a taxa fotossintética. Esse nível corresponde a uma tensão de água no solo onde que se deve proceder à irrigação e varia de acordo com a cultura (Tabela 1).

Assim, a real disponibilidade de água para as plantas pode ser quantificada pela equação 2.

$$LRD = \left(\frac{CC - UI}{10} \right) \times Z \dots\dots\dots (2)$$

em que:

LRD-lâmina de água real disponível (mm).

UI-Umidade crítica (% volume).

Para se determinar a umidade crítica, utilizando-se os valores de tensão da Tabela 1, é necessário o conhecimento da curva característica de umidade do solo, comumente denominada de curva de retenção (Fig.1). Essa curva expressa a relação funcional entre o conteúdo de água no solo e o potencial matricial (tensão de água no solo) e pode ser obtida em laboratório ou em campo.

Tabela 1. Valores de tensão de água no solo em que se deve reiniciar a irrigação visando a maximizar a produtividade das culturas.

Cultura	Tensão de água no solo (kPa)
Abacate ^{II}	< 55
Alface	40 – 60
Algodão	100 – 300
Alho	15 – 30
Banana	30 – 150
Batata	30 – 50
Batata-doce	240
Cenoura	20 – 30
Citros ^I	50 – 100
Feijão	75 – 200
Goiaba ^I	10 – 45
Manga ^I	15 – 60
Melão	30 – 80
Melancia	30 – 80
Milho	50 – 100
Pastagens (gramíneas)	30 – 100

Fonte: Adaptado de Millar (1984) e Marouelli et al. (1989), citados por Sousa et al. (1997).

^{II}Fonte: Coelho et al. (2000)

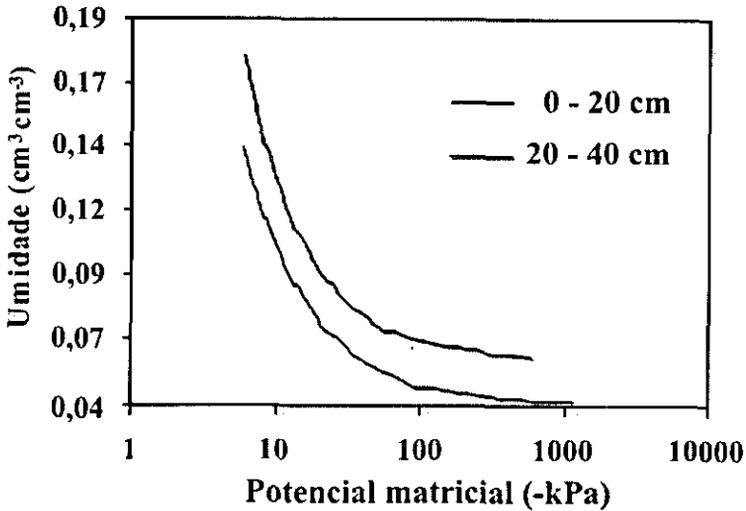


Fig. 1. Curva de retenção de um solo Neossolo Quartzarênico. Parnaíba, PI.

Não se dispondo da curva de retenção, a lâmina de água real disponível pode ser estimada pela equação 3.

$$LRD = \left(\frac{CC - PMP}{10} \right) \times Z \times F \dots\dots\dots (3)$$

em que:

F- fração de esgotamento de água do solo (Tabela 2).

Evapotranspiração da cultura

Evapotranspiração da cultura (ETC) é o somatório das perdas de água pela transpiração das plantas e pela evaporação do solo. Para fins de manejo da água de irrigação, em razão das dificuldades para sua medida direta e precisa no campo, a ETC tem sido estimada indiretamente a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) e dos coeficientes de cultura (K_c) (equação 4).

Tabela 2. Fração de esgotamento de água no solo (F) para grupos de culturas e evapotranspiração máxima (ETM)

Grupo de culturas	ETM (mm/dia)									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cebola, pimentão e batata	0,500	0,425	0,350	0,300	0,250	0,225	0,200	0,200	0,175	
Banana, repolho, tomate, ...	0,675	0,575	0,475	0,400	0,350	0,325	0,275	0,250	0,225	
Feijão, citros, melancia, ...	0,800	0,700	0,600	0,500	0,450	0,425	0,375	0,350	0,300	
Algodão, milho, soja, ...	0,875	0,800	0,700	0,600	0,550	0,500	0,450	0,425	0,400	

Fonte: Doorembos & Kassam (1994).

$$ETC = ETo \times Kc \quad \dots\dots\dots(4)$$

em que:

ETC- evapotranspiração da cultura (mm/dia).

Eto- evapotranspiração de referência (mm/dia).

Kc- coeficiente de cultura (adimensional).

Evapotranspiração de referência

Evapotranspiração de referência (ETo) é a quantidade de água evapotranspirada de uma superfície gramada, com 8 a 15 cm de altura, em fase de crescimento ativo, sem restrições de água e nutrientes e com bordadura adequada. A ETo pode ser medida por meio de equipamentos denominados lisímetros, cultivados com grama ou, então, ser estimada pelos mais variados métodos, presentes na literatura. A escolha de um ou de outro método deve se basear, principalmente, no tipo de informação agrometeorológica disponível e na precisão requerida. A seguir, serão descritos resumidamente a lisimetria e alguns métodos de estimativa de ETo.

Lisimetria

Lisímetro é um equipamento constituído de uma caixa impermeável, contendo um volume de solo, e que permite conhecer com detalhe alguns termos do

balanço hídrico do volume amostrado, possibilitando, assim, a medição direta da ETC, em condições de campo. Uma ampla revisão sobre esses equipamentos é encontrada em Aboukhaled et al. (1982) e Allen et al. (1991).

Inicialmente, os lisímetros foram concebidos para estudar a drenagem profunda e a concentração de nutrientes extraídos do volume do solo. A evapotranspiração passou a ser determinada como um subproduto, daí serem conhecidos também como *evapotranspirômetros*.

Com a popularização da microeletrônica, que permite a automação das medidas, o uso de lisímetros está ganhando novo impulso na pesquisa agrometeorológica, principalmente no Brasil. Existem diversos tipos, sendo os lisímetros de pesagem os mais precisos, com capacidade para medir variações de evapotranspiração da ordem de 0,01 mm, com registro contínuo. Tais aparelhos, no entanto, são muito caros e de uso restrito à pesquisa.

No outro extremo, estão os lisímetros de drenagem que funcionam adequadamente apenas em períodos longos de observação (7 a 10 dias). Nesses aparelhos, procura-se manter a variação do armazenamento de água no solo o menor possível por meio de irrigações freqüentes, mesmo em épocas de chuvas (Pereira et al., 1997).

Esses autores citam outros tipos de lisímetros: *o de lençol freático constante*, que possui um sistema automático de alimentação e registro da água reposta; os *evapotranspirômetros tipo Thornthwaite*, bastante utilizados com plantas de porte baixo e os lisímetros de flutuação, que consiste de um volume de solo contido em um reservatório que flutua em um fluido de alta densidade, como, por exemplo, o $ZnCl_2$. Esse instrumento é de difícil manutenção e necessita de correções nas leituras em função da variação da densidade do líquido com a temperatura.

Para obter informações representativas de ETC ou ETo, é muito importante que as condições do meio dentro dos lisímetros sejam representativas das condições externas (solo, plantas, etc), caso contrário, pode haver uma inconsistência muito grande nas medidas. Essa é uma grande limitação dos lisímetros em geral (Gomide, 1998).

Método do tanque Classe A

O tanque Classe A (Fig. 2) é um tanque cilíndrico construído com chapa de ferro galvanizado nº 22, com 1,21m de diâmetro e 25,5 cm de profundidade. O tanque deve ser pintado interna e externamente com tinta aluminizada, sendo instalado sobre um estrado de madeira a 15cm da superfície do solo, geralmente em uma área gramada.

O nível da água é medido em um copo tranqüilizador de 25 cm de altura e 10 cm de diâmetro, em cuja borda se assenta um parafuso micrométrico de gancho com capacidade para medir variações de 0,01 mm. Na base do tranqüilizador, há um orifício, através do qual a água penetra, mantendo o mesmo nível de fora do poço. Para se evitar derramamento pela ação dos ventos, a água deve ser mantida sempre entre 5 cm e 7,5 cm da borda do tanque.

Uma adaptação do tanque Classe A, visando redução de custos, pode ser feita, substituindo-se o parafuso micrométrico por um tanque intermediário fechado, que alimenta automaticamente o tanque evaporador por intermédio de um sistema de bóia. Um dreno mantém o nível da água numa altura pré-determinada, que no caso é de cerca de 6 cm abaixo da borda do tanque. Uma vez fixada essa altura, não há mais drenagem, pois a reposição é imediata, não havendo possibilidade de transbordamento. No caso de chuva, esta é drenada imediatamente, não afetando a leitura subsequente da evaporação, pois não há necessidade de se adicionar o total da chuva. Adapta-se também um tanque medidor, ou seja, um reservatório com uma escala graduada em milímetros de evaporação que é fixada na parte externa desse tanque. A evaporação da água no período é obtida por meio de leituras sucessivas do nível da água nesse tanque.



Fig. 2. Detalhe do tanque Classe A equipado com parafuso micrométrico.

Para se determinar a E_{To} pelo método do tanque Classe A (equação 5), deve-se utilizar um fator de correção do tanque, K_p , cujos valores (Tabelas 3 e 4) variam de acordo com a velocidade do vento, bordadura e umidade relativa do ar.

$$E_{To} = ECA \times K_p \quad \dots\dots\dots 5$$

em que:

E_{To} - Evapotranspiração de referência (mm/dia).

ECA - Evaporação do tanque Classe A (mm/dia).

K_p - coeficiente do tanque [adimensional].

Tabela 3. Valores de coeficiente do tanque Classe A circundado por grama, em função da velocidade do vento, bordadura e umidade relativa do ar.

Velocidade do vento (m/s)	Bordadura (Gramas) (m)	Umidade relativa do ar		
		Baixa	Média	Alta
		< 40 %	40 - 70 %	> 70 %
< 2 (leve)	1	0,55	0,65	0,75
	10	0,65	0,75	0,85
	100	0,70	0,80	0,85
	1000	0,75	0,85	0,85
2 - 5 (moderado)	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,60	0,70	0,75
	100	0,65	0,75	0,80
	1000	0,70	0,80	0,80
5 - 8 (forte)	1	0,45	0,50	0,60
	10	0,55	0,60	0,65
	100	0,60	0,65	0,75
	1000	0,65	0,70	0,75
> 8 Muito forte	1	0,40	0,45	0,50
	10	0,45	0,55	0,60
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,55	0,60	0,65

Fonte: Doorembos & Pruitt (1997)

Tabela 4. Valores de coeficiente do Tanque Classe A em solo nu, em função da velocidade do vento, bordadura e umidade relativa do ar.

Velocidade do vento (m/s)	Bordadura (Solo nu) (m)	Umidade relativa do ar		
		Baixa	Média	Alta
	< 40 %	40 – 70 %	> 70 %	
< 2 (leve)	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,50	0,60	0,70
2 – 5 (moderado)	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,45	0,55	0,60
5 – 8 (forte)	1	0,60	0,65	0,80
	10	0,50	0,55	0,70
	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,40	0,45	0,55
> 8 Muito forte	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorembos & Pruitt (1997)

Método de Thornthwaite

Este método foi proposto por Thornthwaite, em 1948, para estimativa da *evapotranspiração mensal* de um gramado (ET_o), como um elemento climatológico, visando a classificação climática. Nesse contexto, ET_o é tida como igual à “chuva ideal” para que uma região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano.

O conjunto de equações desenvolvido por Thornthwaite foi baseado em balanço hídrico de bacias hidrográficas e em medidas de evapotranspiração realizadas em lisímetros, e utiliza apenas a temperatura do ar como variável independente.

$$ET_o = 16 \cdot (10 \cdot T_i/I)^a, \text{ para } T_i > 0^\circ\text{C}; \dots\dots\dots (6)$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49239 \dots\dots\dots (7)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} (0,2T_i)^{1,514}, \text{ para } T_i > 0^\circ\text{C} \dots\dots\dots (8)$$

Em que T_i é a temperatura média mensal ($^\circ\text{C}$), e I é o índice de calor da região e que deve ser calculado com valores normais (média climatológica). O subscrito i representa o mês do ano (i.e., $i = 1$, jan; $i = 2$, fev; etc).

A fórmula de Thorthwaite estima ET_o para uma condição padrão de 12 horas de brilho solar e mês com 30 dias. Para estimar a ET_o mensal para um mês de ND dias, e fotoperíodo médio mensal N , há necessidade de se ajustar ET_{op} , multiplicando-se por fatores de correção, apresentado a seguir:

$$ET_o = ET_{op} \cdot N/12 \cdot ND/30 \dots\dots\dots (9)$$

Método de Camargo

Baseado nos resultados da equação de Thornthwaite, Camargo (1971) propôs uma fórmula mais simples, porém com a mesma eficiência na estimativa de ET_o em períodos de 10 ou 30 dias (Camargo & Camargo; 1983), citados por Pereira et al. (1997). Nesse método, a ET_o (mm/dia) é dada pela equação:

$$ET_o = F_t Q_o T ND \dots\dots\dots (10)$$

Em que Q_o (mm/dia) é a radiação solar extraterrestre diária expressa em equivalente de evaporação, no período considerado (Tabela 5); T ($^\circ\text{C}$) é a temperatura média do período; F_t é o fator de ajuste que varia com a temperatura média anual do local (para T_m até 23°C , $F_t = 0,01$; $T_m = 24^\circ\text{C}$, $F_t = 0,0105$; ; $T_m = 25^\circ\text{C}$, $F_t = 0,011$; ; $T_m = 26^\circ\text{C}$, $F_t = 0,0115$; $T_m > 26^\circ\text{C}$, $F_t = 0,012$); e ND é o número de dias do período.

Tabela 5. Valores de radiação solar extraterrestre (Q_0) para o hemisfério sul, em milímetro de evaporação equivalente, no dia 15 de cada mês.

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

Método de Hargreaves – Samani

Usando dados obtidos no lisímetro instalado em Davis, Califórnia (clima semi-árido), com gramado, Hargreaves & Samani (1985) propuseram a seguinte equação para estimativa de ET_0 diária (mm/dia).

$$ET_0 = 0,0023 Q_0 (T_{max} - T_{min})^{0,5} (T_{med} + 17,8) \dots\dots\dots (11)$$

em que Q_0 é a radiação extraterrestre, em mm/dia (Tabela 5); T_{max} é a temperatura máxima; T_{min} é a temperatura mínima e T_{med} é a temperatura média diária.

Método de Makkink

Usando dados de evapotranspiração de referência de um gramado em lisímetro de lençol freático constante, Makkink (1957), citado por Pereira et al. (1997), obteve correlação entre ET_0 diária (mm/dia) e a radiação solar ao nível da superfície expressa em equivalente de evaporação (R_s , mm/dia), utilizando a seguinte equação:

$$ET_o = 0,61 W R_s - 0,12 \dots\dots\dots (12)$$

Em que $W = s / (s + g)$ é um fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo molhado (T_u) e do coeficiente psicrométrico (g), e que pode ser calculado por meio das equações propostas por Wilson & Rouse (1972) e Viswanadham et al. (1991), citados por Pereira et al. (1997):

$$W = 0,407 + 0,145 T_u, \quad 0^\circ\text{C} < T_u < 16^\circ\text{C} \dots\dots\dots (13)$$

$$W = 0,483 + 0,01 T_u, \quad 16^\circ\text{C} < T_u < 32^\circ\text{C} \dots\dots\dots (14)$$

Portanto, W aumenta linearmente com a T_u , e isso significa que o processo de evaporação fica mais eficiente à medida que a temperatura aumenta. Quando T_u não está disponível, condição mais comum, utiliza-se a temperatura média (T_{med}), lembrando-se que, em condições de atmosfera não saturada, $T_{med} > T_u$. Logo, W será ligeiramente maior, aumentando a estimativa de ET_o .

A equação de Makkink descreve uma relação linear do tipo $Y = a + bX$, em que $Y = ET_o$; $X = W R_s$. Os coeficientes $a = -0,12$ mm/dia e $b = 0,61$ foram obtidos para Wageningen, na Holanda, e podem variar de local para local.

Quando R_s não for medido, pode-se estimá-la pela seguinte equação:

$$R_s = (a + b.n/N) * Q_o \dots\dots\dots (15)$$

Em que Q_o é a radiação solar extraterrestre (Tabela 5). Os valores de "a" e "b" são específicos para cada local e época do ano (Pereira et al., 1997). Em Teresina, podem-se utilizar os valores de $a = 0,31$ e $b = 0,37$, obtidos na escala anual e apresentados em Dourado Neto & Fancelli (1999). Entretanto, na ausência de informações locais, pode-se utilizar a relação proposta por Glover & Mcculloch (1958):

$$a = 0,29 \cos \phi, \text{ em que } \phi \text{ é a latitude do local; } \dots\dots\dots (16)$$

$b = 0,52$; n é o número de horas de brilho solar, registrado em heliógrafos, e N é o fotoperíodo (número máximo da insolação diária), em horas, cujos valores são facilmente encontrados em livros de meteorologia.

Método da radiação solar

Também conhecido como *método fao-24 da radiação*, trata-se de uma adaptação feita por Doorenbos & Pruitt (1997) e Doorenbos & Kassam (1994) ao método de Makkink, substituindo os coeficientes a e b por um parâmetro c, que é função da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (Tabela 6). A equação simplificada reduz-se a:

$$ET_o = c W R_s \quad \dots\dots\dots (17)$$

em que R_s (mm/dia) é a radiação solar média expressa em equivalente de evaporação, para os períodos de 30 ou 10 dias, e W é definido no método de Makkink. Nesse caso, a reta que descreve a relação entre ET_o e $W R_s$ passa pela origem ($a = 0$ na equação de Makkink) e o coeficiente c representa a inclinação da reta de regressão.

Tabela 6. Valores da constante c para cálculo de $ET_o = c W R_s$

Intervalos de velocidade média do vento ($m s^{-1}$)	Intervalos de umidade relativa média (%)			
	< 40	40-55	55-70	> 70
0 – 2	0,971	0,92	0,857	0,814
2 – 5	1,057	1,014	0,927	0,886
5 – 8	1,143	1,100	0,986	0,923
> 8	1,229	1,172	1,043	1,000

Fonte: Doorenbos & Kassam (1994)

Método de Andrade Júnior

Este método, descrito em Andrade Júnior et al. (2003), foi desenvolvido por meio de análise de regressão linear múltipla envolvendo as variáveis climáticas temperatura, umidade relativa do ar, déficit de saturação de vapor d'água e evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de Penman-Monteith, em escala diária, tomando-se por base o modelo proposto por Silva (1989). A seguir serão apresentadas as equações desenvolvidas para os Municípios de Parnaíba e Teresina.

$$ET_o = 0,180T - 2,315UR + 2,281Ds \text{ (Parnaíba)} \dots\dots\dots (18a)$$

$$r^2 = 0,816; \text{ Erro padrão} = 0,563$$

$$ET_o = 0,046T + 1,744UR + 1,716Ds \text{ (Teresina)} \dots\dots\dots (18b)$$

$$r^2 = 0,7365; \text{ Erro padrão} = 0,4643$$

em que:

T- temperatura média (°C).

UR- umidade relativa média (décimos).

Ds- déficit de saturação de vapor d'água (kPa).

Método de Penman-Monteith

A estimativa da ET_o pelo método de Penman-Monteith é efetuada de acordo com a equação abaixo (Pereira et al., 1997):

$$ET_o = \frac{s}{s+\gamma^*} \cdot (Rn-G) \cdot \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{(s+\gamma^*)} \cdot \frac{900}{(T+273)} \cdot U_2 (e_s - e_a) \dots\dots\dots (19)$$

em que:

s-declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹.

γ^* - constante psicrométrica modificada, kPa °C⁻¹.

γ - constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

λ - calor latente de evaporação = 2,45 MJ kg⁻¹.

Rn - saldo de radiação ou radiação líquida efetiva, MJ m⁻² d⁻¹.

G - fluxo de calor no solo, MJ m⁻² d⁻¹.

T - temperatura média do ar, °C.

U_2 - velocidade do vento a 2 m, m s⁻¹.

e_s - pressão de vapor de saturação, kPa.

e_a - pressão atual de vapor, kPa.

a) Pressão de vapor de saturação

$$e_s = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,27 \cdot T}{T+237,3}\right)} \dots\dots\dots (20)$$

em que:

e - base do logaritmo neperiano.

b) Pressão atual de vapor

$$e_a = e_s \cdot \left(\frac{UR}{100} \right) \dots\dots\dots (21)$$

em que:

UR- umidade relativa do ar, %.

c) Declividade da curva de pressão de vapor

$$s = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \dots\dots\dots (22)$$

d) Constante psicrométrica

$$\gamma = 0,0016286 \cdot \left(\frac{P}{\lambda} \right) \dots\dots\dots (23)$$

em que:

e) Constante psicrométrica modificada

$$\gamma^* = \gamma \cdot (1 + 0,33 \cdot U_2) \dots\dots\dots (24)$$

P - pressão atmosférica local, kPa.

f) Saldo de radiação ou radiação líquida efetiva

$$Rn = \left[Q_0 \left(a + b \frac{n}{N} \right) (1 - r) \right] - \left[(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \sigma T a^4 \left(0,1 + 0,9 \frac{n}{N} \right) \right] \dots\dots\dots (25)$$

em que:

- Q_0 - radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² d⁻¹.
- a e b - coeficientes do modelo de Ångström, definidos no item 2.4.6.
- n - insolação, h.
- N - horas de brilho solar, h.
- r - albedo (grama = 0,23).
- σ - constante de Stefan - Boltzmann = 4,903 x 10⁻⁹ MJ m² d⁻¹ K⁴.
- T_a - temperatura média do ar, °K.

g) Radiação solar no topo da atmosfera

$$Q_0 = 37,586 \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \text{sen } \varphi' \cdot \text{sen } \delta + \text{cos } \varphi' \cdot \text{cos } \delta \cdot \text{sen } \omega_s) \dots\dots\dots (26)$$

em que:

- d_r - distância relativa Terra - Sol.
- ω_s - ângulo horário do pôr do Sol, rad.
- φ' - latitude do local, rad.
- δ - declinação solar, rad.

sendo que:

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \text{cos} \left(J \frac{2\pi}{365} \right) \dots\dots\dots (27)$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi' \cdot \tan \delta) \dots\dots\dots (28)$$

$$\delta = 0,4093 \cdot \text{sen} \left(J \frac{2\pi}{365} - 1,405 \right) \dots\dots\dots (29)$$

em que:

- J - dia do ano pelo calendário juliano.

h) Horas de brilho solar

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \dots\dots\dots (30)$$

i) Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo (G) foi calculado pela equação (31) abaixo, uma vez que dispõe-se dos valores de temperatura média dos três dias anteriores, conforme recomendação de Pereira et al. (1997):

$$G = 0,38 \cdot (T - T_{-3d}) \quad \dots\dots\dots (31)$$

em que:

T_{-3d} - temperatura média dos 3 dias anteriores, °C.

Coeficiente de cultura

O coeficiente de cultura (Kc) é a relação entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência. Esse coeficiente é largamente utilizado para fins de planejamento, dimensionamento e manejo de irrigação, uma vez que permite indicar o consumo hídrico da planta.

O Kc é variável de acordo com a cultura, com o estágio de desenvolvimento da planta, com as condições de solo e clima locais e, também, com a frequência de chuva ou irrigação.

O Kc é determinado experimentalmente por meio do balanço hídrico realizado com lisímetros. Quando não houver possibilidade de usar dados experimentais, o irrigante pode utilizar valores médios por período de desenvolvimento da cultura, sugeridos por Doorembos & Pruitt (1977) e Doorembos & Kassam, adaptados por Marouelli et al. (1996) (Tabela 7).

Os estádios de desenvolvimento estão subdivididos em quatro e caracterizados da seguinte forma:

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

Estádio II- desde o final do estágio I até o início do florescimento.

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

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

Tabela 7. Valores de Kc para algumas culturas em diferentes estádios de desenvolvimento.

Culturas	Estádios de desenvolvimento			
	I	II	III	IV
Abóbora	0,40 – 0,50	0,65 – 0,75	0,90 – 1,00	0,70 – 0,80
Alface	0,50 – 0,60	0,70 – 0,80	0,95 – 1,05	0,90 – 1,00
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
Feijão-caupi ¹	0,50 – 0,70	0,80 – 0,95	1,00 – 1,15	0,70 – 0,90
Melancia	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	0,95 – 1,05	0,65 – 0,75
Melão ²	0,52	0,88	1,13	0,52
Milho ³	0,50	0,80 – 0,90	0,90 – 1,20	0,70
Pimentão	0,40 – 0,50	0,60 – 0,65	0,95 – 1,10	0,80 – 0,90
Tomate	0,40 – 0,50	0,70 – 0,80	1,05 – 1,25	0,60 – 0,65

⁽¹⁾ Kc determinado em condições experimentais, em Parnaíba-PI (Sousa et al., 1999).

⁽²⁾ Kc determinado em condições experimentais, em Teresina, Parnaíba e Alvorada do Gurguéia.

⁽³⁾ Fonte: Andrade Júnior et al. (1998).

Fonte: Adaptados de Doorembos & Pruitt (1977) e Doorembos & Kassam (1979), citados por Marouelli et al. (1996).

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

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

Precipitação pluvial

A precipitação pluvial (Pp) é a forma principal pela qual a água retorna da atmosfera para o solo de maneira natural. Dependendo do tipo de chuva, tipo de solo e topografia da área parte dela não penetra no solo e escorre superficialmente formando as enxurradas. A porção da água que se infiltra, fica armazenada no solo, e disponível às plantas, denomina-se precipitação efetiva (Pe). O excesso de água, ou seja, aquele que ultrapassa a capacidade de armazenamento do solo, é drenado para fora da zona das raízes.

A estimativa da precipitação efetiva (Pe), para períodos de um dia, é difícil e trabalhosa na prática. Par fins de manejo de irrigação, Pe pode ser estimada, de maneira aproximada, em função da precipitação pluvial 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 (Lâmina real disponível – LRD).

Assim, pode-se admitir que:

- Se $P_p < LRD$, então $P_e = P_p$
- Se $P_p > LRD$, então $P_e = LRD$

A quantidade e a distribuição da precipitação anual em uma determinada área é muito importante e sua medição deve ser feita de forma que permita efetuar um manejo correto da água no solo. Essa medida é feita por meio de pluviômetro, que é um instrumento simples e que qualquer produtor pode construir e instalá-lo em sua fazenda. Uma maneira prática é utilizar uma lata, cujas seções transversais (a boca e o fundo da lata) sejam das mesmas dimensões. Esse recipiente também pode ser confeccionado, utilizando-se material de PVC (Fig. 3) ou outro. No caso da lata, o agricultor deve pintá-la para evitar ferrugens, instalando-a sobre um suporte, a 1,5 m de altura. Um outro instrumento necessário é uma proveta (Fig. 3) para medir o volume de água coletado. Para determinar a lâmina de chuva, utiliza-se a seguinte equação:

$$L = \left(\frac{V \times 10}{A} \right) \dots\dots\dots (32)$$

em que:

- L - altura da chuva (mm).
- V - Volume de água coletado na lata (ml).
- A - Seção transversal do recipiente (cm²) definido pela seguinte equação:

$$A = \left(\frac{3,1415 \times D^2}{4} \right) \dots\dots\dots (33)$$

em que:

- D - diâmetro do recipiente (cm).

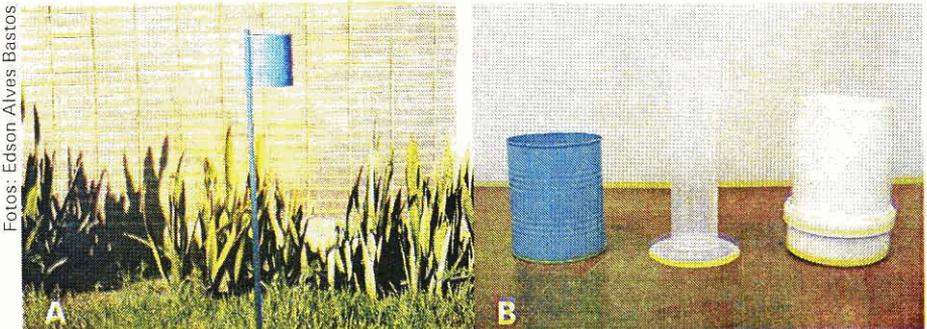


Fig. 3. Pluviômetro caseiro instalado no campo (A); Proveta plástica e coletores feitos de lata e PVC (B).

Fotos: Edson Alves Bastos

Métodos de manejo de irrigação

Os métodos comumente empregados para o manejo da irrigação são os baseados no turno de irrigação previamente calculado, no balanço e na tensão de água no solo.

Método do turno de irrigação

Por esse método, realiza-se o controle da irrigação determinando-se previamente o intervalo entre irrigações consecutivas (Equação 34).

$$TI = \left(\frac{LRD}{ETC} \right) \dots\dots\dots (34)$$

em que:

TI - turno de irrigação (dias)

LRD - lâmina real disponível, mm/dia (estimada pelas equações 2 ou 3)

\overline{ETC} - valor médio da evapotranspiração da cultura (mm/dia)

Esse método considera um valor médio mensal de ETC, igualmente distribuído para o mês em questão. Dessa forma, a irrigação pode ser deficiente ou em quantidade excessiva, uma vez que não são consideradas as variações na demanda atmosférica ao longo do tempo. Assim, o turno de irrigação previamente calculado não deve ser tomado como um valor fixo, mas como uma aproximação ou guia de irrigação (Marouelli et al., 1996).

A lâmina líquida de irrigação, nesse caso, é dada por:

$$LL = TI \times \overline{ETC} \dots\dots\dots (35)$$

em que:

LL - Lâmina líquida de irrigação (mm).

TI - turno de irrigação (dias).

Observando-se as equações 34 e 35 percebe-se que, matematicamente, a LL é igual a LRD. Porém, a LL representa a lâmina de água necessária para que a umidade do solo retorne à capacidade de campo na camada correspondente do sistema radicular. Na prática, essa lâmina é sempre menor que a LRD (ou no máximo igual), pois, no manejo de irrigação, nunca se deve deixar que a água disponível para as plantas chegue ao seu limite inferior.

Método do balanço de água no solo

O método do balanço de água no solo em uma área cultivada resulta da contabilidade de toda a água que entra (precipitação ou irrigação) e sai da superfície do solo (evapotranspiração, percolação profunda e escoamento superficial).

De acordo com Reichardt (1987), a equação que expressa o balanço de água no solo pode ser simplificada para:

$$\Delta AL = Pp + LL - ETC - Dr \quad \dots\dots\dots (36)$$

Em que:

ΔAL - Variação do armazenamento de água no solo (mm).

Pp - Precipitação (mm).

LL - lâmina líquida de irrigação (mm).

Dr - lâmina de água drenada (percolada) (mm).

Quando se procede a um manejo racional de irrigação, evita-se aplicar água que exceda à lâmina real disponível para a planta. Dessa forma, o termo Dr pode ser desprezado no cálculo do balanço de água pelo agricultor, ressaltando-se que, nesse caso, o termo Pp (precipitação) deve ser substituído por Pe (precipitação efetiva). Assim, a equação 36 fica expressa da seguinte forma:

$$\Delta AL = Pe + LL - ETC \quad \dots\dots\dots (37)$$

O cálculo da lâmina líquida por esse método considera o somatório da evapotranspiração da cultura (ETC), no intervalo entre duas irrigações. Observa-se que é diferente da forma como é calculada a LL pelo método de manejo do turno de irrigação que considera apenas um valor médio de ETC.

$$LL = \left[\sum_1^n ETC - Pe \right] \quad \dots\dots\dots (38)$$

Uma demonstração da aplicação do balanço de água no solo, para o manejo de irrigação em sistemas por aspersão e localizada, é apresentada nas Tabelas 8 e 9 6 e 7 respectivamente.

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

O controle da tensão de água no solo é geralmente realizado com o auxílio de tensiômetros (Fig. 4), para valores até 70 kPa (0,7 atm). Apesar desse limite, o tensiômetro é um instrumento útil no manejo de irrigação, uma vez que as tensões recomendadas para a maioria das culturas são inferior a esse valor (Tabela 1) e que grande parte da água disponível nos solos cultivados está retida abaixo desse limite (Marouelli et al., 1996).

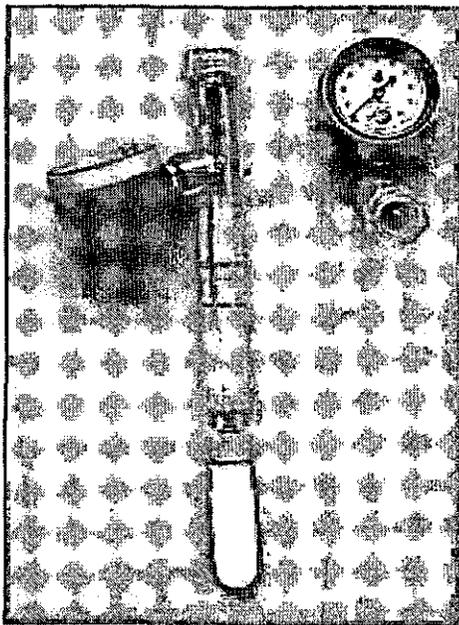


Fig. 4. Tensiômetro com vacuômetro metálico.
Fonte: Marouelli et al. (1996).

Manejo de irrigação em tempo real

O manejo da irrigação em tempo real consiste em se monitorar, continuamente, as variações dos parâmetros relacionados com o sistema solo-água-planta. Isso só é possível com o uso de técnicas de microprocessamento, da microeletrônica

e de sensores, que possibilitam a aquisição, a transferência e o armazenamento de dados envolvidos nas medições. A automação permite um controle mais preciso da aplicação de água para as plantas e, conseqüentemente, uma maior eficiência de uso de água, assegurando a sustentabilidade do sistema agrícola irrigado e a preservação do meio-ambiente.

Para se executar um manejo de irrigação em tempo real, há necessidade de se operar com estações meteorológicas automáticas. O sistema de aquisição de dados dessas estações é totalmente integrado, envolvendo "dataloggers", sensores e computadores portáteis. A fonte de energia é proveniente de um painel solar, baterias ou adaptadores/conversores de energia de corrente alternada. Quando em funcionamento, a estação é programada para fazer leituras nos sensores, a intervalos de tempo de um minuto, e calcular as médias dos parâmetros registrados a cada intervalo de 30 minutos. Apenas as médias dos dados são armazenadas no "datalogger", para futura transferência, na forma de arquivo de dados para disquete ou transmissão à distância. O intervalo de varredura dos sensores e o cálculo de médias dos parâmetros podem ser alterados, por meio de programação adequada, de acordo com a necessidade do usuário (Gomide, 1998).

Uma vez coletados, os elementos obtidos nas estações automáticas são utilizados para o cálculo da E_{To} e ETC. Para o cálculo da E_{To} , pode-se utilizar o método de Penman-Monteith, que é o mais preciso e recomendado pela FAO. Multiplicando-se os valores de E_{To} pelo K_c , obtém-se a ETC. Todo o processo é automatizado, desde a aquisição dos dados até o cálculo da ETC, sendo a informação disponível aos usuários quase em tempo real.

Cálculo da lâmina e do tempo de irrigação em um sistema por aspersão

Lâmina de irrigação

Para o cálculo da quantidade de água a ser aplicado por um sistema de aspersão, deve-se calcular a lâmina líquida, descrita no item "método de balanço de água no solo" (equação 38) e a lâmina bruta (LB). Esta última refere-se à lâmina que deve ser aplicada e considera a eficiência de aplicação de água (equação 39).

$$LB = \left(\frac{\sum ETC - P_e}{E_f} \right) \dots\dots\dots (39)$$

em que:

LB - lâmina bruta (mm).

ETC - evapotranspiração da cultura (mm) – (equação 4).

n - intervalo entre duas irrigações consecutivas.

Ef - eficiência de aplicação do sistema. Em aspersão convencional admite-se como boa eficiência valores acima de 0,8.

Exemplo:

Considerando que:

$$\Sigma ETC = 13 \text{ mm}$$

$$P_e = 4,20 \text{ mm}$$

$$E_f = 0,81$$

$$LL = 13 - 4,2 = 8,8 \text{ mm}$$

$$LB = \left(\frac{13 - 4,2}{0,81} \right) = 10,9 \text{ mm}$$

Tempo de irrigação

O tempo de irrigação (equação 40) de uma linha lateral, em uma determinada posição, é calculado com base na lâmina bruta de irrigação (equação 39) e na intensidade de aplicação dos aspersores (equação 41). Esta, por sua vez, é função da vazão e espaçamento dos aspersores e do espaçamento entre as linhas laterais.

$$T = \left(\frac{LB}{I} \right) \times 60 \dots\dots\dots (40)$$

$$I = \left(\frac{Q}{E_1 \times E_2} \right) \dots\dots\dots (41)$$

em que:

T : tempo de irrigação (min);

I : intensidade de aplicação do aspersor (mm/h);

Q : vazão do aspersor (L/h);

E_1 : espaçamento entre linhas laterais (m)

E_2 : espaçamento entre aspersores na linha lateral (m);

Exemplo:

Considerando a lâmina a ser aplicada no exemplo anterior (10,9 mm) e o sistema de aspersão com as seguintes características:

$$-Q = 3.200 \text{ L/h}$$

$$-E_1 = 18 \text{ m}$$

$$-E_2 = 18 \text{ m}$$

Calcula-se, inicialmente, a intensidade de aplicação de água e, posteriormente, o tempo de irrigação.

$$I = \left(\frac{3.200}{18 \times 18} \right) = 9,9 \text{ mm/h}$$

$$T = \left(\frac{10,9}{9,9} \right) \times 60 = 66 \text{ min}$$

Exemplo prático do manejo de irrigação no milho, usando um sistema de aspersão

A seguir será apresentado um exemplo prático do controle da água de irrigação na cultura do milho (Tabela 8), usando um sistema de irrigação por aspersão convencional, em um Neossolo Flúvico, na área experimental da Embrapa Meio-Norte, Município de Teresina, PI. Nesse exemplo, serão utilizados, em uma seqüência lógica e de fácil operação pelo agricultor, os parâmetros básicos para o manejo de irrigação, descritos neste capítulo (item 2). As características do solo e do sistema de irrigação são as seguintes:

- a) Capacidade de campo: 19,5 % (base de volume).
- b) Ponto de murcha permanente: 6,9 % (base de volume).
- c) Fator de esgotamento de água no solo: 0,6.
- d) Espaçamento entre linhas laterais: 18,0 m.
- e) Espaçamento entre aspersores: 18,0 m.
- f) Vazão dos aspersores: 3,2 m³/h.

g) Eficiência de aplicação de água: 0,81.

h) Profundidade efetiva do sistema radicular: 20 cm (período de 18 a 33 dias após o plantio).

Procedimentos:

i) Cálculo da LTD (equação 1):

$$LTD = \left(\frac{19,5 - 6,9}{10} \right) \times 20 = 25,2 \text{ mm}$$

ii) Cálculo da LRD (equação 3):

$$LRD = \left[\frac{(19,5 - 6,9) \times 0,6 \times 20}{10} \right] = 15,1 \text{ mm}$$

É importante ressaltar que a profundidade efetiva do sistema radicular varia de acordo com o desenvolvimento da cultura e, dessa forma, a lâmina de água real disponível para as plantas varia também.

iii) Determinação da evapotranspiração de referência.

Determina-se diariamente a evapotranspiração de referência. Para esse exemplo, utilizou-se o método do tanque Classe A (equação 5).

iv) Determinação da evapotranspiração da cultura

Determina-se diariamente a evapotranspiração da cultura (equação 4).

v) Determinação da precipitação efetiva

Mede-se diariamente, por meio de pluviômetros, a precipitação efetiva, que deve ser, no máximo, igual à LRD.

vi) Variação do armazenamento de água no solo

Determina-se diariamente a variação do armazenamento de água no solo, cujo limite superior é a lâmina total disponível (LTD), que, nesse exemplo, é 25,2 mm. A contabilidade é feita diariamente, calculando-se a diferença entre o valor do armazenamento anterior e a ETC do dia seguinte, e assim sucessivamente. A necessidade de irrigação ocorre todas as vezes em que o armazenamento de água no solo (AL) aproximar-se do valor de 15,1 mm, ou seja, quando houver um consumo de cerca de 60% da LTD. Por exemplo, no dia 20, o armazenamento de água no solo registrou 16,89 mm, que é um valor bastante próximo do limite aceitável (15,1 mm). Nesse momento, decide-se o reinício da irrigação e o cálculo da lâmina líquida.

vii) Cálculo da lâmina líquida de irrigação

A lâmina líquida de irrigação (equação 38) refere-se ao somatório da evapotranspiração da cultura, descontado o valor da precipitação efetiva. Para o dia 20, a lâmina líquida seria o somatório da ETC dos dias 18 a 20, que é de 8,31 mm.

viii) Cálculo da lâmina bruta de irrigação

Para o cálculo da lâmina bruta de irrigação (equação 39), deve-se considerar a eficiência do sistema de irrigação. No exemplo anterior, a LB seria de 10,26 mm (8,31/0,81).

ix) Cálculo do tempo de irrigação

Calcula-se o tempo de irrigação pela equação 40. Para o dia 20, o T seria 62 min $T = [(10,26/9,9) * 60]$.

Tabela 8. Manejo da irrigação na cultura do milho sob irrigação por aspersão, utilizando-se o modelo simplificado do balanço de água no solo⁽¹⁾.

DAP	ECA (mm)	Kp ⁽²⁾	Kc	ETC (mm)	AL (mm)	Pe (mm)	LL (mm)	LB (mm)	Tempo (min)
A irrigação anterior elevou o solo para capacidade de campo (limite superior)					25,2				
18	7,2	0,75	0,5	2,70	22,5	-	-	-	-
19	6,8	0,75	0,5	2,55	19,95	-	-	-	-
20	5,1	0,75	0,8	3,06	16,89/25,2	-	8,31	10,26	62
21	4,9	0,75	0,8	2,94	22,26	-	-	-	-
22	5,6	0,75	0,8	3,36	18,9	-	-	-	-
23	5,9	0,75	0,8	3,54	15,36/25,2	-	9,84	12,15	74
24	6,9	0,75	0,8	4,14	21,06	-	-	-	-
25	6,6	0,75	0,8	3,96	17,1/25,2	-	8,1	10,00	61
26	7,1	0,75	0,8	4,26	20,94	-	-	-	-
27	6,9	0,75	0,8	4,14	16,8/25,2	8,4	-	-	-
28	5,9	0,75	0,8	3,54	21,66	-	-	-	-
29	6,9	0,75	0,8	4,14	17,52/25,2	-	7,68	9,48	57
30	6,6	0,75	0,9	4,46	20,74	-	-	-	-
31	5,9	0,75	0,9	3,98	16,76/25,2	-	8,44	10,42	63
32	6,2	0,75	0,9	4,19	21,01	-	-	-	-
33	6,5	0,75	0,9	4,39	16,62/25,2	-	8,58	10,59	64

⁽¹⁾DAP: dias após o plantio; ECA: evaporação do tanque Classe A; Kp: coeficiente do tanque; ETC: evapotranspiração da cultura; AL: armazenamento de água no solo; PE: precipitação efetiva; LL: lâmina líquida; LB: lâmina bruta e TI: tempo de irrigação

⁽²⁾Consideraram-se: velocidade do vento = 1,8 m/s; umidade relativa do ar = 56,4% e bordadura de 10 m (Tabela 3).

Necessidades hídricas em irrigação localizada

Coefficiente de redução

Na irrigação localizada, a área molhada é menor do que a área total, o que significa menor quantidade de água evaporada da superfície do solo. Dessa forma, para o cálculo das necessidades hídricas das culturas nesses sistemas, é necessário aplicar-se um coeficiente de redução (Kr), cujo valor pode ser estimado pela equação abaixo, proposta por Decroix citado por Vermeiren & Jobling (1997):

$$K_r = C_s + 0,1 \dots\dots\dots (42)$$

em que: K_r - coeficiente de redução.

C_s - Índice de sombreamento do solo; varia de 0,1 a 1,0.

Volume de água a aplicar

Considerando um turno de irrigação diário, o volume de água a ser aplicado pode ser definido pelas seguintes equações:

$$V = \left(\frac{ETC \times K_r \times E_1 \times E_2}{E_f} \right) \quad (\text{para irrigação em faixas}) \dots\dots\dots (43)$$

$$V = \left(\frac{ETC \times K_r \times E_p \times E_{fp}}{E_f} \right) \quad (\text{para irrigação por planta}) \dots\dots\dots (44)$$

em que:

V - volume de água aplicado por cada emissor (L/dia).

ETC - evapotranspiração de cultivo, (mm/dia).

K_r - coeficiente de redução (decimal).

E_1 - espaçamento entre linhas laterais (m).

E_2 - espaçamento entre emissores nas linhas laterais (m).

E_p - espaçamento entre plantas na fileira (m).

E_{fp} - espaçamento entre fileiras de planta (m).

E_f - eficiência de aplicação do sistema (decimal).

Caso a irrigação não seja diária, deve-se somar a ETC do período entre duas irrigações consecutivas.

Tomando, por exemplo, a irrigação diária por gotejamento de um plantio de melancia nos Tabuleiros Costeiros de Parnaíba, PI, com as seguintes características:

a) Evapotranspiração do tanque Classe A: 7,2 mm.

b) K_p (Tabela 3): 0,75.

c) K_c no estágio II (Tabela 7): 0,7.

d) Espaçamento entre linhas laterais: 3 m.

e) Espaçamento entre emissores: 0,5 m.

f) Índice de sombreamento do solo: $0,4 \Rightarrow K_r = 0,5$.

g) Eficiência de irrigação: $0,81$.

Tem-se:

$$ETC = ET_o \times K_p \times K_p =$$

$$ETC = 7,2 \times 0,75 \times 0,7 = 3,78 \text{ mm}$$

$$V = \left(\frac{ETC \times K_r \times E_1 \times E_2}{E_f} \right) = \left(\frac{3,78 \times 0,5 \times 3 \times 0,5}{0,81} \right) = 3,5$$

Tempo de irrigação a aplicar

O tempo de irrigação a ser aplicado é função do volume de água a ser aplicado e da vazão do gotejador e pode ser calculado pelas equações abaixo:

$$T = \left(\frac{V \times 60}{q} \right) \quad (\text{para irrigação em faixas}) \dots\dots\dots (45)$$

$$T = \left(\frac{V \times 60}{n \times q} \right) \quad (\text{para irrigação por planta}) \dots\dots\dots (46)$$

em que:

T - tempo de irrigação (min).

V - volume de irrigação a ser aplicado (L/dia).

q - vazão média do gotejador (L/h).

n - número de gotejadores por planta.

Tomando o exemplo anterior, considerando gotejadores com vazões de $3,75 \text{ L/h}$, o tempo de irrigação necessário seria de 56 min .

Exemplo prático: manejo da irrigação em um sistema localizado

A seguir será apresentado um exemplo prático do controle da água de irrigação na cultura do meloeiro (Tabela 9), em solos de Tabuleiro Costeiro do Meio-Norte. As características do solo e do sistema de irrigação são as seguintes:

- a) Capacidade de campo: 13,9 % (base de volume).
- b) Ponto de murcha permanente: 4,2 % (base de volume).
- c) Fator de esgotamento de água no solo: 0,5.
- d) Espaçamento entre linhas laterais: 2,0 m.
- e) Espaçamento entre emissores: 0,5 m.
- f) Vazão dos emissores: 3,2 L/h.
- g) Eficiência de aplicação de água: 0,81.
- h) Turno de irrigação: diário.
- i) Profundidade efetiva do sistema radicular: 20 cm

Cálculo da LRD (equação 3):

$$LRD = \left[\frac{(13,9 - 4,2) \times 0,5 \times 20}{10} \right] = 9,7 \text{ mm}$$

É importante saber que a profundidade efetiva do sistema radicular varia de acordo com o desenvolvimento da cultura e, dessa forma, a lâmina de água real disponível para as plantas varia também.

Tabela 9. Manejo da irrigação na cultura do meloeiro sob gotejamento, utilizando-se o modelo simplificado do balanço de água no solo.

DAP (mm)	ECA (mm)	Kp	Kc	ETC (mm)	Cs (%)	Kr	ETCcor (mm)	Pe (mm)	Irrig. (L/dia)	Tempo (min)	Balanço (mm)
15	5,9	0,75	0,52	2,31	0,2	0,3	0,69	0,00	0,86	16	
16	7,6	0,75	0,52	2,96	0,2	0,3	0,89	0,00	1,10	21	
17	4,2	0,75	0,52	1,64	0,2	0,3	0,49	0,00	0,61	11	
18	5,6	0,75	0,52	2,19	0,3	0,4	0,88	0,00	1,08	20	
19	4,5	0,75	0,88	2,94	0,3	0,4	1,18	0,00	1,45	27	
20	5,1	0,75	0,88	3,34	0,3	0,4	1,34	0,00	1,65	31	
21	7,1	0,75	0,88	4,65	0,3	0,4	1,86	0,00	2,30	43	
22	4,7	0,75	0,88	3,10	0,4	0,5	1,55	0,00	1,91	36	
23	4,6	0,75	0,88	3,04	0,4	0,5	1,52	0,00	1,88	35	
24	4,2	0,75	0,88	2,77	0,4	0,5	1,39	0,00	1,71	32	
25	5,2	0,75	0,88	3,45	0,5	0,6	2,07	0,00	2,55	48	
26	6,1	0,75	0,88	4,05	0,5	0,6	2,43	9,70*	0,00	0	+ 7,27
27	5,9	0,75	1,13	4,99	0,5	0,6	3,00	0,00	0,00	0	+ 4,27
28	6,4	0,75	1,13	5,42	0,6	0,7	3,80	0,00	0,00	0	+ 0,47
29	5,7	0,75	1,13	4,84	0,6	0,7	3,39/2,92	0,00	3,60	68	0,00
30	6,4	0,75	1,13	5,45	0,6	0,7	3,81	0,00	4,71	88	

*A precipitação real foi de 15,6 mm, porém, apenas 9,7 mm ficaram realmente disponível às plantas.

Programação da irrigação em planilha eletrônica

A informática constitui-se em uma excelente ferramenta de suporte no processo de tomada de decisão na agropecuária. No que diz respeito à agricultura irrigada, as planilhas eletrônicas e “softwares”, visando ao manejo de irrigação das culturas, tem sido amplamente utilizados nas diversas regiões do país (Moreira, 1993).

Nesse segmento, será apresentado um modelo de planilha eletrônica que realiza o manejo de irrigação para a cultura do milho, de forma mais simples e acessível ao produtor. Para tanto, usa-se o modelo simplificado de balanço de água no solo e incorporam-se parâmetros e coeficientes de cultura obtidos nas condições edafoclimáticas da Região Meio-Norte do Brasil (Andrade Júnior et al., 1998; Albuquerque et al., 2001/2002), requerendo, unicamente, como dados de entrada, valores diários de evaporação do tanque Classe A e de precipitação, vazão do aspersor utilizado e espaçamento entre linhas laterais e aspersores. Cabe ressaltar que as planilhas eletrônicas podem ser úteis para o manejo de irrigação e de fertirrigação para qualquer cultura, desde que sejam ajustados os coeficientes técnicos necessários.

Descrição da planilha eletrônica

a) Considerações gerais

A planilha denominada de “Manejo de Irrigação de Culturas Anuais – Milho” foi estruturada em três pastas: i) capa; ii) dados de entrada; iii) manejo. É recomendável que se façam cópias da planilha, de modo a permitir a sua utilização em diferentes áreas de cultivo. Dessa forma, preserva-se a matriz original para futuras reproduções. Na capa da planilha, é feita uma apresentação do autor (Fig. 5).

A planilha é totalmente auto-explicativa e todas as variáveis de entrada e de manejo possuem textos explicativos. Para acessá-los, basta repousar o mouse no canto superior direito da célula de interesse. Para maior segurança no manuseio da planilha por parte do usuário, a mesma encontra-se protegida por senha, de modo a evitar alteração do conteúdo das células, que venha a comprometer a execução dos cálculos. Por isso, o usuário só terá acesso para modificar o conteúdo das células destacadas em vermelho.

b) Descrição da pasta “Dados de Entrada”

Na pasta “Dados de Entrada”, são solicitadas e/ou apresentadas as seguintes informações básicas (Fig. 6):

- Cultura/Área: i) cultura – nome da cultura de interesse; ii) ciclo – número de dias do plantio à colheita. Como as cultivares normalmente usadas na região são de ciclo precoce, está em torno de 120 dias; iii) emergência – número de dias do plantio a 50% da completa emergência das plântulas (5 dias); iv) comprimento da área de cultivo (m); v) largura da área de cultivo (m); vi) área total de cultivo (ha), que é calculada automaticamente. Esses dados são meramente descritivos, permitindo apenas a adequada identificação da cultura e da área irrigada.

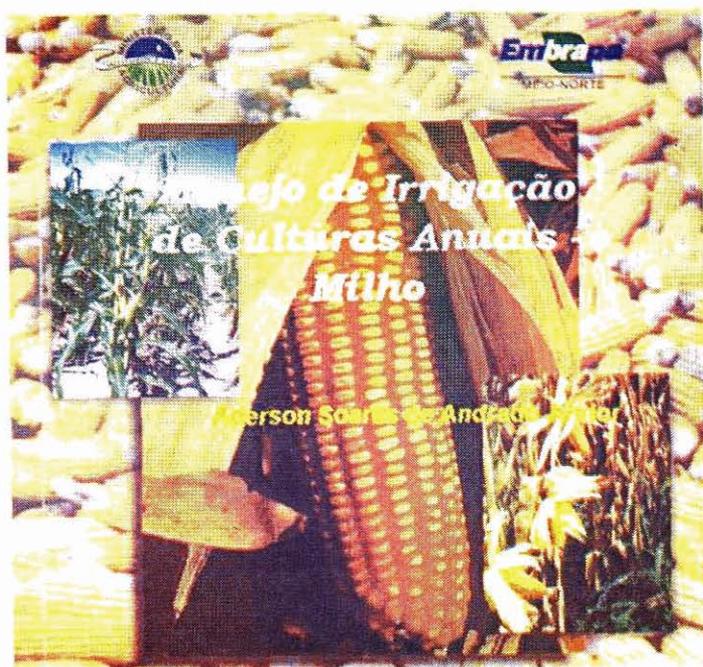


Fig. 5. Capa da planilha para Manejo de Irrigação de Culturas Anuais – Milho.

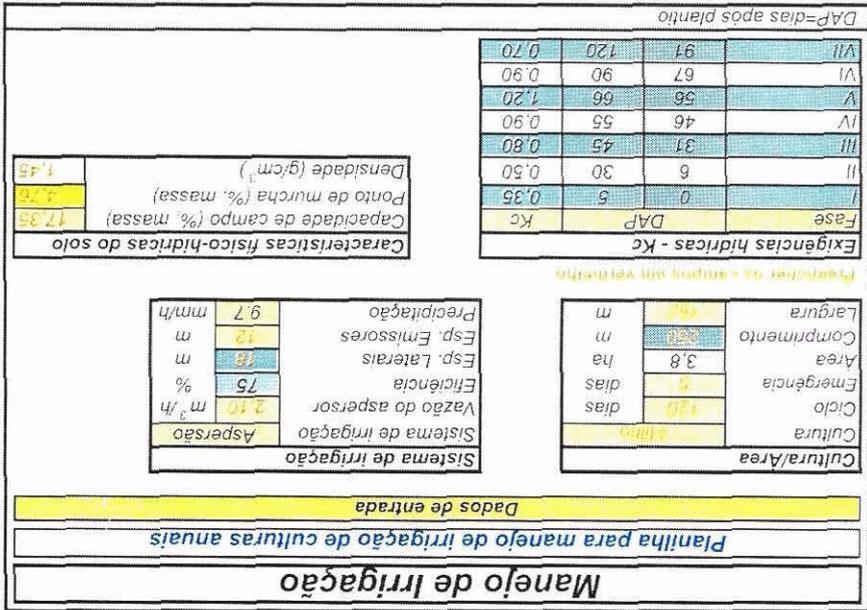


Fig. 6. Layout da pasta "Dados de Entrada".

■ Sistema de irrigação: i) sistema de irrigação – nome do sistema de irrigação a ser usado pelo produtor; ii) vazão do aspersor – vazão do modelo do aspersor usado do no sistema de irrigação, obtido no catálogo do fabricante ou por testes de campo; iii) eficiência do sistema de irrigação – quantidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação. Em aspersão convencional, trabalha-se com eficiência de irrigação da ordem de 70% a 80%; iv) espaçamento das laterais – espaçamento entre as linhas laterais do sistema de irrigação (m); v) espaçamento dos emissores – espaçamento entre os aspersores ao longo das linhas laterais do sistema de irrigação (m); vi) precipitação (intensidade de aplicação do aspersor) – lâmina de irrigação aplicada por hora (mm/h), que é calculada automaticamente, em função dos dados de vazão do aspersor e do espaçamento adotado entre aspersores e linhas laterais.

■ Exigências hídricas – Kc: são apresentadas os valores de coeficiente de cultivo (Kc) para cada fase de desenvolvimento da cultura, em função de dias após o plantio (DAP). Esses valores de Kc foram obtidos experimentalmente e/ou ajustados para as condições edafoclimáticas da Região Meio-Norte do Brasil.

Por ser uma informação extremamente técnica, os valores não podem ser alterados pelo usuário.

- **Características físico-hídricas do solo:** i) capacidade de campo (CC) – limite superior de disponibilidade de água do solo (% , em massa); ii) ponto de murcha permanente (PMP) – limite inferior de disponibilidade de água no solo (% , em massa); iii) densidade do solo (Ds) – relação entre a massa de solo existente em um determinado volume de solo. Os valores dessas características são obtidos a partir de análises de solo e/ou testes de campo. Essas características já foram devidamente elucidadas no capítulo “Disponibilidade de água no solo”.

Em síntese, para a correta efetivação dos cálculos na pasta “Manejo”, o usuário deve atentar-se, na pasta “Entrada de Dados”, apenas para os valores das características físico-hídricas do solo (CC, PMP e Ds) e informações do sistema de irrigação (vazão do aspersor, espaçamento entre linhas laterais do sistema de irrigação e espaçamento entre os aspersores ao longo da linha lateral).

c) Descrição da pasta “Manejo”

Uma vez processada a “Entrada de Dados”, todas as demais variáveis necessárias ao manejo de irrigação da cultura são automaticamente calculadas na pasta “Manejo” (Fig. 7). Essa pasta é composta de 15 colunas (de B a P) e de 120 linhas, uma vez que predomina, na região, o cultivo de variedades de ciclo precoce. Contudo, havendo necessidade de se aumentar o número de linhas, por causa da necessidade de realizar-se o manejo de irrigação de variedades de ciclo médio e tardio, basta o usuário adicionar o número de linhas desejado pela ferramenta do Excel – “Inserir linhas”. Nesse caso, deve copiar para essas linhas o mesmo conteúdo da linha imediatamente superior.

As variáveis apresentadas são: data (B); dias após plantio (DAP) (C); fase de desenvolvimento da cultura (D); evaporação do tanque Classe A (ECA)(E); coeficiente de tanque (Kp) (F); coeficiente de cultivo (Kc) (G); evapotranspiração da cultura (ETc)(H); precipitação (Pp)(I); ETc acumulada (Σ ETc) (J); variação do armazenamento de água no solo (ΔA)(K); definidor da irrigação (Irriga ?)(L); lâmina bruta de irrigação (LB)(M); tempo de irrigação (Ti)(N e O); balanço (P).

Manejo de Irrigação

Planilha para manejo de irrigação de culturas anuais

Cálculos

Preencher os campos em vermelho

Cultura	Miúdo	Plantio	14/08/2001	Emergência	19/08/2001											
Data	DAP	Fase	ECA (mm)	Kp	Kc	ETc (mm)	Pe (mm)	≥ ETc (mm)	ΔA (mm)	Irriga ?	LB (mm)	Ti (h) (min)		Balço		
14-ago	0	I	7,2	0,75	0,35	1,9	0,0	1,9	25,2	Não						
15-ago	1	I	6,8	0,75	0,35	1,8	0,0	3,7	23,4	Não						
16-ago	2	I	6,0	0,75	0,35	1,6	0,0	5,3	21,8	Não						
17-ago	3	I	5,0	0,75	0,35	1,3	0,0	6,6	20,5	Não						
18-ago	4	I	6,0	0,75	0,35	1,6	0,0	8,1	18,9	Não						
19-ago	5	I	5,9	0,75	0,35	1,5	0,0	9,7	17,4	Não						
20-ago	6	II	7,8	0,75	0,50	2,9	0,0	12,6	14,5	Sim	16,8	1	44	0,0		
21-ago	7	II	9,8	0,75	0,50	3,7	0,0	3,7	25,2	Não						
22-ago	8	II	8,9	0,75	0,50	3,3	0,0	7,0	21,8	Não						
8-dez			116	VII	7,0	0,75	0,70	3,7	0,0	24,0	31,1	Não				
9-dez			117	VII	5,0	0,75	0,70	2,6	0,0	26,6	28,5	Sim	35,5	3	39	0,0
10-dez			118	VII	3,0	0,75	0,70	1,6	0,0	1,6	50,4	Não				
11-dez			119	VII	4,5	0,75	0,70	2,4	0,0	3,9	48,0	Não				
12-dez			120	VII	5,0	0,75	0,70	2,6	0,0	6,6	45,4	Não				
Soma			*****	*****	812,3	*****	*****	455,7	0,0	*****	*****	598,9	50	696	0,0	
Max			*****	*****	9,8	*****	*****	8,1	0,0	*****	*****	43,7	*****	*****	*****	*****

Informações:

- O número de irrigações durante o ciclo foi de...? 19
- O tempo total de irrigação foi de... 61 h 36 min
- A lâmina total de irrigação aplicada foi de... 598,9 mm

Gráfico:

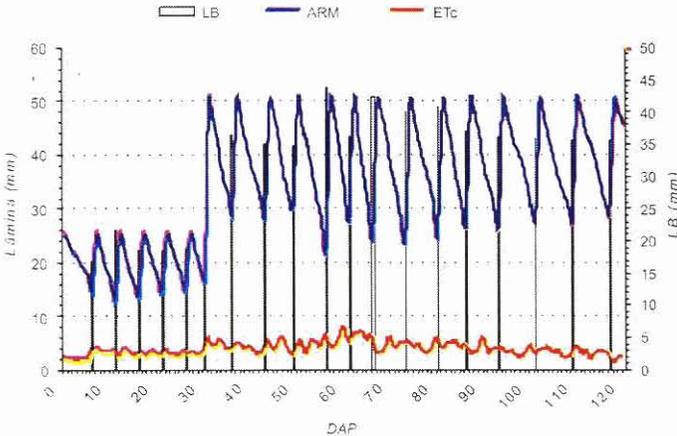


Fig. 7. Layout da pasta "Manejo".

Nessa pasta, devem-se preencher apenas a data de plantio e as colunas E (ECA, mm) e I (Pp, mm). As demais células são preenchidas automaticamente, de acordo com os parâmetros de entrada das células em vermelho. Existem também algumas células ocultas, portanto, não visíveis ao usuário, onde são processadas parte dos cálculos necessários ao manejo de irrigação com base no método do balanço de água simplificado.

As colunas E (ECA) e I (Pp) devem ser preenchidas diariamente com os valores medidos de ECA (mm) e Pp (mm), se houver, mesmo que a maior parte represente as condições do dia anterior. Recomenda-se que essas medições sejam feitas todos os dias e sempre no mesmo horário (por volta das 9:00 horas da manhã). Tão logo sejam preenchidas, na coluna L identifica-se a necessidade ou não de proceder-se à irrigação no dia em questão. Em caso afirmativo, o tempo de irrigação (Ti) (em horas e minutos) é apresentado nas colunas N e O.

Ao final da tabela, são apresentados a soma e os valores máximos para algumas das variáveis calculadas, bem como um resumo informativo contendo: i) o número de irrigações durante o ciclo da cultura; ii) o tempo total de irrigação gasto durante o ciclo da cultura e iii) a lâmina total de irrigação aplicada durante o ciclo. Além disso, é plotado um gráfico, onde se visualiza a variação: i) da lâmina bruta de irrigação aplicada (LB); ii) do armazenamento de água no solo (ARM) e iii) da evapotranspiração da cultura (ETc) ao longo do ciclo da cultura.

Cópias da planilha podem ser solicitadas ao autor (aderson@cpamn.embrapa.br) ou obtidas por download no site da Embrapa Meio-Norte (www.cпамn.embrapa.br/irrigação).

Referências Bibliográficas

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. *Lysimeters*. FAO Irrig. and Drain. Paper 39. Roma, 68 p., 1982.

ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SOUZA, F. de; SEDIYAMA, G.C.; BEZERRA, J.R.C.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. ITEM, Brasília, v. 52/53, p. 49 – 57, 2001/2002.

- ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. **Proc. of the International Symposium on Lysimetry**, Amer. Soc. of Civil Eng., Irrig. and Drain. Division, New York, 1991.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; BASTOS, E.A. Irrigação. In: CARDOSO, M.J. (org.), **A cultura do milho no Piauí**. 2. Ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1998, p. 68-100. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 12).
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; E.A., BASTOS; SENTELHAS, P.C; SILVA, A.A.G. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Parnaíba e Teresina, Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n.1, p. 63-68, 2003.
- COELHO, E.F.; SOUSA, V.F.; AGUIAR NETTO, A.O. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. (Embrapa Circular Técnica, 40).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas** (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 33), Tradução Gheyi, H.R. et al., Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. FAO, 306 p. 1994.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad. de H.R. Gheyi; J.E.C., Metri, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997, 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Irrigação do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**. Piracicaba: Publique, 1999. p. 170-192.
- GOMIDE, R.L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M.A., coord. **Manejo de irrigação. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. Poços de Caldas. Simpósio...** Poços de Caldas: SBEA/UFLA, 1998, p. 133-238.
- GLOVER, J.; McCULLOCH, J.S.E. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, 84: 172-175, 1958.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A.. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting. (Paper 85 - 2517), 1985.

MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo de irrigação em hortaliças**, 5. ed. Brasília: Embrapa – SPI, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 1996, 72 p.

MOREIRA, J.H.C. **SAACI – Sistema Agroclimático para o Acompanhamento das Culturas Irrigadas**: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpiração)**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 181 p.

SILVA, A.A.G. **Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Parnaíba, PI**. Piracicaba. 81p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1989.

SOUSA, V.F; AGUIAR NETTO, A.O.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; SOUSA, A.P.; DANTAS NETO, J. **Manejo de irrigação através de balanço de água no solo**. Teresina: Embrapa CPAMN, 1997, 36 p. (Embrapa-CPAMN, Documentos, 23).

SOUSA, V.F; RODRIGUES, B.H.N. ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E.F.; VIANA, F.M.P.; SILVA, P.H.S. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999. 68 p. (Embrapa Meio-Norte, Circular Técnica, 21).

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada**. Tradução de H.R. Gheyi; F.A.V. Damasceno; L.G.A. Silva Jr.; J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

- ALLEN, R.G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. **Proc. of the International Symposium on Lysimetry**, Amer. Soc. of Civil Eng., Irrig. and Drain. Division, New York, 1991.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J.; MELO, F.B.; BASTOS, E.A. Irrigação. In: CARDOSO, M.J. (org.), **A cultura do milho no Piauí**. 2. Ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1998, p. 68-100. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 12).
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; E.A., BASTOS; SENTELHAS, P.C; SILVA, A.A.G. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para Parnaíba e Teresina, Piauí. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n.1, p. 63-68, 2003.
- COELHO, E.F.; SOUSA, V.F.; AGUIAR NETTO, A.O. **Manejo de irrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2000. 48 p. (Embrapa Circular Técnica, 40).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas** (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem, 33), Tradução Gheyi, H.R. et al., Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. FAO, 306 p. 1994.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad. de H.R. Gheyi; J.E.C., Metri, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1997, 204 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 24).
- DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Irrigação do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Feijão irrigado: estratégias básicas de manejo**. Piracicaba: Publique, 1999. p. 170-192.
- GOMIDE, R.L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: FARIA, M.A., coord. **Manejo de irrigação. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27**. Poços de Caldas. Simpósio... Poços de Caldas: SBEA/UFLA, 1998, p. 133-238.
- GLOVER, J.; McCULLOCH, J.S.E. The empirical relation between solar radiation and hours of sunshine. *Quart. J. Royal Met. Soc.*, 84: 172-175, 1958.
- HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A.. **Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature**. Chicago, Amer. Soc. Agric. Eng. Meeting. (Paper 85 - 2517), 1985.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo de irrigação em hortaliças**, 5. ed. Brasília: Embrapa – SPI, Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, 1996, 72 p.

MOREIRA, J.H.C. **SAACI – Sistema Agroclimático para o Acompanhamento das Culturas Irrigadas**: manual prático para o manejo da irrigação. Brasília: Secretaria Nacional de Irrigação, 1993. 86p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpiração)**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 181 p.

SILVA, A.A.G. **Avaliação da eficiência de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Parnaíba, PI**. Piracicaba. 81p. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1989.

SOUSA, V.F; AGUIAR NETTO, A.O.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; SOUSA, A.P.; DANTAS NETTO, J. **Manejo de irrigação através de balanço de água no solo**. Teresina: Embrapa CPAMN, 1997, 36 p. (Embrapa-CPAMN, Documentos, 23).

SOUSA, V.F; RODRIGUES, B.H.N. ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E.F.; VIANA, F.M.P.; SILVA, P.H.S. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999. 68 p. (Embrapa Meio-Norte, Circular Técnica, 21).

VERMEIREN, L.; JOBLING, G.A. **Irrigação localizada**. Tradução de H.R. Gheyi; F.A.V. Damasceno; L.G.A. Silva Jr.; J.F. de Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1997. 184p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).



**Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento**

