



Cultivo do Milho

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque

Sumário

[Apresentação](#)
[Economia da produção](#)
[Zoneamento agrícola](#)
[Clima e solo](#)
[Ecofisiologia](#)
[Manejo de solos](#)
[Fertilidade de solos](#)
[Cultivares](#)
[Plantio](#)
[Irrigação](#)
[Plantas daninhas](#)
[Doenças](#)
[Pragas](#)
[Colheita e pós-colheita](#)
[Mercado e comercialização](#)
[Coeficientes técnicos](#)
[Referências](#)
[Glossário](#)

[Autores](#)
[Expediente](#)

Irrigação

Manejo de Irrigação

Introdução

O milho é considerado como uma cultura que demanda muita água, mas também é uma das mais eficientes no uso da água, isto é, produz uma grande quantidade de matéria seca por unidade de água absorvida. Dependendo da produtividade (kg/ha) alcançada pela cultura, a "produtividade" da água do milho, ou seja, a quantidade de água aplicada e/ou consumida que é "transformada" em peso de grãos, pode atingir patamares mínimos de até 250 litros de água por kg de grãos secos produzidos. O milho de variedade de ciclo médio, cultivado para a produção de grãos secos, consome de 380 a 550 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas. Em termos de lâmina bruta de água aplicada, esses valores podem aumentar sobremaneira em função da baixa eficiência do sistema de irrigação.

O período de máxima exigência de água pelo milho é na fase do embonecamento ou um pouco depois dele, por isso, déficits de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade. Déficit anterior ao embonecamento reduz a produtividade em 20 a 30%; no embonecamento em 40 a 50% e após em 10 a 20%. A extensão do período de déficit também é importante. A irrigação para a cultura do milho pode ser viável economicamente quando o fator limitante é a água e/ou o preço de venda do produto é favorável, o que possibilita a minimização de risco e estabilidade no rendimento (Fancelli e Dourado Neto, 2000).

No caso de o fator limitante ser a água, deve-se levar em consideração a [evapotranspiração da cultura \(ETc\)](#), chuva (lâmina, intensidade, distribuição e probabilidade de ocorrência), rendimento esperado (agricultura irrigada ou de sequeiro) e [água total disponível \(ATD\)](#) no solo por unidade de [profundidade efetiva do sistema radicular \(Z\)](#).

Critérios básicos para o manejo da irrigação

O manejo da irrigação da cultura do milho nada mais é do que estabelecer o momento correto de aplicar água e a sua respectiva lâmina (quando e quanto aplicar). Vários critérios podem ser adotados para o manejo da irrigação. Aqui serão discutidos os mais comuns e que são de maior uso prático nas condições atuais.

- [Alguns conceitos necessários para programar a irrigação](#)
- Alguns critérios de manejo de irrigação
 - [Critério baseado no uso das características físico-hídricas do solo e na estimativa da evapotranspiração da cultura \(ETc\)](#)
 - [Critério baseado em sensores para monitoramento do potencial ou da umidade do solo](#)
 - [Critério conjunto com sensores de solo e com algum método de medir ou estimar a evapotranspiração de referência \(ETo\)](#)
 - [Irrigação do dia do plantio e dos dias próximos subsequentes](#)
 - [Lâmina bruta de irrigação \(LB\)](#)
 - [Consumo total de água da cultura do milho](#)
 - [Recursos da informática](#)

Alguns conceitos necessários para programar a irrigação

[EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA CULTURA \(ETc\)](#) - A água necessária a uma cultura é

equivalente a sua [evapotranspiração](#) (ETc), que é a combinação de dois processos ([Evaporação](#) da água do solo + [Transpiração](#) das plantas). Daí, a necessidade hídrica de uma cultura é baseada em sua [evapotranspiração](#) potencial ou máxima (ETm) e é expressa, normalmente, em milímetros por dia (mm/dia). Em situação prática, a ETc é relacionada à [evapotranspiração de uma cultura de referência \(ETo\)](#), que é a grama batatais ou uma cultura hipotética, com uma altura uniforme de 12 cm, resistência do dossel da cultura de 70 s/m e albedo de 0,23, em pleno crescimento e sem deficiência de água, de modo a simplificar o processo de estimar a ETc. Então, a ETc pode ser obtida pela equação:

$$ETc = Kc \times ETo \quad (1)$$

em que:

ETc = [evapotranspiração da cultura](#) do milho (mm/dia);

Kc = coeficiente da cultura do milho (adimensional);

ETo = [evapotranspiração da cultura de referência](#) (mm/dia).

Com base nos dados meteorológicos disponíveis, seleciona-se um método para o cálculo da ETo. Na literatura especializada encontra-se a descrição de alguns métodos para estimar a ETo. Mais recentemente tem sido recomendada pela FAO a equação de Penman-Monteith. Também muito utilizado é o tanque de [evaporação](#) Classe A (Figura 1).

Fonte: Clenio Araújo.



Fig. 1 Tanque de evaporação Classe A, utilizado para estimar a evapotranspiração de referência (ETo).

[COEFICIENTE DE CULTURA \(Kc\)](#) do milho - Os valores do [coeficiente de cultura \(Kc\)](#) do milho são influenciados pelas características da variedade ou cultivar empregada, época de semeadura, estágio de desenvolvimento da cultura e condições gerais de clima. O milho, por ser uma cultura de ciclo curto ou anual, pode ter o seu estágio de desenvolvimento dividido em 4 fases, para efeito do estudo da evolução dos valores de Kc ao longo do tempo (Figura 2).

Segundo dados adaptados de Allen et al. (1998), para diversas regiões do mundo, a duração do ciclo fenológico do milho para produção de grãos, varia de 110 a 180 dias, cujas fases 1, 2, 3 e 4 correspondem a 17%, 28%, 33% e 22%, respectivamente, do ciclo total.

De acordo com a Figura 2, os valores de Kc na fase 1 (Kc1) é constante e é influenciado significativamente pela frequência de irrigação nessa fase. Também o valor de Kc3 é constante, sendo mais influenciado pela demanda evaporativa predominante. Os valores assumidos para as fases 2 e 4 variam linearmente entre os valores das fases 1 e 3 e fases 3 e 5, respectivamente, como está apresentado na

Figura 2.

Ilustração: Paulo E. P. de Albuquerque.

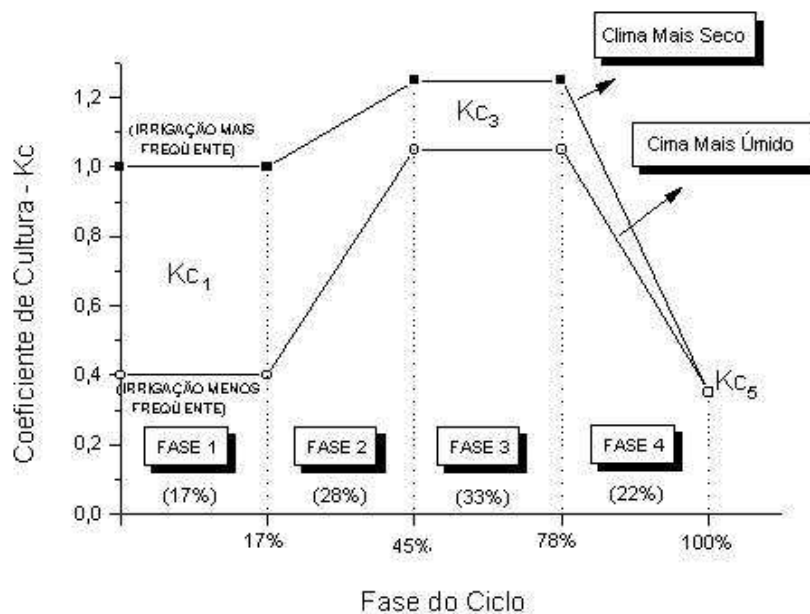


Fig. 2 Coeficientes de cultura (Kc) em função das fases do ciclo de crescimento em duas condições de clima.

Usando-se uma cultura de milho numa altura padrão de 2 m para a fase 3, obtém-se a Tabela 1 com os valores dos coeficientes de cultura para as fases do ciclo, segundo a demanda evaporativa dominante.

Água Disponível no Solo - Além de outras importantes funções que o solo desempenha no sistema agrícola, ele é também o "reservatório" de água para as plantas. A [água total disponível \(ATD\)](#) no solo, que pode ser absorvida pela planta, é definida como a água contida no solo que está entre a umidade da [capacidade de campo](#) (CC - ou limite superior da água disponível) e a umidade no [ponto de murcha permanente](#) (PMP - ou limite inferior da água disponível). Verificou-se que, na maioria dos solos e na maioria das situações, o solo se encontra na CC quando o potencial matricial da água (Ψ_m) contida nele oscilar na faixa entre -10 (solos arenosos e latossolos em geral) e -30 kPa (solos argilosos). Também foi verificado que o valor desse potencial para o PMP é de -1500 kPa. Em laboratório, tanto CC quanto PMP podem ser determinados com o mesmo equipamento utilizado para determinar a [curva de retenção](#).

Tabela 1. Valores do coeficiente de cultura (Kc) para as fases* do ciclo de desenvolvimento do milho, considerando uma altura padrão de 2 m na fase 3, de acordo com a demanda evaporativa dominante (segundo metodologia de Allen et al., 1998, adaptada por Albuquerque e Andrade, 2001).

Demanda evaporativa dominante*	TI** na fase 1 (dias)	Kc1	Kc2	Kc3	Kc4	Kc5
BAIXA $E_{To} \leq 2,5$ mm/dia	1	1,10	1,10 a 1,14			
	2	1,03	1,03 a 1,14			
	3	0,95	0,95 a 1,14	1,14	1,14 a 0,35	0,35
	4	0,88	0,88 a 1,14			
	5	0,80	0,80 a 1,14			
	6	0,73	0,73 a 1,14			
MODERADA $2,5 < E_{To} \leq 5,0$	1	1,00	1,00 a 1,23			
	2	0,91	0,91 a 1,23			
	3	0,83	0,83 a 1,23	1,23	1,23 a 0,35	0,35
	4	0,75	0,75 a 1,23			
	5	0,66	0,66 a 1,23			

	6	0,58	0,58 a 1,23			
	1	0,87	0,87 a 1,29			
	2	0,78	0,78 a 1,29			
ALTA	3	0,70	0,70 a 1,29			
5,0 < ETo ≤ 7,5	4	0,62	0,62 a 1,29	1,29	1,29 a 0,35	0,35
	5	0,53	0,53 a 1,29			
	6	0,45	0,45 a 1,29			
	1	0,82	0,82 a 1,36			
	2	0,73	0,73 a 1,36			
MUITO ALTA	3	0,65	0,65 a 1,36			
ETo > 7,5 mm/dia	4	0,57	0,57 a 1,36	1,36	1,36 a 0,35	0,35
	5	0,48	0,48 a 1,36			
	6	0,40	0,40 a 1,36			

Fonte: Allen et al., 1998, adaptada por Albuquerque e Andrade, 2001

* fases do ciclo de desenvolvimento de acordo com a Figura 2

** segundo as faixas da evapotranspiração de referência (ETo)

*** Turno de irrigação. + Se for realizado plantio direto sobre palhada, os valores de Kc1 deverão ser reduzidos em cerca de 50%.

Alguns critérios de manejo de irrigação

Critério baseado no uso das características físico-hídricas do solo e na estimativa da [evapotranspiração da cultura \(ETc\)](#)

O [turno de rega ou de irrigação \(TI\)](#) é normalmente variável de acordo com a variabilidade temporal da [evapotranspiração](#) da cultura (ETc). Entretanto, um critério de manejo de irrigação com o TI variável, apesar de ser o ideal, muitas vezes torna-se de difícil operacionalidade em condição prática.

Na adoção de um TI fixo, parte-se do pressuposto que a ETc diária possui um valor constante, que pode ser obtido pela média diária prevista para todo o período de desenvolvimento da cultura ou pelo valor crítico estabelecido no dimensionamento do sistema de irrigação. Entretanto, estes são valores que não retratam o dia-a-dia da [ETc](#) da cultura no campo. O que se recomenda é que se adote um TI fixo para cada uma das 4 fases relatadas no item referente à seleção do [coeficiente de cultura \(Kc\)](#), de modo que tornar-se-á necessário que se considere a ETc média diária reinante em cada uma dessas fases. Este critério normalmente é empregado quando se trabalha com dados históricos (de no mínimo 15 anos) da [evapotranspiração de referência \(ETo\)](#) para o local do cultivo.

Dessa forma, o turno de irrigação (TI) e a lâmina líquida (LL) a serem determinados, para cada uma das 4 fases do ciclo do milho, são dados por:

$$TI_i = \frac{Arm_i}{ETc_i} \quad (2)$$

$$LL_i = TI_i \times ETc_i \quad (3)$$

em que:

i = índice correspondente à fase (Fig. 2) do ciclo da cultura do milho (i = 1, 2, 3 ou 4);

TI_i = turno de irrigação na fase i, em dias;

Arm_i = lâmina de água armazenada no solo na fase i que será usada como suprimento para a cultura (mm);

ETc_i = [evapotranspiração da cultura](#) média diária na fase i, em mm/dia;

LL_i = [lâmina líquida de irrigação](#) na fase i, em mm.

A lâmina de água que fica armazenada no solo (Arm) e que pode-se tornar disponível à planta é representada pela equação:

$$Arm = \frac{(CC - PMP)}{10} \times f \times d \times Z \quad (4)$$

em que:

Arm = lâmina de água armazenada no solo que será usada como suprimento para a cultura (mm);

CC = umidade do solo na [capacidade de campo](#) (% peso);

PMP = umidade do solo no [ponto de murcha permanente](#) (% peso);

d = [densidade do solo](#) (g/cm³);

10 = constante necessária para conversão de unidades.

f = [coeficiente de depleção](#) da água no solo (adimensional, $0 < f < 1$);

Z = [profundidade efetiva do sistema radicular](#) (cm - para o milho, $Z_0 \leq Z \leq 40$ a 50 cm, sendo Z_0 a profundidade de semeadura, conforme a Fig. 3).

Ilustração: Paulo E. P. de Albuquerque

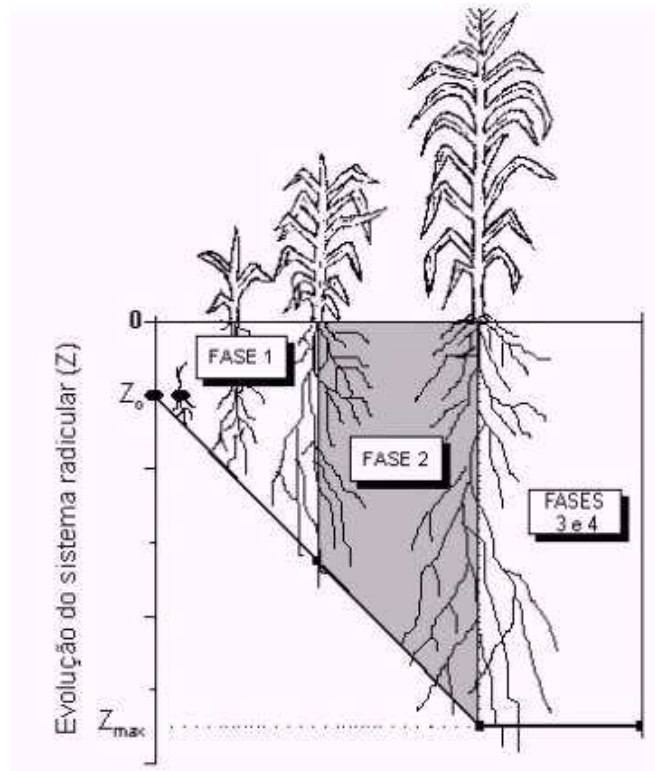


Fig. 3 Evolução do crescimento do sistema radicular do milho em função da fase vegetativa

O coeficiente f estabelece o ponto da água no solo em que não haverá perda de rendimento da cultura em decorrência do estresse hídrico provocado por demanda evaporativa elevada. Assim, maior demanda evaporativa normalmente exigirá menores valores de f e vice-versa. Para as condições de demanda evaporativa constantes na Tabela 1, os valores de f podem ser de 0,75; 0,60; 0,50 e 0,40 para baixa, moderada, alta e muito alta demanda, respectivamente.

A profundidade efetiva do sistema radicular (Z_{max}) para o milho pode ser considerada variar entre 40 e 50 cm, entretanto, dependendo das circunstâncias, impedimentos no solo de ordem física e/ou química podem alterar esses valores, de modo que é preferível que se realize teste em campo para que se encontre o valor mais compatível com a realidade local. É claro que na fase inicial o sistema radicular vai-se desenvolvendo a partir da profundidade de semeadura até atingir o seu pleno desenvolvimento, que deve ocorrer no término da fase 2. Pode ser considerado que o seu desenvolvimento é linear a partir da profundidade de semeadura até atingir a fase 3, como está representado na Figura 3.

Geralmente, no cálculo do TI pela equação 2 é muito comum a não obtenção de

número inteiro, ou seja, o TI com fração de dias. O que se faz comumente é o arredondamento para o próximo valor inteiro inferior, de modo que o [coeficiente de depleção \(f\)](#) fique ajustado para um valor menor ao originalmente adotado. Isso se faz por medida de segurança para não submeter a cultura a algum tipo de estresse hídrico. Entretanto, quando o seu valor na casa decimal for superior a oito décimos ($> 0,8$), não é problema o seu arredondamento para o próximo número inteiro superior, desde que se analise o que ocorre com o valor de f . Desse modo, haverá a necessidade de corrigir a LL obtida pela equação 3 em função do TI corrigido, com a consequente mudança do valor de f também.

Exemplo:

Quais são a lâmina líquida de irrigação (LL) e o turno de irrigação (TI) da cultura do milho em cada uma de suas 4 fases, cujos dados do local do plantio são: CC = 35% peso; PMP = 26% peso; $d = 1,1 \text{ g/cm}^3$; Z (fase 1) = 20 cm; Z (demais fases) = 40 cm; f (todas as fases) = 0,5; ETc (fase 1) = 2,5 mm/dia; ETc (fase 2) = 3,6 mm/dia; ETc (fase 3) = 5,2 mm/dia; ETc (fase 4) = 3,1 mm/dia.

Solução:

O que se deseja é: LL_i e TI_i , sendo $i = 1, 2, 3$ e 4 , correspondentes a cada uma das fases da cultura.

As lâminas de água que ficam armazenadas no solo (Arm_i) em cada uma das 4 fases (equação 4) são:

$$Arm_1 = \frac{(35 - 26)}{10} \times 0,5 \times 1,1 \times 20$$

$$Arm_1 = 9,9 \text{ mm}$$

$$Arm_2 = Arm_3 = Arm_4 = \frac{(35 - 26)}{10} \times 0,5 \times 1,1 \times 40$$

$$Arm_2 = Arm_3 = Arm_4 = 19,8 \text{ mm}$$

Os turnos de irrigação em cada fase (TI_i ; - equação 2) serão:

$$TI_1 = \frac{Arm_1}{ETc_1} = \frac{9,9}{2,5} = 4 \text{ dias}$$

$$TI_2 = \frac{Arm_2}{ETc_2} = \frac{19,8}{3,6} = 5 \text{ dias}$$

$$TI_3 = \frac{Arm_3}{ETc_3} = \frac{19,8}{5,2} = 4 \text{ dias}$$

$$TI_4 = \frac{Arm_4}{ETc_4} = \frac{19,8}{3,1} = 6 \text{ dias}$$

As lâminas líquidas de irrigação de cada fase (LL_i - equação 3) serão:

$$LL_1 = TI_1 \times ETc_1 = 4 \times 2,5 = 10,0 \text{ mm}$$

$$LL_2 = TI_2 \times ETc_2 = 5 \times 3,6 = 18,0 \text{ mm}$$

$$LL_3 = TI_3 \times ETc_3 = 4 \times 5,2 = 20,8 \text{ mm}$$

$$LL_4 = TI_4 \times ETc_4 = 6 \times 3,1 = 18,6 \text{ mm}$$

Critério baseado em sensores para monitoramento do potencial ou da umidade do solo

Os equipamentos que possuem sensores que monitoram o potencial matricial ([tensiômetros](#) e [blocos de resistência elétrica](#)) e o conteúdo de água no solo (TDR e

sonda de nêutrons) podem ser empregados também para se fazer o manejo de irrigação.

O [tensiômetro](#) funciona adequadamente na faixa de potencial de 0 a -80 kPa, o que não representa grande problema, porque a maior parte da [água facilmente disponível](#) dos solos usados em agricultura está retida dentro dessa faixa de potencial. Quando há necessidade de se extrapolar essa faixa (potenciais < -80 kPa), podem-se empregar os [blocos de resistência elétrica](#), mas há necessidade da calibração desses para cada tipo de solo. Em ambos os casos, haverá a necessidade também da obtenção da [curva de retenção](#) do solo, ou pelo menos das umidades na [capacidade de campo \(CC\)](#), no [ponto de murcha permanente \(PMP\)](#) e do potencial de referência para se fazer a irrigação (Ψ_{ir}).

Para o caso do milho, o potencial de referência para se efetuar a irrigação (Ψ_{ir}) é variável de acordo com o clima local e a época de plantio. Porém, de um modo geral, para garantir que as plantas não se submetam à estresses hídricos severos, pode-se considerar o Ψ_{ir} em torno de -70 kPa. É claro que cada caso deve ser estudado em suas condições peculiares. Estudos de Resende et al. (2000) indicam o potencial de -70 kPa em condições de verão nos Cerrados e em qualquer época no Semi-árido e de -300 kPa no inverno nos Cerrados.

As medições do potencial ou da umidade devem ser feitas em pelo menos 3 a 4 pontos representativos da área cultivada e no mínimo a duas profundidades (Figura 4): uma na zona de máxima atividade radicular (ponto A - que corresponde aproximadamente na região mediana da [profundidade efetiva do sistema radicular](#), para a cultura em seu máximo desenvolvimento) e outra nas proximidades da parte inferior da zona radicular (ponto B). No caso do milho, o que pode ser considerado, quando só se dispuser de equipamento para monitorar o potencial ou a umidade do solo, é que se realizem irrigações freqüentes (turno de irrigação de 1 ou 2 dias) até os 15 dias após a semeadura (DAS) e de 15 a 30 DAS se instalem os sensores a 10 cm (ponto A) e 20 cm de profundidade (ponto B). Após os 30 DAS, os sensores são aprofundados para 20 cm (ponto A) e 40 cm (ponto B) (Figura 4). As medições no ponto A são as que devem ser utilizadas para definir o momento da irrigação e as no ponto B servem para se verificar se a irrigação foi realizada em excesso com risco de lixiviação de solutos.

Controlando-se a irrigação através desses sensores instalados no solo, o momento de irrigar fica completamente independente do estabelecimento prévio de turnos de irrigação. Contudo, deve-se acompanhar o desenvolvimento do sistema radicular, para determinar a zona ativa das raízes (Z_r) e considerar a leitura do potencial ou da umidade feita no ponto médio dessa profundidade como a indicadora de quando irrigar.

Fonte: Paulo E. P. de Albuquerque

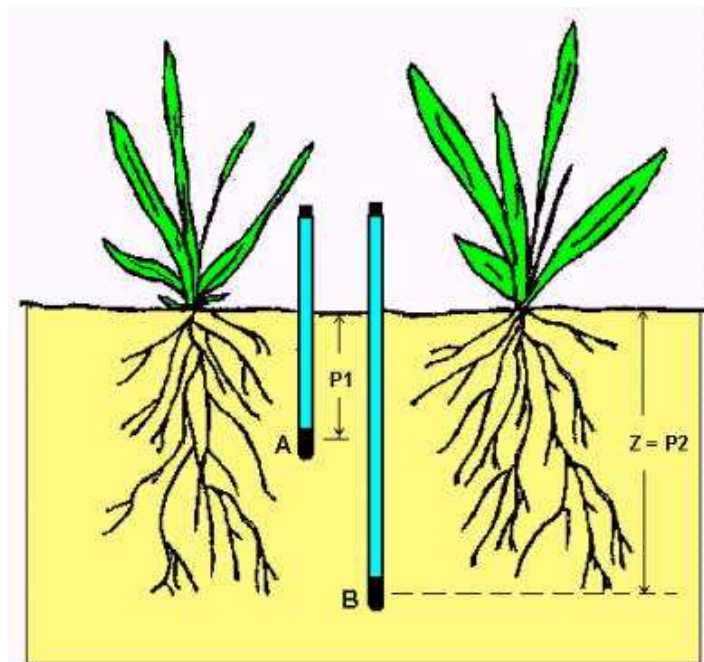


Fig. 4 Profundidade de instalação de sensores no solo.

Usando-se este método como manejo de irrigação, a [lâmina líquida de irrigação](#) por fase da cultura (LL_i) é dada por:

$$LL_i = \frac{(CC - U_{ir})}{10} \times d \times Z_i \quad (5)$$

em que:

LL_i = [lâmina líquida de irrigação](#) na fase i , em mm;

CC = umidade do solo na capacidade de campo, em %peso;

U_{ir} = umidade do solo no ponto A correspondente ao potencial referente ao momento de se efetuar a irrigação ($\Psi_{ir} = -70$ kPa), em %peso;

d = [densidade do solo](#), em g/cm³;

Z_i = [profundidade efetiva do sistema radicular](#) na fase i , em cm.

10 = constante necessária para conversão de unidades.

Observa-se que o [coeficiente de depleção](#) (f) não aparece explícito na equação 5, porque esse fator está implícito ao se estabelecer um limite mínimo de umidade no solo para reinício da irrigação (U_{ir}). No entanto, quando se utilizam instrumentos que medem apenas o potencial matricial (como o [tensiômetro](#)), é necessário converter o valor de Ψ_{ir} em U_{ir} através da [curva de retenção](#) do solo.

Exemplo:

Qual é a lâmina líquida de irrigação (LL) da cultura do milho na fase 3, cujos dados do local do plantio são:

$CC = 35\%$ peso; umidade no solo no ponto A da Figura 4, que corresponde à umidade crítica para efetuar a irrigação (U_{ir}) = 30% peso; $d = 1,1$ g/cm³; Z (fase 3) = 40 cm. O sensor no solo que é a referência para se proceder a irrigação da cultura está localizado no ponto A, conforme a Figura 4.

Solução:

O que se deseja é LL_3 (equação 5) que corresponde à fase 3 da cultura:

$$LL_3 = \frac{(35 - 30)}{10} \times 1,1 \times 40$$

$$LL_3 = 22,0 \text{ mm}$$

Critério conjunto com sensores de solo e com algum método de medir ou estimar a evapotranspiração de referência (ET_o)

Este critério tem a vantagem de se poder programar a irrigação sem conhecimento prévio das características físico-hídricas do solo, como, por exemplo, a sua [curva de retenção](#) e do clima. O sensor de potencial ou de umidade do solo indicará o momento de irrigar, conhecendo-se antecipadamente o limite mínimo do potencial (Ψ_{ir}) ou do conteúdo de água (U_{ir}) no solo a partir do qual se realizará a irrigação.

Por exemplo, como já visto para o milho, o valor de Ψ_{ir} pode ser de -70 kPa lido num [tensiômetro](#).

A [lâmina líquida de irrigação](#) é determinada pelo somatório da [evapotranspiração da cultura](#) acumulada desde a última irrigação, conforme a equação:

$$LL = \sum_{i=1}^n (Kc_i \times ET_{o_j}) \quad (6)$$

em que:

LL_i = [lâmina líquida de irrigação](#) na fase i (mm);

i = índice correspondente à fase do ciclo do milho (i = 1, 2, 3 ou 4);

j = índice correspondente ao dia da coleta do dado da ET_o;

n = número máximo de dias de coleta dos dados de ET_o até que o potencial (Ψ_{ir}) ou umidade de irrigação (U_{ir}) seja atingido;

Kc_i = [coeficiente de cultura](#) na fase i;

ET_{o_j} = [evapotranspiração de referência](#) no dia j.

Este critério de manejo se adapta bem quando se utiliza o [tensiômetro](#) para estabelecer o momento da irrigação e o [tanque Classe A](#) para a estimativa da ET_o diária, havendo, neste caso, a necessidade de multiplicar a [evaporação](#) da água do tanque (ECA) por um [coeficiente de tanque \(K_p\)](#), conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de tanque (K_p) para diferentes condições de cobertura de solo, de níveis de umidade relativa média do ar e de vento de 24 h (Doorenbos e Pruitt, 1977)*

UR** média (%)	Vento (km/dia)	Bordadura (R) m	Caso A: tanque exposto em local coberto com vegetação verde			Caso B: tanque exposto em local de solo nu			
			Baixa < <40	Média 40 - 70	Alta > 70	Baixa < < 40	Média 40 - 70	Alta > 70	
Leve		1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
< 175		10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
(<2 m/s)		100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
		1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Mode- rado		1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
		10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
175-425 (2-5m/s)		100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
		1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte		1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
		10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
(5-8m/s)		100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
		1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito Forte		1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
		10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55

> 700	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
(>8 m/s)	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

* para obter ETo: $ETo = Kp \times ECA$ (ECA é a evaporação da água no tanque Classe A) ** umidade relativa (UR)

Exemplo:

Qual é a lâmina líquida de irrigação (LL) da cultura do milho na fase 3, cujo momento da irrigação é estabelecido com um sensor no solo (tensiômetro) quando indica o valor de -70 kPa? A evaporação do tanque Classe A (ECA) foi medida diariamente conforme a tabela abaixo (o vento local durante as medições de ECA esteve abaixo de 2 m/s, a umidade relativa abaixo de 40% e o tanque estava sobre grama verde num raio de 100 m).

dia	Potencial da água no solo (kPa)	ECA (mm)
20	-5	7,2
21	-10	6,1
22	-23	5,9
23	-47	7,8
24	-58	4,7
25	-70	6,6

Solução:

O primeiro passo é determinar o coeficiente do tanque (Kp) e, em seguida, os valores diários da evapotranspiração de referência (ETo). Pela Tabela 2, para UR < 40%, velocidade do vento < 2 m/s e raio de bordadura com vegetação verde de 100 m, o valor de Kp = 0,70 (Tabela 2). Com isso, obtêm-se os valores da ETo ($ETo = Kp \times ECA$) da seguinte forma:

dia	Potencial da água no solo (kPa)	ECA (mm)	ETo (mm) Kp = 0,70
20	-5	7,2	5,04
21	-10	6,1	4,27
22	-23	5,9	4,13
23	-47	7,8	5,46
24	-58	4,7	3,29
25	-70	6,6	4,62

O coeficiente de cultura (Kc) para uma condição de ETo moderada (média de 4,47 mm/dia) na fase 3 do milho é 1,23 (Tabela 1), portanto usando-se a equação 6 determina-se a lâmina líquida de irrigação na fase 3 (LL_3):

$$LL_3 = Kc_3 \times \sum_{j=1}^6 ETo_j$$

$$LL_3 = 1,23 \times (5,04 + 4,27 + 4,13 + 5,46 + 3,29 + 4,62)$$

$$LL_3 = 1,23 \times 26,81 = 33,0 \text{ mm}$$

Irrigação do dia do plantio e dos dias próximos subsequentes

É recomendável que a irrigação do dia do plantio ou da semeadura se faça de modo a umedecer uma profundidade de solo preestabelecida até a capacidade de campo. Essa camada de solo a considerar deverá ser de no mínimo a profundidade máxima efetiva do sistema radicular anteriormente discutida.

Assim, a equação para calcular a lâmina líquida de plantio é semelhante à equação 5 e é escrita da seguinte forma:

$$LL(\text{plantio}) = \frac{(CC - U_{in})}{10} \times d \times \text{Prof} \quad (7)$$

em que:

LL_{plantio} = lâmina líquida de irrigação a ser aplicada no dia do plantio, em mm;

CC = umidade do solo na capacidade de campo, em %peso;

U_{in} = umidade inicial do solo, ou seja, no dia do plantio, em %peso;

d = densidade do solo, em g/cm^3 ;

Prof = profundidade do solo que se deseja umedecer até a capacidade de campo (CC), em cm. Recomenda-se que Prof = profundidade efetiva máxima do sistema radicular (Z_{max});

10 = constante necessária para conversão de unidades.

A umidade inicial (U_{in}) pode ser determinada pelo método gravimétrico através de amostra retirada do local até a profundidade (Prof). Dependendo da condição climática, como, por exemplo, após um período de seca prolongado, o seu valor poderá até ser menor do que o ponto de murcha permanente (PMP).

Logo após o plantio, a semente necessitará de umidade no solo para iniciar o processo de germinação ou de desenvolvimento. A reserva de água no solo necessária à germinação se limita à profundidade de semeadura (Z_0) e um pouco além dela. Portanto, é de fundamental importância manter o solo sempre úmido nesse período de pré-emergência. A grande perda de água pelo solo nesse período é devido à evaporação pela sua superfície.

Exemplo:

Qual é a lâmina líquida de irrigação (LL) da cultura do milho no dia do plantio, considerando-se que se deseja umedecer o perfil do solo até atingir a profundidade máxima efetiva do sistema radicular (Z_{max}) de 40 cm e que a umidade inicial (U_{in})

média entre 0 e 40 cm era de 28% peso? Dados: CC = 36% peso e $d = 1,1 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Solução:

Usando-se a equação 7 para determinar a LL obtém-se:

$$LL_{\text{plantio}} = \frac{(36 - 28)}{10} \times 1,1 \times 40$$

$$LL_{\text{plantio}} = 0,8 \times 1,1 \times 40 = 35,2 \text{ mm}$$

Lâmina bruta de irrigação (LB)

A lâmina bruta de irrigação (LB) é baseada na lâmina líquida de irrigação (LL), eficiências do sistema e na necessidade de lâminas extras de lixiviação, para o caso de controle de salinização em áreas propícias.

Desse modo, a LB é dada por:

$$LB = \frac{LL}{E_f} + L_r \quad (8)$$

em que:

LB = lâmina bruta de irrigação, em mm;

LL = lâmina líquida de irrigação, em mm;

L_r = lâmina complementar necessária para lavagem do solo, em situação propícia à salinização do solo, em mm;

E_f = eficiência de irrigação, em decimal.

A eficiência (E_f) representa a porcentagem da água total aplicada à cultura que foi benéficamente utilizada para o uso consuntivo da cultura. E_f é basicamente uma função da uniformidade de aplicação, mas depende também de perdas menores

(escoamento superficial, vazamentos, fluxos na rede e drenagem), perdas inevitáveis (percolação profunda, devido ao padrão de molhamento no solo, e chuva fora de época) e perdas evitáveis (resultantes de programação inadequada).

Em regiões úmidas, que possuem um período de chuvas regulares, que promovem a lavagem do solo, é desnecessário o uso da Lr. Entretanto, em regiões de chuvas escassas, como em locais áridos e semi-áridos, há necessidade de considerar esse termo no cálculo da LB.

Os valores da eficiência são obtidos em função da uniformidade de aplicação que o sistema de irrigação empregado pode fornecer. Por isso, é importante realizar testes de uniformidade de aplicação de água nos diversos sistemas de irrigação existentes.

Exemplo:

Qual é a lâmina bruta de irrigação (LB) usando-se o resultado do exercício anterior (LL = 35,2 mm), sabendo-se que a eficiência de irrigação (Ef) do sistema é de 90% e que não há necessidade de lâmina complementar para lavagem do solo (Lr = 0)?

Solução:

Usando-se a equação 8 para determinar a LB obtém-se:

$$LB = \frac{35,2}{0,90} + 0 = 39,1 \text{ mm}$$

Consumo total de água da cultura do milho

O consumo total de água da cultura do milho varia em função das condições climáticas e da cultivar utilizada. Para a ocorrência de uma condição ideal de [evapotranspiração](#) máxima, ou seja, as plantas sem sofrer qualquer tipo de estresse (abiótico ou biótico), os valores aproximados do consumo de água pela cultura por fase do ciclo fenológico (conforme a Figura 2) estão apresentados na Tabela 3, em função de demandas evaporativas baixa, moderada, alta e muito alta.

Tabela 3. Valores aproximados do consumo de água pela cultura do milho, por fase do ciclo fenológico e total, em função da demanda evaporativa (valores previstos para consumo total e adaptados de Allen et al.(1998) para consumo por fase, segundo a demanda evaporativa).

Demanda evaporativa*	Consumo (mm)				
	Fase 1**	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Total
Baixa	70	130	175	75	450
Moderada	65	140	210	85	500
Alta	60	150	240	100	550
Muito Alta	60	165	260	115	600

Fonte: adaptados de Allen et al.(1998)

*Demanda evaporativa conforme a Tabela 1.

**Fases do ciclo fenológico como mostradas na Fig. 2.

Recursos da informática

Para a programação da irrigação da cultura do milho, há alguns recursos computacionais disponíveis, como uma planilha eletrônica (link de Publicações Online – Circular Técnica nº 97, ano de 2007, no endereço www.cnpms.embrapa.br) ou fazer pedidos do programa IrrigaFácil (e-mail: irrigafacil@cnpms.embrapa.br).

[Voltar](#)