

Irrigação

Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Morethson Resende

Cultivo do Milho

[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 bibliográficas](#)[Glossário](#)[Revisores](#)

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. O milho de variedade de ciclo médio cultivado para a produção de grãos secos consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas. O período de máxima exigência 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 (altura, 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 à 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](#)

(E_{To}), 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 E_{Tc} . Então, a E_{Tc} pode ser obtida pela equação:

$$E_{Tc} = K_c \times E_{To} \quad (1)$$

em que:

E_{Tc} = [evapotranspiração da cultura](#) do milho (mm/dia);

K_c = coeficiente da cultura do milho (adimensional);

E_{To} = [evapotranspiração da cultura de referência](#) (mm/dia).

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

COEFICIENTE DE CULTURA (K_c) DO MILHO - Os valores do [coeficiente de cultura \(\$K_c\$ \)](#) 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 K_c ao longo do tempo.

A evolução dos valores de K_c do milho com o tempo pode ser visualizada de acordo com o gráfico apresentado na [Figura 1](#).

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 120 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 1](#), os valores de K_c na fase 1 (K_{c1}) é constante e é influenciado significativamente pela frequência de irrigação nessa fase. Também o valor de K_{c3} 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 1](#).

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.

Tabela 1. Valores do [coeficiente de cultura \(\$K_c\$ \)](#) 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*	Tl^{**} na fase 1 (dias)	K_{c1}	K_{c2}	K_{c3}	K_{c4}	K_{c5}
BAIXA $E_{To} \leq 2,5$ mm/dia	1	1,10	1,10 a 1,14	1,14	1,14 a 0,35	0,35
	2	1,03	1,03 a 1,14			
	3	0,95	0,95 a 1,14			
	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	1,23	1,23 a 0,35	0,35
	2	0,91	0,91 a 1,23			
	3	0,83	0,83 a 1,23			
	4	0,75	0,75 a 1,23			

	5	0,66	0,66 a 1,23			
	6	0,58	0,58 a 1,23			
ALTA 5,0 < ET _o ≤ 7,5	1	0,87	0,87 a 1,29	1,29	1,29 a 0,35	0,35
	2	0,78	0,78 a 1,29			
	3	0,70	0,70 a 1,29			
	4	0,62	0,62 a 1,29			
	5	0,53	0,53 a 1,29			
	6	0,45	0,45 a 1,29			
MUITO ALTA ET _o > 7,5 mm/dia	1	0,82	0,82 a 1,36	1,36	1,36 a 0,35	0,35
	2	0,73	0,73 a 1,36			
	3	0,65	0,65 a 1,36			
	4	0,57	0,57 a 1,36			
	5	0,48	0,48 a 1,36			
	6	0,40	0,40 a 1,36			

* segundo as faixas da [evapotranspiração de referência \(ET_o\)](#)

** Turno de irrigação

Água Disponível no Solo - Além de outras importantes funções que o solo desempenha no sistema agrícola, 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 do [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 (Y_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](#).



Alguns critérios de manejo de irrigação

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

O [turno de rega ou de irrigação \(TI\)](#) é normalmente variável de acordo com a variabilidade temporal da [evapotranspiração](#) da cultura (ET_c). 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 ET_c 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, mas são valores que não retratam o dia-a-dia da [ET_c](#) da cultura no campo. O que se recomenda pelo menos é que se adote o TI fixo para cada uma das 4 fases relatadas no item referente à seleção do [coeficiente de cultura \(K_c\)](#), de modo que tornar-se-á necessário que se considere a ET_c 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 \(ET_o\)](#) 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:

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

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

em que:

i = índice correspondente à fase ([Figura 1](#)) do ciclo da cultura do milho ($i = 1, 2, 3$ ou 4);

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

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

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

LLi = [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 \(global\) 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 [Figura 2](#)).

O coeficiente f estabelece o ponto da água no solo em que não haverá perda de rendimento da cultura proveniente da demanda evaporativa. 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) 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 2](#).

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 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 conseqüente mudança do valor de f também.



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, mas 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 da [capacidade de campo \(CC\)](#), do [ponto de murcha permanente \(PMP\)](#) e do potencial de referência para se fazer a irrigação (Y_{ir}).

Para o caso do milho, o potencial de referência para se efetuar a irrigação (Y_{ir}) é variável de acordo com o clima local e a época de plantio. Porém, de um modo geral, para a garantia de plantas sem estresse hídrico, pode-se considerar o Y_{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 e no mínimo a duas profundidades ([Figura 3](#)), uma 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 (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 nos pontos são aprofundados para 20 cm (ponto A) e 40 cm (ponto B) ([Figura 3](#)). As medições no ponto A são as que devem ser utilizadas para o critério do momento da irrigação e as no ponto B servem como complementares para que se tenha um controle sobre o movimento da água no solo durante a extração de água pela cultura e mesmo durante os processos de irrigação (infiltração) e redistribuição da água no perfil.

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_i) e considerar a leitura do potencial ou da umidade feita no ponto médio dessa profundidade como a indicadora de quando irrigar.

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

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

em que:

LLi = [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 ($Y_{ir} = -70\text{kPa}$), 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 de solo para reinício da irrigação (Uir). No entanto, quando se utilizam instrumentos que medem apenas o potencial matricial (como o [tensiômetro](#), é necessário converter o valor de Yir em Uir através da [curva de retenção](#) do solo.



Critério conjunto com sensores de solo e com algum método de medir ou estimar a [evapotranspiração de referência \(ETo\)](#)

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 (Yir) ou do conteúdo de água (Uir) no solo a partir do qual se realizará a irrigação. Por exemplo, como já visto para o milho, o valor de Yir 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 realizada, conforme a equação:

$$LL = \sum_{j=1}^n (Kc_i \times ETo_j) \quad (6)$$

em que:

LL = [lâmina líquida de irrigação](#) (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 ETo;

n = número máximo de dias de coleta dos dados de ETo até que o potencial (Yir) ou umidade de irrigação (Uir) seja atingido;

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

$EToj$ = [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 ETo diária, havendo, neste caso, a necessidade de multiplicar a [evaporação](#) da água do tanque (ECA) por um [coeficiente de tanque \(Kt\)](#), conforme tabela mostrada por Albuquerque e Andrade (2001).



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 a equação 5 e é escrita da seguinte forma:

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

em que:

LL = [lâmina líquida de irrigação](#) a ser aplicada no dia do plantio, em mm;

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

U_m = umidade inicial do solo, ou seja, no dia do plantio, em %peso;

d = [densidade do solo](#), em g/cm³;

$Prof$ = 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);

$10 =$ 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.



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:

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

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;

$Ef =$ [eficiência de irrigação](#), em decimal.

A eficiência (Ef) representa a porcentagem da água total aplicada à cultura que foi benéficamente utilizada para o uso consuntivo da cultura. Ef é basicamente uma função da uniformidade de aplicação, mas também depende 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 L_r . 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, há a importância de realizar testes de uniformidade de aplicação de água nos diversos sistemas de irrigação existentes.



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 estresse hídrico, os valores aproximados do consumo de água pela cultura por fase do ciclo fenológico (conforme a [Figura 1](#)) estão apresentados na Tabela 2, em função de demandas evaporativas baixa, moderada, alta e muito alta.

Tabela 2. 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).

Consumo (mm)					
Demanda evaporativa*	Fase 1**	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Total
Baixa	75	140	185	80	480
Moderada	70	150	215	85	530
Alta	65	160	255	110	590
Muito Alta	65	175	280	120	640

*Demanda evaporativa conforme a Tabela 1.

**Fases do ciclo fenológico como mostradas na [Figura 1](#).



Recursos da informática

Para a programação da irrigação da cultura do milho, há alguns recursos disponíveis na área da informática, como uma planilha eletrônica (Albuquerque e Andrade, 2001) e a página da Embrapa Milho e Sorgo (www.cnpms.embrapa.br/irrigacao/) que apresenta, de modo aproximado, as datas e as lâminas previstas de irrigação numa situação sem ocorrência de chuvas.



[Voltar](#)

Informações Relacionadas

[Planilha eletrônica para a programação da irrigação de culturas anuais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo](#)

[Produção de milho](#)

[A água em sistemas agrícolas](#)

[Cultivo do milho irrigado](#)

