

Viabilidade e Manejo da Irrigação da Cultura do Milho

Viabilidade da Irrigação

Antes de adquirir qualquer equipamento ou construir qualquer estrutura para irrigação, deve-se primeiro determinar se há necessidade de irrigar a cultura naquele local e se é possível irrigar. Em geral, o interesse pela irrigação costuma aumentar quando ocorre estiagem, com quebra ou perda da produção. Por outro lado, muitos agricultores, motivados pelo modismo ou impulsionados pela pressão comercial e facilidade de crédito, adquirem sistemas de irrigação, sem mesmo verificar se a cultura a ser irrigada necessita ou responde à irrigação ou se a fonte de água de que dispõem é suficiente para atender à necessidade hídrica da cultura.

Antes de decidir irrigar, deve-se levar em consideração diversos fatores, entre os quais a quantidade e distribuição da chuva, o efeito da irrigação na produção, a necessidade de água das culturas e a qualidade e disponibilidade de água da fonte. O fator mais importante, que determina a necessidade de irrigação de uma certa cultura em uma região, é a quantidade e a distribuição das chuvas, quando comparada aos requerimentos hídricos da cultura. Outras razões para se utilizar irrigação são o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade do produto, a produção na entressafra, o uso mais intensivo da terra e a redução do risco do investimento feito na atividade agrícola.

Um outro aspecto vem se tornando cada vez mais importante quando se cogita o uso da água na agricultura: a competição entre usos múltiplos dos recursos hídricos. Em pleno século 21, em que a água é considerada como o recurso natural mais escasso, qualquer política ou decisão estratégica sobre seu uso leva em conta opções de seu uso para diferentes fins: agricultura, uso urbano, pecuária, indústria, pesca, ambiente, turismo etc. Essa competição entre usos comporta duas análises principais, uma análise econômica e uma análise ambiental.

A análise ambiental tem uma escala mais ampla e é geralmente conduzida no âmbito governamental. Entretanto, a análise econômica se aplica em escala mais reduzida e, portanto merece atenção do produtor agrícola. Trata-se do conceito, relativamente recente, de *produtividade da água*, que procura exprimir a produtividade unitária da água, seja em termos físicos (em kg/m^3 – quilograma de produto por m^3 de água aplicado ou utilizado) ou em termos econômicos (em $\text{R\$/m}^3$ – R\$ de retorno bruto por m^3 de água aplicado). Esse conceito é usado para auxiliar na definição sobre qual a melhor opção econômica de uso da água. No caso da produção agrícola, pode servir de indicador entre diferentes culturas. Numa escala regional, pode ser usado para comparar o retorno econômico do uso dos recursos hídricos para diferentes fins (agricultura, pecuária, indústria, urbano etc).

85
Circular
Técnica

Sete Lagoas, MG
Dezembro, 2006

Autores

Camilo de Leis T. Andrade
Engº Agríc., Ph.D, Engenharia de Irrigação. Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, CEP 35.701-970 Sete Lagoas-MG. Correio eletrônico: camilo@cnpmis.embrapa.br

Paulo Emilio Pereira Albuquerque Engº Agríc., Ph.D, Irrigação e Drenagem. Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, CEP 35.701-970 Sete Lagoas-MG. Correio eletrônico: emilio@cnpmis.embrapa.br

Ricardo Augusto Lopes Brito
Engº Agrº, Ph.D, Eng. de Irrigação e Drenagem. Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, CEP 35.701-970 Sete Lagoas-MG. Correio eletrônico: rbrito@cnpmis.embrapa.br

Morethson Resende
Engº Agrº, Ph.D., Ciência do Solo Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, CEP 35.701-970 Sete Lagoas-MG. Correio eletrônico: resende@cnpmis.embrapa.br

Quantidade e Distribuição de Chuvas

A necessidade de irrigação diminui das regiões áridas e semi-áridas para as regiões mais úmidas. Geralmente, nas regiões mais úmidas do país, a quantidade de chuvas ao longo do ano é suficiente para o cultivo de, pelo menos, uma safra de milho. Entretanto, devido à má distribuição das chuvas a cultura pode sofrer com a falta de água. É comum, na região dos Cerrados, a ocorrência de veranicos (períodos secos no meio do período chuvoso) que causam quebra na produtividade e na qualidade dos grãos. Se esse tipo de risco não é tolerável, como no caso da produção de sementes, deve se dispor de irrigação, mesmo que essa aparentemente fique subutilizada durante parte do período chuvoso, lembrando ainda que, nessa região, as culturas de inverno necessitam ser irrigadas. Além do mais, o cultivo de milho verde para indústria ou consumo *in natura* requer irrigações freqüentes ao longo de todo o ciclo.

A análise de dados históricos de chuvas ao longo do ano é, portanto, fundamental na tomada de decisão de irrigar. Na Figura 1 são plotadas a precipitação mensal média e a precipitação mensal provável para o período de 1988 a 1998 em Sete Lagoas, MG. A precipitação provável representa um certo valor de precipitação que pode ser igualado ou superado com um determinado nível de probabilidade, definido com base no histórico da precipitação. Nota-se que a precipitação média (cuja probabilidade de ocorrência é aproximadamente 50%) é significativamente maior que a precipitação esperada com 75% e 91,7% de probabilidade. Para a produção de culturas de menor valor comercial, como o milho, pode-se adotar, neste tipo de análise, um nível de probabilidade de 75%.

Necessidade de Água da Cultura do Milho

A quantidade de água que o milho utiliza durante o ciclo é chamada demanda sazonal, podendo variar com as condições climáticas da região onde é cultivado. Em regiões semi-áridas, em geral, as plantas requerem uma maior quantidade de água por ciclo.

Há um período durante o ciclo da cultura em que mais água é consumida diariamente. No caso do milho, esse período coincide com o florescimento e o enchimento de grãos. A quantidade de água usada pela cultura, por unidade de tempo, nesse período é chamada demanda de pico.

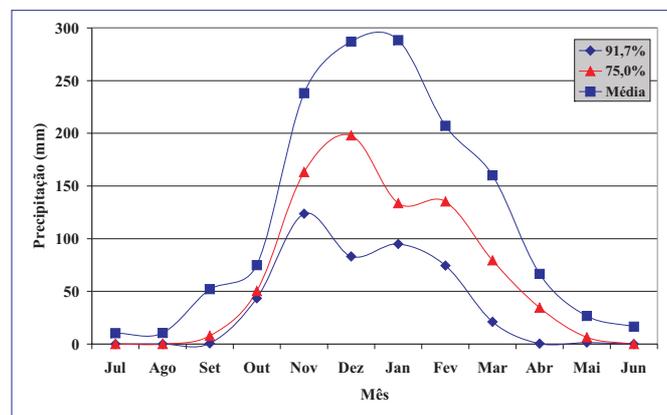


Figura 1. Precipitação média e provável (probabilidade de ocorrência) para o período de 1988 a 1998, Sete Lagoas, MG

O requerimento de água das culturas é, majoritariamente, a quantidade que as plantas transpiram. Como ocorre, simultaneamente, evaporação na superfície do solo, essas duas componentes combinadas são chamadas evapotranspiração (ET), a qual pode ser estimada a partir do consumo de água de uma cultura de referência (ET_o) que, por sua vez, é determinada com os dados de clima do local. A cultura de referência é uma cultura hipotética, que seria semelhante à grama, com 12 cm de altura e sem qualquer deficiência hídrica ou nutricional, nem incidência de pragas ou doenças.

Os valores de ET_o devem ser multiplicados pelos valores do coeficiente de cultura (K_c) para obter a curva de ET_c (evapotranspiração da cultura) para o milho. A estimativa da evapotranspiração de referência e do consumo de água da cultura do milho será discutida com detalhes em outro tópico. No presente capítulo, serão empregados dados médios de ET_o e será considerado um coeficiente de cultivo de 1, visando exemplificar a análise da necessidade ou não de irrigar a cultura na região de Sete Lagoas, MG.

Na Figura 2 são apresentadas as curvas de evapotranspiração de referência média e provável para o período de 1988 a 1998 em Sete Lagoas, MG. Diferentemente da precipitação (Figura 1), o gráfico mostra a probabilidade de ocorrência de um valor igual ou menor que o indicado. Por essa razão, os valores médios de ETo são menores que os valores associados a uma certa probabilidade (maior que 50%) de ocorrência. Vale lembrar que a evapotranspiração do milho é maior que a evapotranspiração de referência (Kc maior do que 1) no período de pico de consumo. Dois picos de consumo mensal são observados para o exemplo em questão, um em outubro e outro em janeiro. O sistema de irrigação deve ser capaz de fornecer a quantidade sazonal de água à cultura, bem como de suprir a demanda de pico. A quantidade sazonal de água requerida pela cultura deve ser comparada com a quantidade de água disponível na fonte durante o ciclo.

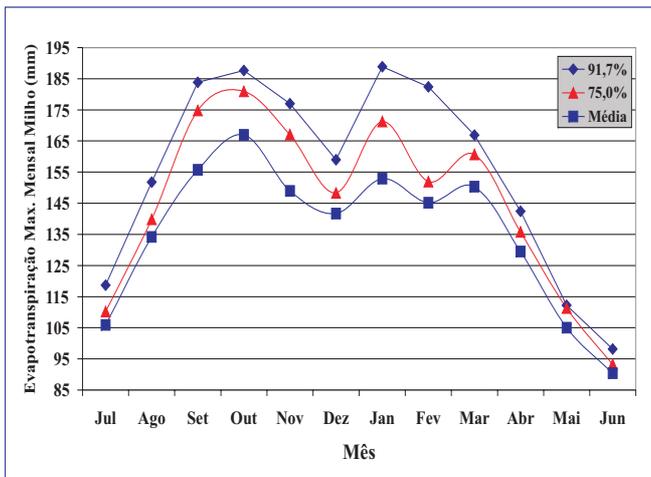


Figura 2. Evapotranspiração máxima mensal, média e provável, da cultura do milho para o período de 1988 a 1998, Sete Lagoas, MG.

Comparação entre Curvas de Precipitação e de Evapotranspiração

Quando se plotam as curvas de precipitação mensal junto com as de evapotranspiração de referência mensal (Figura 3) é que se tem uma visão melhor da necessidade, ou não, de irrigar. O primeiro ponto que chama a atenção no exemplo é que, dada a grande variabilidade interanual da precipitação, dados médios

devem ser evitados em favor de dados probabilísticos. O mesmo não é tão necessário com a evapotranspiração, que é mais uniforme. Considerando uma probabilidade de 75%, nota-se que, exceto para o período de novembro a janeiro, nos demais meses há necessidade de irrigação, mesmo que complementar às chuvas. Um agravante para a situação é a possibilidade de ocorrência de veranicos, como pode ser observado na Figura 4. Nota-se que veranicos de até 15 dias podem ocorrer, como é o caso do período de 13 a 31 de janeiro de 1996, o qual, na ausência de irrigação, poderia causar quebra na produtividade ou danos irreversíveis à cultura do milho.

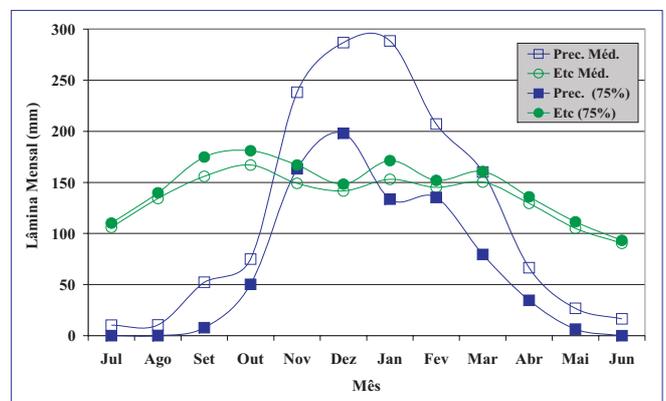


Figura 3. Comparação de curvas de precipitação e evapotranspiração médias e prováveis (probabilidade de ocorrência) para o período de 1988 a 1998, Sete Lagoas, MG.

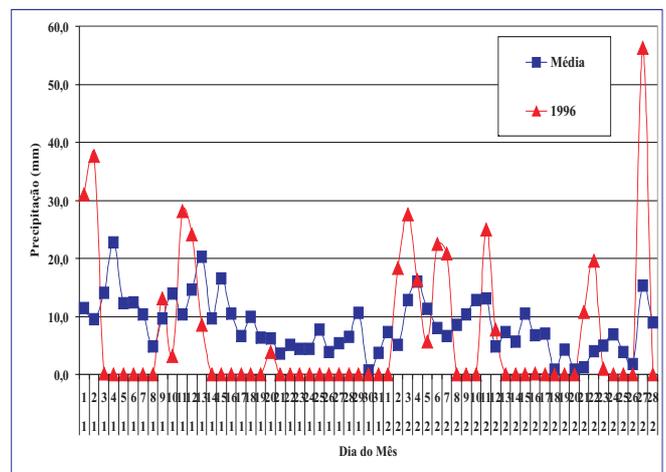


Figura 4. Precipitação média e dos meses de janeiro e fevereiro de 1996, indicando a ocorrência de veranicos, Sete Lagoas, MG.

Efeito da Irrigação na Produtividade do Milho

Além do efeito direto da disponibilidade de água para as plantas, outros fatores contribuem para que a irrigação proporcione um aumento na produtividade da cultura. Esses são: o uso mais eficiente de fertilizantes, a possibilidade de emprego de uma maior densidade de plantio e a possibilidade de uso de variedades que respondem melhor à irrigação.

Em ensaios experimentais, pode-se observar que vários materiais de milho apresentam boa resposta à irrigação (Tabela 1).

Alguns desses materiais apresentam também boa tolerância ao estresse hídrico. Vale observar ainda que esse mesmo tipo de análise de produção dos materiais de milho pode ser empregado em situações de escassez de água, onde o objetivo seria maximizar a produção por unidade de volume de água (produtividade da água) e não por unidade de área cultivada.

A análise de dados de produtividade potencial da cultura, juntamente com dados de custo de produção e preços, é crucial na tomada de decisão de irrigar ou não. Nesse sentido, a utilização de modelos de computador que integram a simulação do crescimento e da produtividade da cultura com aspectos econômicos constitui-se uma poderosa ferramenta de auxílio à decisão.

Fonte de Água

Determinada a necessidade de se irrigar a cultura, há que se analisar as fontes de água para verificar se são capazes de suprir as necessidades hídricas da cultura com água de boa qualidade.

As principais fontes de água para irrigação são rios, lagos ou reservatórios, canais ou tubulações comunitárias e poços profundos. Vários fatores devem ser considerados na análise da adaptabilidade da fonte para irrigação, entre os quais a distância da fonte ao campo, a altura em que a água deve ser bombeada, o volume de água disponível, a vazão da fonte no período

de demanda de pico da cultura e a qualidade da água. O volume de água disponível deve atender a necessidade sazonal de água da cultura e a vazão da fonte deve suprir a demanda durante todo o ciclo, principalmente durante o período de pico de consumo.

TABELA 1. Produtividade da Cultura do Milho sob Irrigação e com Estresse Hídrico Aplicado na Época do Florescimento. Janaúba, MG, 2000.

Material de Milho	Com Estresse no Florescimento	Sem Estresse	Redução na Produtividade
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%
1	1020	6403	84
5	1027	6167	83
9	2113	9170	77
12	2550	7980	68
7	3697	9407	61
13	2467	6060	59
4	2960	7087	58
2	2970	6903	57
19	830	1923	57
6	2400	5437	56
3	2047	4493	54
16	3830	8077	53
18	3810	7363	48
15	3200	6173	48
11	4160	7587	45
8	4670	8480	45
17	3820	6933	45
10	4077	7013	42
14	3523	5663	38
20	4180	6560	36
BRS 3101	2987	8190	64
P 3041	4447	8523	48

A qualidade da água, em termos de sais, poluentes e materiais sólidos, deve ser analisada. As culturas têm limite de tolerância quanto à concentração de sais na água. Poluentes podem contaminar os alimentos e os materiais sólidos podem causar problemas em bombas, filtros e emissores.

Atenção especial deve ser dada às leis de uso da água em vigor no país. Os usuários são obrigados a requerer outorga para uso da água junto às agências de controle estaduais. Além do mais, como o recurso água está a cada dia mais escasso, há tendência de aumentar os conflitos entre os usuários. O direito de uso da água de um usuário, localizado à jusante do ponto onde se tenciona captar a água para a irrigação, deve ser preservado, em termos de volume, vazão da fonte e qualidade da água.

Se a decisão, baseada nas informações descritas anteriormente, é favorável à irrigação, então o próximo passo é a seleção do método e do sistema de irrigação.

Inicialmente, há que se conhecer os diversos métodos e sistemas de irrigação disponíveis atualmente.

Manejo de Irrigação

O milho é considerado 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), a chuva (altura, intensidade, distribuição e probabilidade de ocorrência), o rendimento esperado (agricultura irrigada ou de sequeiro) e a água total disponível (ATD) no solo por unidade de profundidade efetiva do sistema radicular (Z).

O manejo da irrigação da cultura do milho consiste em 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

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 (Eto), que é uma cultura hipotética, semelhante à grama, com uma altura uniforme de 12 cm, resistência do dossel da cultura de 70 s/m e albedo de 0,23, em pleno crescimento, sem deficiência de água e sem sofrer danos por pragas ou doenças, 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.

COEFICIENTE DE CULTURA (Kc) DO MILHO - Os valores do Coeficiente de Cultura (Kc) do milho são influenciados pelas características da variedade ou da cultivar empregada, pela época de semeadura, pelo estágio de desenvolvimento da cultura e pelas 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 5.

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 5, o valor 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 das fases 3 e 5, respectivamente, como está apresentado na Figura 5.

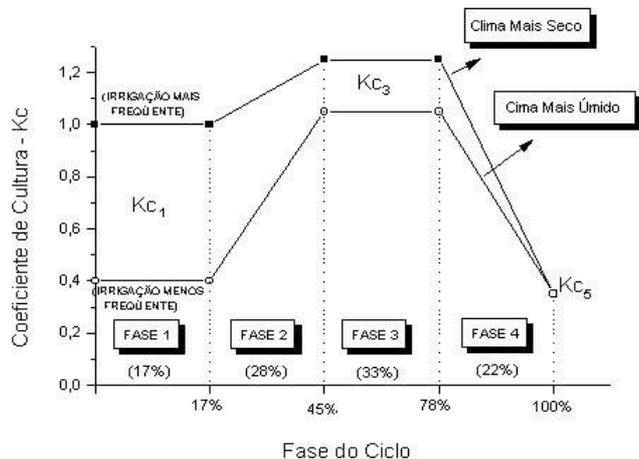


Figura 5. Valores de K_c para milho nas diferentes fases do ciclo e condições climáticas.

Usando-se uma cultura de milho numa altura padrão de 2 m para a fase 3, obtém-se a Tabela 2 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, 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 kPa (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

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

O Intervalo de irrigação (TI), às vezes chamado de turno de irrigação, é normalmente variável de acordo com a variabilidade temporal da evapotranspiração da cultura (ETc). Entretanto, o 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, mas são valores que não retratam o dia-a-dia da ETc da cultura no campo. Recomenda-se adotar o TI fixo para cada uma das 4 fases relatadas na seleção do coeficiente de cultura (K_c) e considerar a ETc média diária em cada fase.

Tabela 2. 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 ETo ? 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			
	4	0,88	0,88 a 1,14	1,14	1,14 a 0,35	0,35
	5	0,80	0,80 a 1,14			
	6	0,73	0,73 a 1,14			
MODERADA 2,5 < ETo ? 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			
	4	0,75	0,75 a 1,23	1,23	1,23 a 0,35	0,35
	5	0,66	0,66 a 1,23			
	6	0,58	0,58 a 1,23			
ALTA 5,0 < ETo ? 7,5	1	0,87	0,87 a 1,29			
	2	0,78	0,78 a 1,29			
	3	0,70	0,70 a 1,29			
	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			
MUITO ALTA ETo > 7,5 mm/dia	1	0,82	0,82 a 1,36			
	2	0,73	0,73 a 1,36			
	3	0,65	0,65 a 1,36			
	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			

* segundo as faixas da evapotranspiração de referência (ETo)

** Turno de irrigação

Esse 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 intervalo 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 (Figura 5) 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 (global) do solo (g/cm^3);

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, $Z_0 ? Z ? 40$ a 50 cm, sendo Z_0 a profundidade de semeadura, conforme a Figura 6).

O coeficiente f estabelece o limite da umidade 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 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. 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 6.

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.

(B) 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, mas isso 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 (?ir).

Para o caso do milho, o potencial de referência para se efetuar a irrigação (?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 ?ir em torno de -70 kPa. 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.

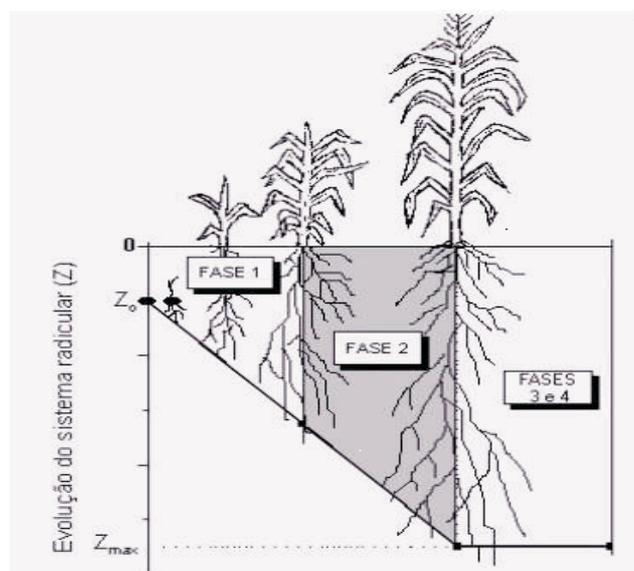


Figura 6. Ilustração do desenvolvimento do sistema radicular (Z) do milho.

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 7), 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 7). 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 (LL_i) é dada por:

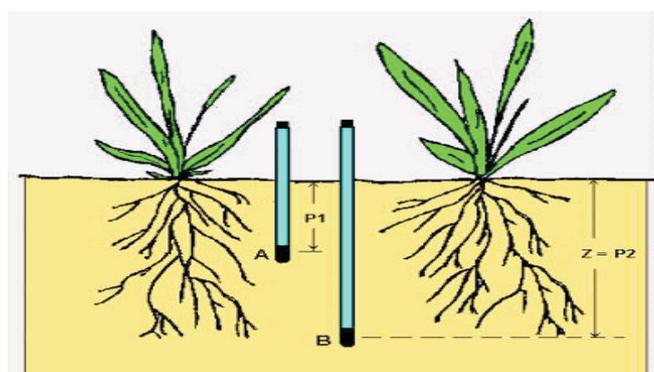


Figura 7. Esquema ilustrativo para colocação de sensores de umidade na zona radicular.

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

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 ($\psi_{ir} = -70\text{kPa}$), em %peso;

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

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 (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.

(C) Critério conjunto com sensores de solo e com algum método de medir ou estimar a evapotranspiração de referência (E_{to})

Esse critério oferece 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 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 (Y_{ir}) ou umidade de irrigação (U_{ir}) seja atingido;

Kc_i = coeficiente de cultura na fase i ;

ETo_j = evapotranspiração de referência no dia j .

Esse 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, nesse 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 à 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_{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);

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, limita-se à profundidade de semeadura (Z_o) 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), na eficiência 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:

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

em que:

LB = lâmina bruta de irrigação, em mm;

LL = lâmina líquida de irrigação, em mm;

Lr = 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 é 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 Lr . Entretanto, em regiões de chuvas escassas, como em locais áridos e semi-áridos, há necessidade de se 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 se 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 5), 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	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 5.

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.

**Circular
Técnica, 85**

Ministério da Agricultura,
Pecuária e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: MG 424 Km 45 Caixa Postal 151 CEP
35701-970 Sete Lagoas, MG

Fone: (31) 3779 1000

Fax: (31) 3779 1088

E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

1ª edição

1ª impressão (2006): 200 exemplares

**Comitê de
publicações**

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino

Secretário-Executivo: Cláudia Teixeira Guimarães

Membros: Carlos Roberto Casela, Flávia França
Teixeira, Camilo de Lelis Teixeira de Andrade,
José Hamilton Ramalho, Jurandir Vieira Magalhães

Expediente

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa