

Irrigação na cultura do pimentão

Fotos: Waldir A. Marouelli



101 Circular Técnica

Brasília, DF
Março, 2012
1ª edição

Autores

Waldir A. Marouelli
Engº Agríc., Ph.D.
Embrapa Hortaliças
Brasília, DF
waldir@cnpq.embrapa.br

Washington L.C. Silva
Engº Agr., Ph.D.
Embrapa Hortaliças
(aposentado)
Brasília, DF
wash.silva@uol.com.br

Introdução

O pimentão, em maior ou menor grau, é consumido em todo o Brasil, principalmente na forma de fruto verde. Além de cultivares de frutos vermelhos, quando maduros, existem diversos híbridos coloridos, com cores que variam do marfim ao púrpuro, passando pelo creme, amarelo e laranja. Os frutos apresentam três formatos típicos: retangular, cônico e quadrado.

A área de pimentão cultivada anualmente no Brasil é em torno de 13 mil hectares, com produção próxima a 290 mil toneladas de frutos. São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Rio de Janeiro são os principais estados produtores.

Por ser a produção de pimentão realizada em campo aberto, especialmente durante a estação seca, ou em casas-de-vegetação com cobertura plástica, a irrigação é prática fundamental para suprir a demanda hídrica das plantas. Tanto quanto a falta de água, o excesso e a forma com que a água é aplicada às plantas têm efeito marcante sobre a produtividade e a qualidade de frutos. Assim, o manejo correto da irrigação é fundamental para o sucesso da cultura.

O cultivo de pimentão no Brasil é realizado tradicionalmente em campo aberto com o uso da irrigação por sulco, com produtividade variando entre 25 t ha⁻¹ e 50 t ha⁻¹. Entretanto, nas últimas décadas, o sistema de cultivo em ambiente protegido com fertirrigação por gotejamento e, muitas vezes, cobertura do solo com plástico preto (*mulching*), tem se tornado, em várias regiões, uma alternativa mais viável, em termos econômicos, que o sistema de produção tradicional irrigado por sulco ou por aspersão.

Dentre as principais vantagens do cultivo em ambiente protegido com fertirrigação por gotejamento, destacam-se: proteção contra o frio, chuva e vento; menor severidade da grande maioria das doenças da parte aérea; prolongamento do período de colheita; produtividade pode superar 200 t ha⁻¹; melhor qualidade de fruto; e oferta de produto durante todo o ano e em condições de melhores preços. As principais desvantagens são o alto investimento inicial, o elevado custo de produção e a maior ocorrência de ácaros e de oídio (*Oidiopsis taurica*).

Especialmente quando irrigada por gotejamento, o uso efetivo e correto da fertirrigação é fundamental para o sucesso da cultura. Irrigar por gotejamento sem a adoção da prática de fertirrigação é pouco eficiente e, em regra, não traz ganhos econômicos compensadores.

O sistema de produção de pimentão em cultivo protegido, com cobertura plástica e fertirrigação por gotejamento, tem se expandido em todo o país, sobretudo no Distrito Federal, que conta com área de aproximadamente 40 hectares, com produtividade média de 185 t ha⁻¹. No Estado de São Paulo, por exemplo, praticamente todo o pimentão colorido é produzido em ambiente protegido. No Amazonas, especialmente nos municípios de Iranduba e Presidente Figueiredo, produtores organizados em cooperativas investiram nas tecnologias de cultivo protegido e fertirrigação por gotejamento e já produzem significativas quantidades de pimentão, suficientes para abastecer boa parte do mercado de Manaus.

A presente publicação, destinada a técnicos ligados à área de produção de pimentão, tem por objetivo apresentar informações sobre sistemas de irrigação, procedimentos para se determinar quando e quanto irrigar e recomendações gerais sobre fertirrigação.

Sistemas de irrigação

Embora os sistemas de irrigação por sulco e por gotejamento sejam bastante empregados no Brasil para o cultivo do pimentão, outros sistemas podem ser utilizados. A seleção daquele mais adequado deve ser realizada com base na ponderação de suas vantagens e desvantagens para cada condição específica, levando-se em conta as condições

de solo e clima da região, o sistema de cultivo utilizado, a capacidade de investimento do produtor, dentre outros.

Irrigação por sulco

O sistema de cultivo do pimentão, geralmente em linhas espaçadas de 80 cm a 100 cm com plantas tutoradas e espaçadas de 40 cm a 50 cm, favorece o uso da irrigação por sulco, tanto quando realizado em campo aberto, quanto em ambiente protegido. Esse sistema de irrigação não requer grandes investimentos, sendo o de menor custo entre todos.

O fornecimento de água do canal de distribuição para os sulcos pode ser feito com o uso de sifões de plástico ou de mangote. Muitos produtores fazem o desvio da água para os sulcos com auxílio de enxada, prática que não garante um controle uniforme da quantidade de água aplicada nos sulcos e favorece maior erosão do solo. A distribuição da água pode ainda ser feita por meio de tubos de PVC e mangueiras flexíveis.

Para que a irrigação por sulco não cause problemas de erosão do solo, desperdício de água, lixiviação de nutrientes, déficit ou excesso de água para as plantas, os seguintes parâmetros devem ser otimizados: formato, declividade e comprimento dos sulcos; vazão de água na entrada dos mesmos; e tempo de irrigação. Nesse caso, é possível irrigar por sulco com eficiência e uniformidade comparáveis aos sistemas por aspersão ou, até mesmo, por gotejamento.

Fatores como tipo de solo, geometria do terreno, sistema de plantio e tratos culturais também influenciam os principais parâmetros da irrigação por sulco. É recomendável que testes de campo sejam realizados para a determinação do comprimento e da declividade dos sulcos e da vazão de água a ser aplicada em cada sulco. Em geral, quanto mais grosseira a textura do solo, mais curtos devem ser os sulcos e menor a vazão de entrada e a declividade dos mesmos. Uma estratégia utilizada para aumentar a eficiência da irrigação em solos com velocidade de infiltração moderada e alta, onde se inclui até mesmo solos argilosos de cerrado, é a adoção de sulcos mais curtos, com até 20 m, declividade entre 0,5% e 1,0% e extremidade

oposta fechada para não haver escoamento no final dos mesmos.

Adicionalmente às dificuldades típicas que ocorrem quando a irrigação por sulco é inadequada, outros problemas como a transmissão de doenças causadas por fitopatógenos de solo podem ocorrer. Um exemplo típico é a murcha-bacteriana, causada pela bactéria *Ralstonia solanacearum*, que pode ser transmitida a outras plantas por meio da água em movimento ao longo do sulco.

Um aspecto positivo da irrigação por sulco, relacionado a doenças, é o de não molhar a parte aérea das plantas. Isso atenua a ocorrência da grande maioria das doenças da parte aérea e favorece o manejo das pulverizações para o controle de doenças e de insetos e ácaros pragas.

Irrigação por aspersão

O cultivo do pimentão no Brasil, geralmente feito por pequenos produtores em áreas de até dois hectares, não utiliza a irrigação por aspersão em grande escala. Entretanto, em áreas maiores, como no cultivo para a produção de páprica e corantes naturais à base de pimentão vermelho, a aspersão tem sido bastante utilizada, com destaque para o pivô central. Nesses casos, o sistema de cultivo é feito com semeadura direta e maior população de plantas por área. O Estado de Minas Gerais é o principal produtor de pimentão para processamento, com área em torno de dois mil hectares.

O uso da aspersão para irrigação do pimentão apresenta algumas limitações. A necessidade de maior investimento, comparativamente à irrigação por sulco, e o favorecimento da ocorrência da maioria das doenças da parte aérea, devido à formação de ambiente úmido no dossel vegetal, são os principais fatores que limitam o emprego da aspersão. Assim, caso o produtor opte por utilizar a aspersão, o mesmo deve estar ciente de que cuidados fitossanitários adicionais devem ser tomados para o sucesso da cultura. Por outro lado, a ocorrência de oídio em lavouras irrigadas por aspersão é bem menor que naquelas irrigadas por sulco ou por gotejamento, devido principalmente à ação mecânica das gotas d'água que danificam as estruturas vegetativas e reprodutivas do fungo.

O manejo de irrigação por aspersão, do ponto de vista de uniformidade e da eficiência, além dos tratos fitossanitários da cultura, deve ser criteriosamente realizado para não interferir negativamente na produtividade e na qualidade de frutos.

No caso da aspersão convencional¹, geralmente com tubulações móveis, deve ser observado o correto espaçamento entre as linhas laterais e entre os aspersores, o posicionamento dessas com relação à declividade do terreno e ventos predominantes, a pressão de serviço e a taxa de precipitação do sistema. As linhas laterais devem ser dispostas perpendicularmente à direção predominante dos ventos e, tanto quanto possível, em nível. Como o pimentão é frequentemente cultivado em áreas pequenas (> 2 ha), aspersores de impacto de tamanho pequeno e médio (raio de alcance entre 12-20 m), espaçados de 12 m x 12 m, 12 m x 18 m ou 18 m x 18 m, são comumente utilizados. A pressão de serviço para tais condições deve variar entre 200 kPa e 300 kPa. Aspersores funcionando a pressões muito baixas produzem gotas grandes, o que prejudica a uniformidade de aplicação, pode provocar a lavagem de pólen, a queda de flores e afetar negativamente a produção final da cultura.

A taxa de precipitação do sistema de irrigação deve ser menor que a capacidade de infiltração de água pelo solo para não haver escoamento superficial e, conseqüentemente, erosão e baixa eficiência da irrigação. Quanto mais fina a textura do solo, menor deve ser a intensidade de aplicação de água do sistema. Para a maioria dos solos de textura média, precipitações entre 10 mm h⁻¹ e 20 mm h⁻¹ não provocam escoamento superficial de água.

Irrigação por gotejamento

O gotejamento é um sistema bastante atrativo para a irrigação do pimentão, pois oferece inúmeras vantagens, tais como: economia de água, de energia e de mão-de-obra; maior uniformidade de aplicação de água; pode ser usado em qualquer tipo de solo e topografia; menor severidade de doenças da parte aérea; facilidade de fertirrigação e de automação; e maior produtividade.

¹ A designação convencional está ligada ao aspecto histórico da introdução deste sistema de irrigação. A Moto-bomba, as tubulações e os aspersores podem ser movidos manualmente na área ou permanecerem fixos.

As principais limitações são o alto custo de aquisição e de manutenção do sistema, principalmente em relação ao sistema por sulco, e o risco de entupimento dos gotejadores. Mesmo assim, a área irrigada por gotejamento no Brasil tem crescido substancialmente nas últimas duas décadas.

Na Flórida, Estados Unidos, o pimentão é a segunda hortaliça mais importante em termos econômicos, sendo cultivados anualmente mais de 10 mil hectares. Praticamente toda a área cultivada, em canteiros cobertos com *mulching* de polietileno, é irrigada por gotejamento ou subsuperficialmente por meio do manejo de lençol freático, com cerca de 50% para cada sistema. O gotejamento também é um dos sistemas mais utilizados para irrigação do pimentão em vários outros países.

No caso de pimentão em cultivo protegido, o gotejamento associado com a prática de fertirrigação tem sido largamente empregado no Brasil, seja com ou sem cobertura do solo com plástico não transparente. A cobertura do solo com plástico em cultivos de pimentão, tanto em campo aberto quanto em ambiente protegido, tem sido bastante utilizada, principalmente devido à maior conservação de água e à redução da ocorrência de plantas espontâneas. Essa prática, porém, tem custos com material e mão-de-obra, além do risco de encharcar o solo caso a irrigação não seja bem manejada. Por conservar mais água, pode ainda favorecer maior severidade de doenças de solo, como a murcha-de-fitóftora, causada pelo fungo *Phytophthora capsici*, e a murcha-bacteriana.

Ainda relativo a doenças, o gotejamento, a exemplo do sistema por sulco, favorece maior severidade de oídio que a aspersão. O problema pode ser agravado em condições de cultivo em ambiente protegido, que favorece o aumento da umidade relativa do ar no dossel da cultura.

A severidade de oídio em plantas de pimentão irrigadas por gotejamento pode ser consideravelmente reduzida quando se utiliza concomitantemente a irrigação por aspersão. Para que as gotas d'água tenham potencial de danificar as estruturas vegetativas e reprodutivas do fungo, utilizar aspersores de impacto de tamanho médio (raio de alcance acima de 12 m) acima do dossel e aplicar uma lâmina de água de 15 mm a 25 mm a

cada 5 dias e 10 dias. Entre as regas por aspersão, irrigar normalmente por gotejamento de forma a suprir a demanda de água pelas plantas.

Neste caso, as regas por aspersão devem ser realizadas, preferencialmente, depois das primeiras horas da manhã e antes das últimas horas da tarde, a fim de reduzir o tempo em que a água permanece livre sobre a folha, favorecendo a maioria dos fungos e bactérias. No entanto, quando as condições climáticas forem favoráveis à ocorrência de outras doenças que não o oídio (alta umidade relativa do ar e ocorrência de orvalho), não se deve irrigar por aspersão, mas somente por gotejamento.

As irrigações por gotejamento podem e devem ser realizadas em regime de alta frequência, pois se trata de um sistema fixo, que molha somente parte do solo e que minimiza a ocorrência da maioria das doenças da parte aérea.

Além do gotejamento superficial, onde as laterais são instaladas na superfície do solo, o gotejamento subsuperficial pode ser utilizado para irrigação da cultura do pimentão com redução na quantidade de água aplicada. A prática pode ser vantajosa em situações especiais, como por exemplo, quando se utiliza água com qualidade sanitária inferior e não se deseja nenhum contato da planta ou dos frutos com a mesma. A profundidade de instalação dos gotejadores varia entre 10 cm e 30 cm, em função do tipo de solo. Dependendo da profundidade dos gotejadores e do tipo de solo é necessário que se irrigue por aspersão durante as duas primeiras semanas após o transplante das mudas como forma de garantir o pleno estabelecimento das plantas.

Outro uso importante do sistema por gotejamento é quando se faz o cultivo de pimentão em substratos especiais, como fibra de coco, lã de rocha etc. Nesses casos, o sistema se presta para aplicar a solução nutritiva (água e nutrientes) às plantas. Devido o volume de água armazenada no substrato ser reduzido, são requeridas várias irrigações por dia, até dez vezes dependendo do substrato, do tipo de contentor e da evapotranspiração da cultura (ETc). Em geral, a quantidade de água por irrigação deve ser suficiente para acarretar entre 20% e 30% de drenagem, como forma de evitar a salinização do substrato e de garantir o balanço adequado de sais na zona radicular.

Manutenção e cuidados

O dimensionamento hidráulico de um sistema de irrigação inclui, entre outros aspectos, a determinação de diâmetros e comprimentos de tubulações, do modelo e potência da motobomba e da taxa de aplicação de água, devendo ser realizado por profissionais especializados. No caso do sistema por sulco, é necessária a determinação do comprimento adequado dos sulcos, da vazão máxima não-erosiva e da vazão mínima capaz de manter todo o sulco com água.

Sistemas de irrigação mal dimensionados distribuem água de maneira desuniforme, o que compromete o desenvolvimento das plantas e aumentam os gastos de água e energia, além de acarretar problemas de erosão, perdas de nutrientes por percolação e escoamento superficial.

Procedimentos para os dimensionamentos agrônomo e hidráulico do sistema de irrigação incluem determinações e cálculos que fogem do escopo desta publicação.

Muitas vezes, o sistema de irrigação, inicialmente dimensionado e instalado de forma adequada, sofre modificações ou é transferido para outras áreas, sem a devida orientação técnica, o que afeta seu desempenho futuro.

Além de aumentar a vida útil do equipamento, a manutenção preventiva e adequada visa manter o sistema de irrigação operando com eficiência máxima durante todo o ciclo da cultura. Bombas, motores e demais partes móveis devem ser mantidas conforme recomendação do fabricante. Aspersores devem permanecer em posição vertical e serem inspecionados periodicamente, assim como borrachas de vedação, registros, válvulas de derivação e outros acessórios devem ser substituídos quando apresentarem sinal de vazamentos. Problemas de vazamentos, além de provocar desperdício de água e energia, diminuem a pressão de operação do sistema e a quantidade de água aplicada às plantas, prejudicando a uniformidade de distribuição de água e, conseqüentemente, o rendimento da cultura.

Os cuidados mais importantes para com o sistema de irrigação estão relacionados, sobretudo, à pressão de serviço do sistema. Pressão abaixo da

recomendada prejudica diretamente a uniformidade de distribuição de água e, conseqüentemente, a produtividade de frutos. Por outro lado, pressão muito alta compromete a tubulação, acarreta maior consumo de energia e, no caso da aspersão, provoca a formação de gotas muito pequenas, favorecendo maior evaporação e deriva de água, principalmente em dias com temperatura alta, umidade relativa baixa e ventos fortes.

Para evitar sobrecarga do motor, principalmente elétrico, a partida da motobomba deve ocorrer com o registro de recalque (localizado após a saída da bomba) fechado, sendo esse aberto lentamente até que a pressão de operação, indicada no manômetro instalado após o mesmo, seja igual àquela prevista em projeto. No final da irrigação, deve-se proceder de forma inversa, ou seja, primeiro fechar o registro para depois desligar a bomba, a fim de evitar problemas de pulsos bruscos de pressão na tubulação principal (golpe de aríete) e no conjunto motobomba. Bombas centrífugas requerem a eliminação do ar do corpo interno e da tubulação de sucção (escorva) para que ocorra o funcionamento normal e a lubrificação do eixo pela própria água.

Necessidade de água do pimentão

Como a maioria das hortaliças, o pimentão é altamente sensível à deficiência e ao excesso de água no solo. As plantas são mais sensíveis ao déficit hídrico durante o florescimento, a formação e o desenvolvimento dos frutos. A falta de água durante a floração causa redução no pegamento dos frutos, enquanto que durante o início de frutificação pode restringir a translocação de cálcio, favorecendo o surgimento de frutos com podridão apical (fundo preto). Condições de déficit hídrico podem também acarretar problemas de escaldadura de frutos devido à redução da cobertura foliar.

Similarmente a outras solanáceas, o ciclo fenológico do pimentão não segue o modelo clássico das hortaliças em que o mesmo é dividido em quatro estádios (inicial, vegetativo, reprodutivo e maturação), porque o estágio reprodutivo e o de maturação se sobrepõem. Em outras palavras, existem ao mesmo tempo plantas em pleno florescimento, com frutos em desenvolvimento e com frutos maduros. Além disso, o ciclo pode se

estender por períodos de até cinco ou mais meses, o que vai depender principalmente da sanidade das plantas e do tipo de frutos desejado, se verde ou maduro.

A necessidade total de água pela cultura depende essencialmente das condições climáticas, duração do ciclo e dos sistemas de cultivo e de irrigação adotados, variando de 450 mm a 650 mm. Em condições de cultivo protegido, a ET_c é de 20% a 30% menor do que em cultivos a campo. Entretanto, sendo o ciclo do pimentão mais longo que em condições de campo, a necessidade total de água da cultura no cultivo protegido pode se igualar ou, até mesmo, superar a do cultivo em campo.

Para efeito de manejo da água de irrigação, a evapotranspiração de referência (ET_o) pode ser estimada por diversos métodos disponíveis na literatura, com destaque para o “FAO Penman-Monteith”, considerado padrão para a estimativa de valores diários de ET_o . A ET_c é obtida indiretamente multiplicando-se a ET_o por um coeficiente (K_c) que incorpora as características da cultura.

Na ausência das informações climáticas necessárias para a utilização da equação “FAO Penman-Monteith”, dados de evaporação de tanque Classe A podem ser utilizados para

estimar ET_o , pois aos mesmos integram-se os efeitos de todos os fatores climáticos que afetam a evapotranspiração. Dessa forma, fatores de correção (K_p) apropriados devem ser utilizados para a obtenção da ET_o . Valores de K_p entre 0,65 e 0,85 são bastante razoáveis para a maioria das condições. Para cultivo em ambiente protegido, com o tanque instalado dentro da casa-de-vegetação, sugere-se adotar valores de K_p entre 0,75 e 0,90. Considerar que condições de alta umidade relativa do ar e baixa velocidade de vento estão associadas a maiores valores de K_p .

Devido à particularidade da cultura do pimentão com relação à sobreposição de diversos estádios do seu ciclo, não é muito simples estabelecer valores de K_c para a cultura durante todo seu ciclo de desenvolvimento. Mesmo assim, sugerem-se os valores médios listados na Tabela 1, para as condições de irrigação por aspersão e sulco, sem *mulching*, e por gotejamento sem e com *mulching* de plástico preto.

Manejo da água de irrigação

O manejo da água de irrigação consiste basicamente na determinação do momento apropriado de se irrigar e da quantidade correta de água a ser aplicada a cada irrigação.

Tabela 1. Coeficientes de cultura (K_c) para para sistemas de irrigação por aspersão, sulco e gotejamento, com e sem *mulching* de plástico preto, e profundidade efetiva do sistema radicular (Z_r) durante os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do pimentão.

Estádio ⁽¹⁾	Aspersão /sulco	Gotejo ⁽²⁾	Gotejo ⁽²⁾ com <i>mulching</i>	Z_r (cm)
Formação de mudas (0)	1,15	--	--	5-10
Pegamento de mudas (I)	0,55 ⁽³⁾	0,40	0,15	5-10
Vegetativo (II)	0,55	0,40	0,20	15-25
Floração/frutificação (III)	0,80	0,70	0,50	30-40
Produção plena (IV)	1,05	1,05	0,90	35-45
Declínio de produção (V)	0,90	0,85	0,70	35-45

⁽¹⁾ Estádio 0: semeadura até transplante de mudas; I: até pegamento de mudas; II: até início de floração; III: até primeiros frutos atingirem 50% de tamanho; IV: até 1ª colheita após pico de produção; V: até última colheita.

⁽²⁾ Os valores de K_c para gotejamento já integram coeficientes de ajustes para compensar a menor perda de água por evaporação.

⁽³⁾ Para turno de rega (TR) de 1 dia, usar $K_c = 1,10$; TR = 2 dias, $K_c = 0,85$.

Fonte: adaptado de Viñals et al. (1996), Allen et al. (1998) e Marouelli et al. (2008).

Estudos e observações de campo têm indicado que ganhos de produtividade e redução na quantidade de água aplicada da ordem de 15% a 30% podem ser obtidas quando produtores de pimentão adotam alguma tecnologia de manejo de irrigação, por mais simples que seja.

Além de garantir ganhos de produtividade, irrigar de forma correta permite a obtenção de frutos de melhor qualidade, menor ocorrência de doenças, maior eficiência no uso de nutrientes pelas plantas e, muitas vezes, possibilita reduzir o gasto de água e de energia.

O excesso de irrigação favorece, por exemplo, a ocorrência da murcha-de-fitóftora, que é a doença mais comum da cultura do pimentão, e a lixiviação de nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio, enquanto condições de déficit hídrico limitam o movimento de cálcio e de boro na direção dos frutos, favorecendo a ocorrência de necroses.

Existem vários métodos de manejo que podem ser utilizados para determinar quando e quanto irrigar a cultura do pimentão, seja em condições de campo ou de cultivo protegido. Vão desde métodos empíricos, geralmente de baixa precisão, até métodos que utilizam processos computacionais e sensores de última geração.

Apesar dos vários métodos de manejo existentes, a maioria dos produtores irriga de forma empírica, geralmente inadequadamente, apenas com base em observações visuais de sintomas de deficiência de água na planta e no solo. Tais métodos, mesmo para produtores com experiência, podem predispor à redução de produtividade e maior severidade de doenças, além de menor eficiência no uso de água e nutrientes pelas plantas.

Métodos que permitem uma melhor precisão no controle da irrigação, como do balanço de água no solo (evapotranspiração), disponibilidade ou tensão de água do solo ou combinação desses, baseiam-se no conhecimento das propriedades físico-hídricas do solo, das necessidades hídricas específicas da cultura e/ou de fatores climáticos associados à evapotranspiração. Tais métodos requerem equipamentos para o monitoramento, em tempo real, do estado da água no solo (tensiômetros, blocos de resistência elétrica etc.) e/ou para a estimativa da evapotranspiração da cultura (tanque

classe A, termômetros, higrômetros, radiômetros etc.), além de pessoal qualificado. Existem no mercado empresas especializadas que oferecem serviços de consultoria e programas computacionais para realização do manejo de irrigação em tempo real.

A seguir são apresentados os métodos do turno de rega, da tensão de água no solo e do balanço de água no solo. O primeiro é o mais simples e de menor custo, pois não requer o uso de equipamentos ou determinações em tempo real da ETc ou da umidade do solo. Como a ETc é determinada a partir de dados climáticos históricos, o método do turno de rega tem a limitação de ser afetado por variações climáticas e/ou precipitações durante o período de cultivo. Os métodos da tensão de água no solo e do balanço de água no solo, por outro lado, permitem que as irrigações sejam manejadas de forma mais precisa, pois a ETc e/ou a umidade do solo são determinadas em tempo real.

Método do turno de rega

O método do turno de rega pré-calculado, ou calendário de irrigação, consiste no estabelecimento do intervalo entre as irrigações, em determinado período ou estágio da cultura, com base no consumo diário médio histórico de água pelas plantas (ETc) e na lâmina de água real ou facilmente disponível no solo para as plantas. Quando e quanto irrigar pode ser determinado pelas equações a seguir:

$$TR_{\max} = \frac{LRD}{ET_{c_{\text{hist}}}} \quad (\text{equação 1})$$

$$LRD = (\theta_{CC} - \theta_{PMP}) \times Z_r \times D_g \times f_{Am} \times f_r \quad (\text{equação 2})$$

em que:

TR_{\max} = turno de rega máximo a ser adotado (dias);

LRD = lâmina de água no solo real disponível para as plantas (mm);

$ET_{c_{\text{hist}}}$ = evapotranspiração da cultura com base em série histórica (mm dia⁻¹);

θ_{CC} = umidade gravimétrica do solo correspondente à capacidade de campo (g g⁻¹);

θ_{PMP} = umidade gravimétrica do solo correspondente ao ponto de murcha permanente (g g^{-1});

Z_r = espessura da camada de solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (mm);

D_g = densidade global do solo (g cm^{-3});

f_{Am} = fração de área molhada (decimal);

f_r = fator de reposição de água ao solo (decimal).

Como a ETc é determinada a partir de dados climáticos históricos, é necessário fazer ajustes, seja no tempo de irrigação ou no intervalo entre irrigações, em função da ocorrência de chuvas ou variações climáticas bruscas. Em regiões áridas e semi-áridas ou durante períodos com ausência de chuvas, quando as condições climáticas são mais estáveis, tal problema é menos significativo.

A capacidade de campo representa a quantidade máxima de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado livremente, ou seja, representa a condição do solo com 100% de água disponível para as plantas. O ponto de murcha permanente, por outro lado, representa o limite mínimo de umidade no solo abaixo da qual a planta entra em estado de murcha permanente, ou seja, representa a condição do solo com 0% de água disponível para as plantas.

A profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Z_r) é aquela onde se encontram concentrada cerca de 80% das raízes. É afetada pela idade da planta, tipo e fertilidade do solo, entre outras variáveis, devendo ser avaliada diretamente no campo.

A fração de área molhada (f_{Am}) possibilita estimar a lâmina de água disponível no solo em sistema de irrigação por gotejamento. Deve expressar o valor médio de molhamento ao longo do perfil de solo equivalente à profundidade efetiva do sistema radicular. Sua avaliação pode ser feita visualmente abrindo-se uma pequena trincheira perpendicularmente à linha lateral de gotejadores. Para pimentão, a fração de área molhada varia entre 0,35 e 0,70, sendo o menor valor para solos de textura grossa e maior espaçamento entre fileira de plantas. Para irrigação por aspersão, e mesmo para irrigação por sulco, quando o espaçamento entre sulcos permite que as frentes de molhamento se encontrem logo abaixo da

superfície do solo, a fração de área molhada é igual a "um" ($f_{\text{Am}} = 1$).

O valor do fator de reposição de água ao solo (f_r), que depende das condições locais de cultivo, como tipo de solo e sistema de irrigação, pode ser tomado entre 0,25 (textura grossa) e 0,50 (textura média para fina) na maioria dos casos, o que significa deixar a planta consumir entre 25% e 50% da água total disponível no solo.

A preocupação com turno de rega se torna pouco relevante quando as irrigações são realizadas por gotejamento, pois, nesse caso, as regas podem ser feitas diariamente ou mesmo várias vezes por dia. Entretanto, é interessante reafirmar o cuidado que se deve ter para não aplicar água em excesso, pois além de doenças e problemas de aeração do sistema radicular, haverá perdas de nutrientes por lixiviação e de água por percolação profunda. Assim, a irrigação por gotejamento em regime de alta frequência deve estar associada, necessariamente, com a aplicação de baixos volumes de água a cada vez.

A seguir é apresentado um procedimento simplificado para utilização do método do turno de rega, com base no uso de tabelas e cálculos simples. O procedimento possibilita estimar valores de turno de rega e de lâmina de irrigação, para cada estágio de desenvolvimento da cultura, em função das condições climáticas históricas da região (normais de temperatura e umidade relativa média do ar), da textura do solo e da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Os dados climáticos necessários para estimar a ETc podem ser obtidos, muitas vezes, no Serviço de Extensão Rural disponível na região.

Procedimento simplificado para aspersão e sulco

Passo 1: Determinar, na Tabela 2, a evapotranspiração de referência (ETo), em função de dados históricos médios mensais de temperatura e umidade relativa do ar disponíveis na região.

Passo 2: Determinar, na Tabela 1, o coeficiente de cultura (Kc) para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Passo 3: Determinar a evapotranspiração da cultura (ETc) para cada estágio do pimentão pela seguinte equação:

Tabela 2. Evapotranspiração de referência (ET_o), em mm dia⁻¹, em função da temperatura e da umidade relativa média do ar.

Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)										
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
14	5,5	5,0	4,6	4,1	3,7	3,2	2,7	2,3	1,8	1,4	0,9
16	6,1	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
18	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	1,7	1,1
20	7,3	6,7	6,1	5,5	4,9	4,3	3,6	3,0	2,4	1,8	1,2
22	8,0	7,3	6,6	6,0	5,3	4,6	4,0	3,3	2,7	2,0	1,3
24	8,6	7,9	7,2	6,5	5,8	5,0	4,3	3,6	2,9	2,2	1,4
26	9,4	8,6	7,8	7,0	6,2	5,5	4,7	3,9	3,1	2,3	1,6
28	10,1	9,3	8,4	7,6	6,7	5,9	5,1	4,2	3,4	2,5	1,7
30	10,9	10,0	9,1	8,2	7,3	6,4	5,4	4,5	3,6	2,7	1,8
32	11,7	10,7	9,7	8,8	7,8	6,8	5,8	4,9	3,9	2,9	1,9
34	12,5	11,5	10,4	9,4	8,4	7,3	6,3	5,2	4,2	3,1	2,1

Obs.: Valores de ET_o nos intervalos de umidade relativa e temperatura apresentados podem ser obtidos por interpolação linear.
Fonte: Marouelli et al. (2008).

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (\text{equação 3})$$

em que:

ET_c = evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

K_c = coeficiente de cultura (adimensional);

ET_o = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹).

Passo 4: Determinar, na Tabela 1, a profundidade efetivada do sistema radicular (Z) para cada estágio de desenvolvimento da cultura.

Para uma melhor estimativa da profundidade é recomendável fazer uma avaliação visual e direta do sistema radicular no próprio local de cultivo, durante cada estágio de desenvolvimento da cultura, por meio da abertura de uma trincheira perpendicular à fileira de plantas.

Passo 5: Determinar a textura do solo.

Dentre os fatores que afetam a capacidade de armazenamento de água do solo (textura, estrutura, tipo de argila, teor de matéria orgânica etc.), a textura é o mais importante. Para fins de uso do

método de manejo simplificado, a caracterização do solo é feita de acordo com a classe textural, como a seguir:

- Textura fina: franco-argilo-siltoso, franco-argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila, muito argiloso.
- Textura média: franco, franco-siltoso, franco-argilo-arenoso, silte (obs.: solos de cerrado de textura fina devem ser considerados, para efeito dos cálculos de irrigação, como de textura média).
- Textura grossa: areia, areia franca, franco-arenoso.

Muitas vezes, o produtor dispõe da classe textural do solo por se tratar de um requerimento de alguns bancos para o financiamento agrícola. Caso não disponível, essa análise pode ser realizada a preços acessíveis na maioria dos laboratórios de análises de solo.

Passo 6: Determinar, na Tabela 3, o turno de rega (TR) para cada estágio da cultura em função da ET_c, textura do solo e profundidade efetiva das raízes.

Caso ocorram chuvas significativas (acima de 5 mm), a data da próxima irrigação deve ser postergada em um número de dias que vai depender da quantidade da chuva, da ET_c , do TR e do número de dias desde a última irrigação.

Passo 7: Determinar a lâmina de água real necessária por irrigação:

$$LRN = TR \times ET_c \quad (\text{equação 4})$$

em que:

LRN = lâmina de água real necessária (mm).

Tabela 3. Turno de rega (dia) para a cultura do pimentão irrigada por aspersão ou sulco, em função da evapotranspiração da cultura (ET_c), profundidade de raízes, textura do solo e estágio de desenvolvimento das plantas.

ET_c (mm dia ⁻¹)	Profundidade efetiva de raízes (cm)											
	10			20			30			40		
	Textura			Textura			Textura			Textura		
	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina
Estádios: vegetativo e declínio de produção												
1	3	6	9	6	13	18	--	--	--	--	--	--
2	1	3	4	3	6	9	5	10	13	6	13	18
3	1	2	3	2	4	6	3	6	9	4	8	12
4	2 x dia	1	2	1	3	4	2	5	6	3	6	9
5	2 x dia	1	2	1	2	3	2	4	5	2	5	7
6	2 x dia	1	1	1	2	3	1	3	4	2	4	6
7	2 x dia	1	1	1	2	2	1	3	4	2	3	5
8	--	--	--	2 x dia	1	2	1	2	3	1	3	4
9	--	--	--	2 x dia	1	2	1	2	3	1	3	4
10	--	--	--	2 x dia	1	1	1	2	2	1	2	3
11	--	--	--	2 x dia	1	1	1	1	2	1	2	3
12	--	--	--	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2	1	2	3
Estádios: pegamento de mudas, floração/frutificação e produção plena												
1	2	4	7	5	9	14	--	--	--	--	--	--
2	1	2	3	2	4	7	3	7	10	5	9	14
3	1	1	2	1	3	4	2	4	7	3	6	9
4	2 x dia	1	2	1	2	3	2	3	5	2	4	7
5	2 x dia	1	1	1	2	2	1	3	4	2	3	5
6	2 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	2	1	2	3	1	3	4
7	2 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	2	1	2	3	1	2	4
8	--	--	--	2 x dia	1	2	1	2	2	1	2	3
9	--	--	--	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2	1	2	3
10	--	--	--	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2	1	2	3
11	--	--	--	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2	1	1	2
12	--	--	--	2 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2
13	--	--	--	2 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2
14	--	--	--	2 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1	2 x dia	1	2

Obs.: 2 x dia = 2 irrigações por dia.

Fonte: adaptado de Marouelli et al. (2008).

Passo 8: Corrigir o valor de LRN em função da eficiência de irrigação do sistema (E_i):

$$LTN = 100 \times \frac{LRN}{E_i \times (1 - LR)} \quad (\text{equação 5})$$

em que:

LTN = lâmina de água total necessária (mm);

E_i = eficiência de irrigação (%);

LR = fração de lixiviação requerida (decimal).

Em geral, a eficiência varia de 60% a 75% para aspersão convencional e autopropelido e de 75% a 95% para pivô central e gotejamento, sendo os maiores valores para sistemas com manutenção e dimensionamento adequados.

Em regiões semi-áridas, principalmente, o solo pode conter altas concentrações de sais solúveis e a água de irrigação pode ser salina e prejudicar a cultura pelo efeito dos íons em excesso presentes. Sob tais condições, deve-se aplicar adicionalmente uma fração de água para lavar os sais solúveis e evitar que acumulem no solo:

$$LR = \frac{CEa}{11 - CEa} \quad (\text{equação 6})$$

em que:

CEa = condutividade elétrica da água de irrigação², dS m⁻¹.

Quando a água não apresenta problemas de salinidade ($CEa < 0,7$ dS m⁻¹) não se faz necessário aplicar a fração de lixiviação; portanto, usar LR = 0.

Passo 9: Calcular o tempo de irrigação.

Para aspersão convencional, o tempo necessário para aplicar a quantidade de água necessária é determinado por:

$$T_i = 60 \times \frac{LTN}{I_a} \quad (\text{equação 7})$$

em que:

T_i = tempo de irrigação (min);

I_a = intensidade de aplicação de água do sistema (mm h⁻¹).

A intensidade de aplicação de água pelo sistema de irrigação varia com o diâmetro de bocais, pressão de serviço e espaçamento entre aspersores, podendo ser obtida de catálogos técnicos do fabricante do aspersor utilizado ou em testes de campo.

No caso de pivô central, deve-se selecionar a velocidade de deslocamento, em porcentagem, que seja suficiente para que o sistema aplique uma lâmina igual ou ligeiramente superior a LTN, conforme tabela fornecida pelo fabricante do pivô ou aquela avaliada diretamente no campo.

Para irrigação por sulco, o tempo de irrigação é igual ao tempo necessário para a água atingir o final do sulco somado com o tempo suficiente para infiltrar a lâmina de água requerida pelas plantas (LRN). O comprimento do sulco e a velocidade de infiltração são dependentes do tipo de solo, sendo recomendada a avaliação em testes de campo.

Procedimento simplificado para gotejamento

Passos 1 a 5: Proceder conforme recomendado para aspersão e sulco.

Passo 6: Determinar, na Tabela 4, o turno de rega para cada estágio da cultura em função da ET_c , textura do solo e profundidade efetiva das raízes.

Passos 7 e 8: Proceder conforme recomendado para aspersão e sulco.

Passo 9: Determinar o tempo necessário para cada irrigação.

$$T_i = 60 \times \frac{LTN \times SI \times S_g}{V_g} \quad (\text{equação 8})$$

em que:

SI = espaçamento entre linhas laterais de gotejadores (m);

S_g = espaçamento entre gotejadores (m);

V_g = vazão do gotejador (L h⁻¹).

No caso de sistema de plantio em fileira dupla de plantas com uso de uma lateral de gotejadores por linha de plantas (duas laterais por fileira dupla de plantas), deve-se considerar o espaçamento

² Expressa, de forma indireta, a quantidade de sais dissolvidos na água.

Tabela 4. Turno de rega (dia) para a cultura do pimentão irrigada por gotejamento, em função da evapotranspiração da cultura (ETc), profundidade de raízes e textura do solo.

ETc (mm dia ⁻¹)	Profundidade efetiva de raízes (cm)											
	10			20			30			40		
	Textura			Textura			Textura			Textura		
	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina	Grossa	Média	Fina
1	1	2	2	2	3	5	--	--	--	--	--	--
2	2 x dia	1	1	1	2	2	1	2	4	2	3	5
3	3 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1	1	2	2	1	2	3
4	3 x dia	2 x dia	2 x dia	2 x dia	1	1	1	1	2	1	2	2
5	4 x dia	2 x dia	2 x dia	2 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1	1	1	2
6	5 x dia	3 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1	1	1	2
7	--	--	--	3 x dia	2 x dia	2 x dia	2 x dia	1	1	2 x dia	1	1
8	--	--	--	3 x dia	2 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1
9	--	--	--	4 x dia	2 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	1	2 x dia	1	1
10	--	--	--	4 x dia	3 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	2 x dia	2 x dia	1	1
11	--	--	--	5 x dia	3 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	2 x dia	2 x dia	1	1
12	--	--	--	5 x dia	3 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	2 x dia	3 x dia	2 x dia	1

Obs.: 2 x dia = 2 irrigações por dia.

Fonte: elaborado segundo Marouelli et al. (2008).

médio entre as linhas laterais para efeito de uso da equação anterior. Por exemplo, para espaçamento entre fileiras duplas de plantas de 0,40 m x 1,00 m, considerar SI igual a 0,70 m.

A eficiência de irrigação depende, principalmente, das características do sistema, do tipo de solo e do manejo de água, devendo ser avaliada em testes de campo. Em termos gerais, para solos arenosos usar Ei entre 80% e 85% e para solos argilosos entre 85% e 95%. Para sistemas com problemas de dimensionamento e/ou de entupimento, Ei pode atingir valores inferiores a 60%, o que vai comprometer a produção da cultura.

Para condições sem risco de salinidade ($CEa < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$) não se faz necessário aplicar água adicional para a lixiviação de sais ($LR = 0$). Para água com $CEa > 0,7 \text{ dS m}^{-1}$, a LR na cultura do pimentão irrigada por gotejamento pode ser estimada por:

$$LR = 0,06 \times CEa \quad (\text{equação 9})$$

Exemplo 1: Um produtor de pimentão no Distrito Federal tem uma lavoura irrigada por gotejamento,

com *mulching* de plástico preto. A cultura é conduzida em sistema de fileiras simples, com espaçamento entre fileiras de 0,80 m. As plantas estão no estágio de produção plena e apresentam profundidade efetiva das raízes de 40 cm. O solo, de cerrado, apresenta classe textural argiloso e a condutividade elétrica da água de irrigação é de $0,1 \text{ dS m}^{-1}$. A temperatura e a umidade relativa histórica média do ar durante o mês em consideração (julho) são, respectivamente, de $20,4^\circ\text{C}$ e 54%. Os gotejadores, com vazão de $2,2 \text{ L h}^{-1}$, são espaçados de 0,20 m e o espaçamento entre linhas laterais é de 0,80 m. Para tais condições, qual o tempo necessário para cada irrigação?

Solução do exemplo 1: a solução do exemplo acima é desenvolvida seguindo os passos apresentados anteriormente para gotejamento.

Passo 1: Pela Tabela 2, para $T_m = 20,4^\circ\text{C}$ e $UR_m = 54\%$, obtém-se, por interpolação, $ET_o = 5,7 \text{ mm dia}^{-1}$.

Passo 2: Pela Tabela 1, para irrigação por gotejamento, cobertura do solo com plástico preto e estágio de produção plena, tem-se $Kc = 0,90$.

Passo 3: Para $K_c = 0,90$ e $ET_0 = 5,7 \text{ mm dia}^{-1}$, obtém-se pela equação 3 que:

$$ET_c = 0,90 \times 5,7 \text{ m dia}^{-1} = 5,1 \text{ m dia}^{-1}$$

Passo 4: Avaliações de campo realizadas em um cultivo de pimentão em área próxima no ano anterior indicaram $Z = 40 \text{ cm}$.

Passo 5: Conforme indicado no procedimento apresentado, solo argiloso de cerrado deve ser considerado como de textura média.

Passo 6: Pela Tabela 4, para $ET_c = 5,1 \text{ mm dia}^{-1}$, solo de textura média e $Z = 40 \text{ cm}$, o turno de rega, durante o estágio de desenvolvimento em questão, será $TR = 1 \text{ dia}$.

Passo 7: Para $TR = 1 \text{ dia}$ e $ET_c = 5,1 \text{ mm dia}^{-1}$, obtém-se pela equação 4 que:

$$LRN = 1 \text{ dia} \times 5,1 \text{ mm dia}^{-1} = 5,1 \text{ mm}$$

Passo 8: Para $LRN = 5,1 \text{ mm}$, eficiência de irrigação estimada em $E_i = 85\%$ e $LR = 0$, haja vista CE_a ser menor que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, obtém-se que pela equação 5 que:

$$LTN = 100 \times \frac{5,1 \text{ mm}}{85\% \times (1 - 0,0)} = 6,0 \text{ mm}$$

Passo 9: Para $LTN = 6,0 \text{ mm}$, $SI = 0,80 \text{ m}$, $S_g = 0,20 \text{ m}$ e $V_g = 2,2 \text{ L h}^{-1}$, obtém-se pela equação 8 que:

$$T_i = 60 \times \frac{6,0 \text{ mm} \times 0,80 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}}{2,2 \text{ L h}^{-1}} = 26 \text{ min}$$

Portanto, para as condições apresentadas no exemplo, durante o mês de julho a cultura deve ser irrigada todos os dias por um período de 26 minutos.

Método da tensão de água no solo

A tensão matricial de água no solo, que expressa a "força" com que a água encontra-se retida no solo, exerce um papel importante no processo de absorção da água pelas plantas, podendo ser utilizada para avaliar, indiretamente, a deficiência de água na planta e indicar o momento de se irrigar. Dessa forma, a avaliação da tensão da água no solo

é um dos métodos mais utilizados por produtores de hortaliças em vários países para fins de manejo de irrigação.

Para pimentão irrigado por gotejamento, vários estudos têm mostrado que as irrigações devem ser realizadas a todo o momento que a tensão de água no solo atingir entre 10 kPa e 25 kPa. O menor valor é indicado para solos de textura grossa e/ou estádios mais críticos ao déficit de água (pegamento de mudas, floração/frutificação e produção plena).

Para irrigação por aspersão e sulco, a tensão-crítica varia entre 40 kPa e 50 kPa, durante os estádios vegetativo e de declínio de produção, e entre 20 kPa e 30 kPa, durante os estádios de formação e pegamento de mudas, floração/frutificação e produção plena.

Como regra geral, os sensores para indicar o momento de irrigar devem ser instalados ao longo da fileira de plantas, entre 10 cm e 20 cm da planta e/ou do gotejador, e entre 40% e 50% da profundidade efetiva das raízes.

Para irrigar no momento certo e, portanto, não comprometer a produtividade da cultura, é necessário o monitoramento diário e contínuo, no local de cultivo, da tensão ou do teor de água no solo. Isso pode ser feito por meio de sensores que medem diretamente a tensão de água, como o tensiômetro e o Irrigas[®], ou a umidade do solo, como sensores do tipo capacitivo e TDR. O método do tato-aparência é empírico e somente possibilita uma avaliação qualitativa da fração de água disponível no solo, não permitindo um manejo preciso da irrigação.

Tensiômetros são sensores bastante utilizados para a avaliação da tensão de água no solo, mas caso não sejam adequadamente instalados e mantidos, costumam apresentar problemas de funcionamento. O Irrigas[®], por outro lado, é um sensor simples, de boa precisão, de baixo custo e que não requer manutenção. Foi desenvolvido pela Embrapa e está disponível no mercado nas versões de 15 kPa, 25 kPa e 40 kPa. Sensores eletrônicos do tipo capacitivo e TDR são ainda muito caros para a grande maioria dos produtores de pimentão.

Uma vez definido o momento de se irrigar, a lâmina de água a ser aplicada por irrigação pode ser obtida

com auxílio da curva de retenção de água do solo³ (equação 10) ou com base no somatório da ETC.

$$LRN = (\theta_{CC} - \theta_{UI}) \times Z_r \times f_{Am} \quad (\text{equação 10})$$

em que:

θ_{UI} = umidade do solo no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$).

Procedimento simplificado para estimar a lâmina de irrigação

Para usuários que não dispõem de informações, nem mesmo de ordem prática, sobre a capacidade de retenção de água do solo, a lâmina de água a ser aplicada por irrigação pode ser estimada a partir dos dados apresentados na Tabela 5.

Em se tratando de irrigação por gotejamento, deve-se considerar apenas a fração média de área molhada pela água de irrigação ao longo do perfil do solo, que depende do tipo de solo e do espaçamento entre gotejadores e entre linhas de gotejadores. Assim, a lâmina de água fornecida pela Tabela 5 deve ser multiplicada pela fração de área molhada para fins de ajuste. Para solos com cascalho ou torrões na superfície, a fração molhada na superfície é muito menor que a fração média efetivamente molhada ao longo do perfil de solo explorado pelas raízes. Para irrigação por aspersão e por sulco considerar 100% de área molhada.

Para irrigação por aspersão e por gotejamento, deve-se considerar a eficiência do sistema de irrigação para a determinação da lâmina total de água necessária a ser aplicada por vez (LTN).

Exemplo 2: Um produtor conduz sua lavoura de pimentão em sistema de fileiras simples, espaçadas de 0,90 m, com duas linhas laterais de gotejadores por fileira de plantas. A cultura está no estágio de floração/frutificação, a profundidade efetiva das raízes é de 30 cm, o solo é de textura média, a percentagem de área molhada é de 50% e a eficiência de irrigação é de 85%. O momento de se irrigar é estabelecido com base em sensores Irrigas® de 15 kPa e a água utilizada para irrigação não apresenta problema de salinidade ($CEa < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$). Os gotejadores têm vazão

Tabela 5. Sugestão de lâmina necessária de água a cada irrigação, em milímetros, para cada centímetro de camada de solo, conforme a tensão de água no solo.

Tensão (kPa)	Textura do solo*		
	Grossa	Média	Fina
10	0,15	0,22	0,25
15	0,20	0,32	0,45
20	0,23	0,42	0,60
25	0,25	0,48	0,70
30	0,28	0,54	0,80
40	0,33	0,66	0,90
50	0,35	0,72	1,00

* Textura grossa incluem solos de classe textural: areia, areia franca e franco arenoso; textura média: franco, franco siltoso, franco argilo-arenoso e silte; e textura fina: franco argilo-siltoso, franco argiloso, argila arenosa, argila siltosa, argila e muito argiloso.

Obs.: solos de cerrado de textura fina devem ser considerados, para efeito de retenção de água, como de textura média.

Fonte: adaptado de Marouelli (2008).

de $1,1 \text{ L h}^{-1}$ e são espaçados a cada 0,20 m.

Determinar quando irrigar a cultura, qual a lâmina total de água a ser aplicada por irrigação (LTN) e o tempo de irrigação?

Solução do exemplo 2: As irrigações devem ser realizadas no momento e na quantidade indicadas a seguir.

Quando irrigar: Irrigar a todo o momento que os sensores Irrigas® de 15 kPa indicarem que o solo está “seco”, ou seja, quando a tensão de água no solo estiver acima de 15 kPa.

Quanto irrigar: Para solo de textura média e sensor de 15 kPa, tem-se, pela Tabela 5, que a lâmina de água é de 0,32 mm/cm de solo no caso de 100% de área molhada. Para gotejamento com fração de área molhada de 0,50, a lâmina de água ajustada será de 0,16 mm/cm de solo ($0,32 \text{ mm/cm} \times 0,50$). Para uma camada de solo de 30 cm, a LRN será de 4,8 mm ($0,16 \text{ mm/cm} \times 30 \text{ cm}$). Conforme visto anteriormente, para água de irrigação com $CEa < 0,7 \text{ dS m}^{-1}$ não há necessidade de se aplicar água adicional para a lixiviação de sais ($LR = 0$). Assim, para $LRN = 4,8 \text{ mm}$, $Ei = 85\%$ e $LR = 0$, obtém-se que pela equação 5 que:

$$LTN = 100 \times \frac{4,8 \text{ mm}}{85\% \times (1 - 0,0)} = 5,4 \text{ mm}$$

³ A curva de retenção é característica para cada solo e relaciona o teor de água no solo com a tensão com que a mesma está retida.

Tempo de irrigação: Para $LTN = 5,4$ mm,
 $SI = 0,45$ m (0,90 m de espaçamento entre fileira
de plantas dividido por 2 laterais por fileira),
 $Sg = 0,20$ m e $Vg = 1,2$ L h^{-1} , obtém-se pela
equação 8 que:

$$Ti = 60 \times \frac{5,4 \text{ mm} \times 0,45 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}}{1,2 \text{ L h}^{-1}} = 24 \text{ min}$$

Método do balanço de água no solo

O método do balanço de água no solo ou balanço hídrico consiste no controle sistemático da precipitação pluviométrica, da lâmina de irrigação aplicada, da ET_c , do escoamento superficial e da percolação profunda.

A forma mais simples do balanço resume-se no controle da lâmina de irrigação e da ET_c . Esse é um caso típico de cultivo protegido e durante estações secas onde se podem desvaler as demais variáveis do balanço, caso as irrigações não sejam realizadas em excesso. Para tal condição, as irrigações devem ser realizadas quando o somatório da ET_c , estimada diariamente, for igual ou superior à disponibilidade real de água no solo.

Em condições de campo é comum ocorrerem precipitações pluviométricas, o que acrescenta certa complexidade ao processo de balanço de água. Nesse caso, a precipitação efetiva deve ser subtraída da ET_c . Procedimentos para estimar a precipitação efetiva são complicados, pois essa depende de fatores como capacidade de armazenamento e teor de água do solo, cobertura vegetal, declividade do terreno, intensidade da precipitação, entre outros. Para maiores informações, o leitor deverá recorrer a publicações específicas.

Quando se considera a precipitação efetiva, as irrigações devem ser realizadas quando a relação descrita pela equação 11 for verdadeira.

$$\sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - Pe_i) \geq LRD \quad (\text{equação 11})$$

em que:

n = número de dias entre duas irrigações consecutivas;

Pe = precipitação efetiva ($mm \text{ dia}^{-1}$).

A lâmina de água real disponível no solo (LRD) pode ser determinada pelas equações 2 ou 10 ($LRN = LRD$), sendo que a equação 10 deve ser utilizada quando se dispõe da curva de retenção de água no solo.

Definido quando irrigar, a lâmina de água necessária para repor a água utilizada pelas plantas e perdida por evaporação pode ser calculada por:

$$LRN = \sum_{i=1}^n (ET_{c_i} - Pe_i) \quad (\text{equação 12})$$

O manejo de água pelo método do balanço também pode ser feito a partir de um turno de rega prefixado. Para tal situação, o turno de rega deve ser no máximo igual ao calculado pela equação 1.

Para o manejo de irrigação utilizando-se o método do balanço de água, a ET_c deve ser estimada por meio de um método que permita seu cálculo diário (tempo real), com destaque para o "FAO Penman-Monteith", utilizando-se os coeficientes K_c apresentados na Tabela 1.

Manejo de água nas fases de formação e pegamento de mudas

O cultivo de pimentão no Brasil é feito quase que totalmente com a utilização de mudas, as quais geralmente são preparadas em bandejas. O substrato utilizado deve ser desinfetado para evitar a ocorrência do tombamento, doença causada por diversos fungos de solo.

Durante a formação de mudas, as irrigações são feitas geralmente por aspersão, seja com regador manual com crivos finos, mangueira com bico de regador ou microaspersores. O importante é não utilizar jatos de água ou gotas de grosso calibre para não arrancar as sementes, retirar substrato da bandeja ou prejudicar as mudas.

Da sementeira até o transplante das mudas, período de 25 dias a 30 dias, as irrigações devem ser leves e frequentes a fim de garantir a formação de mudas de boa qualidade. Em geral, são requeridas de uma a quatro irrigações diárias, as quais devem ser realizadas, de preferência, nas horas de temperaturas mais amenas. Devem-se irrigar quando as mudas apresentarem qualquer

sintoma de deficiência de água e deverão ser mais frequentes quanto maior a temperatura e menor a umidade relativa do ar, menor a capacidade de armazenamento de água pelo substrato e maior for o tamanho das mudas.

A quantidade de água a ser aplicada por irrigação depende do tipo e quantidade de substrato em cada célula da bandeja. Deve ser suficiente para dar início ao escoamento de água na parte inferior da bandeja. Devido ao reduzido volume de substrato disponível para cada muda, o controle de irrigação é muito mais delicado que no sistema de produção de mudas em sementeira no solo.

Antes do transplante das mudas, a primeira irrigação do terreno a ser cultivado deve ser suficiente para elevar a umidade de solo à capacidade de campo, na profundidade até cerca de 30 cm. Do transplante até o completo pegamento das mudas, as regas devem ser feitas, geralmente, de uma a duas vezes por dia (Tabelas 3 e 4).

Paralisação das irrigações

Como o solo pode reter suficiente quantidade de água para suprir as necessidades hídricas das plantas durante vários dias, as irrigações não necessitam ser realizadas até no dia da última colheita.

No caso do pimentão para a produção de frutos frescos, quando a planta continua florescendo mesmo com frutos sendo colhidos, as irrigações devem ser realizadas até quando a produção não seja mais rentável sob o ponto de vista econômico. Como sugestão, realizar a última irrigação entre 3 dias e 10 dias antes da última colheita, sendo o menor valor para solos mais arenosos e ET_o acima de 5 mm dia^{-1} . Para gotejamento, devido ao menor volume de solo molhado, paralisar entre 2 dias e 6 dias.

Antecipar a data da última irrigação tem grande importância na produção de pimentão para páprica, pois além de permitir reduzir o gasto de água e de energia, favorece a produção de frutos mais pungentes, com maior teor de sólidos solúveis e de matéria seca. Durante o estágio de maturação, o excesso de água prejudica a qualidade de frutos e favorece doenças, principalmente quando a

irrigação for realizada por aspersão. Nesse caso, as irrigações por aspersão devem ser paralisadas entre 7 dias e 21 dias antes da colheita, sendo o menor valor para solos arenosos e condições de alta demanda evaporativa da atmosfera ($ET_o > 5 \text{ mm dia}^{-1}$).

Fertirrigação

As hortaliças da família das solanáceas geralmente utilizam expressivas quantidades de nutrientes, as quais estão diretamente relacionadas à produção de frutos e de matéria seca. Para produzir uma tonelada de frutos, a cultura do pimentão utiliza de 3,0 kg a 3,5 kg de N (nitrogênio), de 0,8 kg a 1,0 kg de P (fósforo) e de 5 kg a 6 kg de K (potássio). Isso significa que essas relações devem ser observadas no processo de adubação e fertirrigação, levando em consideração as prováveis perdas, indisponibilidades, sinergismos e antagonismos que ocorrem com os nutrientes durante todo o processo de produção.

Para a definição das quantidades de nutrientes a serem aplicadas, além dos indicadores acima, é primordial se dispor da análise química do solo. Geralmente os solos contêm certas quantidades de macro e micronutrientes as quais devem ser consideradas, tanto por questões econômicas quanto para evitar aplicações excessivas e trazer problemas de antagonismos e toxicidade para as plantas.

Para pimentão cultivado em solos de fertilidade mediana a baixa, com irrigação por sulco ou por aspersão, é frequentemente indicado o fornecimento de 40 kg ha^{-1} de N, 350 kg ha^{-1} a 600 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 120 kg ha^{-1} a 180 kg ha^{-1} de K_2O no sulco de transplante. Para pimentão irrigado por gotejamento em ambiente protegido, devido ao ciclo mais prolongado da cultura e à elevada produtividade dos híbridos atuais, é necessário que se adicione de 80 kg ha^{-1} a 120 kg ha^{-1} de N e também de K_2O .

Na seleção das fontes dos nutrientes é importante observar as características de solubilidade e compatibilidade, assim como de disponibilidade e de custos dos fertilizantes. A solubilidade e a compatibilidade estão intimamente relacionadas com o entupimento de gotejadores, que é o principal problema operacional deste sistema de irrigação.

As principais fontes de fósforo e de alguns micronutrientes têm baixa mobilidade no solo e podem acarretar a obstrução de gotejadores devido à formação de precipitados. Por tais razões, é geralmente recomendado que sejam aplicados no solo em pré-transplante. O magnésio também deve ser aplicado todo em pré-transplante. Devido à alta solubilidade e mobilidade no solo, é recomendado que entre 80% e 90% da quantidade total de nitrogênio e potássio seja fornecida via fertirrigação.

Apesar do risco de entupimento, é indicado ainda que cerca de 50% do cálcio também seja aplicada via irrigação para garantir seu pleno suprimento às plantas e evitar frutos com podridão apical. Especificamente em solos com teor de P inferior a 20 mg dm⁻³, pode ser vantajoso o fornecimento de 50% do fósforo, de forma parcelada, via água de irrigação.

Para minimizar a formação de precipitados insolúveis e, conseqüente, problemas de entupimento de gotejadores, vários cuidados devem ser tomados, como: não misturar compostos contendo sulfatos com outros contendo cálcio; não misturar fertilizantes fosfatados com fertilizantes ou águas contendo cálcio, magnésio ou ferro; ácidos e fertilizantes acidificados são incompatíveis com a maioria dos micronutrientes quelatizados.

Por questões econômicas e agrônômicas, a seleção correta dos fertilizantes a serem utilizados é muito importante. As plantas, em geral, têm requerimentos diferenciados por determinados íons, como nitrato ou amônio, em função do estágio de desenvolvimento. Além disso, o custo do nitrogênio e do potássio é bastante diferenciado dependendo da fonte.

Outro fator relacionado aos íons acompanhantes que deve ser observado é a acidificação do solo quando se utilizam quantidades expressivas de sais de amônio e mesmo de uréia, na qual o nitrogênio na forma amídica se transforma rapidamente em amônio e, posteriormente, em nitrato.

Para pimentão há também a preocupação relacionada ao íon cloreto, quando se utiliza o cloreto de potássio como fonte de potássio, que é muito mais barato que o nitrato de potássio. Nesse caso, deve ser observado que as plantas de pimentão são relativamente sensíveis ao excesso de cloreto, que é prejudicial ao crescimento das

raízes e a absorção de nutrientes, especialmente em cultivo protegido.

Dadas essas características e condições e, muitas vezes, à necessidade de balancear as quantidades dos nutrientes essenciais com as fontes disponíveis, é muito comum a combinação de vários fertilizantes nos processos de fertirrigação. Por exemplo, pode ser combinado nitrato de potássio, nitrato de cálcio, uréia e cloreto de potássio, tanto em quantidades quanto em épocas de aplicação.

Com base no relatado e em estudos realizados na Embrapa Hortaliças, sugere-se que a fertirrigação de pimentão seja feita com uréia do transplante até o florescimento e, partir de então, sejam combinados nitratos de potássio e de cálcio, de acordo com as necessidades. Até o início da frutificação, em especial em cultivos a campo, também pode ser utilizado o cloreto de potássio próprio para fertirrigação.

Quanto à frequência da fertirrigação, essa pode ser feita tantas vezes quanto às aplicações de água. Muitas vezes, entretanto, isso não é prático ou econômico. Dessa forma, a aplicação de fertilizantes pode ser realizada de uma a três vezes por semana, sendo a maior frequência para solos arenosos ou com maior potencial de lixiviação.

No que diz respeito ao parcelamento, ou seja, a definição das quantidades de nutrientes a serem aplicadas em determinados momentos do ciclo da cultura, geralmente nitrogênio e potássio recebem o mesmo tratamento. Em pré-transplante podem ser aplicados de 10% a 20% desses nutrientes no sulco de plantio, sendo o restante dividido ao longo do ciclo via fertirrigação. O parcelamento sugerido para as quantidades restantes consiste em dividir o ciclo da cultura em frações de 10%, e para cada fração aplicar, respectivamente, 5%, 7%, 10%, 13%, 15%, 15%, 15%, 13%, 5% e 2% dos nutrientes.

Para pivô central, aplicar um terço do nitrogênio em pré-plantio e parcelar o restante via água de irrigação, a partir de 30 dias após o plantio, a cada duas ou três semanas, até o início da maturação. O potássio e o cálcio, embora menos utilizados, também podem ser aplicados via pivô central. A fertirrigação na aspersão convencional é viável desde que a uniformidade de distribuição de água pelo sistema seja superior a 65%.

O processo da fertirrigação deve ser criterioso no sentido de evitar aplicações desuniformes na lavoura. Primeiramente, todo sistema de irrigação deve ser pressurizado para em seguida iniciar a injeção dos fertilizantes. Por último, após a injeção das quantidades necessárias, a irrigação deve continuar por tempo suficiente para lavar toda a tubulação e fazer com que os nutrientes sejam devidamente aplicados ao solo. Mesmo realizando a fertirrigação da forma criteriosa, é recomendável que o produtor mantenha-se alerta para identificar deficiências ou outros problemas na cultura, a tempo de programar ajustes ou medidas corretivas.

No processo de fertirrigação há sempre o risco de salinização do solo, principalmente em cultivo protegido, onde o mesmo é utilizado de forma intensiva. A salinização, em regra, é devida ao uso de quantidades excessivas de fertilizantes e/ou de águas salinas, associado com a falta de lixiviação natural do excesso de sais acumulados no solo, que, em condições normais, é realizada pela chuva.

Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and Drainage Papers, 56).
- BATAL, K.M.; SMITTLE, D.A. Response of bell pepper to irrigation, nitrogen and plant population. **Journal of American Society Horticulture**, v.106, n.3, p.259-262, 1981.
- CARRIJO, O.A.; MAROUELLI, W.A. Manejo da irrigação na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, 2002. Suplemento. CD-Rom. Palestra apresentada no 42º Congresso Brasileiro de Olericultura, 2002, Uberlândia.
- FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 412p.
- HEDGE, D.M. **Nutrient requirements of solanaceous vegetables crops**. Taipei, Taiwan: Food & Fertilizer Technology Center. 1997. 9p. Disponível em: <http://www.agnet.org/library/eb/441/>. Acessado em: 20.02.2009.
- HOCHMUTH, G.J. **Fertilization of pepper in Florida**. Gainesville: University of Florida/AFAS Extension, 2003. 10p. (Circular 1168).
- LOPES, C.A.; ÁVILA, A.C. **Doenças do pimentão: diagnose e controle**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2003. 96 p.
- MAROUELLI, W.A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 15p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 57).
- MAROUELLI, W.A.; CALBO, A.G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas®**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 16p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69).
- MAROUELLI, W.A.; CALBO, A.G.; CARRIJO, O.A. Avaliação de sensores do tipo Irrigas® para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substratos. **Irriga**, Botucatu, SP, v.10, n.1, p.88-95, 2005.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, H.R. **Irrigação da pimenteira**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2007. 14p. (Circular Técnica, 51).
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica/Embrapa Hortaliças, 2008. 150p.
- MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H.R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI/EMBRAPA-CNPq, 1996. 72p.
- PEREIRA, E.P. **Avaliação do crescimento e da produtividade de pimentão amarelo (*Capsicum annuum* L.) sob diferentes potenciais matriciais de água no solo, em condições de casa de vegetação**. Botucatu, 1995. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.
- SANTOS, H.S.; VILLAS BÔAS, R.L.; GOTO, R. Fertirrigação da cultura do pimentão. In: BOARETTO, A. E.; VILAS BÔAS, R. L.; PARRA, I. R. V., ed. **Fertirrigação: teoria e prática**. Piracicaba: CENEA/USP, 2006. p. 214-228.

SILVA, W.L.C.; GORNAT, B.; SILVA, H.R.; MAROUELLI, W.A. Preliminary studies on subsurface drip fertigation for greenhouse vegetables. In: ENCONTRO DAS AGUAS: FÓRUM INTERAMERICANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1., 1997, Fortaleza, CE. **Trabalhos apresentados...** Fortaleza: Governo do Estado do Ceará: SRH: IICA, 1997. CD-ROM.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A.; CARRIJO, O.A.; FONTES, R.R.; MORETTI, C.L. Fontes de nitrogênio para fertirrigação do pimentão em ambiente protegido via gotejamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, p.822-823, 2000. Suplemento.

TEODORO, R.E.F.; OLIVEIRA, A. S.; MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa de vegetação. **Sciencia Agricola**, Piracicaba, v.50, n.2, p.327-343, 1993.

VIÑALS, F.N.; ORTEGA, R.G.; GARCIA, J.C. **El cultivo de pimientos, chiles y ajies**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 607p.

**Circular
Técnica 101**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na
Embrapa Hortaliças
Rodovia BR-060, trecho Brasília-Anápolis, km 9
C. Postal 218, CEP 70.351.970 – Brasília-DF
Fone: (61) 3385.9105
Fax: (61) 3556.5744
E-mail: sac@cnph.embrapa.br
1ª edição
1ª impressão (2012): 1.000 exemplares

**Comitê de
Publicações**

Presidente: Warley Marcos Nascimento
Editor Técnico: Fábio Akyoshi Suinaga
Supervisor Editorial: George James
Secretária: Gislaíne Costa Neves
Membros: Agnaldo Donizete Ferreira de Carvalho,
Carlos Alberto Lopes, Ítalo Morais Rocha
Guedes, Jadir Borges Pinheiro,
José Lindorico de Mendonça,
Mariane Carvalho Vidal, Neide Botrel,
Rita de Fátima Alves Luengo

Expediente

Normalização bibliográfica: Antonia Veras
Editoração eletrônica: André L. Garcia