



Irrigação de Hortaliças em Solos Cultivados sob Proteção de Plástico

Osmar Alves Carrijo¹
Carlos Alberto da Silva Oliveira

Termos para indexação: irrigação por gotejamento, cultivo protegido, fertirrigação
Index terms: drip irrigation, protected cultivation, fertigation

A água, os gases oxigênio e carbônico, a luz e os nutrientes minerais são fatores essenciais ao crescimento e produção dos vegetais. Entretanto, é através do fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera que ocorre a absorção de nutrientes pelas plantas. O resfriamento da superfície vegetal por meio do processo de transpiração ocorre simultaneamente com as trocas gasosas entre a planta e a atmosfera (resultante da absorção de luz utilizada na fotossíntese), através da abertura estomática. Portanto, a água é considerada, direta ou indiretamente, como um dos fatores mais importantes para a produção das culturas.

A aplicação e introdução de água no solo ou outro tipo de substrato, na quantidade adequada e na época oportuna, necessita levar em conta toda uma série de processos dinâmicos que exigem constante atenção e determinam o grau de sucesso ou insucesso (Oliveira *et al.* 1980). Os cultivos feitos sob proteção de plástico ou PVC se distinguem dos demais sistemas de produção a céu aberto

principalmente pelo uso intensivo do solo sem a interferência de chuvas (Cermenó, 1977). O manejo adequado e a qualidade da água de irrigação são de fundamental importância para a redução de custos, para a obtenção de altas produtividades e de produtos com alta qualidade (Rosa, 1995), característica marcante desse sistema de produção.

Na irrigação de cultivos protegidos deve-se levar em consideração alguns aspectos do solo, da água, da planta, do microclima e dos equipamentos utilizados para se obter o máximo rendimento das culturas, tais como:

- Retenção de água no solo;
- Qualidade da água de irrigação;
- Temperatura da água de irrigação;
- Métodos de irrigação (Como irrigar);
- Volume de água a ser aplicado (Quanto irrigar);
- Frequência de irrigação (Quando irrigar); e
- Fertirrigação.

Este texto pretende abordar cada um destes aspectos, visando permitir um melhor entendimento dos processos envolvidos e proporcionar uma fonte de referência, de forma clara, concisa e atualizada, para um manejo adequado do sistema água-solo-planta-clima que ocorre em cultivos realizados sob proteção de plástico ou PVC.

¹ Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da Embrapa Hortaliças, Laboratório de Irrigação e Física do Solo.

² Eng. Agr., Ph.D., Pesquisador da Embrapa Hortaliças, Laboratório de Irrigação e Física do Solo.

O Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, órgão vinculado ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento, foi criado em 1981 com o objetivo de pesquisar e apoiar o desenvolvimento de tecnologias de cultivo de hortaliças para diversas regiões brasileiras. Sua missão é executar, promover e articular atividades científicas e tecnológicas para o desenvolvimento do Sistema Produtivo de Hortaliças no Brasil. Conta com uma equipe técnica de 50 pesquisadores, atuando principalmente nas áreas de: Melhoramento Genético, Fitopatologia, Entomologia, Fitotecnia, Biotecnologia, Solos e Nutrição de Plantas, Tecnologia Pós-Colheita, Irrigação, Tecnologia de Sementes e Difusão de Tecnologia.

Localizado em Brasília, dispõe de um campo experimental de 115 hectares irrigáveis e área construída de 22.000 m². Inclui laboratórios, casas-de-vegetação, telados, câmaras frias, unidade de beneficiamento de sementes, biblioteca, auditório, salas de aula e outras instalações de apoio.

O Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças mantém convênios com instituições públicas e privadas, nacionais e internacionais, constituindo-se em um centro de referência na pesquisa de hortaliças.

A série Circular Técnica da Embrapa Hortaliças é destinada a agentes de fomento, assistência técnica, extensão rural, produtores rurais, estudantes, professores, pesquisadores, editores de revistas de informação rural e outras pessoas interessadas no assunto.

Tratamento Editorial: *Túlio Gonçalves de Melo, Eng. Agrônomo, B.Sc., Comunicação e Difusão de Tecnologia*

PUBLICAÇÕES DO CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE HORTALIÇAS

SÉRIE INSTRUÇÕES TÉCNICAS

- Cultivo da Ervilha;
- Cultivo do Alho;
- Tratamento de sementes de hortaliças para controle de doenças;
- Cultivo do Chuchu;
- Cultivo de Hortaliças;
- Cultivo da Batata-doce;
- Cultivo da Batata;
- Cultivo da Lentilha;
- Cultivo da Mandioquinha-salsa;
- Cultivo do Tomate;
- Cultivo do Tomate para Industrialização;
- Cultivo da Cenoura.

SÉRIE CIRCULAR TÉCNICA

- Manejo de plantas daninhas em hortaliças;
- Manejo da cultura da batata para o controle de doenças;
- Determinação da condutividade hidráulica e da curva de retenção de água no solo com método simples de campo;
- Manejo integrado das doenças da batata;
- O controle biológico de pragas e sua aplicação em cultivos de hortaliças;
- Manejo integrado da mosca branca *Bemisia argentifolii*;
- Irrigação de hortaliças em solos cultivados sob proteção de plástico.

SÉRIE COMUNICADO TÉCNICO

- Besouro do Colorado;
- Processamento mínimo de hortaliças;
- Manejo da água do solo no cultivo da batata.

SÉRIE DOCUMENTOS (LIVROS)

- Anais do seminário sobre a cultura da batata-doce;
- Diagnóstico de desordens nutricionais em hortaliças;
- Índice de patógenos de sementes de hortaliças não detectadas no Brasil;
- Protótipos de equipamentos para produção de hortaliças;
- Doenças da ervilha;
- Anais do Seminário Internacional sobre Qualidade de hortaliças e frutas frescas;
- Doenças do tomateiro;
- Doenças bacterianas de hortaliças;
- Manejo da irrigação em hortaliças;
- Impactos Socioeconômicos da Pesquisa de Cenoura no Brasil.

BIBLIOGRAFIAS

- Bibliografia de alface;
- Bibliografia de entomologia;
- Bibliografia de mandioquinha-salsa;
- Bibliografia brasileira de irrigação e manejo de água em hortaliças;
- Bibliografia brasileira de sementes de hortaliças;
- Bibliografia brasileira de tomate;
- Bibliografia brasileira de pós-colheita de hortaliças.

Pedidos de publicações poderão ser feitos através de vale postal ou cheque nominal à Embrapa Hortaliças, no valor total da aquisição, enviados para o seguinte endereço: Área de Comunicação Empresarial (ACE) - Caixa Postal 218. CEP: 70359-970, Brasília-DF.

1ª Impressão: Dezembro/97
Tiragem: 2.000 exemplares



Embrapa

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças
Ministério da Agricultura e do Abastecimento
Km 09 BR 060 Caixa Postal 218 CEP 70359-970
Fone: (061) 386-9000 Fax: (061) 556-5744 e 556-2384
e-mail: cnph@ciqph.embrapa.br
www.cnph.embrapa.br

Retenção de água no solo

Do ponto de vista físico, todo solo pode ser considerado como uma combinação de partículas sólidas (orgânicas e minerais) diversas, água (solução do solo) e ar, que juntas formam um meio poroso. Graças a este espaço ou volume poroso limitado e ao fato de cada solo também apresentar uma capacidade limitada de segurar ou reter a água que é nele introduzida, toda água aplicada em excesso no solo é drenada para camadas mais profundas.

Assim, pode-se considerar que a capacidade de um solo em reter ou armazenar água apresenta um limite superior ou máximo e um limite inferior ou mínimo. A diferença entre esses limites fornece o que se denomina de água disponível para a planta ou capacidade de retenção de água disponível no solo. Tal

diferença pode ser expressa em milímetros de água retidos por centímetro de solo (mm/cm de solo). Os diversos tipos de solo retêm quantidades diferentes de água conforme mostrado na Tabela 1. Estes valores praticamente não são afetados com um aumento de 3 a 4% no teor de matéria orgânica do solo, porque os limites inferior e superior são afetados proporcionalmente. Entretanto, o grau de agregação das partículas do solo pode afetar a capacidade de retenção de água disponível. Por exemplo, solos argilosos (1,3 mm/cm de solo) sob cerrado podem apresentar um grau de agregação de partículas tal que a sua retenção de água disponível pode ser semelhante à de um solo franco arenoso, ou seja, 1,1 mm/cm de solo e semelhante a um solo franco argiloso em termos de limite superior, com 39% de umidade.

Tabela 1. Teores médios de argila e areia (%), limite superior de retenção de água no solo (cm³/cm³) e água disponível (milímetro de água por centímetro de solo) para diferentes tipos de solos e teores médios de argila e areia. Adaptado de Saxton *et al.* (Soil Sci. Soc. Am. J., 50:1031-1036, 1986).

Tipo de solo	Teor de argila (%)	Teor de areia (%)	Limite superior (cm/cm)	Água disponível (mm/cm)
ARGILOSO	60	20	0,53	1,3
ARGILO SILTOSO	45	8	0,49	1,6
FRANCO ARGILO SILTOSO	35	10	0,45	1,7
FRANCO ARGILOSO	35	35	0,39	1,3
FRANCO SILTOSO	15	20	0,39	1,8
FRANCO	18	40	0,33	1,4
FRANCO ARGILO ARENOSO	28	60	0,30	0,9
FRANCO ARENOSO	10	65	0,26	1,1
AREIA FRANCA	6	82	0,21	0,9
ARENOSO	5	92	0,18	0,8

Obs. Solos sob cerrado, em geral, com elevados teores de argila, podem apresentar um grau de agregação tal que o seu comportamento pode ser semelhante ao de um solo franco arenoso em termos de água disponível e semelhante a um solo franco argiloso em termos de limite superior.

Qualidade da água de irrigação a ser introduzida no solo

Dois fatores principais determinam se a fonte de água existente é de boa qualidade para uso em irrigação de estufas, quais sejam: poluição (química e biológica) e presença de sais dissolvidos na água de irrigação.

Poluição da água

A fonte de água (rios, córregos, poços ou açudes) se diz poluída quando é contaminada por esgotos urbanos e por resíduos industriais ou agrícolas. O principal problema causado pela poluição com esgotos urbanos é a presença, na água de irrigação, de microorganismos transmissores de doenças tais como: esquistossomose, vibrião colérico e diversas verminoses decorrentes da presença de coliformes fecais. A poluição advinda de resíduos industriais e agrícolas apresenta uma complexidade maior pois diversos produtos químicos podem estar envolvidos.

Os resíduos industriais contaminam as fontes de água de irrigação principalmente pelo lançamento maciço de metais pesados e outros íons tóxicos que podem causar distúrbios e doenças tanto nas plantas cultivadas como no homem. Esse é um problema bastante sério e exige monitoramento constante, principalmente nas águas próximas de áreas industriais.

Os resíduos de inseticidas, fungicidas, herbicidas e adubos na água de irrigação podem causar toxicidade às plantas, além de distúrbios nos animais, inclusive, no homem.

As fontes de água podem também ser contaminadas por patógenos de plantas altamente nocivos à sua produção, como os causadores da murcha-bacteriana e da murcha-de-fitóftora que ocorrem nos cultivos de tomate e pimentão.

Presença de sais dissolvidos na água de irrigação e salinidade do solo

A salinização ocorre principalmente nas regiões de clima árido e semi-árido, devido

principalmente à ausência de chuvas e à ocorrência de altas temperaturas, que provocam uma intensa evaporação da água e a deposição de sais na superfície do solo ao longo dos anos. Este processo também ocorre dentro das estruturas plásticas em uso para o cultivo protegido.

Quanto à presença de sais dissolvidos na água deve-se observar a concentração total de sais solúveis, que determina o seu grau de salinidade, e também a possibilidade de que a água de irrigação provoque a sodificação do solo, caracterizada pela proporção de sódio (Na^+) em relação a outros cátions, principalmente cálcio e magnésio, e expressa pela sigla RAS (razão ou relação de adsorção de sódio). A concentração de sódio no solo afeta a sua permeabilidade. Este problema é até maior e de controle mais difícil que a salinidade.

A condutividade elétrica, CE, é utilizada para expressar a concentração total de sais, tanto para a classificação como para a diagnose das águas usadas na irrigação. Para a maioria das hortaliças, CE da água de irrigação acima de 1,5 mmhos pode causar danos e redução de produtividade da maioria das culturas plantadas em estufa (Hochmuth, 1991). Os sais dissolvidos na água de irrigação podem reduzir o desenvolvimento das plantas, devido aos sais responsáveis por essa alta CE passarem a competir com a absorção de nutrientes pela planta. Elevadas CE da água de irrigação também pode diminuir a absorção de água pelas plantas. Quando a salinidade da água aumenta, mais água necessita ser aplicada para se obter uma mesma produtividade (Letey, 1993).

Quanto ao grau de tolerância à salinidade, das culturas normalmente plantadas sob cultivo protegido, pode-se obedecer a seguinte seqüência: melão > couve > brócolos > tomate > pepino > pimentão > alface.

O uso de cobertura da superfície do solo ou "mulching" pode diminuir a salinização,

principalmente próximo à superfície, pois reduz a evaporação da água do solo e a conseqüente deposição de sais.

A lixiviação forçada desses sais, através de uma irrigação por aspersão excessiva, é outra prática usada no controle da salinização dos solos. Para uso dessa prática, porém, o solo deve possuir boa capacidade de infiltração e uma adequada drenagem interna.

A utilização de produtos químicos ou minerais é também considerada no controle da salinização, visando substituir os cátions adsorvidos à matriz do solo, como o sódio, o cálcio, nitratos e sulfatos. Entre os produtos químicos utilizados merece destaque o gesso agrícola que é aplicado na superfície do solo e incorporado, à semelhança do calcário. Após a aplicação do gesso, o perfil do solo deve ser lavado através da aplicação de uma lâmina de água bastante pesada através da irrigação. Para os solos de cerrado, normalmente a capacidade de retenção máxima de água está em torno de 1,1 mm/cm de solo, então, deve-se aplicar uma lâmina equivalente a no mínimo duas vezes a profundidade do perfil, em milímetros de água. Exemplo: em um perfil de 50 cm, a ser lavado, basta multiplicar 1,1 vezes

100 para se obter a lâmina a ser aplicada de 110 mm de água.

Ao invés de aplicar essa elevada lâmina de irrigação, pode-se retirar a cobertura de plástico da estufa e permitir chuvas pesadas no seu interior. Esta prática promove a lixiviação dos sais e a quantidade de chuva a ser permitida deve se situar em torno do valor calculado no parágrafo anterior.

O sistema de irrigação e o turno de rega ou freqüência de aplicação da água são fatores importantes no manejo de solos e águas salinas. A elevada freqüência de irrigação possibilita manter o solo com alta umidade, facilita a absorção de água pelas plantas e pode reduzir o efeito daninho do excesso de sais, caso ocorra.

O sistema de irrigação por gotejamento é um dos mais recomendados para uso em solos e águas salinos, pois propicia irrigações freqüentes e mantém condições de alta umidade promovendo a diluição dos sais e um adequado potencial osmótico da solução do solo. A área superficial molhada é também reduzida neste sistema de irrigação, o que diminui a área salinizada.

Temperatura da água de irrigação

Quando a temperatura do solo cultivado sob proteção está elevada e é reduzida bruscamente, através da irrigação, pode ocorrer uma interrupção temporária na absorção de água pelas raízes, produzindo um desequilíbrio hídrico na planta. As folhas, continuando a transpirar, a alta umidade do solo e a alta demanda evaporativa dentro da estufa, provocam a desidratação dos tecidos foliares podendo levar à morte dos mesmos. Este problema pode se tornar bastante sério nas regiões mais frias, como também no período de inverno nas regiões mais quentes, em

especial para intervalos entre uma e outra irrigação mais espaçados, onde há uma intensa radiação dentro da estufa, utilizada no aquecimento do solo. Em alguns casos a água de irrigação de algumas fontes pode permanecer relativamente fria e ocasionar uma diferença considerável de temperatura entre o solo e a água de irrigação. Tais problemas advindos de diferenças térmicas entre as temperaturas da água e do solo podem ser evitadas ou reduzidas quando se faz a irrigação ao amanhecer ou ao anoitecer e com maiores freqüências.

Métodos de irrigação em solos cultivados sob proteção

Os sistemas de irrigação passíveis de serem utilizados sob estufas cobertas com plástico ou PVC são os de irrigação por sulcos, por aspersão e por sistemas localizados (microaspersão e diversas formas de gotejamento), sobre a superfície ou enterrados (subsuperficial). Em casos especiais pode-se usar até a irrigação por inundação como no caso de cultivos de agrião sob plástico.

Irrigação por sulcos

A irrigação por sulco é geralmente a de menor custo de instalação por unidade de área. Apesar disso, esse sistema de irrigação é pouco utilizado em cultivos sob proteção, principalmente porque requer superfície do terreno mais uniforme; necessita um número maior de trabalho (horas/homem) por unidade irrigada; utiliza um volume de água de irrigação muito maior; aumenta a umidade relativa do ar no interior das estufas; e pode provocar erosão e a lixiviação dos nutrientes solúveis.

Irrigação por aspersão

Devido às características próprias dos cultivos sob proteção (áreas e dimensões relativamente pequenas), os tipos de aspersão mais utilizados são a microaspersão (tipo de microirrigação) e a aspersão de baixa pressão. Estas formas de aspersão têm sido utilizadas somente no cultivo de folhosas e na formação de mudas, entretanto apresentam algumas desvantagens em relação a outros métodos, quais sejam: aumentam muito a umidade relativa do ar no interior das estufas; necessitam, na maioria dos casos, de um sistema de bombeamento maior (aumento da pressão de serviço) e de um sistema de filtragem; e molham toda a área da estufa, aumentando a ocorrência de plantas daninhas e doenças de solo e folha.

Irrigação por gotejamento

É a irrigação mais conhecida e recomendada para o cultivo protegido. As linhas de gotejamento podem ser instaladas,

tanto sobre a superfície do solo (caso mais comum), como abaixo da superfície do solo (irrigação subsuperficial ainda pouco utilizada no País). Diversos tipos destes sistemas podem ser utilizados como o Xique-Xique, as tripas ou fitas de irrigação e o gotejamento convencional. Os sistemas de gotejamento convencional são os que apresentam potencial de ser utilizados subsuperficialmente, entretanto, problemas de entupimento dos gotejadores (causado por raízes e precipitação de sais) não são facilmente detectados. Tubos e gotejadores impregnados com herbicidas estão sendo fabricados visando reduzir parte destes problemas.

Sistema xique-xique

É um sistema bastante simples e fabricado pelo próprio produtor. Consiste de um tubo de polietileno preto, com pequenas perfurações espaçadas de 30 a 60 cm. As perfurações são cobertas com uma luva de mangueira, de diâmetro maior que a mangueira de irrigação, que serve para que a água saia sem formar um jato ou filete.

Devido à grande falta de uniformidade no tamanho das perfurações feitas no tubo de polietileno, este sistema apresenta a desvantagem de uma grande desuniformidade na aplicação dos adubos fornecidos através da água de irrigação.

Sistema de fitas ou tripas

São mangueiras de polietileno de baixa densidade e espessura, bastante delgada e com microperfurações feitas geralmente, à "laser" e a distâncias pré-determinadas. Apresentam uma vazão relativamente uniforme dos micro-furos, mas devido ao seu minúsculo diâmetro necessitam de um bom sistema de filtragem da água.

Quando a espessura das paredes das linhas de irrigação de polietileno for pequena, as fitas devem trabalhar a baixa pressão, o que pode causar grandes variações da vazão dependendo

da declividade e comprimento da linha lateral de irrigação.

Gotejamento convencional

Consiste de gotejadores inseridos sobre ou no interior do tubo de polietileno ou inseridos entre duas seções do tubo (Oliveira *et al.*, 1979). Um tipo bastante comum no mercado são os chamados tubos gotejadores, onde os orifícios de saída e o sistema de dissipação de energia são realizados no próprio tubo.

Este tem sido um sistema mais utilizado na irrigação de cultivos sob proteção, pois com ele pode-se: obter produções elevadas; obter economia de custeio da irrigação e de mão-de-obra; obter alta economia e eficiência de

aplicação da água no solo; obter boa uniformidade de aplicação dos adubos minerais através da água de irrigação; e utilizar água e solos salinos para a produção de hortaliças.

A grande desvantagem desse sistema de irrigação é o elevado custo inicial de implantação em relação aos demais métodos, pois necessita de um cabeçal ou seção de controle completo (30 a 40% do custo total) e uma rede de tubos de polietileno de baixa densidade com os gotejadores (60 a 70% do custo total).

A seção de controle deve dispor de filtros, para evitar a obstrução dos gotejadores, além de manômetros, reguladores da pressão de operação desejada, injetor de fertilizantes e registros para controle da entrada da água.

■ Freqüência de irrigação (Quando Irrigar)

A irrigação visa suprir de água as plantas na medida de sua necessidade. Para se obter produção em quantidade e qualidade deve-se proceder às irrigações antes que a razão entre a quantidade de água no solo e a demanda evaporativa diminua e cause danos às plantas. Este limite mínimo de água no solo varia de acordo com a espécie cultivada e com o seu estágio de desenvolvimento.

Para se indicar o momento adequado da irrigação, o uso de tensiômetros ou outro equipamento que avalie a umidade do solo se faz necessário. Recomenda-se a utilização de tensiômetros providos de vacuômetros, pela sua precisão e simplicidade de uso. Em áreas cobertas apresentando um mesmo tipo de solo devem ser instalados no mínimo dois tensiômetros por área coberta, sendo um instalado na profundidade de maior concentração radicular e, o outro, no limite dessa maior concentração, o que para os solos cultivados com boa parte das hortaliças pode se considerar, um tensiômetro instalado a 15 cm e outro a 30 cm de profundidade.

Usando o tensiômetro para o controle das irrigações, em ambientes sob proteção onde não haja incidência de patógenos de solo, as

irrigações devem ser reiniciadas quando as tensões estiverem ao redor do limite superior de água disponível, o que, para solos arenosos e a maioria dos latossolos da região de Brasília, deve estar entre 10 a 20 centibares (kPa). Para outros tipos de solos argilosos se situa em torno de 30 Kpa.

No entanto, na presença de patógenos de solo, como fungos (*Fusarium* sp., *Rizoctonia* sp., etc.), bactérias (*Ralstonia solanacearum* spp., *Erwinia* sp., etc.) ou nematóides, recomenda-se manter o solo com menor teor de umidade, para dificultar o desenvolvimento desses microorganismos indesejáveis. A irrigação, neste caso, deve ser menos freqüente, de dois em dois dias ou a intervalos maiores. O manejo da água do solo deve proporcionar tensões máximas em torno de 40 50 kPa. Essa tensão deve estar dentro do intervalo de tensão máxima recomendado para a maioria das culturas, como por exemplo, a alface, 40 kPa; melão, 30-80; pepino, 50-100; pimentão, 30-60; tomate, 30-70; e vagem 40-80 kPa.

Em regiões de alta insolação, há um aquecimento muito grande da parte aérea das

plantas. Há, portanto, a necessidade de a planta perder calor através do processo de transpiração, para o seu auto-controle térmico. Na ausência de ventilação no interior das estruturas de proteção dos cultivos, há uma saturação do ambiente interno com vapor d'água (umidade relativa próxima a 100%) e a transpiração não ocorre ou é muito reduzida. Não havendo transpiração, desaparece a auto-regulação térmica, ocorrendo portanto um superaquecimento e queima das regiões de maior perda de água como é o caso dos estômatos e do limbo foliar, o que muitas vezes

pode ser confundido com sintomas de doenças.

Da mesma forma, altas temperaturas e baixa umidade relativa inicial no interior das estufas (do meio dia às 15 horas), provocam alta demanda evaporativa. Fazendo-se a irrigação neste horário, há um aumento da umidade do solo e da evapotranspiração provocando a saturação de vapor d'água no interior da estufa, ocorrendo o superaquecimento dos tecidos aéreos da planta e a queima dos tecidos mais sensíveis. Desta maneira deve se evitar as irrigações nas horas mais quentes do dia.

Volume de água a aplicar (Quanto aplicar)

Um dos aspectos mais importantes da irrigação é a reposição ao solo da água utilizada, em quantidade adequada e na ocasião oportuna. A quantidade de água, I , a ser introduzida no solo a uma certa profundidade, em um evento de irrigação durante o ciclo da cultura, deve ser igual àquela água consumida pela demanda evaporativa, que ocorreu desde a última irrigação. Esta demanda evaporativa ou lâmina de água, I , é equivalente à estimativa da evapotranspiração das culturas, ET_c , ou à estimativa do déficit de água do solo (principalmente na primeira irrigação), ocorridos desde o último evento de irrigação, ou seja, $I = ET_c$.

O volume de água, V , a aplicar em uma irrigação é calculado multiplicando-se a quantidade de água, I , (em altura equivalente de água transformada de milímetros para metro), ocorrida a partir da última irrigação, pela área, A , a ser irrigada. Por exemplo:

- Se desde a última irrigação calculamos ter ocorrido uma demanda evaporativa equivalente a uma quantidade de água a ser repostas ao solo, I , de 5 mm ou 0,005 m e queremos irrigar uma área, A , de 400 m², com área coberta de 8 m de largura por 50 m de comprimento, o volume de água a aplicar na irrigação é:

$$\begin{aligned} V &= I \cdot A = ET_c \cdot A && \text{Eq. 1} \\ &= 0,005 \text{ m} \cdot 400 \text{ m}^2 = 2 \text{ m}^3 \text{ ou } 2.000 \\ &\text{litros de água.} \end{aligned}$$

Em decorrência do sistema de irrigação por gotejamento ser o mais utilizado em cultivos sob proteção iremos considerar um exemplo com este tipo de sistema. Pequenas adaptações necessitam ser feitas quando forem considerados sistemas de irrigação por microaspersão.

No cálculo de V realizado, se a fração da área irrigada pelas linhas de gotejadores não corresponder a 100%, deve-se estimar qual a fração da área, A , efetivamente irrigada e reduzir o valor de V multiplicando-o por esta fração. Para a maioria dos cultivos protegidos a fração da área irrigada por gotejamento pode variar entre 50 e 100%, em geral, com valores mais próximos de 100%.

Como os diversos sistemas de irrigação por gotejamento apresentam uma eficiência de irrigação média de 80 a 90%, o volume V deverá ser aumentado para compensar esta deficiência do sistema, ou seja:

- Para o exemplo considerado, basta dividir os 2 m³ por 0,8 (assumindo uma eficiência de aplicação de 80%) para se obter $V = 2,5 \text{ m}^3$ ou 2.500 litros.

Para se calcular o tempo de um evento de irrigação, necessário para introduzir o volume V de água no solo, basta dividir este volume pela taxa de aplicação das linhas laterais instaladas (vazão média do gotejador vezes o

número de gotejadores existentes na área coberta a ser irrigada). Por exemplo:

- Considerando uma área coberta com oito linhas laterais de gotejamento de 38 m de comprimento, espaçadas entre si de 1,0 m, com espaçamento entre gotejadores de 0,50 m e com vazão média do gotejador de 1,5 litros por hora pode-se efetuar o cálculo da taxa de aplicação como se segue:

- . O número de gotejadores por linha é igual a 76, resultado da divisão do comprimento da linha pelo espaçamento ou seja, $38 / 0,5 = 76$ gotejadores por linha;*
- . O total de gotejadores é obtido multiplicando 76 gotejadores por linha vezes oito linhas que nos dá um total de aproximadamente 600 gotejadores;*
- . E a taxa de aplicação resulta do produto entre o total de gotejadores vezes a vazão média do gotejador, ou seja, $600 \times 1,5$ litros por hora, que dá uma taxa de 900 litros por hora; e*
- . Para se obter o tempo de aplicação basta dividir o volume V de 2.500 litros, calculado anteriormente, por 900 litros por hora que fornece 2,8 horas (166 min), aproximadamente.*

Este tempo total de um evento de irrigação pode ser dividido em mais de um ciclo diário de aplicação de água, como por exemplo dois ciclos diários de aplicação de água com duração de 1,4 horas, obviamente dependendo de limitações impostas pelo sistema de irrigação e pelo sistema solo-planta. Ciclos diários de aplicação de água mais curtos podem evitar perdas por percolação profunda e aumentar a superfície de área molhada pelo gotejador, sem acarretar maiores perdas por evaporação. Entretanto, é conveniente salientar que o volume total de solo umedecido é mais uma função da quantidade de água aplicada do que do tempo para aplicar a água.

Quantidade de água, I, a ser introduzida no solo, estimada a partir da evapotranspiração da cultura

O termo evapotranspiração se refere à soma da quantidade de água que evapora do

solo e da superfície das plantas mais a água que é transpirada pela planta.

A evapotranspiração de uma cultura, E_{Tc} , é função da espécie cultivada e do seu estágio de crescimento, do solo e sua umidade e das condições climáticas, principalmente radiação solar, umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do vento.

Até um passado recente se utilizava o termo evapotranspiração potencial, que gradativamente vem sendo substituído pelo termo evapotranspiração de referência, E_{To} , para expressar a estimativa da evapotranspiração de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo e cobrindo completamente a superfície do solo e sem restrição de umidade (Sediyama, 1996).

A relação entre a evapotranspiração da cultura e a de referência é representada por um coeficiente, K_c , conforme sugerido por Doorenbos e Pruitt (1975) e possibilita escrever a seguinte equação:

$$E_{Tc} = K_c \cdot E_{To} \quad \text{Eq. 2}$$

Assim, o coeficiente K_c faz a integração de três características que diferenciam a evapotranspiração da cultura considerada daquela de referência, a saber: a altura da cultura considerada, que é variável durante o ciclo da planta; a resistência e o albedo da superfície solo-cultura considerada. A resistência ao fluxo de ar da superfície solo-cultura é função da área de solo coberta pelas plantas, da área foliar e condições de sanidade e senescência das folhas. O albedo, fração da radiação global refletida pela superfície solo-cultura, também é influenciado pela área de solo coberta pelas plantas, pela área da superfície vegetal e pelo teor de umidade junto a superfície do solo. Desta forma o K_c varia principalmente em função das características da cultura, traduzindo em menor escala a variação dos fatores climáticos. Isto faz com que valores padrão de K_c possam ser transferidos de um local para outro, mesmo sob condições climáticas diversas como as observadas em cultivos realizados dentro e fora de estruturas de proteção de plástico.

Quando as irrigações são diárias ou freqüentes, como via de regra ocorre em cultivos protegidos irrigados por sistemas de gotejamento colocados na superfície do solo, é necessário se estimar a ET_c diariamente. Isto implica que os valores de K_c devem ser obtidos utilizando-se do conceito de coeficientes basais ou de base, K_{cb} , conforme preconizado por Wright (1982), e não pelo conceito de coeficientes médios (Allen *et al.* 1996), ou seja, através da relação:

$$K_c = K_s \cdot K_{cb} + K_e \quad \text{Eq. 3}$$

onde K_{cb} corresponde à relação entre ET_c e ET_o quando a camada superficial do solo está seca, mas na zona radicular está adequada para manter a cultura com transpiração plena, sem estresse hídrico ($K_s = 1$). O coeficiente de déficit hídrico do solo, K_s , reduz o valor de K_{cb} quando a umidade do solo é tal que passa a restringir a transpiração das plantas. O coeficiente de evaporação do solo, K_e , adiciona o efeito da evaporação do solo úmido. Via de regra, ocorre um valor de K_s unitário em cultivos sob proteção de plástico e podemos obter K_c através da relação:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad \text{Eq. 3a}$$

Allen *et al.* (1996) apresentam valores de K_c e de K_{cb} para diversas culturas.

Para irrigação por gotejamento, onde as linhas laterais de irrigação estão colocadas abaixo de 10 cm da superfície do solo, mesmo para irrigações freqüentes (irrigação por gotejamento subsuperficial), os valores de K_e podem ser considerados nulos e K_c , da equação 3a, será igual a K_{cb} . Desta relação podemos inferir que as perdas por evaporação da água do solo serão bastante reduzidas e a economia de água será ainda maior em comparação à utilização de linhas laterais colocadas sobre a superfície do solo.

Existem vários métodos para se determinar a ET_c como, por exemplo, os lisímetros, que a medem diretamente, os tanques de evaporação que a estimam (Tanque classe A e outros tipos de tanque) e diversas equações meteorológicas de complexidade variável, dependendo do número de aspectos aerodinâmicos, termodinâmicos e de

resistência ao fluxo de calor e vapor d'água no ar considerados. Devido ao seu custo e à relativa facilidade de uso, os evaporímetros e as equações para a estimativa da evapotranspiração das culturas têm sido bastante utilizadas no Brasil.

Existe uma variedade enorme de fórmulas para a estimativa da ET_o e as mais precisas são aquelas com base na equação de Penman (utilizadas no cálculo de K_c), mas que na prática tem seu uso limitado pelo grande número de variáveis climatológicas utilizadas. Para a finalidade deste trabalho, pela facilidade de uso e pequeno número de dados necessários, descreveremos apenas o método do tanque classe A.

Método do tanque classe A

O tanque Classe A tem sido largamente utilizado para a estimativa diária da evapotranspiração das culturas. A evapotranspiração de referência por este método é dada pela equação 4:

$$ET_o = K_p \cdot E_{ca} \quad \text{Eq. 4}$$

onde: K_p é o coeficiente do tanque, e E_{ca} é a evaporação do tanque classe A, em mm/dia.

Assim, para calcular a quantidade de água a ser introduzida no solo (I), que é igual à água evapotranspirada pela cultura (ET_c), substitui-se a equação 4 na equação 2 e obtém-se a estimativa de I através da relação:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o = K_c \cdot K_p \cdot E_{ca} = (K_{cb} + K_e) \cdot K_p \cdot E_{ca} \quad \text{Eq. 5}$$

De forma resumida podemos dizer que valores médios diários de evaporação do tanque (E_{ca}) podem ser obtidos através de consultas às bases de dados meteorológicos existentes como, por exemplo, a base de dados da Embrapa-CNPq (1997) ou de medições no próprio local.

O coeficiente K_p na equação 5 é função da cobertura do solo onde é instalado o tanque, da velocidade do vento e da umidade relativa média do ar. Para as condições de estufa, Prados *et al.* (1986) sugerem a utilização de K_p igual a 1.0. Tal premissa pode introduzir

um viés fazendo com que os valores de K_c sejam específicos para condições locais onde a estimativa da E_{to} está sendo feita.

Os coeficientes da cultura, K_c (Tabela 2), para culturas conduzidas sob proteção de plástico, foram adaptados para quatro períodos de desenvolvimento da cultura, ou seja, período inicial (i), período de crescimento rápido (ii), período de crescimento reduzido (iii) e período final (iv), respectivamente. A duração destes estádios varia com as condições climáticas, cultura e cultivares, e seus valores respectivos de K_c podem ser estimados a partir de três valores básicos deste coeficiente, a saber: coeficiente inicial (K_{ci}), coeficiente intermediário (K_{cm}) e coeficiente final (K_{cf}), conforme exemplificado na Figura

1, ou seja:

- K_{ci} para o período inicial (da sementeira ou transplante até cerca de 10% de cobertura do solo);
- K_{cm} , durante o período intermediário, desde que ocorreu a máxima cobertura do solo até o início do período final, próximo as últimas colheitas;
- K_{cf} , após a última colheita ou completa senescência da planta.

Como exemplo de cálculo da E_{tc} por este método, vamos considerar uma cultura de tomate durante a fase inicial, onde a evaporação acumulada desde o último dia em que foi feita irrigação é de 10 mm, ou seja, $E_{ca} = 10\text{mm}$.

Tabela 2. Coeficientes de cultura médios inicial, K_{ci} ; intermediário, K_{cm} ; e final, K_{cf} propostos para diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e solos irrigados freqüentemente (coeficiente de déficit hídrico do solo, $K_s = 1$) devendo ser ajustados para as condições climáticas prevalentes no local de instalação do tanque classe A.

Hortaliças	Valores do coeficiente de cultura					
	K_{cbi}	K_{ci}	K_{cbm}	K_{cm}	K_{cbf}	K_{cf}
Alface	0,15	0,50	1,00	1,10	0,90	1,00
Molão	0,15	0,30	1,00	1,10	0,90	1,00
Pepino	0,15	0,40	0,90	1,00	0,80	0,90
Pimentão	0,15	0,30	1,00	1,10	0,80	0,90
Tomate	0,15	0,40	1,00	1,10	0,70	0,80
Vagem	0,15	0,30	0,90	1,00	0,80	0,90

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1977), Wright, J.L. (1982), Allen *et al.* (1996).

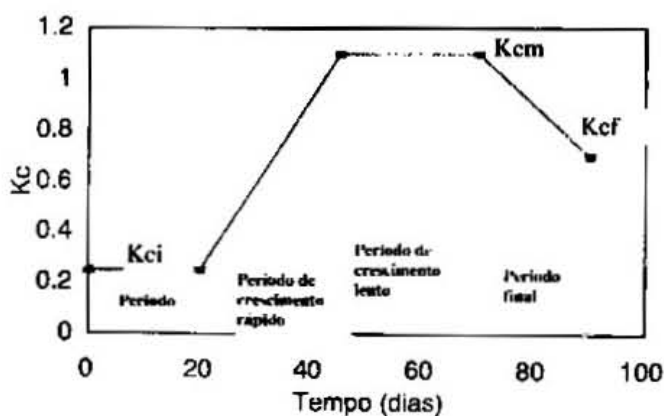


Figura 1. Exemplo de valores dos coeficientes culturais K_c e definição dos períodos vegetativos (Doorenbos e Pruitt, 1977) para uma cultura genérica.

As linhas laterais de gotejamento estão dispostas sobre a superfície do solo ($k_e > 0$) e as irrigações são feitas a cada dois dias. Para um valor de K_p unitário, através da tabela 2 obtemos o valor de $K_{ci} = K_{cbi} + K_e$ igual a 0,4 e a equação 5 pode ser calculada por:

$$E_{tc} = (K_{cb} + K_e) \cdot K_p \cdot E_{ca}$$

$$= (K_{cbi} + K_e) \cdot K_p \cdot E_{ca}$$

$$= 0,4 \times 1,0 \times 10\text{mm}$$

= 4,0 mm de água, a ser introduzida no solo através do evento irrigação.

Com este valor calculado pode-se, então, calcular o volume de água a ser aplicado através da equação 1.

Quantidade de água, I, a ser introduzida no solo, estimada a partir da umidade média do solo

Quando se avalia continuamente a tensão da água em um determinado solo com o auxílio de um equipamento como, por exemplo, dois tensiômetros localizados a 15 cm de profundidade e dois tensiômetros localizados a 30 cm de profundidade, dentro de uma área protegida, podemos considerar o valor a 15 cm como sendo um indicativo da umidade média do solo na profundidade de 0 a 30 cm. Assim, com o auxílio de uma curva de retenção de umidade que relaciona tensão e teor de umidade da água no solo, em cm^3 de água por cm^3 de solo (Oliveira, 1988), ao se estimar a tensão média da água nesta profundidade antes de uma irrigação, também se estará estimando o seu valor correspondente de umidade. Conhecidos os teores de argila e areia para o solo considerado (Tabela 1), tem-se uma estimativa do limite superior de água disponível, podendo-se estimar a demanda evaporativa ocorrida desde a última irrigação, como exemplificado a seguir:

Em uma área cultivada sob proteção de plástico, para uma tensão da água do solo antes da irrigação de 30 kPa, a 15 cm, e de 25 kPa a 30 cm, com o auxílio da curva de retenção de água do solo, obteve-se um correspondente teor de umidade de 31% a 15 cm. O solo é de textura franco-argilosa e o seu limite superior de água disponível é de 39% (Tabela 1). Pela diferença entre 0,39 (39%) e 0,31 (31%) obtém-se o valor da redução de 0,08 (8%) na umidade do solo devida à demanda evaporativa. Esse valor pode ser transformado em altura equivalente de água, simplesmente multiplicando 0,08 pela profundidade de irrigação desejada. Se essa profundidade for de 20 cm, teremos que $0,08 \times 20 \text{ cm}$ é igual a 1,6 cm ou 16 mm de demanda evaporativa, I, e poderemos calcular o volume de água V a ser aplicado, conforme descrito anteriormente, utilizando-se a equação 1.

Se necessário, faz-se um ajuste da quantidade de água a aplicar, baseado nas leituras diárias dos tensiômetros. Por exemplo, se após 24 horas do evento de irrigação a tensão de

umidade do solo a 15 cm de profundidade estiver acima da tensão média registrada (30 kPa), a quantidade de água a aplicar deverá ser aumentada. Por outro lado, se a tensão da água a 30 cm de profundidade estiver menor que 25 kPa, a quantidade de água poderá ser reduzida.

Quantidade de água, I, a ser introduzida no solo, estimada a partir de modelos semi-dinâmicos e dinâmicos do movimento da água no solo

Os modelos semi-dinâmicos simulam o movimento da água dentro de diversas camadas de solo na qual a zona das raízes é dividida. A água é transferida de uma camada de solo para outra no interior do solo em função do teor de água existente em cada uma e das suas propriedades físicas. Em cada camada o teor de água que excede o seu limite superior de água disponível é drenado para a camada subsequente. A redistribuição da água é estimada com base no fluxo não saturado de água no solo descrito através da equação de Darcy. A ET_c , via de regra, é calculada separando-a em seus componentes, ou seja transpiração da cultura e evaporação da superfície solo-planta. A evaporação pode ser calculada em um processo empírico de duas fases de secamento, conforme proposto por Ritchie (1972). A transpiração é extraída do perfil do solo em função da transpiração potencial, da distribuição ou densidade de raízes e da quantidade de água existente nas diversas camadas do solo.

Nos modelos de simulação dinâmicos a infiltração e redistribuição da água introduzida no solo são governadas por processos físicos que combinam a lei de Darcy com a equação de continuidade e resultam na conhecida equação de Richards que pode ser resolvida analiticamente somente para algumas condições iniciais e de contorno específicas (Oliveira *et al.*, 1987). A ET_c também é calculada pelo cálculo separado da transpiração e da evaporação da superfície solo-planta. A transpiração nestes modelos é calculada introduzindo-se um termo de extração (sink term) na equação de Richards cuja resolução é feita com o auxílio de métodos numéricos diversos (diferenças finitas e elementos finitos). Os princípios envolvidos e os diversos graus de aproximação utilizados na estimativa da

extração de água pelas raízes foram revisados por Molz (1981). Como a velocidade dos computadores tem crescido ultimamente e o seu custo de aquisição está cada vez mais reduzido, o balanço da água no solo já pode

ser calculado mais intensamente através destes modelos dinâmicos de simulação, além de poderem ser incorporados, inclusive, a modelos de crescimento vegetal e de transporte de solutos.

Aplicação de fertilizantes via água de irrigação (fertirrigação) em estufas

O ciclo diário de injeção de fertilizantes deve ser menor do que o ciclo diário de aplicação de água, para se evitar perdas desnecessárias de água e fertilizantes. Isto pode ser controlado pelo adequado dimensionamento e posicionamento do sistema injetor de fertilizantes. A localização do ponto de injeção de fertilizantes mais perto da área a ser fertirrigada reduz o tempo necessário para a solução atingir o solo.

Resíduos de fertilizantes nos gotejadores e linhas laterais do sistema de irrigação por gotejamento podem favorecer o desenvolvimento de colônias de fungos e bactérias e proporcionar o entupimento dos gotejadores, daí a necessidade de um período de lavagem do sistema. A injeção periódica de cloro e alguns tipos de ácidos podem ajudar a minimizar este tipo de problema.

A aplicação de fertilizantes fosfatados via água de irrigação, em geral, é a que pode apresentar maiores problemas quando comparada à aplicação de nitrogênio e potássio. Os problemas principais estão relacionados à baixa mobilidade do fósforo no solo em relação ao gotejador, devido à alta absorção em alguns tipos de solos (Taylor & Goubran, 1974), e entupimento de gotejadores, ocasionados por formação de fosfatos insolúveis de cálcio ou magnésio, quando é utilizada água com teores elevados de cálcio e magnésio (Grobbelaar & Lourens, 1974).

A partir de 1972, têm sido vendidas comercialmente misturas de fertilizantes solúveis contendo N, P e K. Tais misturas são preparadas de forma a reduzir os riscos de entupimento nos sistemas de gotejamento, com base na redução de pH da solução até um nível tal que a sedimentação de sólidos e o problema de entupimento é reduzido ou eliminado (Grobbelaar & Lourens, 1974).

São três os principais métodos utilizados para injeção de fertilizantes e outros produtos químicos no interior das tubulações por gotejamento: 1) sistema Venturi ou sucção por vácuo; 2) sistema diferencial de pressão ou tanque de injeção; e 3) bombas injetoras. Diversas partes e esquemas destes tipos de equipamentos podem ser encontrados em Burt et al. (1995) e Santos *et al.* (1997) e serão vistos resumidamente a seguir.

Sistema Venturi

O sistema de sucção por vácuo ou sistema Venturi é um dos mais utilizados atualmente nos cultivos protegidos, principalmente por proporcionar uma boa distribuição dos adubos ao longo do tempo, por permitir aplicação eficiente de pequenas quantidades de fertilizantes, e por apresentar custo relativamente baixo e fácil manejo. Quando a vazão de fluxo no Venturi é baixa ou se deseja reduzir as variações de fluxo nas linhas de irrigação deve-se usar uma pequena bomba "bypass", via de regra de baixo custo.

Sistema de diferencial de pressão ou do tanque

O tanque injetor de fertilizante é um sistema hermeticamente fechado e que por um diferencial de pressão, a água é forçada a passar pelo interior desse tanque que contém uma solução de nutrientes. Essa solução de nutrientes é então misturada e levada com a água de irrigação.

Este sistema de aplicação de químicos apresenta a grande desvantagem de proporcionar uma má distribuição dos adubos em curto tempo de aplicação de fertilizantes. É, portanto, recomendado para sistemas com ciclo diário de irrigação relativamente longo. Esse tempo deve ser no mínimo de uma hora de aplicação e com um diferencial de pressão, antes e após o tanque, de 100 kPa, para

permitir que cerca de 98% dos nutrientes do interior do tanque sejam distribuídos na água de irrigação.

Bombas injetoras

As bombas injetoras apresentam a melhor distribuição de químicos na água de irrigação, mas têm custo mais elevado. São acionadas por eletricidade ou combustível líquido (bombas de pistão e diafragma), pela água (bombas de diafragma) ou por um gás (bombas acionadas por gás nitrogênio). Devido à sua eficiência, proporcionando uma taxa de aplicação de fertilizantes praticamente constante, e devido a possibilidade de se trabalhar com baixa vazão estes tipos de bombas são altamente recomendáveis em cultivos protegidos.

Principais fontes de nutrientes utilizadas em fertirrigação

As adubações de cobertura no interior das estufas são realizadas através da fertirrigação. Para isso são utilizados fertilizantes comple-

tamente solúveis em água. Diversas formulações de adubos NPK, sólidos ou líquidos, estão disponíveis no mercado para uso através da água de irrigação. Fontes de nitrogênio, potássio e fósforo podem ser adquiridas separadamente, entretanto, cuidados devem ser observados ao se preparar misturas destes fertilizantes verificando se existe ou não compatibilidade entre os diversos produtos químicos a serem misturados (Figura 2).

As principais fontes de adubo nitrogenados para uso em cultivo protegido são: nitrato de cálcio (7% de N), nitrato de potássio (13%N), nitrato de amônia (33,5%N) e uréia (45% N).

As fontes de potássio mais usadas são sulfato de potássio (43%K), nitrato de potássio (36,5%K) e o fosfato monopotássico (28%K). O cloreto de potássio (50%K) deve ser usado com atenção, devido à presença do íon cloreto, que pode aumentar indesejavelmente a salinização no interior do solo das estufas.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1. Amônia anidra 82-0-0	2. Água Ammonia, 20-0-0	3. Solução (Sol.) de uréia; 23-0-0	4. Sol. de nitrato de amônio; AN20 20-0-0	5. Sol. de nitrato de amônio-uréia; UAN32 32-0-0	6. Sol. de amônia-uréia, 33-0-0	7. Sol. DI-NA; 18-0-0	8. Sol. de sulfato de amônio	9. Sol. de fosfato de amônio. 8-24-0	10. Sol. de polifosfato de amônio; 10-34-0	11. Sol. de polisulfeto de amônio; APS 20-0-40S	12. Sol. aqua-enxofre	13. Sol. de tiosulfato de amônio; Amthio 12-0-0-26S	14. N-pHURIC 28/27; 28-0-0-9S	15. N-pHURIC 15/49; 15-0-0-16S	16. N-pHURIC 10/55; 10-0-0-18S	17. Sol. de nitrato amônio e cálcio; 17-0-0-8,8Ca	18. Ácido nítrico	19. Ácido fosfórico (branco)	20. Ácido fosfórico (verde)	21. Ácido sulfúrico	22. Água	23. Ureia; 46-0-0	24. Nitrato de amônio; 34-0-0	25. Fosfato monoamônio; MAP 12-61-0	26. Fosfato diamônio; DAP 21-53-0	27. Nitrato de cálcio; 15,5-0-0-19Ca	28. Cloreto de potássio; 0-0-60

C Compatível
 (c) Compatibilidade limite
 I Incompatível
 Gera calor

Obs. Misturas compatíveis podem se tornar incompatíveis sob certas condições extremas de temperatura e pressão.

Figura 2. Tabela de compatibilidade entre produtos químicos diversos a serem utilizados via água de irrigação. (Adaptado de Burt, C.M. *et al.*, 1995, sob a cortesia da Unocal).

O fósforo pode também ser aplicado através da fertirrigação, principalmente se a água não for calcária, pois neste caso podem ocorrer precipitação no interior das tubulações, com o conseqüente entupimento dos gotejadores. As principais fontes de adubo fosfatado que podem ser usadas são o ácido fosfórico (%P variável) e o fosfato monopotássico (23%P). O MAP (61%P) e o DAP (53%P) também são usados. Uma outra fonte de fósforo para utilização na fertirrigação de estufas é o fosfato de uréia, mas com uso ainda limitado no Brasil.

As principais fontes de macronutrientes e as percentagem de nutrientes presentes neles são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Principais fontes de macronutrientes para uso em fertirrigação.

Fonte de Nutrição	Nitrogênio N	Fósforo P	Potássio K	Cálcio Ca	Magnésio Mg	Enxofre S
Nitrato de Amônia	33,5					
Nitrato de Cálcio	15,5			19		
Nitrato de Cálcio*	7			11		
Nitrato de Potássio	13		36,5			
Acido Nítrico	Variável					
Fosfato Monopotás-sico (MKP)	-	23	28			
Acido Fosfórico		variável				
Fosfato de Uréia	17,7	19,6				
Sulfato de Potássio						
Magnesiano			18,3		11	
Sulfato de Potássio			43			
Cloreto de Potássio			50			
Cloreto de Cálcio				36		
Sulfato de Magnésio					10	20
Acido Sulfúrico**					18	17

Notas: * - formulação líquida; P = 0,43 P₂O₅ e K = 0,83 K₂O
Fonte: Hochmuth (1991)

Recomendações de fertirrigação para algumas hortaliças cultivadas sob proteção de plástico ou PVC.

O sistema de produção em estufas requer bastante cuidado na parte nutricional das culturas, pois normalmente a taxa de crescimento das plantas é maior que a campo aberto e a necessidade de nutrientes portanto também é alterada durante o ciclo da cultura. Apesar de vários fatores afetarem a absorção de nutrientes pelas culturas, pode-se, na ausência de dados locais, utilizar sistemas práticos de adubação que devem ser ajustados para cada situação.

Tomate

A cultura do tomateiro é uma das mais cultivadas em sistemas protegidos no mundo. A sua necessidade de nutrientes está bem determinada e relatada na literatura especializada. Na Tabela 4, se encontra dados de absorção de NPK dessa cultura, onde pode ser visualizado que o tomateiro necessita relativamente de pequena quantidade de fósforo para o seu desenvolvimento. No entanto, os solos apresentam uma retenção de fósforo variável principalmente com o tipo de solo, e em alguns casos essa retenção é extremamente elevada. Desta maneira é recomendável fazer a calagem e a adubação fosfatada com base na análise química do solo, pois de uma maneira geral as

recomendações foram calibradas para esses diferentes tipos de solos.

As adubações nitrogenadas e potássicas do tomateiro podem ser realizadas seguindo as recomendações apresentadas na Tabela 4. Deve-se notar entretanto que essas quantidades são expressas em necessidades totais de nutrientes pela cultura. Deve-se portanto levar em consideração as quantidades adicionadas por outras fontes como os adubos orgânicos, como é o caso do esterco. Ou seja, essas quantidades devem ser ajustadas para cada local.

de potássio

- 285 g K - 37,7 g K = 247,3 g K
= 247,3 g K * 100 g (nit. K) / 36,5 g K -
677,5 g nitrato de potássio.

Adubação Nitrogenada - fonte nitrato de potássio (13%N) e nitrato de amônio(33.5% N)

Quantidade Total de N necessário para 666 plantas.

- 666 plantas * 0,089 g N /(pl. dia) * 2 dias =
118,5 g N

A quantidade de N a ser fornecido pelo nitrato de potássio

= 677,5 g nit. K * 13 g / 100g nit. K = 88 g N

- A quantidade de N a ser fornecido pelo nitrato de amônia.

= 118,5 g N - 88 g N = 30,5 g N * 100 g nit. amônio / 33,5 g N

= **91 g nitrato de Amônio**

Desta maneira no 52º dia deve ser fornecida a cultura do tomate naquelas condições predefinidas: 134,6 g de MKP; 677,5 g de nitrato de potássio e 91 g de nitrato de amônio.

Na Embrapa Hortaliças foi usado com sucesso o seguinte esquema de adubação do tomateiro: Para solos com nível médio de fertilidade aplicou-se 4 kg de esterco de gado curtido por m²; 7,5 g de N por planta durante todo o seu ciclo e em torno de 13 g/planta de K. Esta quantidade de adubo pode ser aplicada segundo o seguinte esquema:

- 1,88 g/planta de N e 1,88 de K dos 15 aos 35 dias após transplante.
- 3,75 g/planta de N e 3.75 de K dos 35 aos 70 dias após transplante.
- 1,88 g/planta de N e 7,5 de K dos 70 aos 112 dias após transplante.

A adubação fosfatada foi realizada segundo a análise química do solo, com a aplicação de dois terços da adubação fosfatada como adubação de base, e a aplicação de metade desse fósforo na forma de termofosfato. O restante foi aplicado em fertirrigação em quantidades iguais por aplicação.

No entanto em qualquer dos casos o produtor de tomate em sistema de cultivo

protegido deve estar atento ao que acontece com a parte nutricional de sua cultura. A quantidade de adubos nitrogenados, potássicos e fosfóricos, aplicadas em cobertura, devem ir sendo ajustadas para cada condição particular, de forma a não haver carência e/ou desbalanceamento nutricional que pode causar um mau desenvolvimento da planta, e alguns distúrbios fisiológicos como o "fundo preto" ou podridão estilar, que é causada por deficiência de cálcio.

Pepino

Para solos com nível médio de fertilidade deve-se aplicar em torno de 5 a 8 g de nitrogênio por planta, durante todo o seu ciclo, e de 10 a 15 g/planta de potássio. Na Embrapa-Hortaliças a aplicação de 7g/planta de nitrogênio e de 10 g/planta de potássio proporcionou produtividade muito boa (150 t/ha) do pepino em sistemas protegidos. Estas quantidades de adubo foram aplicadas segundo a Tabela 5.

A adubação fosfatada deve ser realizada segundo a análise química do solo. Recomenda-se a aplicação de dois terços da adubação fosfatada como adubação de base e o restante em fertirrigação.

Analogamente ao tomate, as quantidades de adubos em cobertura devem ser ajustadas para cada condição particular, de forma a não causar um mau desenvolvimento da planta, principalmente lesões nas folhas causadas por deficiência de potássio.

Pimentão

Para a cultura do pimentão, Lima e Tomazini (1996), recomendam a aplicação do seguinte esquema de fertirrigação, em quantidades expressas por estufas de 400 m², diluídas em 20 litros de água aplicados a cada nove dias:

- Nitrato de potássio 450 g, começando no dia 1 (transplante);
- Sulfato de potássio também 450 g, começando no dia 4;
- Fosfato monoamônio (MAP) 450 g começando no dia 7;
- Ácido fosfórico na proporção de 220ml por estufa a cada 30 dias; e

Tabela 5. Doses de nitrogênio e potássio em gramas por 100 plantas para a cultura de pepino, após o transplante.

DIAS APÓS TRANSPLANTE	QUANTIDADE DE NUTRIENTES EM GRAMAS / 100 PLANTAS	
	NITROGÊNIO	POTÁSSIO
14	14,5	18,5
21	16,5	28,5
28	25,5	41,0
35	34,6	53,6
42	42,6	66,2
49	52,7	78,8
56	61,8	91,5
63	70,9	104,1
70	79,9	116,3
77	90,1	129,4
84	98,0	142,1
91	107,1	154,7

- 100 g de sulfato de magnésio aos 60 dias, 100 g aos 90 dias e 75 g a cada 20 dias após.

No entanto, para a cultura do pimentão, pode ser usado o mesmo esquema de cálculo utilizado para a cultura do tomateiro visando

estimar as quantidades de adubos a ser aplicadas em fertirrigação, utilizando para isto os dados da Tabela 6. Deve-se observar que se as plantas continuarem em franca produção, próximo ao final do seu ciclo, é recomendável manter os níveis de fertilização, e adequando-os até que ocorra o declínio da produção.

Tabela 6 . Absorção de nutrientes pela cultura de pimentão, para diferentes períodos em dias após o plantio, d.a.p.

Período d.a.p.	grama por planta por dia			% P Total
	N	P	K	
1-10	0,004	0,000	0,004	0,00
11-20	0,018	0,004	0,032	0,20
21-30	0,054	0,004	0,045	0,20
31-40	0,057	0,007	0,045	0,39
41-50	0,061	0,009	0,089	0,49
51-60	0,057	0,013	0,161	0,69
61-70	0,061	0,016	0,179	0,89
71-80	0,093	0,013	0,161	0,69
81-90	0,100	0,013	0,125	0,69
91-100	0,089	0,013	0,179	0,69
101-110	0,089	0,009	0,196	0,49
111-120	0,054	0,009	0,107	0,49
121-130	0,000	0,004	0,000	0,20

Fonte: Bar-Yosef (1991)

Referências Bibliográficas

- ALLEN, R.G.; SMITH, M.; PEREIRA, L.S.; PRUITT, W. O. Modifications to the FAO crop coefficient approach. In: CAMP, C.R.; SADLER, E.J.; YODER R.E. (Eds). *Evapotranspiration and irrigation scheduling: Proceedings of the International Conference*. San Antonio: ASAE, 1996. p.124-132.
- BAR-YOSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE D.A. ED. *Fluid Fertilizer Science and Technology*, Marcel Dekker, New York: 1991. 633 p.
- BURT, C.M.; O'CONNOR, K.; RUEHR, T. Fertilization. San Luis Obispo: California Polytechnic State University-ITRC, 1995. 295p.
- CERMENO, Z.S. Estufas: Instalação e manejo. Lisboa: Litexa. 1977 p.204-216.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements, Rome: FAO, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage paper, 24)
- EMBRAPA-CNPB (Brasília-DF). Banco de dados meteorológicos do CNPH. Disponível site EMBRAPA (01 Fev 1997) URL: <http://www.cnptia.embrapa.br/bases/>. Consultado em 17 de julho. 1997.
- GROBBELAAR, H.L.; LOURENS, F. Fertilizer applications with drip irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, San Diego. Proceedings... California: UC/USDA. 1974. p.411-415.
- LETEY, J. Relationship between salinity and efficient water use. *Irrigation Science*. v.14, p.75-84. 1993.
- LIMA, J.A.; TOMAZINI, N. Manejo e adubação de solo sob plasticultura. Brasília: EMBRAPA-CNPB, 1995. Não paginado. Não publicado.
- HOCHMUTH, G.J. Fertilizer management for greenhouse vegetables. In: UNIVERSITY OF FLORIDA. *Greenhouse vegetable production handbook*. Gainesville: University of Florida-Cooperative Extension Service, 1991. 15p.(Circular SP 48, v.3)
- JENSEN, M.E.; BURMAN, R.D.; ALLEN, R.G. (Ed.). *Evapotranspiration and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1990. 360p. (Manuals and Reports on Engineering Practices, 70)
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R.; SILVA, W.L.C. Manejo da irrigação em hortaliças. 5.ed. Brasília: EMBRAPA-SPI. 1996.
- MOLZ, F.J. Models of water transport in the soil-plant-system: a review. *Water Resources Research*. v.17, p.1245-1260, 1981.
- OLIVEIRA, C.A. da S. Determinação da condutividade hidráulica e da curva de retenção de água no solo com um método simples de campo. Brasília: EMBRAPA-CNPB, 1988. 11p. (Circular Técnica, 6)
- OLIVEIRA, C.A. da S.; BERNARDO, S.; FERREIRA, P.A.; VIEIRA, M. Características hidráulicas de gotejadores. *Revista Ceres*, Viçosa, v.26, n.146, p.352-359, 1979.
- OLIVEIRA, C.A. da S.; CARRIJO, O.A.; SILVA, W.L.C. *Irrigação em algumas olerícolas*. Brasília: EMBRAPA-CNPB. 1980. Curso de Reciclagem de Coordenadores Regionais de Olericultura, Brasília, 1980. 29p.
- OLIVEIRA, C.A. da S.; HANKS, R.J.; SHANI, U. Infiltration and runoff as affected by pitting, mulch and sprinkler irrigation. *Irrigation Science*, v.8, p.49-64, 1987.
- PRADOS, N.C.; CAMACHO, J.J.M.; CASTILLO, F.B.; GONZÁLES, M.J.; GUTIERREZ DE RAVÉ, E.; RAYA, A.M.; CASTIEL, E.F. *Necessidades de riego en los invernaderos de Almeria*. Provincia de Almeria: Caja Rural, 1986.
- RITCHIE, J.T. A model for predicting evapo

-
- ration from a row crop with incomplete cover. **Water Resources Research**, v.8, p.1204-1215, 1972.
- ROSA, J.A. Efeito da lâmina de água sobre a produção de pimentão amarelo em estufa plástica. **Horticultura Brasileira**, v.13, n.1, p.110, maio 1995. Resumo.
- SANTOS J.S.S.; MIRANDA, F.R.; OLIVEIRA, V.H.; SAUNDERS, L.C.U. Irrigação localizada (microirrigação). Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT/SEBRAE-CE, 1997. 48p.
- SAXTON, K.E.; RAWLS, W.J.; ROMBERGER, J.S.; PAPENDICK, R.I. Estimating generalized soil-water characteristics from texture. **Soil Science American Journal**, v.50, p.1031-1036, 1986.
- SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.1, p. 1-12, 1996.
- TAYLOR, B.K.; GOUBRAN, F.G. Effects of localized phosphate treatments and solution pH on the growth and function of apple roots. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, San Diego. Proceedings... California: UC/USDA, 1974. p.395-404.
- WRIGHT, J.L. New evaporation crop coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v.108, p. 57-74, 1982.