

32

**Circular
Técnica**

Brasília, DF
Outubro, 2004

Autores

Osmar Alves Carrijo
Eng. Agrônomo, Ph.D.,
Pesq. da Embrapa Hortaliças,
Caixa Postal 218, 70359-970,
Brasília - DF - Fone: 61 3859060
E-mail: carrijo@cnph.embrapa.br

Ronessa Bartolomeu de Souza
Eng. Agrônoma, D.Sc.,
Pesq. da Embrapa Hortaliças,
E-mail: ronessa@cnph.embrapa.br

Waldir Aparecido Marouelli
Eng. Agrícola, Ph.D.,
Pesq. da Embrapa Hortaliças,
E-mail: waldir@cnph.embrapa.br

Romério José de Andrade
Eng. Agrônomo,
Extensionista, EMATER-DF,
E-mail: romerio@cnph.embrapa.br

Embrapa

FERTIRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS

1. INTRODUÇÃO

As hortaliças têm um valor de produção maior que o de muitas culturas tradicionais do Brasil, atingindo cerca de 2,5 milhões de dólares em 2002, com uma produção de 15 milhões de toneladas de alimentos numa área de pouco mais de 807 mil hectares. A produtividade das hortaliças está diretamente relacionada com diversos aspectos, incluindo fitossanidade, umidade do solo e os teores de nutrientes disponíveis para a planta, quer seja oriundo da fertilidade natural do solo quer resultante da adição de fertilizantes. A adubação das hortaliças é geralmente realizada por meio da aplicação dos fertilizantes menos solúveis e parte dos solúveis em pré-plantio e o restante em coberturas ao longo do ciclo da cultura. Com o incremento do uso de sistemas de irrigação pressurizados, como o gotejamento, a fertirrigação assume papel primordial como fator de aumento de produtividade e redução do custo de produção.

A fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes juntamente com a água de irrigação visando fornecer as quantidades de nutrientes requeridas pela cultura no momento adequado para obtenção de altos rendimentos e produtos de qualidade. Por meio da fertirrigação, há possibilidade de um ajuste mais eficiente às diferentes fases fenológicas das culturas redundando em maior eficiência de uso e economia de fertilizantes. Além disso, a fertirrigação permite flexibilidade de mudanças nas relações entre nutrientes; distribuição e localização dos adubos onde ocorre maior densidade de raízes; possibilidade de controle da profundidade de aplicação do adubo, levando a menor perda de nutrientes por lixiviação e menor perda de nitrogênio por volatilização, uma vez que os fertilizantes estão dissolvidos em água; menor compactação do solo devido ao menor trânsito de máquinas; economia de mão de obra e comodidade na aplicação.

Neste trabalho será descrito um método de recomendação de adubação para algumas hortaliças, com ênfase na fertirrigação, principalmente por gotejamento, baseado nos resultados da análise do solo e na produtividade desejada, com o parcelamento sendo realizado de acordo com a curva de absorção de nutrientes pelas diferentes culturas.

2. ASPECTOS GERAIS DA ADUBAÇÃO DE PLANTAS

Para o desenvolvimento normal, as plantas necessitam de 16 elementos, dos quais 13 são nutrientes minerais. De acordo com as quantidades requeridas, esses minerais são classificados em macro e micronutrientes. Os macronutrientes são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), enquanto os micronutrientes são: boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e

zinco (Zn). Além dos macro e micronutrientes minerais, a planta necessita do carbono (C), do hidrogênio (H) e do oxigênio (O) que são providos pelo ar e pela água.

Os nutrientes mais utilizados via fertirrigação são aqueles com maior mobilidade no solo, como o K e o N. No entanto, a fertirrigação com P e Ca, principalmente via gotejamento e em solos com baixos a médios teores destes nutrientes, pode proporcionar melhor rendimento das culturas.

Para os nutrientes que apresentam forte interação com a matriz do solo como fósforo e zinco e que se movimentam predominantemente por difusão, a fertirrigação por gotejamento aumenta a eficiência da adubação, principalmente em solos arenosos, porque concentra o fertilizante na região de maior umidade e maior densidade de raízes. Por saturar os sítios de ligação, propicia maior disponibilidade do nutriente para absorção pela planta e favorece sua movimentação no solo.

O nitrogênio está presente na constituição de diversas moléculas de ação biológica tais como ácidos nucleicos, aminoácidos e proteínas, desempenhando papel fundamental no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo talvez o elemento de maior influência na produção das culturas. A carência de nitrogênio reduz o crescimento e provoca clorose das folhas mais velhas, que podem até secar se a deficiência permanecer por longo tempo. Em períodos quentes e de alta luminosidade, a quantidade de N pode ser aumentada para possibilitar um contínuo crescimento e maximizar a produção de frutos. No entanto, o excesso de N em hortaliças de frutos provoca um vigoroso crescimento vegetativo em detrimento da produção de frutos, intensifica a coloração verde, afeta

negativamente a qualidade do fruto e faz com que as plantas fiquem mais suscetíveis ao ataque de insetos-praga e doenças.

As principais fontes de adubos nitrogenados para uso na fertirrigação das hortaliças são o nitrato de cálcio (14 a 15,5% N), o nitrato de potássio (13% N), o nitrato de amônio (34% N) a uréia (45% N), o MAP purificado (11% N), o DAP (16% N) e o sulfato de amônio (21% N).

No início do ciclo da cultura, devem-se usar formas amoniacais, que são melhor aproveitadas por plantas jovens, ou amídicas, que são transformadas no solo para amônio, como o MAP e a uréia. A partir de um certo período, com o início do florescimento, as formas nítricas são mais prontamente absorvidas e translocadas para a parte aérea da planta. Assim, considerando os aspectos custos, lixiviação e volatilização, é recomendável que a partir do máximo desenvolvimento vegetativo ou do início da floração haja um balanço entre as formas nítrica e amídica ou amoniacal, podendo-se aplicar uma combinação de 30 a 65% do N na forma nítrica e o restante na forma amídica (uréia), que é o fertilizante de menor custo por unidade de N.

O potássio (K) age como catalisador de algumas reações enzimáticas, e está envolvido com a turgidez das células, abertura e fechamento dos estômatos, e no processo de síntese, acumulação e transporte de carboidratos. Plantas com deficiência de K produzem frutos de pior qualidade, com menor teor de sólidos solúveis e mais azedos, com maturação desuniforme, ocos e com manchas esverdeadas na parte basal, o que também prejudica a maturação. Teores adequados de K na planta podem aumentar a resistência ao armazenamento pós-colheita.

As fontes de K mais usadas para as hortaliças são o cloreto de potássio (50% K), o nitrato de potássio (36% K), o sulfato de potássio

(41% K) e o fosfato monopotássico (28% K). O cloreto e o sulfato devem ser evitados em solos salinos ou em solos submetidos a condições favoráveis à salinização, como no cultivo em casas de vegetação.

O fósforo (P) desempenha papel fundamental nos processos energéticos das plantas e está presente nos compostos que constituem as substâncias responsáveis pela transmissão do código genético das células (DNA e RNA). A carência de fósforo reduz o crescimento, principalmente após a emissão das folhas novas. Os sintomas de sua deficiência aparecem primeiro nas folhas mais velhas, que apresentam coloração arroxeada, iniciando-se nas nervuras. O excesso afeta a assimilação do nitrogênio, tornando o tecido duro e quebradiço, e diminui o crescimento da planta, provavelmente por afetar a absorção de Zn, Fe e Cu.

Todo o P é geralmente aplicado no plantio na forma de formulações NPK. No entanto, resultados de pesquisa têm demonstrado que a aplicação de uma parte do fósforo em fertirrigação, por gotejamento, na forma P solúvel, pode aumentar significativamente a produtividade, comparativamente à aplicação de 100% do P em pré-plantio. Todavia, a fertirrigação com P em água salobra ou em mistura com Ca e Mg provoca precipitações de sais no interior das tubulações e o entupimento dos gotejadores. As principais fontes de fósforo para a fertirrigação de hortaliças são o ácido fosfórico (22 a 32% P), o fosfato monopotássico (MKP-23% P), o fosfato monoamônico purificado (MAP-26% P) e o fosfato diamônico (DAP-16% P).

O cálcio é absorvido em grandes quantidades pela maioria das hortaliças em que os frutos são os produtos comerciais. É responsável pelo bom desenvolvimento radicular e fortalecimento da parede celular. O suprimento de cálcio e magnésio às plantas é, normalmente, realizado por meio da calagem, com a aplicação de calcário dolomítico ou

calcítico, ou por ocasião do plantio, usando fertilizantes contendo tais elementos. A fertirrigação com cálcio (Ca) a partir do florescimento é uma prática usada na irrigação por gotejamento do tomate de mesa, pimentão e cucurbitáceas para diminuir a ocorrência de podridão apical. A aplicação de Ca em fertirrigação por gotejamento é uma prática também bastante usada em folhosas como a alface, principalmente, na fase de máximo desenvolvimento da cultura, evitando o “coração negro” e queima de bordas foliares. Recomenda-se aplicar de 70 a 120 kg ha⁻¹ de Ca na água de irrigação para estas culturas. As fontes mais comuns são o nitrato de cálcio (20% Ca) e o cloreto de cálcio (24% Ca), sendo o cloreto a fonte de Ca de menor custo. A aplicação de Ca, no entanto, pode acarretar problemas de entupimento de gotejadores, não devendo ser realizada no mesmo dia de qualquer fonte de sulfato, nitrato ou fosfato. Para suprimento de Mg, quando necessário, a fonte mais usada é o sulfato de magnésio (13% Mg).

As adubações pós-plantio das hortaliças irrigadas por gotejamento e aspersão devem ser realizadas preferencialmente por meio da fertirrigação. Neste caso, as fontes de nutrientes devem ser completamente solúveis. Diversas formulações de adubos NPK, sólidos ou líquidos, estão disponíveis no mercado para aplicação via água de irrigação. Todavia, fontes sólidas com elemento simples devem ser preferidas em razão do menor custo e pelo fato de haverem necessidades variáveis ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

3. NECESSIDADE TOTAL DE NUTRIENTES

Determinações das necessidades totais de adubação P e K têm sido realizadas individualmente a partir de tabela de

recomendações de adubação existentes para regiões e/ou Estados do Brasil em função da análise do solo, e/ou de informações sobre extração total de nutrientes pela cultura ou da prática do produtor. Todavia, um bom método de recomendação de adubação para fins de fertirrigação deve levar em consideração as necessidades totais da planta, a disponibilidade de nutrientes no solo e a produtividade almejada, tendo sempre em mente a filosofia de restituição dos nutrientes para manutenção da fertilidade natural do solo.

A seguir, é apresentado um procedimento para o cálculo da necessidade total de nutrientes para algumas hortaliças, conforme as etapas: a) estabelecimento do nível de segurança a ser mantido no solo; b) cálculo da disponibilidade inicial de nutrientes no solo; e c) cálculo da necessidade total de nutrientes a serem fornecidos à cultura.

3.1. Nível de segurança

Nível de segurança é a fertilidade mínima que se pretende manter no solo ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Na Tabela 1 são apresentadas faixas dos níveis de segurança dos nutrientes P e K no solo para hortaliças. Para o P, sugere-se como adequado o valor inferior da referida faixa, sendo 32, 48 e 80 mg dm⁻³ de P para solos argilosos (> 35% de argila), textura média (15 a 35%) e arenosos (< 15%), respectivamente. No caso do K, sugere-se como teor adequado o valor médio de 115 mg dm⁻³ de K.

No caso do nitrogênio, em que não há um método confiável para a determinação do N disponível no solo, a recomendação da adubação nitrogenada será baseada na metodologia que leva em consideração a produtividade da cultura, conforme descrito no item 3.4.

3.2. Disponibilidade inicial de P e K no solo

A disponibilidade inicial de nutrientes no solo para as culturas varia em função da profundidade explorada pelo sistema radicular, da fração de área molhada e do teor inicial do nutriente no solo. A disponibilidade real de nutrientes para as plantas é diretamente proporcional à área explorada pelas raízes, e esta depende da fração de área molhada (Am) e deve ser avaliada para cada condição local. No gotejamento, pode ser estimada usando a equação: $Am = W / d_L$ onde: d_L é a distância entre as linhas de emissores e W é a largura da faixa ou do diâmetro molhado a 10 cm de profundidade. Como orientação, a maioria dos solos agrícolas irrigados por gotejamento tem o valor de $W = 0,2 - 0,3$ m para solos arenosos, de $0,5 - 0,7$ m para solos de textura média e $0,8 - 1,0$ m para solos argilosos. Na aspersão e sulcos, 100% da área é molhada, ou seja, $Am = 1,0$.

A disponibilidade inicial de nutrientes por unidade de área (A) em relação ao nível de segurança pode ser calculada usando a seguinte equação:

$$DI_{P \text{ ou } K} = 10 \cdot (T_i - T_s) \cdot Z \cdot Am \quad (1)$$

Em que:

$DI_{P \text{ ou } K}$ = disponibilidade inicial de P ou K em kg ha⁻¹;

T_i = teor inicial de nutriente no solo fornecido pela análise química na camada a ser explorada pelo sistema radicular ($g \text{ m}^{-3} = mg \text{ dm}^{-3}$);

T_s = nível de segurança do nutriente no solo, obtido da Tabela 2 ($g \text{ m}^{-3}$);

Z = profundidade efetiva do sistema radicular ou perfil do solo considerado (m);

Am = fração de área molhada (decimal).

3.3. Cálculo da necessidade total de P e K

A necessidade total de P e K é obtida considerando a disponibilidade inicial do nutriente no solo, a quantidade de fertilizantes necessária para produzir o dossel vegetativo e frutos se for o caso e, a produtividade desejada, da seguinte forma:

$$NT_{P\text{ ou }K} = (ND_{P\text{ ou }K} + Q_{P\text{ ou }K} \cdot Pr) - DI_{P\text{ ou }K} \quad (2)$$

Em que:

$NT_{P\text{ ou }K}$ = necessidade total do nutriente P ou K a ser aplicada em adubação (kg ha^{-1});

$ND_{P\text{ ou }K}$ = necessidade de P ou K para produzir o dossel vegetativo (kg ha^{-1} , [Tabelas 2 e 3](#));

$Q_{P\text{ ou }K}$ = quantidade de P ou K necessária para produzir uma tonelada de frutos (kg t^{-1}) ou, no caso de alface, em kg t^{-1} de parte aérea;

Pr = produtividade desejada em t ha^{-1} ;

$DI_{P\text{ ou }K}$ = disponibilidade inicial de P ou K em kg ha^{-1} .

A adsorção de P nos solos tropicais é maior que nos solos subtropicais por causa das características mineralógicas desses solos, cuja fração argila é constituída predominantemente por caulinita e óxidos de ferro e alumínio. Estes minerais ocorrem principalmente em regiões de altas precipitações e altas temperaturas; dessa maneira, a eficiência de aplicação de P é menor nos solos tropicais, como os do Brasil. No caso de P, a recomendação deve variar também com a capacidade tampão de fosfatos do solo. Recomenda-se corrigir a quantidade de P multiplicando-se por 0,8; 1,0; 1,25 e 1,50 para solos arenosos (< 15% argila), solos de textura média (15-35% argila), argilosos (35 –60% argila) e muito argilosos (> 60% de argila), respectivamente. A eficiência de aplicação de P em fertirrigação é também dependente do sistema de irrigação a ser utilizado. Para o gotejamento, foi

desenvolvida a [Tabela 2](#), onde a necessidade de P para formação do dossel vegetativo (ND_P) e a quantidade de P para produzir uma tonelada de frutos (Q_P) podem ser determinadas levando-se em consideração a textura do solo. Em aspersão a fertirrigação com P não é recomendável devido a alta fixação deste nutriente e conseqüentemente a elevada quantidade de adubo necessária, uma vez que a fertirrigação neste caso é realizada na área total.

Para o cálculo da adubação potássica, considerando a eficiência de aplicação e do sistema de irrigação, recomenda-se a utilização dos coeficientes (Q_K e ND_K) apresentados na [Tabela 3](#).

Quando a quantidade total de P e K ($NT_{P\text{ ou }K}$) calculada pelos procedimentos acima for menor que 42 kg ha^{-1} de K (@ 50 kg ha^{-1} de K_2O) e 22, 32 e 43 kg ha^{-1} de P (@ 50, 75, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5) para solos arenosos, médios e argilosos, respectivamente, recomenda-se a aplicação destas quantidades como o mínimo de suprimento para as plantas. No caso do tomateiro de mesa, estas quantidades devem ser duplicadas devido a sua maior exigência.

3.4. Cálculo da necessidade total de N

A recomendação da adubação nitrogenada pode ser determinada em função da necessidade do nutriente para produção do dossel vegetativo e para obtenção da produtividade almejada. Desta maneira, são apresentados na [tabela 3](#) os valores da necessidade de N para a produção do dossel vegetativo e uma tonelada de frutos, já corrigidos pela eficiência de aplicação e de irrigação. Assim:

$$NT_N = (ND_N + Q_N \cdot Pr) \quad (3)$$

Em que:

NT_N = necessidade total de N a ser aplicado em adubação ($kg\ ha^{-1}$);

ND_N = necessidade de N para produzir o dossel vegetativo ($kg\ ha^{-1}$);

Q_N = quantidade de N necessária para produzir uma tonelada de frutos ($kg\ t^{-1}$), ou, no caso de alface, em $kg\ t^{-1}$ de parte aérea;

Pr = produtividade desejada em $t\ ha^{-1}$.

Em solos ricos em matéria orgânica e altos teores de N, caracterizados por vigoroso desenvolvimento vegetativo das culturas e folhagem cor verde escuro, deve-se diminuir a quantidade de N a ser aplicada.

3.5. Necessidade total de micronutrientes

Para solos naturalmente pobres em micronutrientes ou que não foram adubados com estes nutrientes nos últimos anos, recomenda-se aplicar, por hectare, em pré-plantio, 15 kg de sulfato de zinco, 10 kg de bórax, 10 kg de sulfato de cobre e 0,5 kg de molibdato de amônio. O ferro e o manganês geralmente estão presentes em quantidades adequadas nos solos brasileiros.

3.6. Exemplo de cálculo

Calcular as necessidades totais de fertilização (NPK) a serem aplicadas na água de irrigação, por gotejamento, para a cultura do pimentão sob cultivo protegido. O solo é de textura média cuja análise química apresentou os teores iniciais de $P = 20\ mg\ dm^{-3}$ e $K = 180\ mg\ dm^{-3}$. A profundidade efetiva do sistema radicular do pimentão foi considerada igual a 40 cm. O espaçamento da cultura será de $0,5 \times 1\ m$. O solo é de baixa fertilidade natural. A produtividade que se pretende alcançar é de $120\ t\ ha^{-1}$. Considerar uma fração de área molhada (Am) no gotejamento de 0,55.

a) Estabelecimento dos níveis de segurança

Os níveis de segurança T_s que se pretendem manter no solo de textura média, obtidos na Tabela 1, são: $P = 48\ mg\ dm^{-3}$ e $K = 115\ mg\ dm^{-3}$.

b) Cálculo da disponibilidade inicial de P e K no solo

Para se determinar a disponibilidade inicial de nutrientes P e K no solo cujo sistema radicular da planta aprofunda-se em média 0,40 m, usa-se a equação (1):

Para o caso do P, tem-se $T_i = 20\ mg\ dm^{-3}$ (análise do solo), então:

$$DIP = 10 \cdot (T_i - T_s) \cdot Z \cdot Am$$

$$DI_p = 10 \times (20 - 48)\ mg\ dm^{-3} \times 0,40\ m \times 0,55 = -62\ kg\ ha^{-1}\ de\ P$$

O valor negativo obtido indica que o teor de P no solo está abaixo do nível de segurança.

Para o caso do K, tem-se $T_i = 180\ mg\ dm^{-3}$ (análise do solo), então:

$$DIP = 10 \cdot (T_i - T_s) \cdot Z \cdot Am$$

$$DI_k = 10 \times (180 - 115)\ mg\ dm^{-3} \times 0,40\ m \times 0,55 = 143\ kg\ ha^{-1}\ de\ K$$

c) Cálculo da necessidade total de P e K

A quantidade de P e K necessária para formação do dossel vegetativo e para cada tonelada de fruto é: para o fósforo, $33\ kg\ ha^{-1}$ e $1,7\ kg\ t^{-1}$ de P (Tabela 2), e para o potássio, $106\ kg\ ha^{-1}$ e $2,2\ kg\ t^{-1}$ de K (Tabela 3). Desta maneira, usando a equação (2), tem-se:

Necessidade de P:

$$NT_p = (ND_p + Q_p \cdot Pr) - DI_p$$

$$NT_p = (33 + 1,7 \times 120) - (-62) = 299\ kg\ ha^{-1}\ de\ P$$

Para transformar P em P_2O_5 , dividir a quantidade obtida em P por 0,43. Então:

$$NT_{P_{2O_5}} = 299 / 0,43 = \mathbf{695 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } P_2O_5}$$

Necessidade de K:

$$NT_K = (ND_K + Q_K \cdot Pr) - DI_K$$

$$NT_K = (106 + 2,2 \times 120) - 143 = \mathbf{227 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de K}}$$

Para transformar K em K_2O , dividir por 0,83, então:

$$N_{K_{2O}} = 227 / 0,83 = \mathbf{273 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de } K_2O}$$

d) Cálculo da necessidade de N

A quantidade de N necessária para formação do dossel vegetativo e para cada tonelada de fruto é respectivamente 110 kg ha^{-1} e $2,5 \text{ kg t}^{-1}$ de N ([Tabela 3](#)). Usando a equação (3), tem-se:

Necessidade de N:

$$NT_N = (ND_N + Q_N \cdot Pr)$$

$$NT_N = (110 + 2,5 \times 120) = \mathbf{410 \text{ kg ha}^{-1} \text{ de N}}$$

Desta forma, recomenda-se a aplicação total de 410 kg ha^{-1} de N, de 695 kg ha^{-1} de P_2O_5 e de 273 kg ha^{-1} de K_2O . As quantidades totais calculadas devem ser parceladas ao longo do ciclo da cultura conforme indicado a seguir.

4. Manejo da Fertirrigação

As necessidades de nutrientes calculadas no item anterior são as quantidades totais a serem aplicadas como adubação de base e em fertirrigação para se obter a produtividade esperada. Como adubação de pré-plantio, deve ser aplicada uma fração da quantidade total suficiente para criar uma concentração inicial de nutrientes na solução do solo adequada para o desenvolvimento inicial da cultura. Recomenda-se aplicar em pré-plantio

entre 10 e 20% da adubação com N e K e entre 40% e 60% do P. Para solos de baixa fertilidade, deve-se aumentar a quantidade de P e K em pré-plantio.

Na adubação de base podem-se aplicar fertilizantes menos solúveis e/ou mais baratos, como o sulfato de amônio, cloreto de potássio, superfosfato e termofosfato enriquecido com micronutrientes.

A taxa de absorção diária de nutrientes pela planta para máximo rendimento e obtenção de uma produção de qualidade é específica para a cultura, sendo variável ao longo do ciclo e dependente das condições climáticas e produtividade a ser alcançada. A marcha de absorção de nutrientes da cultura é uma ferramenta muito útil para se proceder ao parcelamento de nutrientes ao longo do ciclo da cultura. Para algumas hortaliças, são apresentadas nas [Tabelas 4 a 6](#) as marchas de absorção dos nutrientes N, P e K, em percentuais do total a ser aplicado semanalmente, as quais podem ser utilizadas para realizar o parcelamento destes nutrientes via fertirrigação.

A título de ilustração, para a segunda semana da cultura:

- considerando os dados do exemplo de cálculo (item 3.6),
- utilizando a curva de absorção da tabela 5,
- aplicando 80% do N e K e 40% do P em fertirrigação, tem-se:

para o N, $1,05/100 \times 410 \times 0,80 = 3,4 \text{ kg ha}^{-1}$; para o P, $1,47/100 \times (695 \times 0,40) = 4,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e para o K, $0,91/100 \times 273 \times 0,80 = 2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O .

Usando este procedimento para todo o ciclo da cultura, foram calculadas as quantidades de NPK a serem aplicadas semanalmente na cultura do pimentão, e os dados estão apresentados na [Tabela 7](#).

A análise foliar é muito útil e eficiente para diagnosticar deficiências de nutrientes antes do surgimento dos sintomas visuais, pois quando os sintomas aparecem, a produção já está prejudicada. A análise foliar é adequada para o correto manejo da fertirrigação principalmente com micronutrientes. Na ausência da análise foliar, para prevenir carência durante o desenvolvimento da cultura, pode-se fazer aplicação de um coquetel de micronutrientes em fertirrigação (Tabela 8), utilizando semanalmente 0,1 mL m⁻². Em sistemas por aspersão não se recomenda utilizar micronutrientes em fertirrigação pois em área total, a eficiência de aplicação desses nutrientes é muito baixa, especialmente o Zinco.

4.1. Precauções na Fertirrigação

Quando se faz a fertirrigação tem-se que tomar cuidados extras para se evitar os casos específicos de entupimentos. É necessário portanto se proceder uma filtragem da solução após a injeção do fertilizante, principalmente na irrigação localizada, microaspersão e gotejamento. Neste caso, pode-se usar filtros de tela ou de disco que são mais baratos e fáceis de se usar.

A prática da fertirrigação foi desenvolvida e é mais usada em sistemas pressurizados, neste caso pode-se usar uma regra prática para se determinar o tempo de aplicação do fertilizante que é baseado no tempo total de irrigação. Um quarto do tempo é usado para a pressurização do sistema, nos dois quartos seguintes é realizada a fertirrigação propriamente dita e o quarto restante é aplicado água pura para a lavagem de todo o sistema de irrigação.

A frequência da fertirrigação é dependente do sistema de irrigação, do tipo de solo, da capacidade do sistema, da mão de obra disponível e da preferência do produtor.

Normalmente em aspersão usa-se espaçar a aplicação dos fertilizantes em semanas ou até mais dias. No entanto, na fertirrigação por gotejamento é bem mais frequente e pode ser igual à frequência de irrigação como nos sistemas automatizados ou frequências fixas para não interferir tanto com as outras práticas na propriedade. Alta frequência e pequena quantidade de fertilizantes, reduz perdas por lixiviação e mantém uma ótima concentração de nutrientes na zona radicular.

No comércio existe uma infinidade de formulações diferentes e já prontas para serem usadas. Apresentam a vantagem de já estarem balanceadas mas são de forma geral bem mais caras.

4.2. Salinização

O processo de salinização é mais comum em regiões de clima árido e semi-árido, em razão de as águas apresentarem, via de regra, maiores teores de sais e dos baixos índices de precipitação. Problemas de salinidade têm sido observados em sistemas fertirrigados sob cultivo protegido, mesmo em regiões com precipitação anual acima de 1.000 mm. Isso se deve à interceptação da precipitação natural pela cobertura da estufa, ao uso excessivo de adubação e ao manejo inadequado tanto do solo quanto da irrigação.

Em solos cultivados sob ambiente protegido é bastante comum a ocorrência de salinização, que é o acúmulo de sais solúveis provenientes dos fertilizantes. A velocidade deste processo será tanto maior quanto pior for o manejo da irrigação, da fertirrigação e do sistema de cultivo. A salinidade é medida por meio da condutividade elétrica (CE) da solução do solo (extrato de saturação). Entretanto, o extrato de saturação é um método trabalhoso e que em muitas regiões do Brasil não é realizado rotineiramente pelos laboratórios de análise de solos. Como alternativa, a CE pode ser estimada "grosseiramente" por meio de sua medição no extrato 1:2,5 (solo: água), tal

como é realizado para medições de pH, e posterior multiplicação do valor obtido por 2,5.

Condutividade elétrica da solução do solo acima de $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ pode causar danos e redução de produtividade na maioria das hortaliças. Quando a salinidade da solução do solo aumenta, é necessário aplicar maior quantidade de água para se obter uma mesma produtividade e lixiviar o excesso de sais.

Embora existam inúmeros cátions e ânions no solo e na água, os mais comumente associados a problemas de qualidade são o cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, sulfato e os carbonatos. A concentração de sais existentes na água de irrigação não é, em geral, suficiente para prejudicar diretamente as plantas. Os danos são devidos ao acúmulo de sais no solo decorrente do manejo inadequado da irrigação/fertilização e/ou drenagem deficiente.

O acúmulo de sais solúveis no solo sob cultivo protegido tende a aumentar ao longo do tempo; portanto, medidas preventivas devem ser adotadas para retardar o processo de salinização. Dentre as principais medidas para prevenir ou minimizar os problemas de salinidade, destacam-se a utilização racional dos fertilizantes altamente solúveis, a aplicação periódica de esterco de gado ou composto orgânico, o preparo adequado do solo com subsolagem entre um cultivo e outro, a percolação ("lavagem") do excesso de sais, o monitoramento constante da CE e a escolha de espécies tolerantes à salinidade. O uso de cobertura do solo pode diminuir a salinização, principalmente próximo à superfície, por reduzir a evaporação da água e a deposição de sais nesta camada superficial do solo.

A percolação dos sais solúveis requer a aplicação de grandes quantidades de água sobre a superfície do solo. Portanto, o solo deve possuir boa capacidade de infiltração. A

quantidade de água necessária depende do tipo de solo e do tipo e concentração de sais. De um modo geral, deve-se aplicar uma lâmina equivalente a, no mínimo, duas vezes a lâmina máxima de água que pode ser retida pelo solo na profundidade explorada pelas raízes.

O uso da fertirrigação no cultivo de hortaliças tem trazido aumentos em produtividade e melhoria das características comerciais e de qualidade dos produtos. Entretanto, para que estes resultados sejam mantidos ao longo dos anos, é necessário que a fertirrigação seja praticada de forma tecnicamente segura, levando em consideração todos os fatores que influenciam a fisiologia e a nutrição das plantas, e a fertilidade do solo, a fim de se obter sucesso agrônomo, sem riscos ambientais, como a salinização e a contaminação dos recursos hídricos.

LITERATURA CONSULTADA

- ANDRADE, R. J. GONTIJO, G.M. **Fertirrigação em Hortaliças. (1ª aproximação de fertirrigação).** Recomendação Técnica. 5p 1999. EMATER DF. Não publicada.
- BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. *In*: SPARKS, D.L. **Advances in Agronomy.** New York: Academic Press, 1999. (Advances in Agronomy, 65).
- CADAHÍA, C. (coord.) **Fertirrigacion-Cultivos hortícolas y ornamentales.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1998. 475p.
- FOLEGATTI, M. V. (coord.) **Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças.** Guaíba-RS: Agropecuária, 1999. 460p.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Tomateiro para processamento industrial: irrigação e fertirrigação por gotejamento.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2002. 31p.

(Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 30).

PAPADOPOULOS, A.P. Fertigation: present situation and future prospects. *In*:

Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças.

FOLEGATTI, M.V. Coord. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda. p. 85-154, 1999.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.;

ALVAREZ V., V.H. (eds.) **Recomendações**

para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais. 1999. 359p.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A.; MORETTI, C.L. Aplicação de fósforo em tomateiro industrial via fertirrigação por gotejamento e no sulco de plantio. **Horticultura Brasileira**, Recife, PE, v.21, n.2, jul. 2003. Suplemento 1. CD-Rom.

Tabela 1. Níveis de segurança de fósforo, potássio e micronutrientes no solo para o cultivo de hortaliças.

Nutriente (mg dm ⁻³)	Tipo de solo (% de argila)			K ^{1/} (mg dm ⁻³)
	Argiloso (> 35%)	Textura média (15 a 35%)	Arenoso (< 15%)	
P1/	32-48	48-80	80-120	90 -140
micronutrientes no solo (mg dm ⁻³)				
Zn	Mn	Fe	Cu	B
1,5-2,0	8 -12	30-40	1,2-2,0	0,60 -1,0

1/ Sugere-se usar como níveis de segurança para o fósforo o valor inferior das faixas 32, 48 e 80 mg dm⁻³ de P em solos argilosos, médios e arenosos respectivamente, e para o potássio, o valor médio de 115 mg dm⁻³ de K.

Tabela 2. Quantidade total de P a ser aplicada, em pre-plantio e fertirrigação por gotejamento, no cultivo de algumas hortaliças para a formação do dossel vegetativo (ND_P), em kg ha⁻¹, e para a produção de uma tonelada de frutos (Q_P), em kg t⁻¹, conforme a textura do solo.

Cultura	Textura do solo (% de argila)					
	Arenoso (< 15%)		Textura média (15-35%)		Argiloso (> 35%)	
	ND _P	Q _P	ND _P	Q _P	ND _P	Q _P
Alface	62	0,7 ^{1/}	93	1,0 ^{1/}	117	1,3 ^{1/}
Melão	50	1,3	75	1,9	94	2,4
Pepino	50	1,3	7,5	1,9	94	2,4
Pimentão	22	1,2	33	1,7	42	2,2
Tomate	53	0,8	80	1,1	100	1,4

1/ - Q_P em kg de nutriente por tonelada de alface.

Tabela 3. Quantidades de N e de K a serem aplicadas em algumas hortaliças para a formação do dossel vegetativo ($ND_{N\text{ ou }K}$), em kg ha^{-1} , e para a produção de uma tonelada de frutos ($Q_{N\text{ ou }K}$), em kg t^{-1} , conforme o sistema de irrigação.

Cultura	Sistema de irrigação	Nitrogênio		Potássio	
		ND_N	Q_N	ND_K	Q_K
Alface	Gotejamento	150	6,9 ^{/1}	120	1,9 ^{/1}
	Aspersão	180	8,3 ^{/1}	213	3,4 ^{/1}
Melão	Gotejamento	90	2,5	154	5,3
	Aspersão	110	3,1	175	6,0
Pepino	Gotejamento	90	2,5	154	4,2
	Aspersão	110	3,1	175	4,8
Pimentão	Gotejamento	110	2,5	106	2,2
	Aspersão	138	3,1	120	2,4
Tomate	Gotejamento	120	2,3	127	3,7
	Aspersão	145	2,8	144	4,2

/1 - Q_N e Q_K em kg de nutriente por tonelada de alface.

Tabela 4. Sugestão de parcelamento diário para NPK via fertirrigação em tomateiro para mesa, cultivado em casa de vegetação e a campo

Semanas após plantio	Quantidade relativa do nutriente a ser aplicado em fertirrigação (% por dia)									
	Tomate de mesa cultivo protegido					Tomate de mesa cultivo a campo				
	N		P ^{1/}		K	N		P ^{1/}		K
1 ^a	0,00		0,00		0,00	0,00		0,00		0,00
2 ^a – 4 ^a	0,31		0,22		0,45	0,13		0,14		0,23
5 ^a – 8 ^a	0,38		0,48		0,48	0,23		0,17		0,27
9 ^a – 14 ^a	0,65		0,66		0,78	0,86		0,80		0,92
15 ^a – 17 ^a	1,00		1,07		1,08	1,75		2,30		2,01
18 ^a – 20 ^a	0,71		0,61		0,36	1,08		0,71		0,54
21 ^a – 24 ^a	0,44		0,39		0,27					
25 ^a – final	0,21		0,23		0,21					

1/ Utilizado principalmente em gotejamento. Fonte: Adaptado de Bar-Yosef (1999).

Tabela 5. Sugestão de parcelamento diário para NPK via fertirrigação em pimentão cultivado em casa de vegetação e a campo e alface

Semanas após plantio	Quantidade relativa do nutriente a ser aplicado em fertirrigação (% por dia)								
	Pimentão em casa de vegetação			Pimentão a campo			Alface		
	N	P ^{1/}	K	N	P ^{1/}	K	N	P ^{1/}	K
1 ^a	0,02	0,00	0,01	0,05	0,03	0,03	0,14	0,05	0,08
2 ^a	0,15	0,21	0,13	0,24	0,32	0,24	0,41	0,45	0,20
3 ^a – 5 ^a	0,64	0,60	0,66	0,74	0,43	0,34	2,85	2,41	2,40
6 ^a – 8 ^a	1,22	0,81	0,93	0,81	0,91	0,86	1,73	2,19	2,27
9 ^a – 11 ^a	1,28	0,96	1,06	0,97	1,34	1,31			
12 ^a – 14 ^a	0,61	1,06	0,55	1,26	1,13	1,22			
15 ^a – 17 ^a	0,42	0,57	0,88	0,88	0,84	0,96			
18 ^a – 20 ^a	0,32	0,41	0,41						
21 ^a – final	0,13	0,17	0,13						

1/ Utilizado principalmente em gotejamento. Fonte: Adaptado de Bar-Yosef (1999).

Tabela 6. Sugestão de parcelamento diário para NPK via fertirrigação em melão e pepino

Semanas após plantio	Quantidade relativa do nutriente a ser aplicado em fertirrigação (% por dia)								
	Melão			Pepino					
	N	P ^{1/}	K	N	P ^{1/}	K	N	P ^{1/}	K
1 ^a – 2 ^a	0,12	0,12	0,04	0,12	0,12	0,05			
3 ^a – 5 ^a	0,35	0,43	0,25	0,35	0,45	0,26			
6 ^a – 8 ^a	1,13	1,07	1,18	1,13	1,03	1,18			
9 ^a – 10 ^a	2,85	1,45	1,86	2,80	1,45	1,82			
11 ^a – 12 ^a	1,19	1,75	2,02	1,10	1,75	2,02			
13 ^a – 15 ^a	0,44	0,89	0,94	0,61	1,08	0,90			
16 ^a – final	0,11	0,25	0,01	0,14	0,27	0,08			

1/ Utilizado principalmente em gotejamento. Fonte: Adaptado de Bar-Yosef (1999).

Tabela 7. Quantidades de nutrientes NPK a serem aplicadas via fertirrigação por gotejamento no cultivo de pimentão em casa de vegetação (exemplo apresentado no item 3.6)

Semanas após plantio	Nutriente por dia (kg ha ⁻¹)		
	N ^{1/}	P ₂ O ₅ ^{2/}	K ₂ O ^{3/}
1 ^a	0,07	0,00	0,02
2 ^a	0,49	0,58	0,28
3 ^a – 5 ^a	2,10	1,67	1,45
6 ^a – 8 ^a	4,01	2,26	2,03
9 ^a – 11 ^a	4,18	2,67	2,31
12 ^a – 14 ^a	2,00	2,95	1,21
15 ^a – 17 ^a	1,38	1,58	1,92
18 ^a – 20 ^a	1,07	1,13	0,89
21 ^a – 25 ^a	0,41	0,48	0,29

1/ 80% do N total a ser aplicado em fertirrigação = 328 kg ha⁻¹

2/ 40% do P₂O₅ total a ser aplicado em fertirrigação = 278 kg ha⁻¹

3/ 80% do K₂O total a ser aplicado em fertirrigação = 218 kg ha⁻¹

Tabela 8. Quantidade de micronutrientes para preparação da solução estoque a ser aplicada via fertirrigação por gotejamento em hortaliças cultivadas em solo, na dosagem de 0,1 mL m⁻² por semana.

Fertilizante	Quantidade (g L ⁻¹)
Ferro quelatizado (6% Fe)	30
Ácido bórico	30
Sulfato de zinco	10
Sulfato de cobre	3

Fonte: Andrade & Gontijo (1999)