



IRRIGAÇÃO

Dos fundamentos ao manejo de sistemas

*Sara de Almeida Rios
Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Frederico Ozanan Machado Durães*

Editores Técnicos

Embrapa

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

IRRIGAÇÃO

Dos fundamentos ao manejo de sistemas

*Sara de Almeida Rios
Paulo Emílio Pereira de Albuquerque
Frederico Ozanan Machado Durães*

Editores Técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2021

Capítulo 10

Aplicação de fertilizantes e agroquímicos via água de irrigação

José Maria Pinto
Ricardo Augusto Lopes Brito
Davi José Silva

Introdução

A irrigação desenvolveu-se consideravelmente nas últimas décadas, tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos e equipamentos de se levar água ao solo e às culturas, como no incremento de novas áreas irrigadas, com acréscimo na demanda por recursos hídricos. Dentre as vantagens da irrigação, está aquela que possibilita utilizar o próprio sistema de irrigação como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes (fertirrigação) e agroquímicos (inseticidas, herbicidas, nematocidas, reguladores de crescimento, entre outros), simultaneamente com a água de irrigação (quimigação).

Com a evolução dos sistemas de irrigação, a introdução de novos agroquímicos e produtos biológicos no mercado, o aumento crescente do custo da mão de obra e a necessidade de elevar a eficiência da aplicação de insumos e, consequentemente, a eficiência na produção agrícola, grande relevância tem sido dada à quimigação.

Entre as vantagens que podem ser apontadas nesse tipo de manejo, cita-se a redução de custos e de riscos de contaminação de operadores na aplicação de produtos químicos, aliada ao aumento da eficiência de uso dos insumos agrícolas, inclusive a água, que, além de distribuída heterogeneamente espacial e temporalmente, está se tornando escassa em algumas regiões produtoras importantes do mundo.

No Brasil, o manejo mais utilizado na quimigação é a aplicação de fertilizantes (fertirrigação), pelos resultados gerados e já validados para diversas culturas agrícolas, estando entre as técnicas mais eficientes e econômicas de aplicação de fertilizantes às plantas, principalmente em regiões áridas e semiáridas. No entanto, a aplicação de agroquímicos está crescendo em função das vantagens e praticidade inerentes a essa tecnologia para agricultura irrigada.

Fertirrigação

A fertirrigação é a técnica que consiste em distribuir nutrientes no solo cultivado através da água empregada na irrigação. No processo, é feita a introdução de uma solução com fertilizante via água de irrigação, com o objetivo de aplicar os nutrientes apenas no volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura, conforme a curva de absorção de nutrientes pela planta (Lorenz; Maynard, 1988; Sousa et al., 2011) e, portanto, diferindo da aplicação de fertilizantes diretamente no solo. A fertirrigação também deve permitir que a concentração na solução do solo seja suficiente para proporcionar a absorção dos elementos em quantidade necessária.

Entre as principais vantagens da fertirrigação, destacam-se:

- Melhoria da eficiência e uniformidade de aplicação de nutrientes, desde que o sistema de irrigação também tenha boa uniformidade de distribuição de água.

- Possibilidade de redução na dosagem de nutrientes pela sua aplicação nos momentos e nas quantidades exatas requeridas pelas plantas.
- Maior aproveitamento do equipamento de irrigação.
- Menor compactação do solo e redução dos danos físicos às plantas com a redução do tráfego de máquinas dentro da área.
- Redução de contaminação do meio ambiente em razão do melhor aproveitamento dos nutrientes móveis no solo quando aplicados via água em irrigação localizada.
- Diminuição da utilização de mão de obra.
- Otimização da distribuição dos nutrientes durante o ciclo do desenvolvimento fenológico, ou seja, sincronização do suporte nutricional no solo com a exportação realizada pela planta (Pinto; Soares, 1990).
- Possibilidade de aumento do retorno financeiro e preservação ambiental, em razão do aumento na produtividade, da melhora na qualidade do produto, do uso eficiente das aplicações e da economia de energia, de insumos, de mão de obra e do uso racional de recursos hídricos (Papadopoulos, 2001).

Como limitações¹ têm-se:

- Exigência de adubos específicos e cálculos das formulações.
- Possibilidade de causar corrosão nos equipamentos do sistema de irrigação.
- Favorecimento das obstruções do sistema de irrigação.

¹ Adotou-se o termo “limitação” em vez do termo “desvantagem” em razão de a prática de fertirrigação em si, se corretamente executada, não apresentar desvantagens quando comparada à adubação convencional. Alguns inconvenientes ocorrem quando não são observados aspectos relacionados à nutrição das plantas, à química, à física e à fertilidade dos solos, à fisiologia vegetal, à qualidade da água utilizada na irrigação e ao manejo adequado da irrigação.

Com o desenvolvimento da agricultura orgânica e oferta de insumos apropriados para esse tipo de cultivo, a fertirrigação pode ser mineral ou orgânica, conforme se trate de aplicação de fertilizantes químicos ou resíduos orgânicos como vinhaça, biofertilizantes, chorumes e águas residuais provenientes de esgotos domésticos (Hernandez, 1993; Frizzzone et al., 1994). Para quaisquer destes, deve-se obedecer ao princípio de aplicação de fertilizantes via fertirrigação, que preconiza o uso de fertilizantes solúveis em água e de equipamentos específicos para injetar a solução nas linhas de irrigação. Essa característica permite uma aplicação adequada e uniforme de fertilizantes com água de irrigação, viabilizando o acompanhamento e o controle dos nutrientes no perfil do solo e de seus efeitos na água, no solo e na planta.

Equipamentos para a fertirrigação

Para a aplicação da fertirrigação, os sistemas de irrigação pressurizados são os mais indicados, destacando-se a irrigação localizada, especialmente o gotejamento, dado às suas características de aplicação de água pontual no volume de solo onde há concentração das raízes das plantas, onde a água e os nutrientes são distribuídos, obedecendo às exigências da cultura, conforme as fases de seu ciclo, o que favorece a absorção simultaneamente deles pelas raízes das plantas (Lopez, 2001).

Para a correta utilização da fertirrigação, são necessários alguns equipamentos e acessórios que variam de acordo com o sistema de irrigação utilizado (Antunes et al., 2001). Para a escolha dos equipamentos, devem ser considerados: o volume a ser aplicado, a capacidade, a precisão de funcionamento, a forma de operação, a mobilidade do equipamento e a diluição dos fertilizantes (Brito; Pinto, 2008).

O primeiro passo é a dissolução dos fertilizantes em um tanque com sistema de agitação, tanque reservatório e sistema de injeção da solução no sistema de irrigação.

Tanque ou reservatório para dissolução de fertilizantes

Todo sistema de injeção de fertilizante requer um tanque ou reservatório para dissolução dos produtos químicos e um sistema de agitação para esses produtos. O material utilizado na confecção desse tanque deve resistir à corrosão causada pelos fertilizantes. O sistema de agitação pode ser manual ou mecânico (Figura 1). Existem estudos para uso de aeração forçada para misturar os produtos a serem dissolvidos. O tamanho e o formato são funções da estratégia agrônômica da produção, tamanho da parcela a receber a fertirrigação, da capacidade de injeção e da solubilidade do fertilizante utilizado.

O volume mínimo do reservatório deve ser suficiente para a fertirrigação de uma unidade de rega, sem que se requeira o reabastecimento. O volume do reservatório pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$V = (nQ_f \times A) / sol \quad (1)$$

em que V é o volume do reservatório (m^3); n é o número de aplicações; Q_f é a quantidade de fertilizantes (kg ha^{-1}); A é a área a ser fertirrigada (ha); e sol é a solubilidade do fertilizante (kg m^{-3}).

Sistemas de injeção de fertilizantes

Para a realização da fertirrigação, é necessário que o sistema de irrigação seja dotado de um equipamento para injetar os adubos na água de irrigação, que difere segundo o tipo de energia exigida para seu funcionamento, o seu custo e a sua facilidade de manuseio.

Os métodos de injeção de produtos químicos via água de irrigação podem ser classificados em diversos grupos (Haman et al., 1990; Pizarro, 1996), os quais didaticamente estariam classificados em:

- Bomba centrífuga (bomba dosadora, pressão positiva e negativa);
- Diferencial de pressão (Venturi);
- Gravidade (carga estável, variável e orifício).

Tanque de derivação ou tanque fertilizante (diferencial de pressão)

O tanque de derivação de fluxo é um recipiente metálico ou de plástico com tampas herméticas, geralmente de forma cilíndrica e de volume variado, é conectado em dois pontos da tubulação principal do sistema de irrigação (Figura 2). Consiste em um depósito onde se coloca a solução de fertilizantes a ser aplicada e

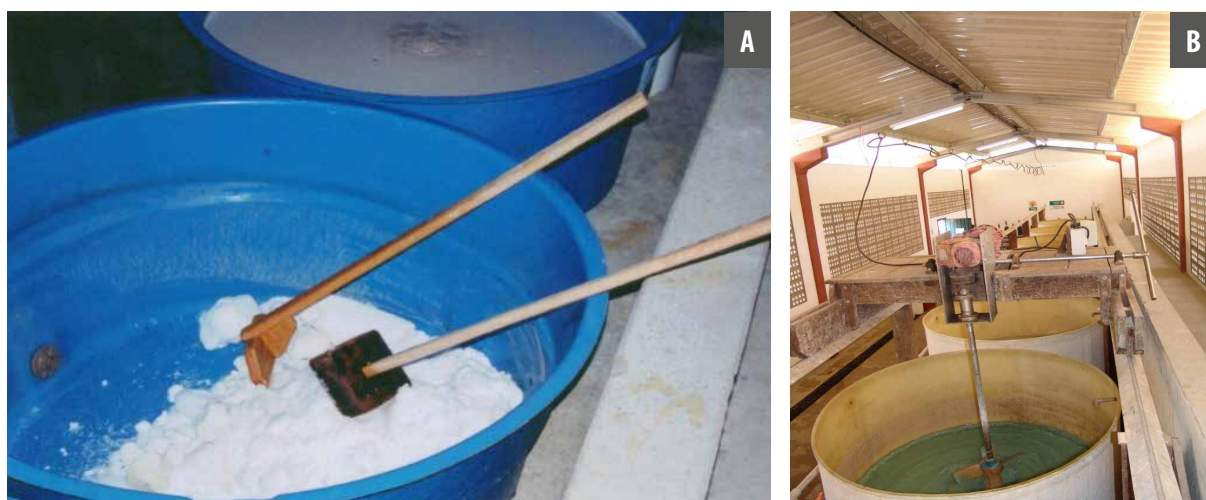


Figura 1. Tanques para dissolução de fertilizantes com agitador manual (A) e mecânico, em que se programa o deslocamento do conjunto motor com hélice (B).

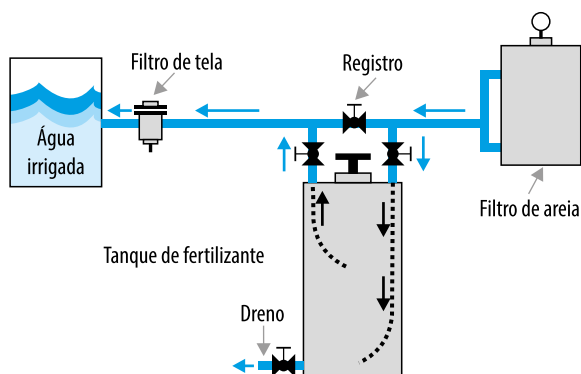


Figura 2. Tanque de fertilizante.

Ilustração: Carlos Eduardo Felice Barbeiro.

que, uma vez fechado, alcança em seu interior a mesma pressão que a rede de irrigação. Por isso o tanque deve ser capaz de suportar a pressão estática e dinâmica da rede. O normal é que resista cerca de 300 kPa, como mínimo, ainda que se recomende suportar uma pressão de trabalho cerca de 600 kPa (Lopez et al., 1997; Lopez, 1998). Seu volume varia entre 20 L e 200 L, e o dimensionamento pode ser calculado, utilizando-se a equação:

$$V = (Q_f \times A_s) / C_f \quad (2)$$

em que V é o volume do tanque de fertilizante (L); Q_f é a quantidade de fertilizantes a ser aplicada por irrigação (kg ha^{-1}); A_s é a área que o sistema irriga por vez (ha); e C_f é a concentração do fertilizante (kg L^{-1}).

Para haver injeção da solução fertilizante que está dentro do tanque, é necessário que haja um diferencial de pressão entre o ponto de entrada da água do sistema no tanque e o de saída da solução. A solução é incorporada na tubulação de descarga do sistema de irrigação através da segunda tubulação que sai do reservatório. Um registro de fechamento lento é instalado entre os pontos de entrada e saída das duas tubulações citadas, justamente para criar o diferencial de pressão, que permite o funcionamento do tanque pressurizado, que faz com que a água seja desviada, em maior ou menor volume, para o interior do tanque. A tubulação

de entrada conduz a água limpa para o tanque que contém a solução a ser aplicada, e, após a diluição, ela passa a ser conduzida pela tubulação de saída e introduzida na tubulação principal do sistema de irrigação.

Esses dispositivos são colocados em paralelo com relação à tubulação de irrigação, e a diferença de pressão da ordem de 10 kPa a 50 kPa, entre a entrada e a saída do tanque de fertilizante, causadora do fluxo através do tanque, é alcançada por intermédio da instalação de um registro na linha principal do sistema, entre os pontos de saída para o tanque e de retorno do tanque.

Para a injeção do fertilizante na tubulação de irrigação, fecha-se até certo ponto o registro que está na linha principal, para que parte da água destinada à irrigação passe pelo tanque. Portanto, pode-se regular a vazão até o tanque, mediante o registro na linha principal. Como a vazão de água que entra no tanque é igual à vazão da solução fertilizante que sai dele, evidentemente a solução de fertilizante que fica no tanque vai diluindo com o tempo de funcionamento, e a concentração da solução incorporada à rede também vai diminuindo.

A quantidade de fertilizante (Q_f) que permanece no interior do tanque, depois de transcorrido o tempo (T), é dada pela equação:

$$Q_f = Q_0 \times e^{-(qT/V)} \quad (3)$$

em que Q_0 é a quantidade inicial de fertilizante (kg L^{-1}); q é o fluxo que circula através do tanque (L h^{-1}); V é o volume do tanque (L); T é o tempo transcorrido de aplicação (h); e e é a base do logaritmo neperiano.

Passando pelo tanque um volume de solução correspondente a duas vezes o volume do tanque, a quantidade de nutrientes incorporada à água de irrigação será de 95%; e, quando houver circulado quatro vezes o volume do tanque, a quantidade de nutrientes incorporada se aproxima de 98% do fertilizante inicial (Figura 3).

Na prática, a concentração de fertilizante restante no tanque, ao final da fertirrigação, deve ser inferior a 2%.

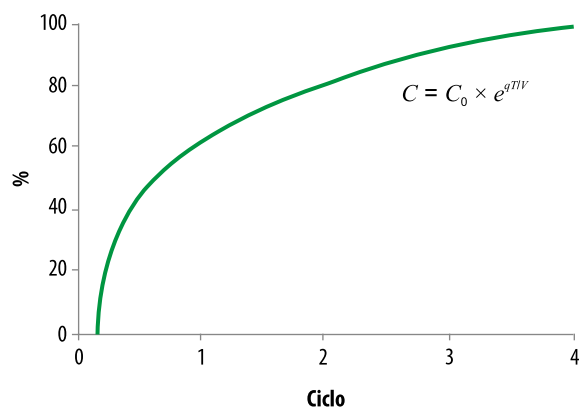


Figura 3. Porcentagem de fertilizante aplicado por ciclo.

O tempo será:

$$T = (V/q) \times \ln(Q_f/Q_0) \quad (4)$$

A vazão, q ($L \cdot h^{-1}$), que deve passar através do tanque para aplicar o fertilizante pode ser calculada pela equação:

$$q = 4V/(tr \times ta) \quad (5)$$

em que $tr \times ta$ é o tempo útil de aplicação de fertilizante, sendo tr a relação entre o tempo de aplicação de fertilizante e o tempo de aplicação da irrigação, que usualmente é de 0,8; e ta , o tempo de aplicação da irrigação (h).

O tempo mínimo de aplicação da irrigação quando se está fazendo fertirrigação pode ser determinado pela equação:

$$ta = 5V/q \quad (6)$$

em que V é o volume do tanque (L); e ta é o tempo de aplicação da irrigação (h).

Esse método baseia-se no princípio de transformação de formas de energia, ou seja, a energia

de velocidade da água, dentro da tubulação, transforma-se em energia de pressão, a qual novamente transforma-se em energia de velocidade. Esse processo ocorre mediante perda de energia, que deve ser mínima para que o método torne-se eficiente.

As vantagens do sistema são simplicidade de construção e operação e seu baixo custo. Não há necessidade de um suprimento externo de energia e não é sensível às mudanças na pressão ou na taxa de fluxo. As desvantagens do sistema são a concentração variável de nutrientes que causa um aumento da dose do produto químico a ser aplicado no início do ciclo de irrigação, e a obrigatoriedade de o tanque ser reabastecido com a solução a cada irrigação. Esse sistema não é recomendável para irrigação automática.

Injetor tipo Venturi (diferencial de pressão efetiva negativa)

O injetor tipo Venturi é um equipamento de PVC, polietileno ou acrílico, constituído de seção convergente gradual, seguida de uma seção estrangulada e de uma seção divergente gradual, para diâmetro igual ao da tubulação a que ele está conectado (Figuras 4 a 7). Seu princípio de funcionamento baseia-se na transformação de formas de energia, ou seja, parte da energia de pressão da água de irrigação é transformada em energia cinética quando passa pela seção estrangulada do equipamento. As vantagens são: custo baixo, capacidade de injeção para pressões e vazões bem definidas, possibilidade de controle da taxa, usando-se apenas um registro, e pode ser usado para outros tipos de produtos na quimigação. É de fácil manutenção, mas pode sofrer variação na taxa de injeção do produto. Entretanto, as perdas de carga podem alcançar de 20% a 30% da pressão de serviço. A concentração da solução fertilizante no injetor tipo Venturi é constante no decorrer do tempo de aplicação.

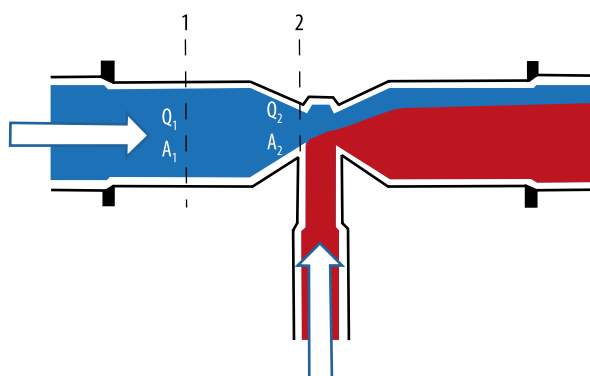
**Figura 4.** Detalhe do sistema hidráulico de um Venturi.

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

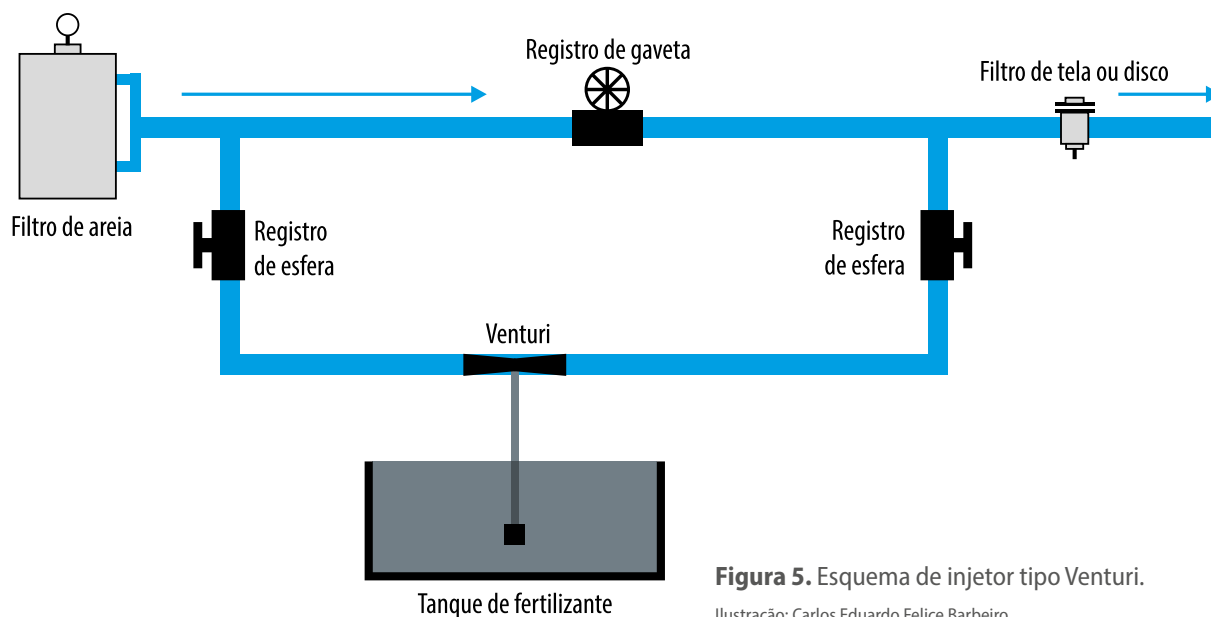
**Figura 5.** Esquema de injetor tipo Venturi.

Ilustração: Carlos Eduardo Felice Barbeiro.

Partindo-se do pressuposto que a vazão no ponto 1 é igual à vazão no ponto 2 (Figura 4), de acordo com a equação da continuidade:

$$Q_1 = Q_2 = A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 \quad (7)$$

em que Q é a vazão da linha de irrigação ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); A é a área da seção transversal da tubulação (m^2); e V é a velocidade do fluxo da água (m s^{-1}).

A área A_1 (tubulação) é superior à área A_2 (Venturi). Para que a equação da continuidade seja observada, é necessário que a veloci-

dade do fluxo V_2 seja superior à velocidade do fluxo V_1 . É essa transformação de energia cinética que provoca o diferencial de pressão entre os pontos 1 e 2, provocando uma pressão negativa ou sucção no ponto 2, onde se encontra conectado o depósito com a solução fertilizante.

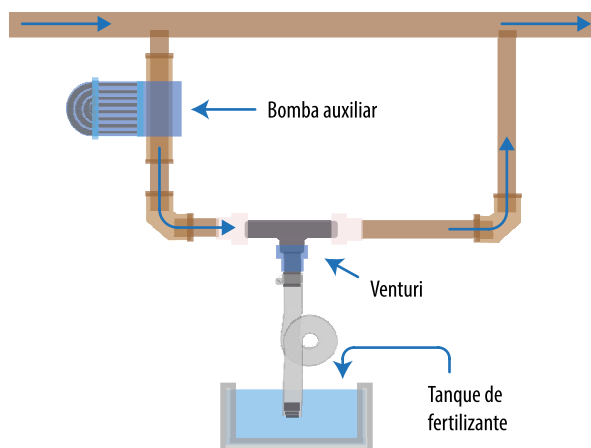
As características desses injetores de fertilizantes são a simplicidade do dispositivo, baixo custo, fácil manutenção e durabilidade, além de não necessitar de uma fonte de energia especial. Como limitação, pode-se citar a grande

Foto: José Maria Pinto



Figura 8. Instalação de Venturi utilizando bomba auxiliar (à esquerda).

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.



um tanque aberto, na rede de irrigação, a uma pressão superior à água na tubulação de irrigação, utilizando uma bomba apropriada. Essa bomba pode ser acionada por sistema elétrico, hidráulico ou por motor à combustão. Em geral, injetam uma quantidade de fertilizantes calculada para que proporcione uma concentração de nutriente específica na água de irrigação (Brito; Pinto, 2008).

1) Bombas injetoras com motor elétrico

As bombas injetoras com motores elétricos foram desenvolvidas para a injeção de fertilizantes. Consistem em bombas de deslocamento positivo, que podem ser de pistão ou de diafragma, acionadas por um motor elétrico de baixa potência (0,25 kw a 1 kw), fabricadas com

materiais não corrosivos (Figura 9). As vazões variam de 20 L h⁻¹ a mais de 600 L h⁻¹.

A vazão teórica injetada por uma bomba injetora elétrica de pistão é dada por:

$$Q = \pi \times N \times R^2 \times C \quad (9)$$

em que Q é a vazão da bomba (L h⁻¹); N é o número de ciclos aspiração-impulsão (1 hora); R é o raio do pistão (cm); e C é o deslocamento horizontal (cm).

Para modificar a vazão, pode-se variar a velocidade do pistão ou o número N de ciclos por hora. O usual é o primeiro: as bombas injetoras têm um comando exterior para regular a vazão

Fotos: José Maria Pinto



Figura 9. Bomba injetora com motor elétrico.

(parafuso micrométrico), que atua deslocando a excêntrica, modificando a velocidade do pistão, o qual regula a vazão. A regulação pode ser feita com a bomba parada ou em funcionamento.

Nas bombas de membrana, o elemento alternativo é um diafragma flexível que oscila por um dispositivo mecânico como nas bombas de pistão, ou pelas pulsações de pressão iniciadas em uma câmara de fluidos. Esse tipo se denomina de acionamento hidráulico.

2) Bombas injetoras com acionamento hidráulico

O injetor hidráulico é uma bomba constituída por uma pequena câmara que alternativamente se enche e esvazia acionada por um motor hidráulico de movimento alternado, que utiliza a pressão da própria rede de irrigação. O período de enchimento da câmara corresponde à sucção da solução de fertilizante de um depósito que, quando se esvazia, injeta-a na rede de irrigação. O dosificador é conectado à tubulação de irrigação entre dois pontos (Figuras 10 e 11). Alguns modelos necessitam de uma pressão mínima de operação de 2 kPa, o que pode constituir um inconveniente, sobretudo em sistema de irrigação de baixa pressão. Podem trabalhar

com pressão até 8 kPa. A água utilizada para acionar o dosificador é drenada e corresponde a um volume de, aproximadamente, o dobro da solução de fertilizante injetada.

O volume injetado está definido pela equação:

$$V = v \times n \times t \quad (10)$$

em que V é o volume injetado no tempo t (L); v é o volume injetado em um movimento do êmbolo (L); n é o número de movimento do êmbolo por unidade de tempo; e t é o tempo de funcionamento.

Para controlar a dosificação, o n varia ajustando a pressão de entrada na bomba mediante uma válvula. Para cada modelo, o fabricante deverá proporcionar um gráfico ou uma tabela que relacione a pressão de entrada com o número de movimento do êmbolo por unidade de tempo.

As vantagens desse sistema são: utilizam como fonte de energia para acionamento a própria pressão da água na rede de irrigação; a vazão pode ser regulada, normalmente entre 20 L h⁻¹ e 300 L h⁻¹; são portáteis; e não provocam perda de carga na tubulação de irrigação. Tem como

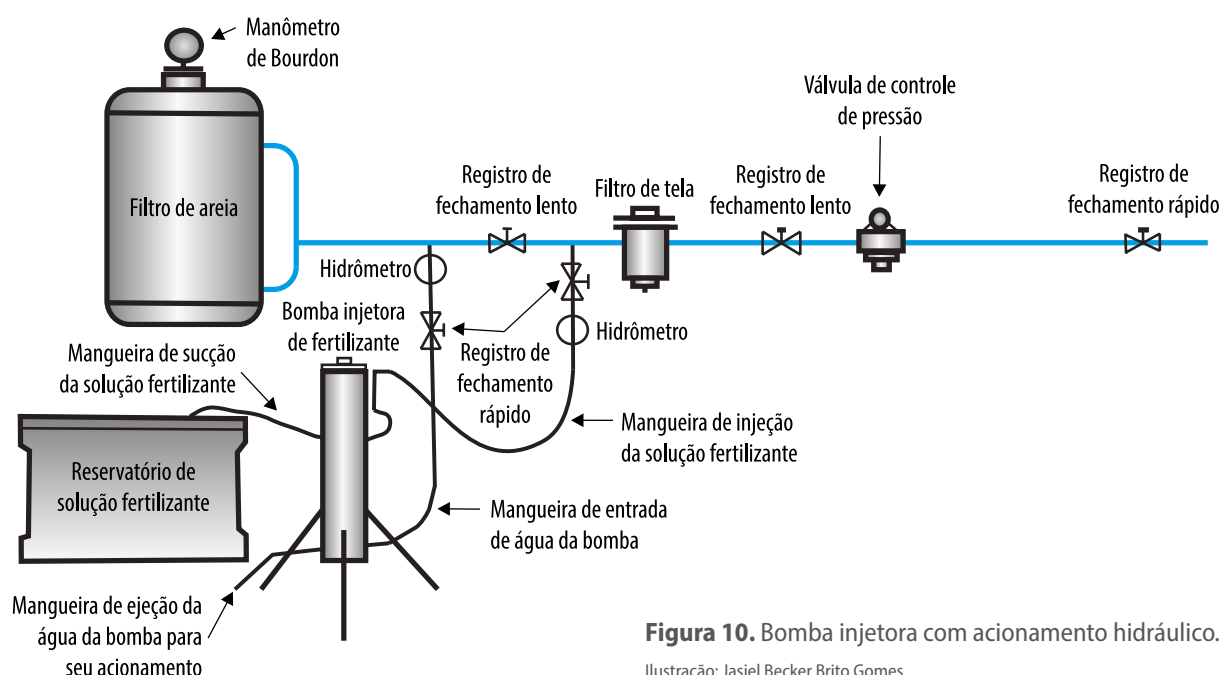


Figura 10. Bomba injetora com acionamento hidráulico.
Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

Fotos: José Maria Pinto



Figura 11. Bomba injetora com acionamento hidráulico TMB.

desvantagens a necessidade de uma pressão mínima de 2 kPa e o alto custo.

3) Bomba injetora de ação hidráulica por pistão

Como a bomba injetora por acionamento hidráulico, o dosificador hidráulico acionado por pistão também não requer energia elétrica para o seu funcionamento. Sua instalação se dá da mesma forma que o injetor Venturi. Eles são indicados em instalações comunitárias, onde a água é fornecida com pressão muito superior à necessária, ou então, quando se dispõe de um reservatório que se encontra em uma cota muito elevada. Em razão da complexidade do equipamento, por possuir numerosas peças móveis, a qualidade da água é de fundamental importância, considerando que qualquer impureza pode afetar o bom funcionamento do injetor.

Na Figura 12, está apresentado um modelo comercial como também os métodos de instalação do equipamento. Esse modelo tem a capacidade de injetar soluções fertilizantes uniformemente na faixa de 20 L h^{-1} a 250 L h^{-1} , em uma razão de diluição de 1:500 a 1:50, ou seja, de 0,2% a 2%.

Critérios de escolha dos equipamentos de injeção de fertilizantes

Para seleção do injetor de fertilizante, devem-se considerar fatores específicos inerentes ao método de aplicação, como disponibilidade de energia elétrica no local e pressão disponível na tubulação. Quando há disponibilidade de energia elétrica, só podem ser instaladas bombas e dosificadores elétricos. Quando não se dispõe de eletricidade, as alternativas são os tanques de derivação ou de fertilizantes, injetores Venturi e os dosificadores hidráulicos que aproveitam apenas a pressão hidráulica da rede de irrigação.

A quantidade de solução que o reservatório de fertilizante pode conter e as vazões totais que se podem introduzir na rede de irrigação são funções da frequência de irrigação, necessidade total de fertilizante e forma de aplicação dos fertilizantes. Sistemas de irrigação localizados podem ser subdivididos em parcelas menores, diferente de sistema de irrigação por pivô central, que irriga áreas maiores, consequentemente o volume e a capacidade do sistema de fertirrigação devem ser conhecidos. Na Tabela 1, consta a comparação dos métodos de injeção de produtos químicos.

Foto: José Maria Pinto

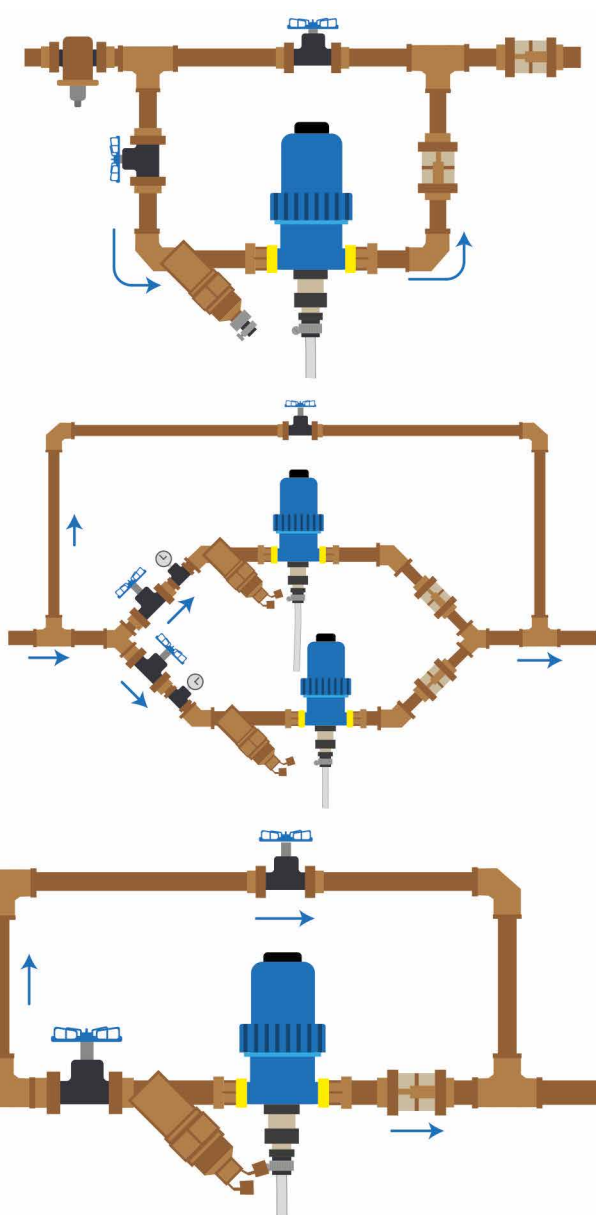


Figura 12. Bomba injetora de ação hidráulica por pistão.

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

Calibração

A calibração é extremamente importante, envolvendo o sistema de irrigação e o sistema de aplicação de produtos químicos, pois a distribuição da água no sistema de irrigação deve ser uniforme para distribuir também, uniformemente, os produtos químicos. A calibração é um procedimento simples e análogo para os diversos métodos de irrigação. Além disso, é essencial para o bom desempenho da tecnologia de aplicação de produtos químicos.

Aplicação de fertilizantes

Fertilizantes solúveis em água podem ser aplicados via água de irrigação. No Brasil, não temos lei que normatiza a aplicação de produtos químicos via água, diferente de outros países. Como exemplo, cita-se a Califórnia, os USA, que permitem aplicar 10 ppm de nitrogênio (N). Outro fator a ser considerado é a legislação brasileira para fertilizantes que é antiga, atende à aplicação manual e mecanizada de fertilizantes, mas não é adequada à fertirrigação, pois os fer-

Tabela 1. Comparação dos diversos métodos de injeção de produtos químicos.

Injetor	Vantagem	Desvantagem
Bomba centrífuga		
Pressão positiva “recalque”	Baixo custo. Pode ser calibrada, durante o funcionamento	Calibração depende da pressão do sistema. Baixo controle da dose do nutriente injetado
Dosadora “piston”	Alta precisão e pressão de trabalho	Alto custo
Pressão negativa “sucção”	Baixo custo. Pode ser calibrada durante o funcionamento	Injeção do produto depende da bomba do sistema. Possibilidade de corroê-la e poluir manancial. Baixo controle da qualidade do produto injetado
Diferencial de pressão “Peças especiais”		
Venturi	Médio custo. Fácil uso; movido pela energia d’água do sistema calibração; possível durante a operação	Cria zona de baixa pressão no sistema. Calibração depende da concentração do produto no depósito
Combinado/Composto “gravitacional, bomba principal e auxiliar”	Médio custo. Movido pela energia d’água do sistema (principal e auxiliar) e gravitacional	Controle relativo da quantidade de produto injetado, baixa precisão

tilizantes permitidos por lei contêm impurezas. Para a fertirrigação, há necessidade de ajustar a legislação brasileira sobre fertilizantes.

Fertilizantes

Os fertilizantes para uso em irrigação podem ser agrupados em duas classes:

- Fertilizantes líquidos: abastecidos nos tanques na forma de solução, sem necessidade de tratamento prévio.
- Fertilizantes sólidos facilmente solúveis: devem dissolver-se facilmente antes do início da fertirrigação.

Esses fertilizantes podem ser apresentados na forma simples ou em combinações com dois ou mais elementos.

A escolha do fertilizante deve ser feita com base nas características de cada produto, visando atender às necessidades dos demais elementos envolvidos no processo, tais como: sistema de irrigação, textura do solo, qualidade da água, custo e exigências nutricionais da planta.

Fertilizantes nitrogenados

O nitrogênio (N) é o nutriente utilizado com maior frequência na fertirrigação. Existem vários fertilizantes contendo compostos nitrogenados que podem ser usados na fertirrigação. As formas mais comuns desses compostos são: nitratos, amônio, amida e aminoácidos (Tabela 2). Todas essas formas são passíveis de sofrer transformações ou serem absorvidas pelas plantas em maior ou menor proporção. Outra característica do nitrogênio é sua alta mobilidade no solo, principalmente na forma de nitrato (NO_3^-) (Haynes, 1990).

A seguir, são apresentadas características de alguns compostos nitrogenados.

Amônio

O cátion amônio (NH_4^+), aplicado em baixa concentração, vai adsorver-se aos colóides do solo, movendo-se pouco no perfil em relação ao ponto de aplicação. Dependendo da taxa de aplicação, a concentração dos íons amônio pode ser alta, e, nesse caso, eles podem saturar os sítios de troca no solo ao longo do perfil e com isso mover-se gradativamente em profundidade.

Normalmente, a maior parte do amônio no solo será transformada biologicamente em nitrato, em 2 a 3 semanas, numa temperatura do solo de 25 °C a 30°C. No entanto, especificamente para aplicação localizada, essas transformações podem ser mais demoradas na zona logo abaixo do emissor por causa da alta concentração de amônio e porque o processo de nitrificação necessita de oxigênio (O_2), elemento que nessas regiões ocorre em menor concentração, em função de ser o local mais saturado em água. Concentrações de amônio próximas de 400 mg N kg⁻¹ a 800 mg N kg⁻¹ são suficientes para inibir a nitrificação.

Ureia

A molécula de ureia, antes de se hidrolisar no solo, não apresenta carga, o que a torna inicialmente móvel. Após a hidrólise e a formação de NH_4^+ , o movimento do nitrogênio (N) torna-se restrito. A conversão de ureia em amônio é dependente de uma série de fatores. Há resultados em que 50% da ureia foi convertida em NH_4^+ com 3 horas após a aplicação (60 kg ha⁻¹ de N). Nesse caso, toda a ureia foi hidrolisada com 48 horas após a aplicação (Freney et al., 1985).

Nitrato

O nitrato move-se para a periferia da frente de molhamento. Embora as plantas absorvam prontamente o NO_3^- , o NH_4^+ e a ureia, respostas para NO_3^- são normalmente mais rápidas, porque o nitrato é carregado pela água até a superfície da raiz via fluxo de massa.

Embora tenha custo elevado, o nitrato de cálcio apresenta-se como fonte alternativa de N nas fases de alta demanda das culturas por cálcio, naquelas situações em que os teores de cálcio (Ca) no solo são baixos e também existe demanda por N. Essa situação é bastante comum em solos arenosos e de baixa capacidade de troca catiônica (CTC), principalmente quando a calagem não foi suficiente para suprir a demanda por cálcio ou não foi realizada calagem nem gessagem. A vantagem desse fertilizante



As fontes de nitrogênio estão sujeitas a perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação. Na lixiviação, o nitrato é carregado através da água de irrigação ou de chuva para regiões mais profundas do solo, longe do acesso das raízes. Dependendo da intensidade da água, o nitrato poderá alcançar o lençol freático, vindo a contaminar os mananciais de água.

sobre as demais fontes de cálcio é sua solubilidade em água, possibilitando a aplicação via fertirrigação.

O nitrogênio aplicado via irrigação poderá ficar de forma residual dentro das tubulações. A presença de N nas mangueiras favorece o desenvolvimento microbiano, que poderá causar obstrução nos emissores. Para contornar o problema, basta lavar com a própria água de irrigação antes de finalizar a operação.

O balanço nitrato/amônio pode ter importância na absorção de outros íons. As plantas jovens (até 3 semanas) ainda não desenvolveram a enzima nitrato redutase e, por isso, preferencialmente, o amônio é a forma mais importante. Já no final do ciclo, a absorção de fonte amoniacal diminui a absorção de Ca, o que afeta a qualidade dos frutos.

Fertilizantes potássicos

O potássio (K) é absorvido pelas plantas na forma de K^+ . Participa de processos fisiológicos durante todo o ciclo de cultivo, e as quantidades removidas pelos frutos e imobilizadas na planta são elevadas. Os fertilizantes potássicos apresentam menor solubilidade que os nitrogenados, e não existem, contudo, limitações para sua aplicação via água de irrigação. Dentre as fontes de K para fertirrigação, destacam-se o cloreto, o sulfato e o nitrato de potássio (Tabela 2). O cloreto e o nitrato de potássio possuem alta solubilidade, enquanto o sulfato de potássio, além de ser menos solúvel, possibilita a formação de sulfato de cálcio, ainda menos solúvel, quando a água de irrigação é rica em cálcio e magnésio – Mg (mais de 50 mg L⁻¹ de

Tabela 2. Composição dos fertilizantes mais usados para fertirrigação.

Tipo	Composição				Fórmula	pH	Solubilidade a 20 °C (g 100 mL ⁻¹)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Outros			
Fertilizantes nitrogenados							
Nitrato de amônio	34	0	0	-	NH ₄ NO ₃	6,6	118
Sulfato de amônio	21	0	0	24% S	(NH ₄) ₂ SO ₄	5,4	71
Amônia anidra	82	0	0		NH ₃		38
Nitrato de cálcio	15,5	0	0	19% Ca	Ca(NO ₃) ₂	4,0–8,0	102
Nitrato de magnésio	11	0	0	9,5% Mg	Mg(NO ₃) ₂	7,5	72
Ureia	46	0	0		CO(NH ₂) ₂	8,0–8,5	100
Fertilizantes fosfatados							
Fosfato monoamônio (MAP)	12	61	0		NH ₄ H ₂ PO ₄	4,7	37
Fosfato diamônio (DAP)	16	46	0		(NH ₄) ₂ HPO ₄		40
Fosfato de ureia	17	44	0		CO(NH ₂) ₂ .H ₃ PO ₄	2,0	62
Ácido fosfórico	0	53	0		H ₃ PO ₄	2,3	46
Fertilizantes potássicos							
Fosfato monobásico de potássio (MKP)	0	52	34		KH ₂ PO ₄	4,5	22
Cloreto de potássio	0	0	60	46% Cl	KCl	6,7	32
Nitrato de potássio	13	0	46		KNO ₃	8,0	34
Sulfato de potássio	0	0	50	18% S	K ₂ SO ₄	3,4	11
Micronutrientes							
Ácido bórico	17,5% B				H ₃ BO ₃		6
Solubor	20% B				Na ₂ B ₈ O ₁₃ 4H ₂ O		22
Sulfato de cobre (acidificado)	25% Cu				CuSO ₄ 5H ₂ O		31
Sulfato de ferro (acidificado)	20% Fe				FeSO ₄ 7H ₂ O		16
Sulfato de manganês (acidificado)	27% Mn				MnSO ₄ 4H ₂ O		105
Molibdato de amônio	54% Mo				(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ 4H ₂ O		43
Molibdato de sódio	39% Mo				Na ₂ MoO ₄		56
Sulfato de zinco	36% Zn				ZnSO ₄ 7H ₂ O		96
Quelato de zinco	5%–14% Zn				DTPA & EDTA		alta
Quelato de manganês	5%–12% Mn				DTPA & EDTA		alta
Quelato de ferro	4%–14% Fe				DTPA, HOEDTA & EDDHA		alta
Quelato de cobre	5%–14% Cu				DTPA & EDTA		alta
Outros							
Sulfato de magnésio	9,7% Mg; 12,8% S				MgSO ₄ 7H ₂ O	6,5	20

Fonte: Adaptado de Burt et al. (1995).

$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). O cloreto é a fonte mais usada, por apresentar o menor custo por unidade de K_2O .

O movimento de K no solo depende do tipo de solo e, na maioria dos casos, se move com limitação. O potássio pode ser lixiviado em solos arenosos e com baixa CTC, porém, quando se aplicam doses normais de fertilizantes, perdas por lixiviação são extremamente baixas para a maioria das condições. O K pode movimentar-se no perfil do solo quando ocorrer concentração do elemento próximo ao emissor, com aplicações frequentes de K via água de irrigação.

Em fertirrigação, para culturas hortícolas, o K normalmente é aplicado, procurando-se evitar o acúmulo desse nutriente no solo.

Em relação à compatibilidade, a mistura de cloreto de potássio com outra fonte contendo sulfato poderá diminuir a solubilidade do K, pois poderá haver formação de K_2SO_4 , que apresenta solubilidade três vezes menor que o KCl.

Fertilizantes fosfatados

O fósforo (P), que é absorvido principalmente na forma de H_2PO_4^- , caracteriza-se por apresentar baixa mobilidade no solo, em razão da sua alta capacidade de interação com os colóides do solo. Esse nutriente é adsorvido pelos colóides do solo, o que reduz temporariamente a sua disponibilidade para as plantas. Consequentemente, o seu movimento no solo é limitado. Isso ocorre com maior frequência em solos de textura argilosa, principalmente os mais intemperizados, em regiões tropicais. No entanto, várias fontes e métodos de aplicação de P tentam evitar, pelo menos parcialmente, os problemas de distribuição desse elemento no solo. Além do custo, as fontes inorgânicas de P têm diferenças quanto ao conteúdo de P e também quanto à solubilidade na água de irrigação.

A maioria dos adubos fosfatados apresenta baixa solubilidade e facilidade de precipitação, causando entupimento nos sistemas de irriga-

ção. Assim, deve-se observar o pH e a presença de Ca na água de irrigação, a textura do solo e a compatibilidade com outros nutrientes (Silva; Borges, 2009). Com o crescimento da utilização dos métodos de irrigação localizada, a aplicação de P ao solo passou a ser realizada via fertirrigação, na forma de ácido fosfórico e outras fontes solúveis (Tabela 2). O ácido fosfórico é um fertilizante apresentado na forma líquida, que possui de 46% a 76% de P_2O_5 , densidade $1,68 \text{ g cm}^{-3}$, solubilidade 457 g L^{-1} e pH 2,3. Apresenta como características marcantes alta solubilidade e elevada acidez.

Burt et al. (1995) recomendam que a aplicação de fontes de P na água de irrigação seja realizada com fertilizantes ácidos, em sistemas de irrigação localizada. Assim, o uso do ácido fosfórico, além de ser uma fonte de P, atua na limpeza dos resíduos químicos da tubulação, baixa o pH da água de irrigação e ajuda a manter os emissores livres de microrganismos. Deve-se destacar que a aplicação de ácido fosfórico via água de irrigação somente será efetiva quando o pH da água de irrigação permanecer em torno de 3,0 durante 30 a 60 minutos, para evitar a precipitação de fosfato de cálcio. Deve-se, contudo, tomar cuidados na aplicação deste e de outros ácidos, porque valores de pH menores que 5,5 podem aumentar a corrosão de equipamentos metálicos do sistema de irrigação e aumentar a toxicidade de alguns micronutrientes, ou mesmo causar danos às raízes das plantas.

Outras fontes de P empregadas na fertirrigação são o fosfato monoamônio (MAP) e o fosfato diamônio (DAP), além de fosfato monopotássico (MKP ou Peak) e fosfato de ureia, que apresentam custo mais elevado.

Na fertirrigação com MAP, DAP ou ácido fosfórico, é importante conhecer a concentração de Ca e Mg e também de bicarbonatos da água de irrigação, para evitar problemas de precipitação e entupimento. Se a água é ácida, não há limitação para o uso do DAP, porém, caso haja Ca e o pH for superior a 7, deve-se utilizar o MAP, que tem efeito acidificante, o que leva a um abai-

xamento do pH. Outra possibilidade é o uso do ácido fosfórico concentrado. A quantidade aplicada deve ser suficiente para abaixar o pH, porém, há um limite para que não produza corrosão em peças metálicas da rede. Recomenda-se que a soma das concentrações de Ca e de Mg não ultrapasse 50 mg L^{-1} , e a concentração de bicarbonatos seja inferior a 150 mg L^{-1} .

No geral, a aplicação de P através da irrigação por gotejamento requer cuidados e conhecimentos técnicos. Os sistemas de irrigação localizada são os mais adequados à aplicação de P, em razão da melhor localização do nutriente em relação ao sistema radicular.

Movimentação de fósforo (P) no solo

Embora o movimento de P dependa de muitos fatores químicos e físicos do solo, a textura, a taxa de aplicação e a quantidade de água aplicada são as variáveis que mais afetam o seu movimento.

A irrigação por gotejamento pode aumentar o movimento de P no solo de 5 a 10 vezes se comparado à aplicação convencional. O movimento é maior dessa forma, porque uma maior concentração, em uma faixa estreita do solo, satura os sítios de fixação próximo ao ponto de aplicação. O movimento de P no solo aumenta com a taxa de aplicação e também com o raio de molhamento (Hergert; Reuss, 1976).

Fertilizantes contendo cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S)

A aplicação de Ca via água de irrigação mostra-se vantajosa para culturas que apresentam demanda elevada por esse nutriente, comparável ao N e ao K. A calagem, que é normalmente realizada nos solos ácidos, é uma das principais fontes de Ca para as culturas. Em culturas que apresentam alta demanda por Ca, outras aplicações podem ser necessárias, além da calagem. Como fontes alternativas de Ca, tem-se o gesso, aplicado no solo, nitrato de cálcio, clore-

to de cálcio e as formas quelatizadas de Ca que podem ser aplicadas via água de irrigação.

O nitrato de cálcio é a fonte de Ca mais solúvel. Recomenda-se adicionar ácido nítrico concentrado na base de $0,3 \text{ L kg}^{-1}$ de nitrato de cálcio, quando o pH da água de irrigação for superior a 6,5.

Dos produtos que apresentam Mg, normalmente se utiliza o sulfato como fonte de Mg, dada a sua boa solubilidade. As formas quelatizadas de Mg, apesar de terem custos mais elevados, são boas alternativas. Como regra geral, tanto o Ca como o Mg devem ser aplicados antes do plantio, através da calagem, e apenas complementados através da fertirrigação.

Como fonte de S para fertirrigação, pode-se utilizar sulfato de amônio, sulfato de magnésio e sulfato de potássio. Porém, deve-se tomar cuidado com a incompatibilidade do sulfato com o Ca.

Fertilizantes contendo micronutrientes

Os quelatos e os sulfatos contendo micronutrientes são os compostos geralmente utilizados para corrigir deficiências dos cátions de micronutrientes. Os boratos solúveis são as principais fontes de boro (B). Em função da facilidade de lixiviação que esse nutriente apresenta, o seu parcelamento é a prática mais recomendada. Na Tabela 2, são apresentadas algumas características desses fertilizantes.

Micronutrientes como zinco (Zn), ferro (Fe), cobre (Cu) e manganês (Mn) podem reagir com sais da água de irrigação e causar precipitação e entupimento dos emissores. Por isso, em muitos casos, esses micronutrientes são aplicados como quelatos, que são facilmente solúveis e causam poucos problemas de precipitação e entupimento. No solo, os micronutrientes quelatizados reagem menos e, por isso, apresentam maior mobilidade do que os sais. Como esses produtos apresentam custo elevado, a utilização dos quelatos em fertirrigação requer

maior atenção com relação ao manejo da fertirrigação, que vai desde a qualidade da água (pH e condutividade elétrica) e da lâmina aplicada, até a compatibilidade com outros produtos.

Solubilidade dos fertilizantes

Para se alcançar êxito na fertirrigação, devem-se utilizar fontes de alta solubilidade para que a concentração de nutrientes na solução aplicada seja, de fato, aquela calculada. Outro aspecto importante da solubilidade é que alguns fertilizantes que não apresentam dissolução completa podem causar entupimento nos emissores, principalmente nos gotejadores. No preparo da solução, deve-se observar a solubilidade de cada fertilizante a fim de que todo fertilizante dissolvido permaneça na solução.

Na Tabela 3, são apresentadas as solubilidades de vários fertilizantes à temperatura de 20 °C. A própria mistura de fertilizantes pode promover o abaixamento da temperatura da água, em função das reações de dissolução absorver calor. É o que ocorre quando fertilizantes nitrogenados são solubilizados.

O nitrato de amônio (34% N), aplicado numa concentração de 10 g L⁻¹, promove abaixamento de 2 °C na temperatura da solução; porém, numa concentração de 100 g L⁻¹, a temperatura diminui 7,2 °C. Assim como a temperatura, a pureza do fertilizante pode interferir na sua solubilidade. Como a solubilidade normalmente é determinada a partir de produtos puros, deve-se considerar que os valores tabelados são máximos e podem ser aplicados apenas a fertilizantes com alto grau de pureza. Para fertilizantes comerciais, o limite de solubilidade normalmente é mais baixo.

Deve-se, também, estar atento a fertilizantes que apresentem:

- Condicionadores: usados para prevenir a quebra dos grânulos.

Tabela 3. Solubilidade de alguns fertilizantes a 20 °C.

Fertilizante	Solubilidade ⁽¹⁾
Nitrogenados (N)	
Nitrato de amônio	118
Nitrato de cálcio	102
Sulfato de amônio	71
Ureia	78
Nitrato de sódio	73
Soluções nitrogenadas	Alta
Uran	Alta
Fosfatados (P)	
Superfosfato simples	2
Superfosfato triplo	4
Ácido fosfórico	45,7
Potássicos (K)	
Cloreto de potássio	34
Sulfato de potássio	11
N e P	
MAP	23
MAP purificado	37
DAP	40
N e K	
Nitrato de potássio	32
Ca e Mg	
Cloreto de cálcio pentahidratado	67
Sulfato de magnésio	71
Gesso	0,241
Micronutrientes	
Bórax	5
Molibdato de amônio	40
Molibdato de sódio	56
Sulfato de Cobre	22
Sulfato de cobre pentahidratado	24
Sulfato de ferro	24
Sulfato ferroso	33
Sulfato de manganês	105
Sulfato manganoso	742
Sulfato de zinco	75
Quelatos (Fe, Cu, Mn e Zn) EDTA, DTPA	Alta

⁽¹⁾ Partes solubilizadas em 100 partes de água a 20 °C.

Fonte: Vitti et al. (1994).

- Substâncias como óleo ou parafina: revestem os fertilizantes que têm problemas de higroscopicidade.
- Argilas presentes nos adubos fluidos: mantêm o potássio em suspensão.
- Outras impurezas, como óxido de ferro, presentes no cloreto de potássio vermelho, entre outros: fertilizantes com estas características devem ser evitados em fertirrigação.

Em termos de características físicas dos fertilizantes sólidos para uso em fertirrigação, deve-se dar preferência àqueles que se apresentam na forma de cristais, que, em função do tamanho de grânulo reduzido, solubilizam-se mais facilmente em relação aos granulados.

Compatibilidade dos fertilizantes

A compatibilidade entre os adubos e destes com os íons presentes na água de irrigação é outro fator de suma importância. No preparo das soluções, muitas vezes é necessário misturar mais de uma fonte. Nesse caso, deve-se recorrer aos quadros de compatibilidade como o da Tabela 4, a fim de certificar se a mistura pode ou não ser realizada.

Como regra geral, o íon sulfato é incompatível com Ca, e os fosfatos com Ca e Mg. Do mesmo modo, águas ricas em Ca e Mg podem formar compostos insolúveis com P e sulfato. A aplicação de fertilizantes incompatíveis (por exemplo, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4) devem ser feitas a partir

Tabela 4. Solubilidade de misturas de fertilizantes líquidos⁽¹⁾.

Fertilizante	Ureia	Nitrato de amônio	Sulfato de amônio	Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Cloreto de potássio	Sulfato de potássio	Fosfato de amônio (MAP, DAP)	Sulfato de Fe, Zn, Cu e Mn	Quelato de Fe, Zn, Cu e Mn	Sulfato de magnésio	Ácido fosfórico	Ácido sulfúrico	Ácido nítrico
Ureia		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C
Nitrato de amônio	C		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de amônio	C	C		I	C	C	R	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de cálcio	C	C	I		C	C	I	I	I	R	I	C	I	C
Nitrato de potássio	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	C	C	C
Cloreto de potássio	C	C	C	C	C		R	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de potássio	C	C	R	I	C	R		C	R	C	R	C	R	C
Fosfato de amônio (MAP, DAP)	C	C	C	I	C	C	C		I	R	I	C	C	C
Sulfato de Fe, Zn, Cu e Mn	C	C	C	I	C	C	R	I		C	C	R	C	I
Quelato de Fe, Zn, Cu e Mn	C	C	C	R	C	C	C	R	C		C	I	C	C
Sulfato de magnésio	C	C	C	I	C	C	R	I	C	C		C	C	C
Ácido fosfórico	C	C	C	C	C	C	C	C	R	I	C		C	C
Ácido sulfúrico	I	C	C	I	C	C	R	C	C	C	C	C		C
Ácido nítrico	C	C	C	C	C	C	C	C	I	C	C	C	C	

⁽¹⁾ Algumas formulações são incompatíveis em concentrações na solução estoque, devendo ser evitadas.

C: compatível; R: solubilidade reduzida; I: incompatível.

Fonte: Landis et al. (1989).

de tanques independentes ou em momentos diferentes, de modo que não haja contato entre as soluções concentradas desses fertilizantes. Sempre que forem feitas misturas de fertilizantes diferentes dos utilizados convencionalmente, deve-se fazer o teste da jarra, que consiste em se misturar os fertilizantes em uma jarra na mesma proporção que será utilizada no reservatório, esperando por 2 horas após a mistura. Nesse caso, deve-se ter o cuidado de usar a própria água de irrigação para solubilizar os fertilizantes, agitar a solução por alguns minutos e observar, por pelos menos 1 hora, a ocorrência de precipitação ou turbidez acentuada na solução. Se a solução permanecer clara e transparente, será provavelmente seguro injetar os fertilizantes testados.

Se não ocorrer a formação de precipitado, a mistura poderá ser feita sem problemas.

Efeito do fertilizante no pH da solução e no pH do solo

Os fertilizantes, após serem dissolvidos, poderão alterar o pH da solução nos tanques. Esse efeito ocorre em função da reação do íon com a água ou ainda em razão da presença de ácidos do processo de fabricação de fertilizantes.

Poderão ocorrer mudanças nas propriedades físicas e químicas do solo, dependendo dos produtos utilizados, principalmente com a mudança no pH do solo. As mudanças no pH do solo ocorrem normalmente com redução (acidificação), por causa do aumento de íons de hidrogênio (H^+), pela oxidação feita por bactérias no NH_4^+ das fontes nitrogenadas, seguindo a reação:



Na irrigação por gotejamento, os problemas de redução no pH ocorrem normalmente em pontos localizados no perfil do solo, logo abaixo dos emissores e ao lado das linhas laterais, o que dificulta os trabalhos corretivos, a não ser com emprego de ácidos ou bases também pelo

sistema de irrigação para elevar ou reduzir o nível de acidez, respectivamente.

Outro fator que afeta o pH do solo na interface solo-raiz é a razão NH_4^+/NO_3^- da solução fertirrigada. Quando o NH_4^+ predomina, H^+ é excretado da raiz e acidifica a solução do solo. Quando NO_3^- é o íon mais absorvido, o OH^- ou HCO_3^- são liberados para a solução do solo, e o pH do solo aumenta. Portanto, as diferentes relações NH_4^+/NO_3^- apresentam efeitos diferentes sobre o desenvolvimento das raízes.

Salinidade e potencial salino dos fertilizantes

A salinidade do solo se refere ao conteúdo de sais solúveis na solução do solo. Os sais mais comuns são os cloretos, sulfatos, bicarbonatos, nitratos e boratos de sódio (Na), Mg e Ca.

A intemperização das rochas pelo tempo e a aplicação de fertilizantes e água dão origem aos sais solúveis no solo. Em regiões chuvosas, a maioria dos sais são lixiviados, enquanto em regiões áridas os níveis de sais são elevados.

A água de irrigação pode ser uma fonte de sais que, se manejada de forma inadequada, poderá produzir efeito salino no solo. Portanto, é recomendável que, antes de se iniciar um projeto de irrigação, a água a ser utilizada seja analisada.

O potencial salino é tanto maior quanto mais seco estiver o solo, e uma das formas de minimizar o problema é manter o solo úmido o maior tempo possível. Por isso, em casos em que a salinidade pode ser considerada problema, deve-se adotar irrigação com menores volumes de água por aplicação, no entanto, com irrigações mais frequentes.

A condutividade elétrica é o método mais simples de quantificar o total de sal na amostra e define a carga elétrica das partículas de sal na água. Uma corrente elétrica é aplicada entre dois eletrodos que são inseridos na amostra de água e diretamente determina-se a condutividade elétrica, que aumenta à medida que

aumentam os sais dissolvidos. Embora os condutivímetros sirvam para medir a condutividade elétrica da amostra de água, não há como qualificar os sais dissolvidos na água de irrigação. A unidade que expressa a condutividade elétrica, atualmente, é Siemen (S) por metro (dS m^{-1}), normalmente expressa em múltiplos, como decisiemen por metro (dS m^{-1}).

Exemplos de cálculo na fertirrigação

Muitos irrigantes, que imaginam estar fazendo a fertirrigação, às vezes estão colocando produtos de mais ou de menos no solo ou na água, o que pode contribuir para o desequilíbrio nutricional nas culturas, perdas de qualidade dos produtos e de produtividade, toxidade nas culturas e contaminação do ambiente.

Existem várias formas para estimar as quantidades de nutrientes que serão colocadas na água de irrigação:

- Preparo de soluções a partir de concentrações preestabelecidas para as culturas. Esse sistema é bastante utilizado para cultivos de hortaliças em estufa, quando se utiliza substratos inertes.
- Soluções calculadas a partir da demanda das culturas, considerando a concentração de nutrientes no solo. Nesse caso, é preciso avaliar a disponibilidade de nutrientes em extensão e profundidade das camadas de solo que podem ser exploradas pelo sistema radicular efetivo das culturas.
- Soluções calculadas a partir da extração de nutrientes pelas culturas. Com base em tabelas que informam as quantidades de macro e micronutrientes extraídas pelas culturas, as quantidades de nutrientes que devem ser aplicadas na fertirrigação visam fornecer os nutrientes necessários para suprir a extração para um determinado valor de colheita.
- Soluções calculadas a partir da produtividade das culturas, da disponibilidade de nutrientes

no solo e sua concentração nos tecidos vegetais. São utilizadas informações sobre a produtividade esperada na próxima safra, assim como a concentração de nutrientes disponíveis no solo e do estado nutricional da cultura, ou seja, se a concentração dos nutrientes nas plantas encontra-se deficiente, adequada ou em excesso.

De acordo com o que foi explanado acima, a primeira opção é mais adequada para cultivos em estufas; a segunda e terceira podem ser aplicadas em condições experimentais e de cultivos comerciais; e a última é a mais prática pela utilização de parâmetros semelhantes à adubação convencional.

Contudo, qualquer que seja a forma utilizada para os cálculos da necessidade de nutrientes a ser aplicada na fertirrigação, os resultados da análise de água de irrigação devem ser essencialmente considerados nesses cálculos, uma vez que a composição da água é fundamental para a tomada de decisão sobre a nutrição da cultura, a viabilidade da fertirrigação e o risco de salinização ou alcalinização do solo.

Exemplo 1

Cálculo da quantidade de fertilizantes a ser aplicado via água de irrigação

As quantidades de fertilizantes recomendadas para uma determinada cultura foram: 400 kg ha^{-1} de N; 140 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 250 kg ha^{-1} de K_2O . Dispõe-se dos seguintes produtos:

- Fosfato diamônio: 21% de N e 53% de P_2O_5 .
- Nitrato de potássio: 13% de N; 46% de K_2O .
- Ureia: 46% de N.

a) O cálculo deve ser iniciado pelo nutriente demandado em menor quantidade. Considerando o cálculo da dosagem de P; o fosfato diamônio possui N (21%) e P (53%). Calculando, tem-se:

Fosfato diamônio:

100 kg de fosfato diamônio	53 kg de P_2O_5
X	140
$X = (100 \times 140)/53 = 264 \text{ kg de fosfato diamônio}$	

Para calcular a quantidade de N em 264 kg de fosfato diamônio, tem-se:

100 kg de fosfato diamônio	21 kg de N
264	X
$X = (264 \times 21)/100 = 55 \text{ kg de N}$	

b) Dando continuidade, realiza-se o cálculo para o K, nutriente demandado em segundo lugar. Tem-se o nitrato de potássio (46% de K_2O e 13% de N):

Nitrato de potássio:

100 kg de nitrato de potássio	46 kg de K_2O
X	250
$X = (100 \times 250)/46 = 544 \text{ kg de nitrato de potássio}$	

Para calcular a quantidade de N em 544 kg de nitrato de potássio, tem-se:

100 kg de nitrato de potássio	13 kg de N
544	X
$X = (13 \times 544)/100 = 71 \text{ kg de N}$	

c) Calculando-se a quantidade de N, deduzindo-se os valores já fornecidos pelo fosfato diamônio e nitrato de potássio, tem-se:

$$400 \text{ kg} - 55 \text{ kg} - 71 \text{ kg} = 274 \text{ kg}.$$

Para o cálculo da quantidade de ureia a ser aplicada, tem-se:

100 kg de ureia	46 kg de N
X	274
$X = (100 \times 274)/46 = 596 \text{ kg de ureia}$	

Devemos aplicar 264 kg de fosfato diamônio; 544 kg de nitrato de potássio e 596 kg de ureia.

Exemplo 2

Cálculo da concentração de nutrientes na água de irrigação

A vazão de um sistema de irrigação por gotejamento é de $45,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ com uma concentração natural de N na água igual a 12 ppm. Deseja-se que a concentração de N, na forma de ureia, na água de irrigação, seja igual a 80 ppm. Pode-se calcular a quantidade de ureia a ser colocada em um tanque de 500 L com o injetor tipo Venturi, com vazão média de sucção de 400 L h^{-1} .

Dados:

q_1 (vazão do sistema de irrigação): $45,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} = 45.500 \text{ L h}^{-1}$;

C_1 (concentração natural de N na água de irrigação): 12 ppm²;

q_2 (vazão do injetor): 400 L h^{-1} ;

C_2 (concentração a ser colocada no tanque): ?

C_3 (concentração desejada na água de irrigação): 80 ppm (0,00008 kg de N por kg de água);

q_3 (vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor): $(45.500 + 400) = 45.900 \text{ L h}^{-1}$.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

$$q_1 \times C_1 + q_2 \times C_2 = q_3 \times C_3.$$

$$C_2 = [(q_3 C_3) - (q_1 C_1)]/q_2 =$$

$$= [(45.900 \times 0,000080) - (45.500 \times 0,000012)]/400 =$$

$$= 0,007815 \text{ kg}$$

² Ppm: partes por milhão. 1 ppm = 1 mg kg^{-1} ou 1 mg L^{-1} . Considerando a densidade da água igual a 1, consequentemente 1 L de água é igual a 1 kg. Portanto 12 ppm pode ser escrito como 0,000012 kg de N por kg de água.

b) Cálculo da quantidade de N a ser colocada no tanque

$$Q_N = V_t \times C_t = 500 \times 0,007815 = 3,9075 \text{ kg de N}$$

Como a água já possui 12 ppm de N que corresponde a 0,006 kg de N ($500 \times 0,000012$), devem-se acrescentar no tanque apenas 3,9015 kg de N ($3,9075 - 0,006$). A quantidade de ureia (46% de N) será:

$$\text{Ureia} = (3,9015 \times 100)/46 = 8,481 \text{ kg} \approx 8,5 \text{ kg de ureia}$$

Exemplo 3

Distribuição da fertirrigação durante o ciclo da cultura do melão

Para cultivo em solo, nem todos os nutrientes necessitam ser aplicados via fertirrigação. Pesquisas com a cultura do melão irrigado por go-

tejamento recomendam que 10% a 20% do N e K, 40% a 60% do Ca e 50% a 100% do P e demais macro e micronutrientes sejam aplicados como adubação de fundação. As outras partes dos nutrientes devem ser aplicadas via irrigação ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. No trabalho de Pinto et al. (1996), N e K foram aplicados diariamente via fertirrigação, enquanto a dose de P recomendada foi totalmente aplicada em fundação, na época do plantio. A quantidade relativa de N e K a ser aplicada via fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro irrigado por gotejamento para cultivares de ciclo inferior a 70 dias é apresentada na Tabela 5.

Outra opção é a distribuição dos fertilizantes ao longo do ciclo da cultura proporcionalmente ao desenvolvimento das plantas, ou seja, de acordo com o crescimento, aumenta-se a dose de fertilizante aplicado (Tabela 6).

Tabela 5. Fontes, doses, frequência e período de aplicação de nutrientes na cultura do melão.

Fonte de fertilizantes	
Nitrogênio (N)	
Opção 1	Ureia
Período de aplicação	3 a 42 dias após a germinação
Frequência	Diária
Dose	80 kg ha ⁻¹
Opção 2	Ureia/sulfato de amônio/nitrato de potássio
Período de aplicação	Ureia: 3 a 15 dias após a germinação
	Sulfato de amônio: 16 a 30 dias após a germinação
	Nitrato de potássio: 31 a 42 dias após a germinação
Potássio (K ₂ O)	
Período de aplicação	Na fundação, antes do plantio
Dose	120 kg ha ⁻¹
Produtividade esperada (Latossolo)	30 kg ha ⁻¹
Produtividade esperada (Vertissolo)	40 t ha ⁻¹

Fonte: Pinto et al. (1996).

Tabela 6. Distribuição de fertilizantes em doses proporcionais ao desenvolvimento na cultura do melão com irrigação por gotejamento.

Nutriente	Ciclo (dias)								
	0	1–7	8–14	15–21	22–28	29–35	36–42	43–49	50–56
Quantidade relativa de nutriente (%)									
Solos de textura argilosa									
N	20	2	3	5	10	20	20	15	5
K	20	2	3	5	10	20	20	15	5
Ca	60	0	0	0	10	10	10	10	0
P	100	0	0	0	0	0	0	0	0
Solos de textura arenosa									
N	10	3	5	5	15	21	21	15	5
K	10	3	5	5	15	21	21	15	5
Ca	40	0	0	10	10	15	15	10	0
P	60	0	5	5	10	10	10	0	0

Fonte: Sousa et al. (2011).

Exemplo 4

Planejamento da fertirrigação para um ciclo da cultura do melão

a) Informações do cultivo

Área: 1,8 ha – dividida em quatro setores de tamanho igual

Sistema de irrigação: gotejamento

Injeção de fertilizantes: na entrada de cada setor

b) Fertilizantes disponíveis

Ureia: 45% de N

MAP: 10% de N, 48% de P_2O_5

Cloreto de potássio: 60% de K_2O

c) Solo – Os resultados da análise química do solo são mostrados na Tabela 7 e as doses de cada nutriente, calculadas em função desses resultados, constam na Tabela 8.

Tabela 7. Resultado de análise química de solo.

CE	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC
$dS\ m^{-1}$	H_2O	$g\ kg^{-1}$	$mg\ dm^{-3}$								
1,19	8,2	9,6	26,9	0,39	14,4	3,5	0,19	0,00	0,00	18,48	18,48

Tabela 8. Quantidades de fertilizantes recomendadas.

Dose recomendada pela análise de solo ($kg\ ha^{-1}$)		Quantidade de adubo por 1,8 ha (kg)		Quantidade de adubo por setor (kg por setor)	
N	90	MAP	150	MAP	37,5
P_2O_5	40	Ureia	326,7	Ureia	82,0
K_2O	40	Cloreto de potássio	120	Cloreto de potássio	30,0

d) Manejo da adubação: três vezes por semana

MAP: 3 a 21 dias após a germinação

Ureia: 3 a 21 dias após a germinação; 28 a 42 dias após a germinação

Cloreto de potássio: 3 a 21 dias após a germinação; 28 a 55 dias após a germinação

Uma sugestão de programação da fertirrigação para distribuição dos fertilizantes durante o ciclo de produção é apresentada na Tabela 9.

Durante a quarta semana, as flores deverão estar abertas, e deverá ocorrer a polinização pelos

Tabela 9. Distribuição dos fertilizantes durante o ciclo de produção.

Período	Aplicação	Fertilizante (kg setor ⁻¹)		
		MAP	Ureia	Cloreto de potássio
1ª semana	1ª	4,2	4,5	1,0
	2ª	4,2	4,5	1,0
	3ª	4,2	4,5	1,0
2ª semana	1ª	4,2	4,5	1,0
	2ª	4,2	4,5	1,0
	3ª	4,2	4,5	1,0
3ª semana	1ª	4,2	4,5	1,0
	2ª	4,2	4,5	1,0
	3ª	4,2	4,5	1,0
4ª semana	1ª	-	-	-
	2ª	-	-	-
	3ª	-	-	-
5ª semana	1ª	-	6,9	1,8
	2ª	-	6,9	1,8
	3ª	-	6,9	1,8
6ª semana	1ª	-	6,9	1,8
	2ª	-	6,9	1,8
	3ª	-	6,9	1,8
7ª semana	1ª	-	-	1,8
	2ª	-	-	1,8
	3ª	-	-	1,8
8ª semana	1ª	-	-	1,8
	2ª	-	-	1,8
	3ª	-	-	1,8

insetos. Orienta-se não prever fertirrigação nesse período, para permitir um ajuste no calendário, caso ocorra algum atraso no início da aplicação dos fertilizantes ou que o florescimento se atrase ou antecipe em função da época do ano e das condições climáticas, com variações da luminosidade e temperatura.

Cálculo da lâmina de água a ser aplicada

Para fazer a fertirrigação, devemos calcular a lâmina de água a ser aplicada pela irrigação. Para a cultura do melão, com adoção de espaçamento de 1,8 m entre linhas de plantas e 0,4 m entre plantas na linha, considerando a fase de desenvolvimento vegetativo da cultura cujo coeficiente de cultura (K_c) seja igual a 0,6; vazão do emissor 1,0 L h⁻¹, com dois emissores por planta espaçados de 0,20 m; evapotranspiração potencial (ET_o) determinada por estação meteorológica automática igual a 6,51 mm dia⁻¹; fator de cobertura 1, com 75% ou mais de cobertura; eficiência de irrigação igual a 90%, pede-se para calcular o tempo de irrigação.

Cálculos:

Cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c)

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

$$ET_c = 6,51 \times 0,6 = 3,91$$

Cálculo da lâmina bruta (LB)

$$LB = ET_c / E$$

$$LB = 3,91 / 0,90 = 4,34$$

Cálculo do tempo de irrigação (TI)

$$TI = Vol / nq$$

$$Vol = LB \times Fc \times Ap$$

$$Ap = 1,8 \times 0,4 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$Vol = 4,34 \times 1 \times 0,72$$

$$Vol = 3,12$$

$$TI = 3,12 / (2 \times 1)$$

$$TI = 1\text{h}35$$

Considerações sobre o manejo da fertirrigação

Admitindo-se um tempo de deslocamento da solução contendo nutrientes entre o ponto de injeção de fertilizante até o último emissor igual a 12 minutos, e os tempos para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação de 15 minutos; para a presente situação adotaremos:

- Tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação: 17 minutos.
- Tempo para distribuição dos fertilizantes e lavagem do sistema de irrigação: 18 minutos.
- Tempo para aplicação dos fertilizantes: 60 minutos.
- Concentração de N na água a ser usada na irrigação: 5 ppm.
- Concentração sugerida de N na água de irrigação (máxima): 300 ppm.
- Área a ser irrigada: 1,8 ha.
- Número de setores: 4.
- Dimensões da área: 220 m x 80 m.
- Dimensões de cada setor: 55 m x 80 m.
- Número de linhas laterais: 30, espaçada de 1,8 m.
- Comprimento da linha lateral: 80 m.
- Número de emissores por lateral: 400.
- Espaçamento entre emissores: 0,20 m.
- Número total de emissores por setor: 12.000.
- Vazão do injetor tipo Venturi: 200 L h⁻¹.
- Volume do tanque de dissolução de nutrientes: 200 L.

Dados:

- q_1 (vazão do sistema de irrigação): 12 m³ h⁻¹ = 12.000 L h⁻¹.

- C_1 (concentração natural de N na água de irrigação): 5 ppm, correspondendo a 5 mg L⁻¹ e 0,000005 kg L⁻¹.
- q_2 (vazão do injetor): 200 L h⁻¹.
- C_2 (concentração a ser colocada no tanque): ?
- C_3 (concentração desejada na água de irrigação): 300 ppm (0,00030 kg de N por litro de água).
- q_3 (vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor): 12.000 + 200 = 12.200 L h⁻¹.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

$$q_1 \times C_1 + q_2 \times C_2 = q_3 \times C_3 \quad .$$

$$\begin{aligned} C_2 &= [(q_3 C_3) - (q_1 C_1)] / q_2 = \\ &= [(12.200 \times 0,0003) - (12.000 \times 0,000005)] / 200 = \\ &= 0,018 \text{ kg} \end{aligned}$$

b) Cálculo da quantidade de N a ser colocada no tanque

$$Q_N = V_{\text{tanque}} \times C_{\text{tanque}} = 200 \times 0,018 = 3,6 \text{ kg de N}$$

Como a água já possui 5 ppm de N que corresponde a 0,001 kg de N (200 x 0,000005), devem-se acrescentar no tanque apenas 3,599 kg de N (3,6 – 0,001). A quantidade de ureia (45% de N) será:

$$\text{Ureia} = (3,599 \times 100) / 45 = 8,0 \text{ kg de ureia}$$

A quantidade máxima de ureia que deve ser dissolvida no tanque é 8,0 kg. Pela Tabela 9, a maior quantidade de ureia a ser aplicada é 6,9 kg; conseqüentemente, as condições especificadas são atendidas, pois podemos aplicar até 8,0 kg de ureia.

As lâminas de água a serem aplicadas devem ser calculadas para cada fase do ciclo de desenvolvimento da cultura, com os respectivos coeficientes de cultura (K_c); fator de cobertura do solo

(F_c); e evapotranspiração potencial, em função das alterações dos parâmetros climáticos.

Exemplo 5

Fertirrigação em videira de mesa sem sementes

Neste exemplo, será mostrado o cálculo de fertirrigação para a videira de mesa sem sementes, na fase de produção. Por questão de praticidade na obtenção das informações, o método utilizado é aquele que considera a produtividade esperada (Tabela 10) e os resultados de análise de solo e de tecido vegetal.

Observações:

- Uvas de mesa sem semente apresentam baixa demanda por N e maior demanda por K em relação àquelas com sementes. As doses de N a serem aplicadas na fase de produção são definidas em função do vigor da planta e do porta-enxerto (Tabela 11). As doses de K devem ser aumentadas em 30% nessas cultivares em relação às uvas com sementes.
- As doses de P e K serão definidas em função da produtividade esperada e da textura do solo, no caso de P. Para o K, além da produtividade esperada, será necessário avaliar os

teores de K disponível no solo ou a saturação de K em relação a CTC: saturação de K > 15%, não aplicar potássio se $CE > 2 \text{ dS m}^{-1}$.

- Quando os teores de Mg estão abaixo do nível crítico no solo ou em desequilíbrio com os teores de Ca e K, deve ser realizada aplicação de Mg no solo ou foliar.
- A aplicação de micronutrientes deve ser realizada com base em análise de solo e, preferencialmente, foliar. A dose a ser aplicada deve estar em torno de: 1,0 g/planta de B; 4,5 g/planta de Zn; e pulverização com molibdato de sódio ou de amônio a 0,05%, no período de brotação, como fonte de molibdênio (Mo).

Informações sobre o cultivo

Cultura: videira

Cultivar: Sugraone

Porta-enxerto: IAC 766

Plantas com vigor alto

Espaçamento: 3 m x 2 m (1.666 plantas ha^{-1})

Idade: 2 anos (2º ciclo de produção)

Produtividade esperada: 25 t ha^{-1}

Tabela 10. Quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) indicadas para a adubação de produção para uvas com e sem sementes, em função da produtividade estimada e da disponibilidade de nutrientes no solo.

Produtividade esperada (t ha ⁻¹)	N ⁽¹⁾ (kg ha ⁻¹)	P no solo (mg dm ⁻³)					K no solo (cmol _c dm ⁻³)			
		Solo arenoso								
		< 11	11–20	21–40	41–80	> 80	< 0,16	0,16–0,30	0,31–0,45	> 0,45
		Solo argiloso					Saturação de K			
		< 6	6 a 10	11 a 20	21–40	> 40	< 5	5–10	11–15	> 15
		kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅					kg ha ⁻¹ de K ₂ O			
< 15	60–150	120	80	40	20	0	100	75	50	0
15–25	60–150	160	120	80	40	0	200	150	75	50
26–35	60–150	200	160	120	60	0	300	225	100	75
> 35	60–150	240	200	160	80	0	400	300	150	100

⁽¹⁾ Doses indicadas apenas para videiras com sementes.

Fonte: Cavalcanti (2008).

Tabela 11. Doses de N indicadas para a adubação de produção de uvas sem semente.

Vigor da copa	Porta-enxerto		
	Pouco vigoroso	Médio	Muito vigoroso
	kg ha ⁻¹ de N		
Médio	90	75	50
Alto	60	50	25
Muito alto	30	25	0

Sistema de irrigação: gotejamento, uma linha de distribuição com emissores espaçados de 0,5 m e vazão de 4 L h⁻¹

Interpretação dos resultados de análise de solo e de folhas

A CE do solo apresenta valor adequado, o pH está na faixa adequada, os teores de matéria orgânica são baixos, e os teores de P, K, Ca e Mg estão adequados ao cultivo da videira (Tabela 12). A CTC apresenta valores médios, e a saturação por base está adequada. Com relação aos micronutrientes, os teores de Mn e Zn no solo são altos.

Nas folhas, os teores de K, Ca, Mg e S estão abaixo do padrão recomendado para a videira, principalmente os teores de K e Mg (Tabela 13). Com relação aos micronutrientes, Cu e Fe apresentam valores ligeiramente abaixo do padrão nutricional, e os teores de Zn são baixos.

Os resultados de análise foliar são utilizados para a realização de um ajuste fino na recomendação de adubação.

1) Recomendação de adubação

As quantidades de N, P₂O₅ e K₂O são recomendadas de acordo com as Tabelas 10 e 11. As doses de N foram definidas em 50 kg ha⁻¹, em função do vigor alto da copa e vigor médio do porta-enxerto (Tabela 11), de acordo com as informações sobre o cultivo. As doses de P₂O foram definidas em 40 kg ha⁻¹ em função do resultado da análise de solo (Tabela 12), considerando a textura arenosa, e da produtividade esperada de 25 t ha⁻¹ (Tabela 10). As doses de K₂O foram definidas em 150 kg ha⁻¹ em função da saturação de potássio no solo, de 7,7% (Tabela 12), e da produtividade esperada de 25 t ha⁻¹ (Tabela 10). Essa dose de K₂O deve ser suficiente para suprir a deficiência diagnosticada na análise foliar. A deficiência de Ca pode ser suprida por meio de um fertilizante solúvel que tem o Ca como íon acompanhante, como nitrato de cálcio, aplicado via fertirrigação, ou por meio da aplicação de gesso no solo antes da poda de produção, uma vez que não há necessidade de calagem.

As doses de Mg equivalem a 200 kg ha⁻¹ de sulfato de magnésio, visando suprir a deficiência de Mg diagnosticada pela análise foliar da videira. Essas podem ser aplicadas no solo, antes da poda de produção, via fertirrigação, ou ainda em pulverização durante o ciclo de produção.

O S é suprido como íon acompanhante no sulfato de potássio e de magnésio, portanto não

Tabela 12. Resultados de análise de solo.

CE	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
dS m ⁻¹	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³				%			mg dm ⁻³	
0,2	6,9	12,3	70	0,39	2,6	1,0	0,03	0,05	0,99	4,02	5,01	80	0,9	20	23	5

Tabela 13. Resultado de análise foliar.

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
30,2	2,7	5,0	11,1	2,6	2,7	54,3	15,0	79,0	220,0	20,0	60,0

será necessária uma aplicação específica desse nutriente. O Fe pode ser fornecido como fertilizante comercial solúvel na forma quelatizada, aplicado via fertirrigação. Contudo, essa aplicação seria mais importante para cultivares de uvas tintas, o que não é o caso da 'Sugraone'.

O Cu normalmente é fornecido em grande quantidade pelos defensivos agrícolas, dispensando a adubação com esse nutriente. O Zn deve ser fornecido via foliar, uma vez que já existe Zn em grande quantidade no solo, mas a planta não consegue absorvê-lo em razão da competição com outros íons no solo. Existe ainda a possibilidade de que a análise de solo apresente contaminação com esse íon, o que justifica a sua aplicação.

As quantidades de nutrientes recomendadas, fertilizantes e forma de aplicação (Tabela 14) são uma sugestão para o manejo nutricional da videira 'Sugraone'. Entretanto, existem outras formas de interpretar os resultados e de realizar a adubação ou a fertirrigação.

Plano de fertirrigação

Na fase de produção, a fertirrigação da videira, assim como a fertilização via solo, é realizada em função das fases de desenvolvimento da planta (Figura 13).

A distribuição dos nutrientes, durante o ciclo de produção, é realizada em função da demanda nas fases de desenvolvimento da planta (Tabela 15). São realizadas aproximadamente três aplicações por semana.

A participação de nutrientes em cada fase do ciclo de produção é apresentada na Tabela 16.

Doses de fertilizantes aplicadas em cada fertirrigação

Com base nos dados das Tabelas 14, 15 e 16, foram calculadas as doses de fertilizantes para cada evento de fertirrigação (Tabela 17). Esses fertilizantes também podem ser preparados em solução estoque para uma determinada fase, por exemplo, para a fase de brotação à floração, entre

Tabela 14. Recomendação de fertilizantes, fontes e forma de aplicação para o manejo nutricional da videira 'Sugraone'.

Nutriente	Dose (kg ha ⁻¹)	Fonte	Forma de aplicação
N	50	Nitrato de cálcio; ureia; nitrato de potássio	Fertirrigação
P ₂ O ₅	40	Ácido fosfórico	Fertirrigação
K ₂ O	150	Nitrato de potássio; sulfato de potássio	Fertirrigação
Mg	17	Sulfato de magnésio	Fertirrigação
S		Íon acompanhante	Fertirrigação
Fe		Fertilizante quelatizado	Fertirrigação
Cu		Defensivo	Pulverização
Zn		Fertilizante foliar	Pulverização



Figura 13. Fenologia da videira: etapas de desenvolvimento da planta durante um ciclo de produção.

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

Tabela 15. Distribuição dos nutrientes durante o ciclo de produção.

Nutriente	Período (DAP)	Nº de aplicações
N, P, K, Mg	3 a 28	11
N	36 a 63	12
P, K, Mg	36 a 70	15
P, K	71 a 84	6

DAP: dias após a poda.

Tabela 16. Participação de nutrientes em cada fase do ciclo de produção.

Período (DAP)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg
	%			
3 a 28	60	20	20	50
36 a 63	40	-	-	-
36 a 70	-	60	70	50
71 a 84	-	20	10	-

DAP: dias após a poda.

Tabela 17. Concentração de nutrientes nos fertilizantes.

Fertilizante	Composição
Nitrato de cálcio	14% N; 20% Ca
Ureia	45% N
Ácido fosfórico	62% P ₂ O ₅ , d = 1,684 g cm ⁻³
Nitrato de potássio	46% K ₂ O; 13% N
Sulfato de potássio	50% K ₂ O; 18% S
Sulfato de magnésio	9,7% Mg; 12,8% S

3 e 28 dias após a poda (DAP), que prevê 11 aplicações. Contudo, para preparo da solução estoque, deve ser observada a compatibilidade entre os fertilizantes. Nesse exemplo, o ácido fosfórico não poderá ser armazenado na solução estoque por causa do risco de precipitação com o nitrato de cálcio. Nesse caso, ele deve ser aplicado separadamente, após a fertirrigação dos demais, ou armazenado em recipiente individual, separado dos demais fertilizantes.

Cálculo da lâmina de água a ser aplicada

Para fazer a fertirrigação devemos calcular a lâmina de água a ser aplicada pela irrigação. Para

a cultura da uva com adoção de espaçamento de 3 m entre linhas de plantas e 2 m entre plantas na linha, considerando a fase de desenvolvimento vegetativo da cultura, cujo coeficiente de cultura (K_c) seja igual a 1,0; vazão do emissor 4,0 L h⁻¹, com quatro emissores por planta espaçada de 0,50 m; evapotranspiração potencial (ET_o) determinada por estação meteorológica automática igual a 7,2 mm; fator de cobertura um, com 75% ou mais de cobertura; e eficiência de irrigação igual a 85%. Pede-se: calcular o tempo de irrigação.

Cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c)

$$ET_c = ET_o \times K_c$$

$$ET_c = 7,2 \times 1 = 7,2$$

Cálculo da lâmina bruta (LB)

$$LB = ET_c / E$$

$$LB = 7,2 / 0,85 = 8,47$$

Cálculo do tempo de irrigação (TI)

$$TI = Vol / nq$$

$$Vol = LB \times Fc \times Ap$$

$$Ap = 3 \times 2 = 6 \text{ m}^2$$

$$Vol = 8,47 \times 1 \times 6$$

$$Vol = 50,82$$

$$TI = 50,82 / (4 \times 4)$$

$$TI = 3\text{h}10$$

Considerações sobre o manejo da fertirrigação

Admitindo-se um tempo de deslocamento da solução contendo nutrientes, entre o ponto de injeção de fertilizante até o último emissor, igual a 20 minutos. Tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação de 25 minutos. Para a presente situação adotaremos:

- Tempo para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação: 30 minutos.
- Tempo para distribuição dos fertilizantes e lavagem do sistema de irrigação: 30 minutos.
- Tempo para aplicação dos fertilizantes: 2h10.

- Concentração de N na água a ser usada na irrigação: 5 ppm.
- Concentração sugerida de N na água de irrigação (máxima): 100 ppm.
- Área a ser irrigada: 1,0 ha.
- Número de setores: 1.
- Dimensões de uma suposta área: 125 m x 80 m.
- Número de linhas laterais: 40 (espaçadas de 3 m).
- Comprimento da linha lateral: 80 m.
- Número de emissores por lateral: 160 (espaçamento entre emissores igual a 0,50 m).
- Vazão do emissor: 4 L h⁻¹.
- Número total de emissores por setor: 6.400.
- Vazão do injetor tipo Venturi: 400 L h⁻¹.
- Volume do tanque de dissolução de nutrientes: 400 L.

Dados:

- q_1 (vazão do sistema de irrigação): 25,6 m³ h⁻¹ = 25.600 L h⁻¹.
- C_1 (concentração natural de N na água de irrigação): 5 ppm, correspondendo a 5 mg L⁻¹ e 0,000005 kg L⁻¹.
- q_2 (vazão do injetor): 400 L h⁻¹.
- C_2 (concentração a ser colocada no tanque): = ?
- C_3 (concentração desejada na água de irrigação): 100 ppm (0,00010 kg de N por L de água).
- q_3 (vazão do sistema de irrigação mais vazão do injetor): 25.600 + 400 = 26.000 L h⁻¹.

Solução:

a) Cálculo da concentração no tanque de mistura

Pela equação da conservação da massa, tem-se:

$$q_1 \times C_1 + q_2 \times C_2 = q_3 \times C_3 \therefore$$

$$C_2 = [(q_3 C_3) - (q_1 C_1)] / q_2 =$$

$$= [(26.000 \times 0,0001) - (25.600 \times 0,000005)] / 400 =$$

$$= 0,00618 \text{ kg}$$

b) Cálculo da quantidade de N a ser colocada no tanque

$$Q_N = V_t \times C_t = 400 \times 0,00618 = 2,472 \text{ kg de N}$$

Como a água já possui 5 ppm de N que corresponde a 0,002 kg de N (400 x 0,000005), deve-se acrescentar no tanque apenas 2,470 kg de N. A quantidade de nitrato de cálcio (15% de N) será:

$$\text{Nitrato de cálcio} = (2,47 \times 100) / 15 = 16,47 \text{ kg}$$

A quantidade máxima de ureia que deve ser dissolvida no tanque é 16,47 kg. Pela Tabela 16, a maior quantidade de nitrato de cálcio a ser aplicada é de 13,89 kg; conseqüentemente, as condições especificadas são atendidas, pois podemos aplicar até 16,47 kg de nitrato de cálcio.

Lembrando-se que os cálculos foram feitos para um dia específico, para o ciclo da cultura, as lâminas de água a serem aplicadas, conseqüentemente os tempos de irrigação, devem ser calculadas para cada fase do ciclo de desenvolvimento da cultura, com os respectivos coeficientes de cultura (K_c), fator de cobertura do solo (F_c), e considerando a evapotranspiração potencial, que é função dos parâmetros climáticos.

Considerando a Tabela 18, vamos elaborar o planejamento da fertirrigação referente ao período de 3 a 28 dias após a poda, com 11 aplicações (Tabela 19).

Para os outros períodos 36 a 63 (N – 12 aplicações); 36 a 70 (P, K, Mg – 15 aplicações); e 71 a 84 (P, K – 6 aplicações), deve-se elaborar o planejamento.

Tabela 18. Doses de fertilizantes para cada fase de desenvolvimento da planta.

Período (DAP)	Fertilizante	Dose por aplicação
3 a 28	Nitrato de potássio	5,93 kg ha ⁻¹
	Nitrato de cálcio	13,98 kg ha ⁻¹
	Ácido fosfórico	0,70 L ha ⁻¹
36 a 63	Ureia	3,70 kg ha ⁻¹
36 a 70	Sulfato de potássio	14,00 kg ha ⁻¹
	Sulfato de magnésio	9,35 kg ha ⁻¹
	Ácido fosfórico	1,54 L ha ⁻¹
71 a 84	Sulfato de potássio	5,00 kg ha ⁻¹
	Sulfato de magnésio	5,84 kg ha ⁻¹
	Ácido fosfórico	1,22 L ha ⁻¹

DAP: dias após a poda.

Tabela 19. Distribuição dos fertilizantes durante o ciclo de produção.

Período (DAP)	Aplicação	Fertilizante (kg/setor)		
		Nitrato de potássio (kg ha ⁻¹)	Nitrato de cálcio (kg ha ⁻¹)	Ácido fosfórico (mL ha ⁻¹)
		Opção A		
3 a 28	1ª	1,5		
	2ª		3,5	
	3ª			240
	4ª	1,5		
	5ª		3,5	
	6ª			240
	7ª	1,5		
	8ª		3,5	
	9ª			240
	10ª	1,5		
	11ª		3,5	
Opção B				
3 a 28	1ª	0,550	1,275	65
	2ª	0,550	1,275	65
	3ª	0,550	1,275	65
	4ª	0,550	1,275	65
	5ª	0,550	1,275	65
	6ª	0,550	1,275	65
	7ª	0,550	1,275	65
	8ª	0,550	1,275	65
	9ª	0,550	1,275	65
	10ª	0,550	1,275	65
	11ª	0,550	1,275	65

DAP: dias após plantio.

Exemplo 6

Fertirrigação em pastagem

Os principais sistemas de irrigação em pastagem são pivô central e sistemas de aspersão em malha, que pode ser automatizada ou semiautomatizada.

Para o sistema de irrigação por aspersão, se o aspersor selecionado possui diâmetro de bocais 5,00 mm x 2,5 mm, pressão de serviço de 3 bar, vazão de 1,95 com espaçamento entre aspersores de 18 m x 18 m, será aplicada uma lâmina de água de 6,02 mm h⁻¹.

Em 1 ha teremos 6 linhas laterais e 36 aspersores. Possivelmente, o Venturi não atende às condições para realizar a fertirrigação; então, deve-se adquirir um injetor elétrico.

Elaborar um programa de fertirrigação para pastagem que atenda às seguintes condições: para capacidade de suporte de nove unidades de animais por hectare (9 UA ha⁻¹), deve-se aplicar 1.000 kg de ureia por hectare por ano; 250 kg de MAP por hectare por ano; 720 kg de cloreto de potássio por hectare por ano; e 160 kg de sulfato de amônio por hectare por ano.

Lembrando que para os cálculos das doses, deve-se fazer análise de solo. Considerando piquetes com rotação a cada 20 dias, teremos 18 rotações por ano.

Se planejarmos a fertirrigação na saída dos animais, teremos 18 fertirrigações por ano.

Ureia: 18 aplicações de 56 kg em cada aplicação por hectare.

MAP: 18 aplicações de 14 kg em cada aplicação por hectare.

Cloreto de potássio: 18 aplicações de 40 kg em cada aplicação por hectare.

Sulfato de amônio: 18 aplicações de 9 kg em cada aplicação por hectare.

Se planejarmos a fertirrigação na entrada e na saída dos animais, teremos 36 fertirrigações por ano.

Ureia: 36 aplicações de 23 kg em cada aplicação por hectare.

MAP: 36 aplicações de 7 kg em cada aplicação por hectare.

Cloreto de potássio: 36 aplicações de 20 kg em cada aplicação por hectare.

Sulfato de amônio: 36 aplicações de 4,5 kg em cada aplicação por hectare.

O tempo deve ser dividido em três etapas:

- 1ª para equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação;
- 2ª para aplicação dos fertilizantes;
- 3ª para distribuição dos fertilizantes na área.

Deve-se ter cuidado especial com a corrosão de bombas e aspersores e usar, sempre que possível, tubos de PVC.

Manejo da fertirrigação

Para a realização da fertirrigação, recomenda-se dividir o processo em três etapas, a primeira para eliminar o ar das tubulações e proporcionar o equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação, a segunda para a aplicação dos fertilizantes e a terceira para a lavagem do sistema de irrigação. Assim, eliminam-se partículas e vestígios de nutrientes, consequentemente, evita-se a proliferação de algas e bactérias, e propicia melhor incorporação do fertilizante na zona de maior concentração do sistema radicular da cultura.

Para definir o tempo de cada etapa, o primeiro passo será determinar o tempo que a água, já então na solução de nutrientes, demora para percorrer a distância entre o injetor de fertilizantes e o emissor situado no ponto mais distante. Um procedimento prático para determinar o tempo necessário para deslocar essa solução de nutrientes, entre o injetor de fertilizantes e

o ponto mais distante, é colocar um corante na água e computar o tempo de deslocamento, do início da aplicação da água com o corante dissolvido até o momento em que a água atinge o último emissor, usando cronômetros. Esse tempo, acrescido de uma margem de segurança de 15% a 20% do tempo de deslocamento da água, será o tempo necessário para lavar o sistema de irrigação. Para o equilíbrio hidráulico, recomenda-se deixar o sistema de irrigação funcionar por um período de 15 a 20 minutos. O restante do tempo será para aplicação dos fertilizantes.

A frequência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante e do solo. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais frequentemente que aqueles com menor potencial, como os potássicos. Todavia, na prática, os fertilizantes são aplicados com a mesma frequência. Solos de textura argilosa, por apresentar maior capacidade de armazenamento de água, requerem aplicação menos frequente de água e também de fertilizantes. Entretanto, em solos de textura arenosa, que requerem aplicação de água mais frequente, a fertirrigação deve ser na mesma frequência da irrigação.

Existem orientações a serem observadas na dissolução dos fertilizantes (Burt et al., 1995):

- Verificar a compatibilidade dos fertilizantes a serem dissolvidos simultaneamente. Fertilizantes contendo cálcio, se misturado com fertilizantes contendo sulfatos, resulta na formação de sulfato de cálcio, de baixa solubilidade, e consequente aumento de precipitação de partículas, que obstruem os emissores de água.
- Quando se dissolvem fertilizantes líquidos e sólidos no mesmo recipiente, deve-se colocar os fertilizantes líquidos antes dos fertilizantes sólidos, pois os fertilizantes líquidos podem proporcionar aumento de temperatura da água, e alguns fertilizantes sólidos causam a redução da temperatura da solução, interferindo na solubilidade dos componentes da solução.

- Deve-se efetuar a agitação dos fertilizantes, evitando, consequentemente, a formação de precipitados.
- Adicionar os ácidos à água, e não o contrário.
- Recomenda-se cautela ao usar água rica em cálcio e magnésio ao dissolver fertilizantes fosfatados e sulfúricos, pois podem formar substâncias insolúveis.

Os tanques utilizados para dissolução dos fertilizantes devem ser confeccionados de materiais não corrosivos, pois a maioria dos fertilizantes são corrosivos, em maior ou menor grau. Recomenda-se o uso de dois tanques, sendo o primeiro instalado a uma altura maior que o segundo. No primeiro tanque, dissolvem-se os fertilizantes. Após a completa dissolução deles, transfere-se a solução para o tanque colocado na posição mais baixa, tendo o cuidado de fazer uma filtragem para reter as impurezas na solução (Figura 14).

Limpeza do sistema de irrigação

A limpeza do sistema de irrigação, no mínimo uma vez por semestre, pode ser feita aplicando ácido (Burt et al., 1995). O processo consiste em fazer a aplicação de ácido, desligar o sistema de irrigação, aguardar 2 horas, abrir todos os finais de linha de gotejadores, ligar o sistema de irrigação e aguardar até que a água saia completamente limpa nos finais de linhas.

Exemplo de cálculo para limpeza de sistema de irrigação

Calcular a quantidade de ácido necessária para realizar a limpeza de um sistema de irrigação, com parcela irrigada composta por 400 plantas, cada planta recebe água de quatro emissores com vazão de $3,75 \text{ L h}^{-1}$. A vazão do Venturi é igual a 60 L h^{-1} . A água usada na irrigação tem pH igual a 8,6 e condutividade elétrica (dS m^{-1}) igual a 0,7. O pH da solução para limpeza do sistema de irrigação, ácido e água, deve ser menor que 2.

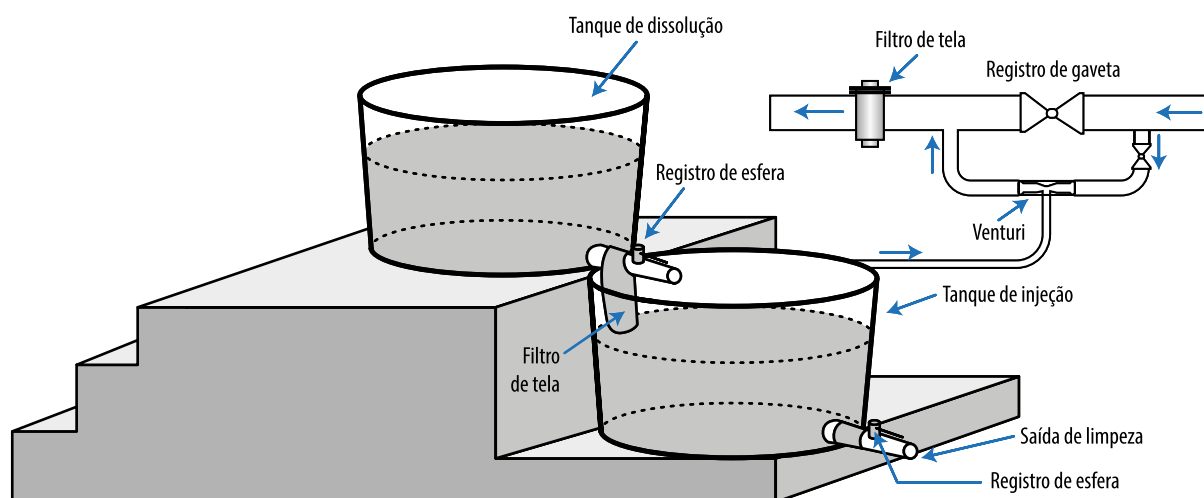


Figura 14. Disposição dos tanques para o preparo da solução de fertilizantes.

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

Cálculos

Primeiro passo, calcula-se a vazão do sistema de irrigação necessária para irrigar a parcela. Têm-se 400 plantas, com 4 gotejadores por planta. O número de gotejadores da parcela é igual a 400 plantas x 4 gotejadores por planta que é igual a 1.600 gotejadores. A vazão de cada gotejador é igual a $3,75 \text{ L h}^{-1}$, consequentemente a vazão total é igual a $1.600 \times 3,75 \text{ L h}^{-1}$ que é igual a 6.000 L h^{-1} .

Segundo passo, calcula-se a quantidade de ácido necessária para abaixar o pH da água (8,6) para 2. Deve-se diluir o ácido na proporção de 5:1.000, para evitar quedas bruscas do pH. Coleta-se uma amostra de 200 mL (0,2 L) da água usada na irrigação. Adiciona-se ácido diluído na amostra de água até o valor do pH chegar a 2, sempre medindo o volume de ácido adicionado. No presente caso, o volume de ácido diluído necessário para o pH atingir 2 foi igual a 40 cm^3 (0,04 L) de ácido diluído.

Calculou-se, para um volume de água igual a 0,2 L, o volume de ácido diluído para 1 L de água, usando regra de três:

0,2 L de água	0,04 L de ácido diluído
1 L de água	X
$X (1 \times 0,04)/0,2 = 0,2 \text{ L (200 cm}^3\text{) de ácido nítrico diluído por litro de água}$	

Terceiro passo, determina-se o volume de ácido puro necessário para a água chegar a pH igual a 2 por litro de água usada na irrigação.

O ácido foi diluído na proporção de 5:1.000, ou seja, em 1 L (1.000 cm^3) de solução tem 5 cm^3 de ácido.

1.000 cm^3 de sol	5 cm^3 de ácido nítrico
200	Y
$Y (200 \times 5)/1.000 = 1 \text{ cm}^3 (0,001 \text{ L) de ácido nítrico puro por litro de água}$	

A vazão do sistema de irrigação é igual a 6.000 L h^{-1} . Pode-se calcular o volume de ácido nítrico puro necessário para abaixar o pH da água (8,6) para 2, usando regra de três.

1 L de água	0,001 L de ácido nítrico puro
6.000 L de água	Z
$Z = (6.000 \times 0,001)/1 = 6 \text{ L de ácido nítrico puro, ou seja, para os 6.000 L de água, necessita-se de 6 L de ácido nítrico puro}$	

Quarto passo, calcula-se o volume de solução a ser aplicado pelo Venturi. A vazão do Venturi é igual a 60 L h^{-1} . A aplicação será realizada em 1 hora. Logo, o volume de solução a ser aplicado pelo Venturi será 60 L. Em 1 hora, o volume

de água aplicado pelo sistema de irrigação é igual a 6 mil litros de água. Para esse volume de água, necessita-se de 6 L de ácido, conforme calculado anteriormente ($Z = 6$ L de ácido). Também em 1 hora o Venturi aplica 60 L de solução, que será formada por 6 L de ácido e 54 L de água.

Quinto passo, aplica-se a solução durante 1 hora. Finalizada a aplicação, desliga-se o sistema de irrigação, espera-se, no mínimo, 2 horas; após esse tempo, abrem-se todos os finais de linhas de gotejadores e liga-se novamente o sistema de irrigação, aplicando-se água pura para a lavagem do sistema de irrigação.

Aplicação de agroquímicos

Atualmente, assim como a fertirrigação, a técnica de aplicação de agroquímicos vem se aperfeiçoando. Essa técnica está se intensificando pelos produtores que dispõem de equipamentos de irrigação, pois é uma técnica eficiente para aplicação de produtos químicos e economicamente viável. Os mais diversos tipos de produtos, entre eles os herbicidas, os inseticidas, os fungicidas, os nematicidas, produtos biológicos, são passíveis de serem aplicados via irrigação.

A aplicação de agroquímicos pode ser realizada com todos os métodos de irrigação: superfície, aspersão e localizada. Nas irrigações por superfície e localizada, apenas é possível aplicar agroquímicos que têm como alvo o solo. Na irrigação por aspersão, a aplicação é feita em área total, e os agroquímicos podem ter como alvo tanto o solo quanto a parte aérea das plantas, ou ambos. Diferente da fertirrigação, que é de uso contínuo, a aplicação de agroquímicos é realizada quando houver necessidade de aplicação de cada produto específico.

Devem-se conhecer as características química e física dos produtos a serem aplicados via água de irrigação, como: solubilidade, adsorção, desorção, volatilidade e fotossensibilidade do solo e da água. O que mais influencia na adsorção de herbicida é o solo, com o tipo e a quantidade

de argila e de matéria orgânica presentes. Recomenda-se, em solos argilosos e, principalmente, em orgânicos, aplicar maior dose de herbicida que em arenosos, para o controle adequado de plantas daninhas (Lima et al., 2012).

No Brasil, não existem leis específicas para aplicação de produtos via água de irrigação. Todavia, a aplicação de produtos químicos para tratamentos fitossanitários via água de irrigação deve seguir a legislação vigente para os tratamentos sanitários, com as recomendações de cada produto, inclusive obedecer aos períodos de carências, registros para as respectivas culturas e as dosagens especificadas no rótulo de cada produto. Vale ressaltar que os defensivos devem estar devidamente registrados nos órgãos federais e estaduais competentes.

A vantagem da aplicação de agroquímicos consiste na não contaminação dos operadores, pois não há derivas de produtos, principalmente em sistemas de irrigação localizada. Para os sistemas de irrigação por aspersão e pivô central, devem-se evitar horários com vento, minimizando as derivas e, conseqüentemente, perdas dos produtos aplicados.

Herbicidas podem ser aplicados, via água de irrigação, para evitar o crescimento de raízes nos emissores de água e evitar a obstrução deles (Tales, 2002).

No Brasil, somente nos últimos anos é que a quimigação tem-se firmado como técnica, e os proprietários dos sistemas de irrigação localizada e pivô central são os que fazem uso mais frequente dessa prática. Com a evolução dos sistemas de irrigação, a introdução de novos defensivos no mercado, o aumento crescente do custo da mão de obra e a necessidade de elevar a eficiência dos insumos agrícolas, criou-se expectativa em relação à utilização dessa tecnologia. Entretanto, no Brasil, como não há legislação específica sobre as precauções a serem tomadas, as medidas e os equipamentos de segurança a serem adotados dependem,

basicamente, da conscientização do produtor irrigante e do custo envolvido.

Um exemplo prático pode ser visto para cultura de ciclo curto, como o meloeiro, em que os métodos de aplicação dos agroquímicos são realizados por pulverização e via irrigação. No primeiro caso, são realizadas com equipamento costal e/ou pulverizadores em barra de trator. Para o uso via sistema de irrigação, os neonicotinoides são a única opção, e possuem ação sistêmica e recomendações específicas para sua aplicação por esse método. O neonicotinoide tiametoxan, aplicado via irrigação, possui período de carência de 64 dias. Consequentemente, o único momento possível de sua utilização por esse método é logo após a germinação ou transplântio, já que o tempo para colheita é de aproximadamente 65 dias para o melão. Para as áreas de meloeiro que já estejam com presença de mosca branca, é recomendada uma aplicação preventiva de neonicotinoide. Essa deve ser realizada via irrigação na emergência das plântulas. Na sequência, deve-se iniciar o monitoramento de mosca branca, a cada 3 dias.

Em geral, os produtos químicos aplicados via água de irrigação por gotejamento estão sendo utilizados para o combate do bicho mineiro e pulgão, especialmente, tiametoxan, abamectina e cipermetrina.

Sistema de prevenção do refluxo

Os equipamentos mínimos requeridos na quimigação são: sistema de irrigação (sucção, eletro ou motobomba, recalque e linhas laterais de irrigação), bomba injetora, depósito de agroquímicos, válvula de retenção e manômetro.

A instalação e manutenção dos equipamentos para prevenir o refluxo dos químicos dentro da fonte de água ou do depósito de agroquímico são fundamentais para o sucesso dessa tecnologia de aplicação de produtos químicos.

A prevenção de retorno de fluxo é crítica em sistema de fertirrigação. Quando não se utilizam sistemas de prevenção, o fertilizante que permanece no sistema, no momento em que o sistema de irrigação é desligado, será sifonado através da bomba, atingindo a fonte de água.

Os equipamentos de prevenção de refluxo são diversos, cujo sistema consiste em:

Válvula de retenção na linha principal de irrigação, ventosa-sifão e um dreno

A válvula de retenção e a ventosa-sifão impedem o produto químico e/ou a solução de retornar à fonte d'água. As válvulas de retenção devem situar-se entre a bomba de irrigação e o ponto de injeção na linha principal de irrigação. A função do dreno de baixa pressão é remover qualquer solução de produto químico que tenha passado pela válvula de retenção.

Sistema bloqueador de injeção de químicos

O sistema que interrompe a injeção de produtos químicos consiste de uma válvula de retenção, uma válvula solenoide, localizada na linha de sucção, suprimento de energia do sistema de irrigação e a bomba de injeção de químicos. A válvula de retenção na linha de injeção de químicos é necessária para prevenir o fluxo de água do sistema de irrigação para o interior do tanque.

Bomba injetora

A bomba injetora de produtos químicos deve ter precisão de 0,5% a 1%, fácil ajuste para diferentes doses, mesmo durante a operação, material não corrosivo e de mecânica robusta. O motor elétrico deve ser totalmente selado para minimizar a possibilidade de combustão, quando combustíveis ou vapor químico estejam presentes.

A instalação do sistema de injeção usando a bomba do sistema de irrigação como injetor de fertilizante, como ilustrado na Figura 15, é encontrada na prática. Todavia, tecnicamente, não se recomenda fazer injeção de produtos químicos na água de irrigação, incluindo fertilizante que utilize a bomba de sucção para inje-

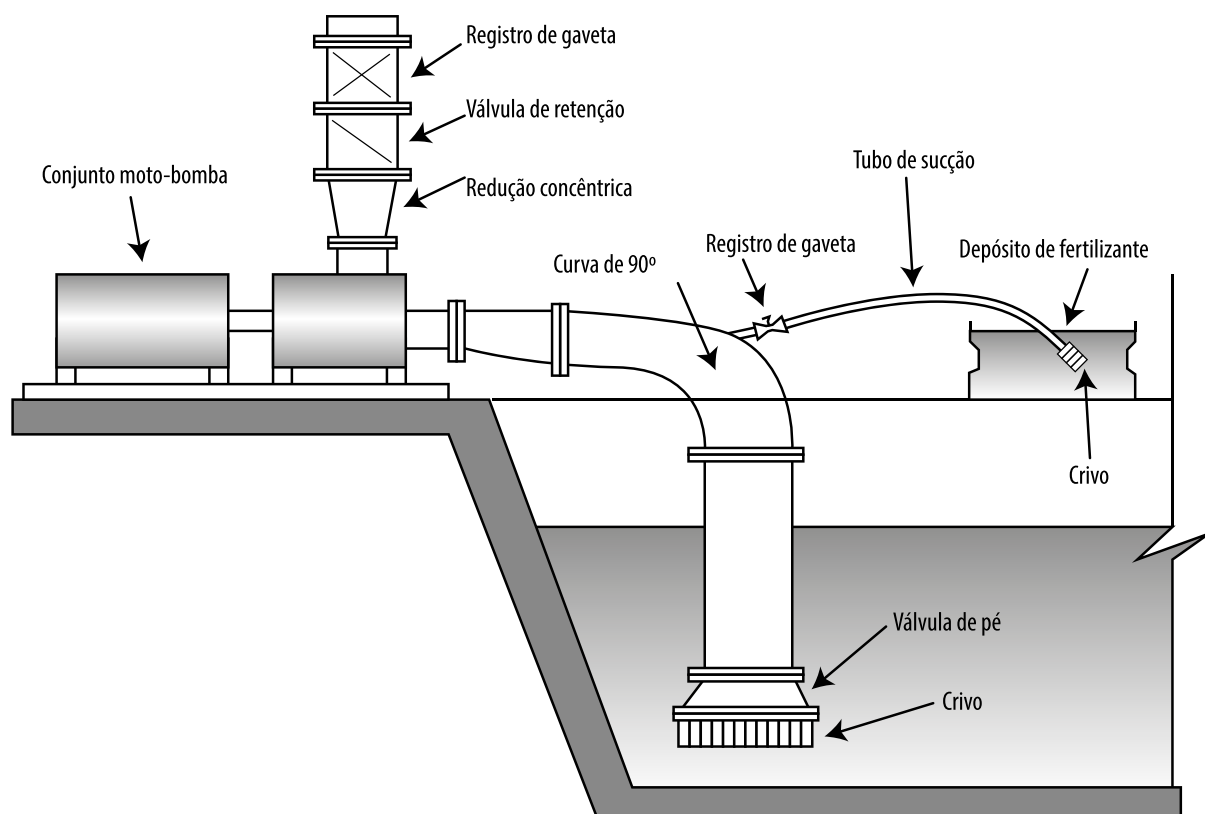


Figura 15. Injeção de fertilizantes adotando a bomba como injetor de fertilizantes (não indicado tecnicamente).

Ilustração: Jasiel Becker Brito Gomes.

ção de produtos químicos. Qualquer problema que ocorrer pode contaminar a fonte de água. Também, afeta negativamente as condições hidráulicas da sucção do bombeamento e provoca corrosão e cavitação dos componentes da bomba.

Estratégias de manejo da aplicação de fertilizantes e agroquímicos na água de irrigação

Na quimigação, existem aspectos essenciais para um eficiente desempenho do sistema. Dentre eles podem ser destacados:

- Conhecer o sistema de irrigação, vazão do emissor, pressão de serviço, volume de solo molhado e uniformidade de distribuição da

água, pois se o volume de água for baixo, afetará a distribuição do produto aplicado.

- Estudar o clima, o solo, e determinar as características físicas e químicas da água, que interferem na aplicação de produtos via água de irrigação.
- Analisar as características químicas e físicas de cada produto a ser aplicado via água de irrigação. A solubilidade em água pura (geralmente entre 20 °C e 25 °C) é fornecida em mg L^{-1} . Os produtos podem ser classificados, quanto à solubilidade, em insolúvel ($< 1 \text{ mg L}^{-1}$); 2 – muito baixa (entre 1 mg L^{-1} e 10 mg L^{-1}); 3 – baixa (entre 11 mg L^{-1} e 50 mg L^{-1}); 4 – média (entre 51 mg L^{-1} e 150 mg L^{-1}); 5 – elevada (entre 151 mg L^{-1} e 500 mg L^{-1}); 6 – muito elevada (entre 501 mg L^{-1} e 5.000 mg L^{-1}); e 7 – extremamente elevada (acima de 5.000 mg L^{-1}) (Deuber, 1992). Em geral, produtos com alta

solubilidade em água atingem maiores profundidades no solo que os pouco solúveis.

- Compreender o processo de adsorção e sua influência na concentração do produto na solução do solo, a qual afeta a sua disponibilidade para a absorção pelas plantas, para a degradação química e biológica, para a volatilização e para a lixiviação. O que mais influencia na adsorção é o solo com o tipo e a quantidade de argila e de matéria orgânica (Harper, 1994).
- Fazer uso de práticas de manutenção do sistema, a exemplo do processo de cloração para combater algas, o qual consiste na aplicação de produtos que contenham altas concentrações de cloro, como ácido hipocloroso, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio (Burt et al., 1995), com precaução, pela possibilidade de toxidez às plantas.
- Reduzir o crescimento bacteriano no sistema. Manejar as concentrações de manganês, uma vez que as bactérias têm crescimento adequado sob baixa concentração dele (menor que 0,2 mg L⁻¹), e cobrir pequenos reservatórios para evitar a entrada de luz solar, prevenindo o desenvolvimento de bactérias. Já para a ação desses microrganismos oxidando os componentes do sistema de irrigação confeccionados de ferro, ou seja, podendo causar obstrução nos emissores de água, recomenda-se a aeração da água para a precipitação do ferro (Lima et al., 2012).

Referências

- ANTUNES, R. C. B.; RENA, A. B.; MANTOVANI, E. C. **Fertirrigação na cultura do cafeeiro arábica**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2001. 39 p. (Boletim técnico, 5).
- BRITO, R. A. L.; PINTO, J. M. Aplicação de produtos químicos via irrigação (quimigação). In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2008. p. 421-447.
- BURT, C. M.; O'CONOR, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training and Research Center-California Polytechnic State University, 1995. 295 p.
- CAVALCANTI, F. J. de A. (coord.). **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2a. aproximação. 3. ed. rev. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. 212 p.
- DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas**: fundamentos. Jaboticabal: Funep, 1992. v. 1, 431 p.
- FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R.; DENMEAD, O. T.; MUIRHEAD, W. A.; LEUNING R. Transformation and transfers of nitrogen after irrigating a cracking clay soil with a urea. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 36, p. 685-694, 1985. DOI: [10.1071/AR9850684](https://doi.org/10.1071/AR9850684).
- FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; NETO, D. D. **Aplicação de fertilizante via água de irrigação**. Piracicaba: Esalq, 1994. 35 p. (ESALQ. Série Didática, 8).
- HAMAN, D. Z.; SMAJSTRIA, A. G.; ZAZUETA, F. S. **Chemical injection methods for irrigation**. Gainesville: University of Florida, 1990. 21 p. (Florida Cooperative Extension Service. Circular, 864).
- HARPER, S. S. Sorption-desorption and herbicide behavior in soil. **Reviews of Weed Science**, v. 6, p. 207-225, 1994.
- HAYNES, R. J. Movement and transformations of fertigated nitrogen below trickle emitters and their effects on pH in the wetted soil volume. **Fertilizer Research**, v. 23, p. 105-112, May 1990. DOI: [10.1007/BF01063337](https://doi.org/10.1007/BF01063337).
- HERGERT, G. W.; REUSS, J. O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 5-8, 1976. DOI: [10.2134/agronj1976.00021962006800010002x](https://doi.org/10.2134/agronj1976.00021962006800010002x).
- HERNANDEZ, F. B. T. Potencialidade da fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUÍDOS, 1993, Piracicaba. **Anais [...]** Piracicaba: Esalq, 1993. p. 199-210.
- LANDIS, T. D. Mineral nutrients and fertirrigation. In: LANDIS, T. D.; TINUS, R. W.; McDONALD, S. E.; BARNETT, J. P. **The container tree nursery manual**. Washington, DC: Department of Agriculture, 1989. p. 1-67. (Agricultural Handbook, 674).
- LIMA, P. L. T.; MAGALHÃES, C. A. de S.; CARVALHO, R. F. de; LIMA, L. A.; LIMA, J. M. de; ANDRADE, L. A. de B. Trifluralin leaching in soils cultivated with sugarcane irrigated by sub-surface drip system. **Irriga**, v. 17, n. 1, p. 39-45, 2012. DOI: [10.15809/irriga.2012v17n1p39](https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n1p39).
- LOPEZ, C. C. Fertirrigação: aplicação na horticultura. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINE, E.; BLANCO, F. F.; CAMPONEZ DO BRASIL, R. P.; RESENDE, R. S. (coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 269-288.

LOPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.;
HERNANDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. 2. ed. Madrid:
Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

LOPEZ, T. M. Cabezal de riego. In: LÓPEZ, C. C.
Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid:
Mundi-Prensa, 1998. p. 247-263.

LORENZ, O. A.; MAYNARD, D. N. **Knott's Handbook for
vegetables growers**. 3. ed. New York: John Wiley, 1988.
456 p.

PAPADOPOULOS, I. Tendências da fertirrigação:
processos de transição na fertilização convencional
para a fertirrigação. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINE, E.;
BLANCO, F. F.; CAMPONEZ DO BRASIL, R. P.; RESENDE, R. S.
(coord.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba:
Agropecuária, 2001. p. 9-59.

PASCUAL, B. **Riegos de gravedad y a presión**. Valência:
UPV: ETSIA: SPUPV, 1996. 465 p.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M. **Fertirrigação**: a adubação via
água de irrigação. Petrolina: Embrapa-CPATSA, 1990. 16 p.
(Embrapa-CPATSA. Documentos, 70).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia
(RLAF)**: goteo, microaspersión y exudación. 3. ed. Madrid:
Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

SILVA, D. J.; BORGES, A. L. Fertilizantes para fertirrigação.
In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F. (org.). **Fertirrigação
em fruteiras tropicais**. 2. ed. Cruz das Almas: Embrapa
Mandioca e Fruticultura, 2009. p. 20-36.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; NOGUEIRA,
L. C.; COELHO FILHO, M. A.; ARAÚJO, A. R. de Manejo
da fertirrigação em fruteiras e hortaliças In: SOUSA,
V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.;
COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em
fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação
Tecnológica, 2011. p. 319-337.

TALES, J. A. M. **Riego localizado y fertirrigación**. 3. ed.
Madrid: Mundi-Prensa, 2002. 534 p.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes
e fertirrigação In: VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. (ed.).
Fertilizantes fluidos. Piracicaba: Potafós, 1994.
p. 283-308.

