

MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS E BIOLÓGICOS NA IRRIGAÇÃO PRESSURIZADA

Enio Fernandes da Costa¹

Ricardo A. L. Brito²

3.1. INTRODUÇÃO

A quimigação consiste em introduzir uma solução (fertilizante, inseticida, fungicida, herbicida ou nematicida) no interior da tubulação principal e/ou lateral do sistema e desta para o ponto extremo de distribuição. No caso da irrigação pressurizada, esse ponto será o aspersor ou emissor.

A técnica é praticada há séculos, inicialmente com efluentes líquidos de origem animal, e depois com a aplicação de fertilizantes nitrogenados. A partir de 1970, o uso de produtos químicos como herbicidas, fungicidas, inseticidas e nematicidas via água de irrigação sob pressão teve um desenvolvimento acelerado. Atualmente, os bioinseticidas e vírus estão ocupando um espaço vital no controle biológico das pragas em culturas de expressão econômica nos trópicos.

A disseminação e adoção da tecnologia global da quimigação está baseada nas inúmeras vantagens comparativas que o método oferece (Costa et al. 1986), podendo-se destacar, dentre elas, as seguintes:

1. É mais econômico aplicar produtos químicos via água de irrigação do que utilizar qualquer outro método de aplicação convencional.

¹ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da EMBRAPA/CNPMS, 35701-970 Sete Lagoas, MG

² Engenheiro de Irrigação, Ph.D., Pesquisador da EMBRAPA/CNPMS, 35701-970 Sete Lagoas, MG

2. A aplicação pode ser feita no momento em que a planta necessita, possibilitando: a) aplicar o produto em qualquer fase do ciclo da cultura; b) fácil parcelamento e controle, evitando doses excessivas e, conseqüentemente, perdas por lixiviação e escoamento superficial se chuvas pesadas vierem a ocorrer após a aplicação, minimizando desta forma os impactos ambientais.

3. A quimigação acarreta menor possibilidade de contaminação do operador e do meio ambiente.

Quaisquer dos métodos (a serem descritos em seguida) devem proporcionar uma alta uniformidade de aplicação, à semelhança da distribuição de água do sistema, constituindo uma eficiente e econômica alternativa, quando comparada com as técnicas convencionais. O objetivo dos mesmos é maximizar a utilização do equipamento de irrigação e reduzir os custos de aplicação dos produtos químicos. O sistema de injeção pode ser conectado à linha principal ou lateral do sistema.

3.2. MÉTODOS DE INJEÇÃO

Os métodos de injeção de produtos químicos via água de irrigação podem ser classificados em diversos grupos, conforme o enfoque desejado, (McCulloch e Schunk 1969; Costa et al. 1986; Haman et. al. 1990). Didaticamente, podem-se definir cinco grupos, que são: turbobombas (bombas hidrodinâmicas); bombas volumétricas (bombas de deslocamento positivo); método diferencial de pressão; venturi, transformação de energia, e método combinado/composto. O objetivo deste tópico é discutir os métodos de aplicação dos produtos químicos e/ou biológicos, via água, suas vantagens e desvantagens.

3.2.1. Turbobombas (bombas hidrodinâmicas)

O bombeamento nas turbobombas se deve à ação centrífuga ou à ação de sustentação imposta pelas palhetas do rotor ao fluido que está em contacto com elas. Assim, a força centrífuga das palhetas expelle o fluido para a periferia, enquanto a subpressão desenvolvida junto ao eixo promove a aspiração de novas quantidades de fluido, estabelecendo-se a continuidade do processo. São exemplos de turbobombas as axiais, de fluxo misto, centrífugas e de fluxo radial. A Figura 3.1 apresenta uma bomba centrífuga injetora de produtos químicos.

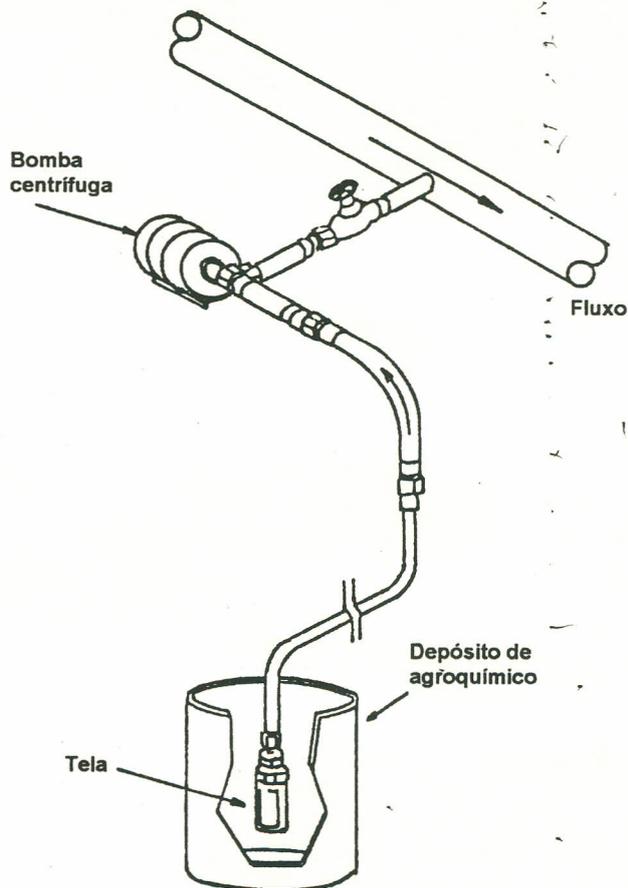


FIGURA 3.1. Bomba centrífuga injetora de produtos químicos
 Fonte: Haman et al. (1990)

3.2.2. Volumétricas (bombas de deslocamento positivo)

O fluido bombeado adquire um movimento com a mesma velocidade, em módulo, direção e sentido, que o do órgão móvel que o impele, promovendo a admissão e a expulsão de volume correspondente de fluido. Como exemplos neste grupo destacam-se as bombas de diafragma (dosadora), êmbolo, parafuso, câmara-pistão e peristáltica. Na Figura 3.2 são mostradas as bombas de pistão; na Figura 3.3, de diafragma; na Figura 3.4, bomba de engrenagem; Figura 3.5, de excêntrico e Figura 3.6, peristáltica.

3.2.2.1. Bomba de pistão

O funcionamento de uma bomba de pistão consiste de movimentos seqüenciados que promovem impactos consecutivos de admissão e compressão. Com o impacto de admissão, o produto químico entra no interior do cilindro através da válvula de sucção, (Figura 3.2-A). Com o impacto de compressão (Figura 3.2-B), o produto químico é forçado para o interior da linha de descarga através da válvula de descarga.

3.2.2.2. Bomba de diafragma

O funcionamento de uma bomba de diafragma é semelhante ao da bomba pistão. O movimento pulsante é transmitido para o diafragma através do fluido ou do eixo mecânico e, então, através do diafragma, para o produto químico que está sendo injetado. Uma ilustração do impacto de descarga é mostrada na Figura 3.3.

3.2.2.3. Bomba de engrenagem

As bombas de engrenagens externas e bombas de excêntricos transferem o produto químico da sucção para a descarga através da rotação do eixo das engrenagens, dos excêntricos, ou de outros mecanismos similares (Figuras 3.4 e 3.5). A operação destas é baseada num vácuo parcial, criado por um descompasso de rotação entre as duas engrenagens. Este vácuo causa o fluxo do produto químico para o interior da bomba, onde é transportado entre as engrenagens ou excêntricos e a carcaça da bomba para o ponto de descarga da mesma.

3.2.2.4. Bomba peristáltica

A bomba peristáltica é mais usada em laboratório químico, mas pode ser utilizada também para injeção de produtos químicos em pequenos sistemas de irrigação. Possui capacidade limitada, com pressão de trabalho variando de 20 a 280 kPa (0,2 a 2,8 atm).

O tubo flexível é pressionado por rolamentos e uma quantidade de fluxo é succionada e conduzida por uma ação de compressão para a área de descarga. Este tipo de bomba é adequado para bombear líquidos corrosivos, uma vez que o líquido bombeado fica completamente isolado de todas as partes da bomba em questão.

3.2.3. Método diferencial de pressão

O método diferencial de pressão baseia-se na adição de energia ao sistema e/ou no aproveitamento da pressão negativa do corpo da bomba, no trecho de sucção do conjunto, podendo fazer uso de pressão positiva ou negativa.

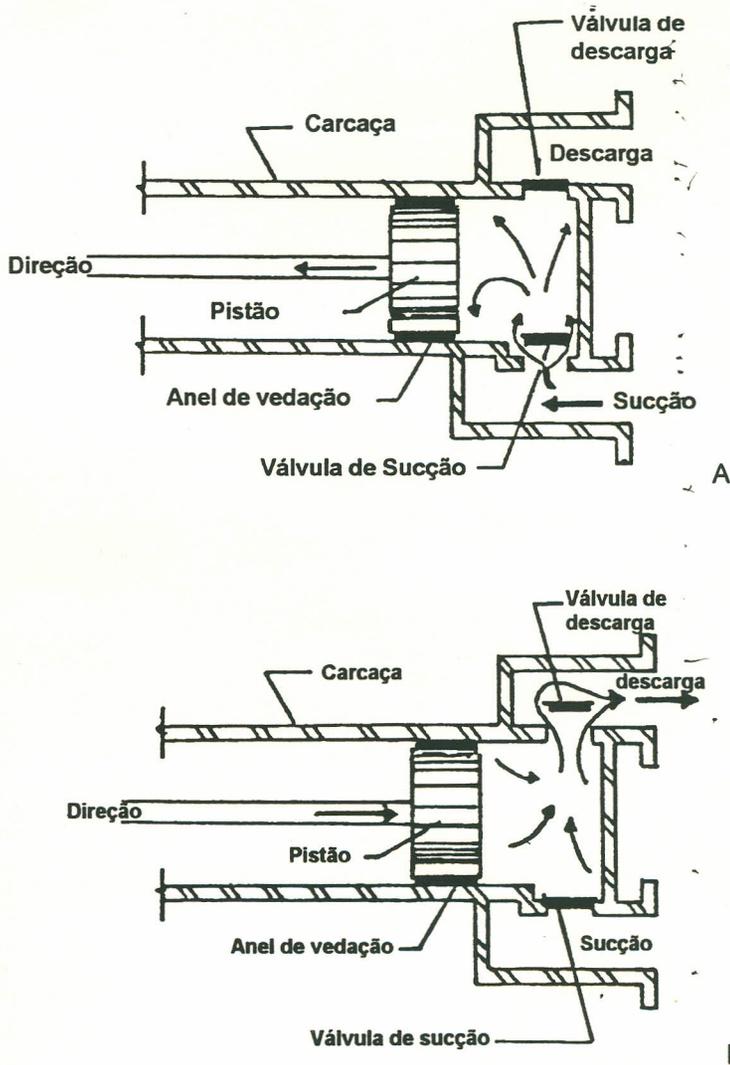
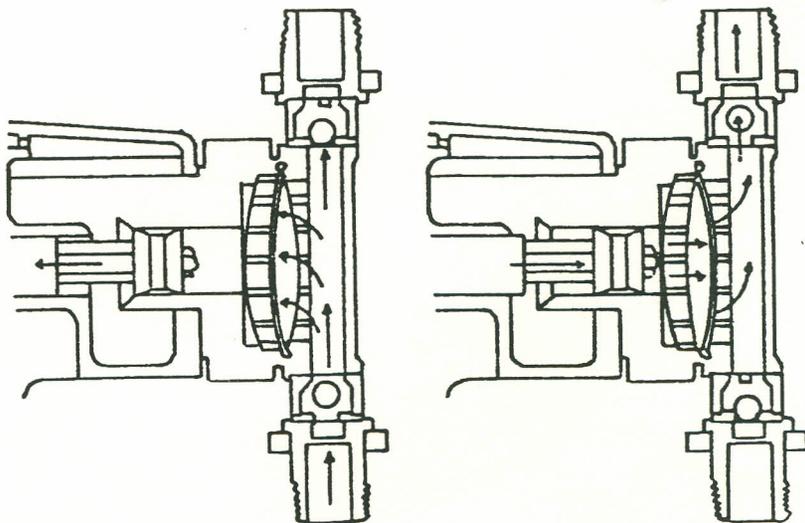


FIGURA 3.2. Bomba de pistão de impacto de admissão (A) e de compressão (B).

Fonte: Haman et al. (1990)

3.2.3.1. Tanque de fertilizante ("by-pass")

Constitui o sistema pioneiro, ou mais tradicional e simplificado de injeção. Consiste de um tanque hermeticamente fechado, contendo a solução, conectado à linha de irrigação pressurizada através de uma tubulação



A

B

FIGURA 3.3. Bomba diafragma: A) impacto de sucção; B) impacto de descarga

Fonte: Haman et al. (1990)

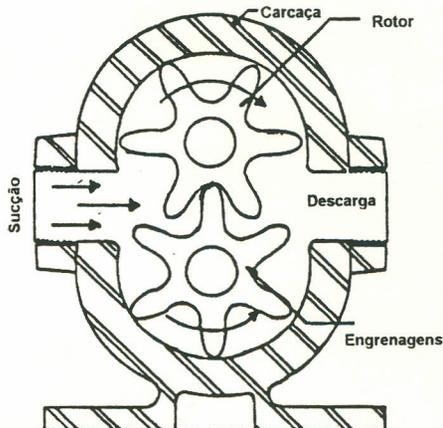


FIGURA 3.4. Bomba de engrenagens.

Fonte: Haman et al. (1990)

de desvio, ou "by-pass". Essa tubulação de desvio, geralmente de plástico, origina-se em um ponto da linha de irrigação e desvia uma parte do fluxo de água, indo conectar-se ao tanque contendo a solução. Outro trecho da mesma tubulação de desvio origina-se do tanque e conecta-se à linha de irrigação em um ponto a jusante do ponto de conexão original.

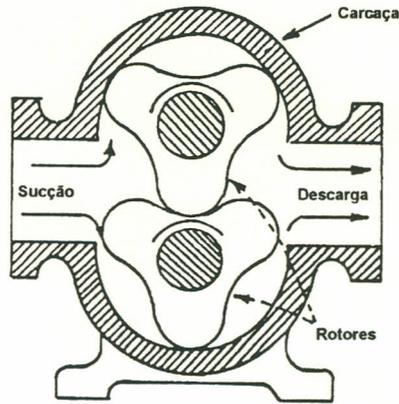


FIGURA 3.5. Bomba de excêntrica
 Fonte: Haman et al. (1990)

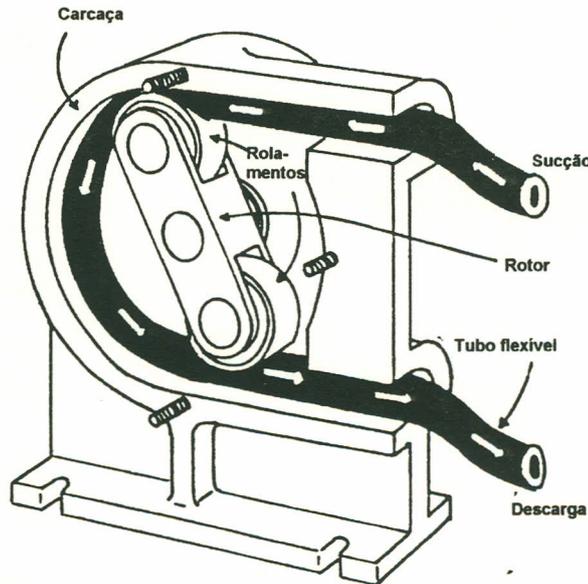


FIGURA 3.6. Bomba peristáltica.
 Fonte: Haman et al. (1990)

A água que entra no tanque força a saída da solução através do outro trecho da tubulação, devido a um gradiente de pressão criado pelo sistema. Esse gradiente é criado por uma contração permanente na linha de irrigação, ou por um registro de controle colocado na mesma, registro esse que reduz a vazão na linha, forçando o fluxo no "by-pass" (Figura 3.7). O tamanho do tanque depende da área irrigada e seu volume varia

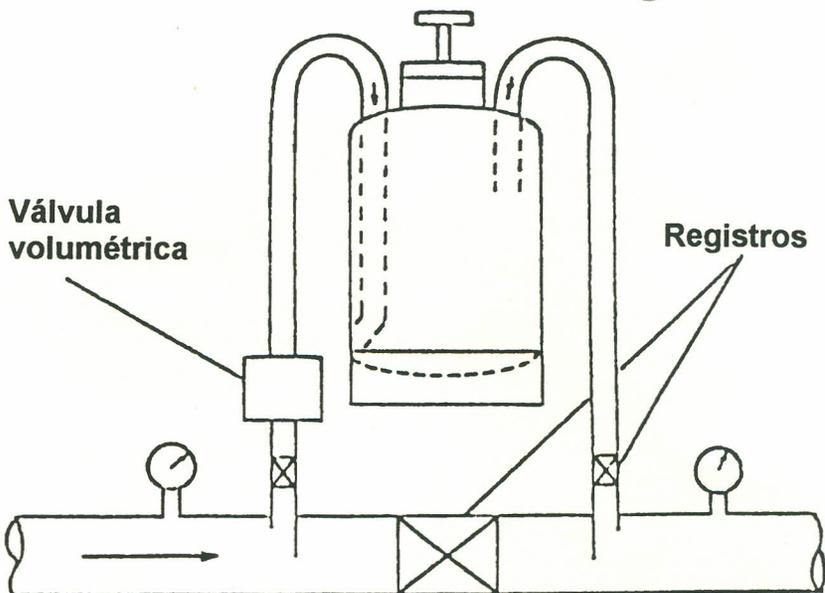


FIGURA 3.7. Esquema de um tanque de fertilizante "by-pass".

Fonte: Frizzone et al. (1985)

geralmente entre 50 e 1.000 ℓ (Dasberg e Bresler 1985). A diferença de pressão entre o ponto de entrada de água no "by-pass" e o ponto de saída varia de 10 a 50 kPa (0,1 a 0,5 atm), o que permite a injeção.

Se, por um lado, o sistema tem a vantagem da praticidade, simplicidade e baixo custo, por outro apresenta alguns inconvenientes. Um deles é o fato de que a concentração da solução dentro do tanque decresce exponencialmente no tempo com a introdução de água ao longo do processo de injeção. Segundo os autores mencionados, a experiência tem mostrado que é necessário um volume equivalente a cerca de quatro vezes o volume do tanque para injetar todo o fertilizante na linha, no caso de ser colocada no tanque a solução já preparada (fertilizante líquido). Se for colocado o produto em estado sólido, para ser diluído pela água, esse volume necessário aumenta para cerca de dez vezes o volume do tanque.

Outra desvantagem é a necessidade de determinar a diferença de pressão necessária para eliminar completamente a solução do tanque de modo empírico.

Uma alternativa para evitar a variabilidade na concentração da solução é a utilização de uma bolsa plástica, ou diafragma, dentro do tanque, para conduzir o produto isoladamente da água que circula no

tanque. Nesse caso, a solução é impulsionada pela ação da água na rede, que pressiona a parede externa da bolsa plástica e promove a introdução da solução no fluxo de irrigação, através de um bocal, mantendo constante a concentração. Esse sistema é conhecido como tanque de corrente direta (Figura 3.8).

3.2.3.2. Pressão positiva

Aplica-se uma pressão positiva, maior do que a do sistema de irrigação, através de um conjunto motobomba auxiliar, de forma que as características técnicas do injetor satisfaçam os requerimentos de área, volume e doses a serem aplicados (Figura 3.9).

Uma exigência básica para o funcionamento do método da pressão positiva é que a pressão desenvolvida pela motobomba auxiliar seja maior do que a pressão na linha do sistema de irrigação, para que ocorra a injeção. É necessária uma fonte de energia externa para operar o conjunto motobomba auxiliar. Esse processo de pressão positiva é muito usado nos sistemas de irrigação onde o conjunto motobomba principal encontra-se submerso.

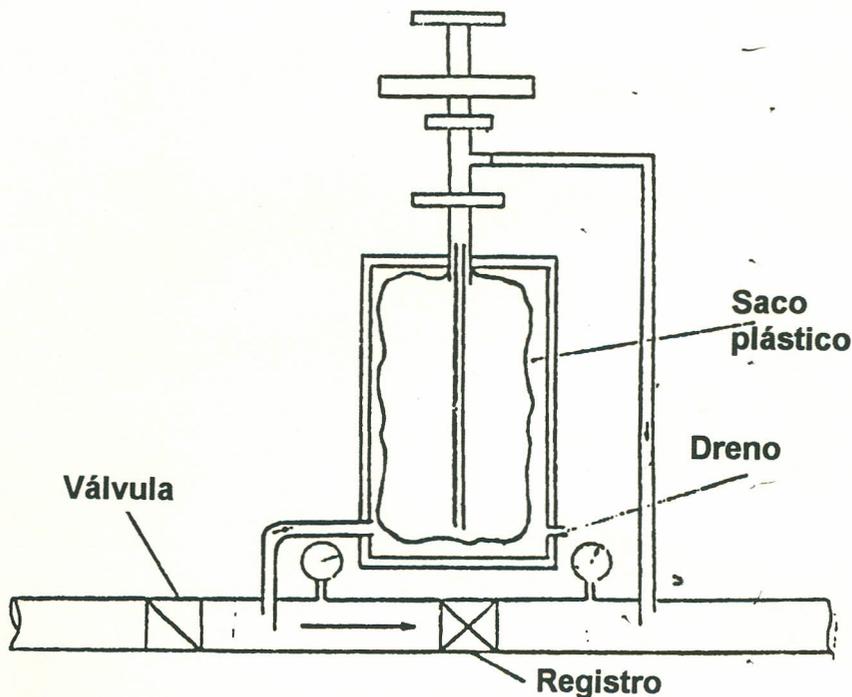


FIGURA 3.8. Esquema de um tanque de fertilizante de corrente direta.
Fonte: Frizzone et al. (1985)

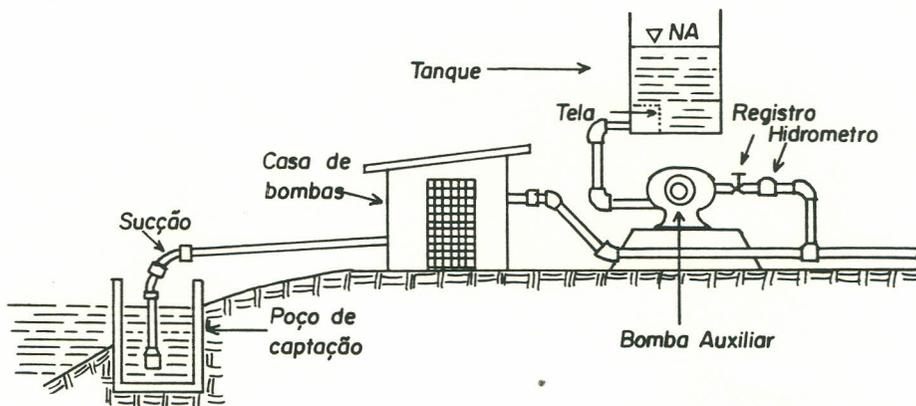


FIGURA 3.9. Esquema de instalação de um sistema de captação de água para irrigação por aspersão, acoplado a um conjunto de injeção por pressão positiva.
 Fonte: Costa et al. (1987)

As partes internas do conjunto motobomba auxiliar devem ser de material não-corrosivo, pois o mesmo irá bombear solução de produtos químicos do tanque para a linha de irrigação.

Uma alternativa ao uso de bomba auxiliar é o emprego de uma bomba hidráulica de injeção, operada pela própria pressão da linha lateral ou principal, eliminando a necessidade de uma fonte externa de energia. No caso da irrigação por gotejamento, a bomba injetora requer entre 10 e 15 mca de pressão para injetar (Dasberg e Bresler 1985). Entretanto, as bombas de operação hidráulica acionadas pela própria água são geralmente mais complexas, de manutenção mais difícil e mais caras, tornando-se úteis apenas onde não existe energia elétrica ou quando se necessitam de bombas a gasolina, que normalmente têm seu funcionamento limitado a um período muito curto (Rolston et al., 1986).

3.2.3.3. Pressão negativa (vácuo)

A pressão negativa, ou vácuo, é criada no interior do corpo da bomba e é transmitida para a tubulação de sucção do conjunto motobomba. A Figura 3.10 mostra o tubo de sucção, o local da admissão da solução do produto químico, tanque, conjunto motobomba e a linha principal.

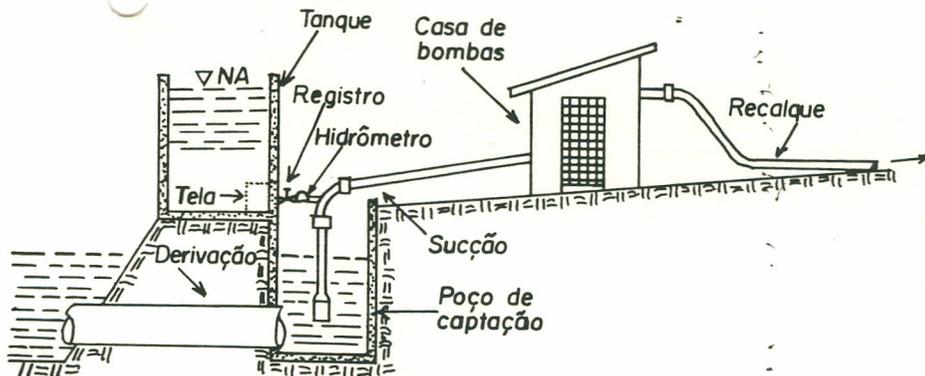


FIGURA 3.10. Esquema de instalação de um sistema de captação de água para irrigação por aspersão, acoplado a um mecanismo de injeção por pressão negativa.

Fonte: Costa et al. 1987

A calibração e o controle da admissão da solução, através da sucção, são feitos mediante um registro e o volume introduzido é determinado por um hidrômetro. Atuando no registro se permitirá a entrada de um maior ou menor volume da solução contida no tanque.

3.2.4. Transformação de energia (peças especiais)

O princípio em que se baseia este método é o de transformação da forma de energia, ou seja, a energia de velocidade transforma-se em energia de pressão e esta energia de pressão novamente em energia de velocidade. Este ciclo de transformação dá-se com uma perda de energia que deve ser mínima.

A água, passando através de uma contração (área de seção menor do que a da linha de irrigação), aumenta a velocidade. Segundo o teorema de Bernoulli, quando isso ocorre, parte da energia de pressão da água é transformada em energia cinética, ocasionando perda de energia gravitacional e de pressão.

É essencial a existência de um depósito pressurizado, ou seja, que resista à pressão de serviço desenvolvida pelo conjunto motobomba do sistema de irrigação, para armazenar e injetar o agroquímico na tubulação de irrigação.

3.2.4.1. Venturi

É uma peça especial, acoplada à linha de irrigação, que consiste numa seção gradual convergente, passando numa seção constrita cons-

tante e em seguida numa gradual transição ampliadora, retornando ao diâmetro original da linha de irrigação (Figura 3.11). No momento da passagem pela seção constrita, cria-se um diferencial de pressão que "succiona" a solução do tanque para a linha lateral ou principal.

O princípio hidráulico que rege esse processo é descrito pelas equações de continuidade e de Bernoulli. Os agroquímicos podem ser injetados numa tubulação sob pressão, usando o princípio da queda de pressão e mudança da velocidade, no momento em que o líquido passa pela seção constrita do venturi (Figura 3.12).

A queda de pressão no venturi deve ser suficiente para criar uma pressão negativa (vácuo) em relação à pressão atmosférica. Nessas condições, o agroquímico contido no interior do depósito irá fluir para o injetor. O fluxo de solução pode ser regulado, se desejável, por válvula ou registro instalado na tubulação.

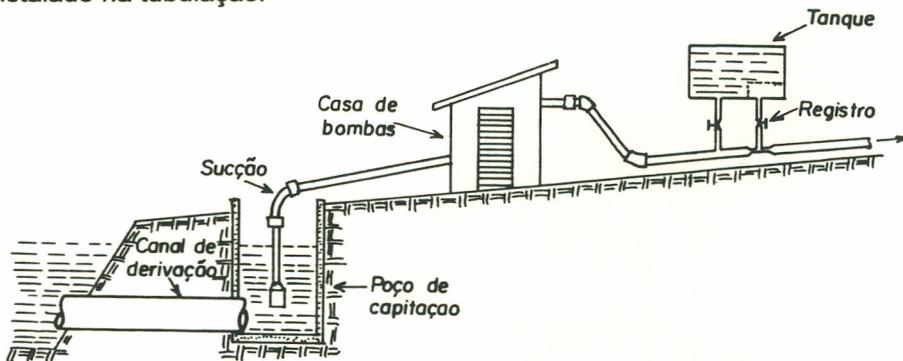


FIGURA 3.11. Esquema de instalação de venturi em sistema de irrigação por aspersão.

Fonte: Costa et al. (1987)

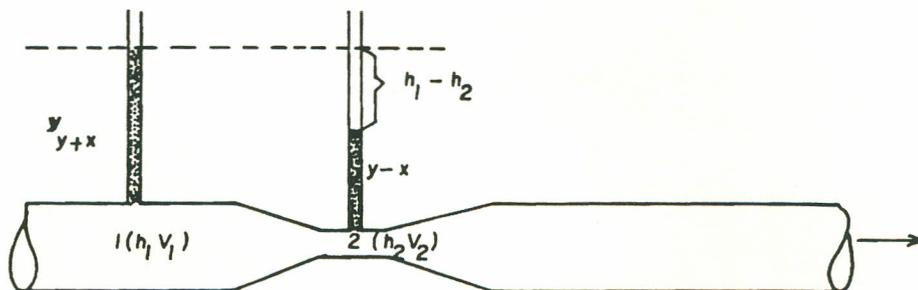


FIGURA 3.12. Detalhe de um venturi.

Fonte: Costa et al. (1987)

Uma possível desvantagem do método, segundo Dasberg e Bresler (1985), é que a perda de carga localizada no venturi pode atingir cerca de 1/3 da pressão de serviço na lateral ou principal, dificultando ou impossibilitando a injeção. Além disso, é difícil regular com precisão o fluxo de solução no venturi, porque a taxa de injeção é muito sensível à variação de pressão e vazão no sistema.

Uma alternativa para contornar o problema seria instalar o venturi em um "by-pass" da linha de irrigação, com menor diâmetro que a mesma, reduzindo a perda de carga localizada e facilitando a injeção. Um benefício adicional seria permitir que um venturi de baixa capacidade possa ser usado para injetar agroquímicos numa tubulação principal de grande diâmetro, uma vez que parte do fluxo é desviado através do injetor. Uma bomba centrífuga pode ser usada para adicionar pressão no líquido que passa pelo desvio e, conseqüentemente, no injetor (Figura 3.13).

O injetor venturi, em condições normais, não requer energia externa para operar, não possui partes móveis, tem vida útil longa, é constituído de material metálico e/ou plástico "não-corrosivo", tem manutenção simples e custo reduzido.

O esquema da Figura 3.12 pressupõe que a vazão no ponto 1 é igual à vazão no ponto 2, conforme a equação da continuidade:

$$Q_1 = Q_2 = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (\text{eq. 3.1})$$

onde: A = área; v = velocidade; Q = vazão

Sendo a vazão Q constante, se $A_1 > A_2$, logo $v_1 < v_2$. Evocando o princípio de transformação de energia de velocidade, tem-se que $h_1 > h_2$, provocando-se um diferencial de pressão entre o depósito de solução pressurizado e o ponto 2, no venturi, diferencial esse que permite a injeção dos produtos químicos no sistema de irrigação.

3.2.4.2. Aplicador portátil de produtos químicos (vaquinha)

O aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação, desenvolvido pelo Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (EMBRAPA 1988; Costa e Brito 1988), utiliza o princípio da transformação de energia, através de um par de tubos de Pitot conectados ao fluxo principal e ao depósito com a solução do produto químico a ser aplicado, sendo que um dos tubos tem a extremidade voltada para a direção do fluxo d'água e o outro no sentido oposto (Figura 3.14). Esse equipamento é po-

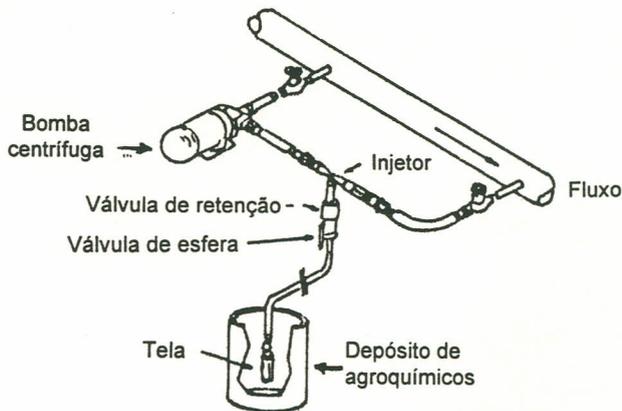


Figura -Pequeno injetor venturi com válvula reguladora de queda de pressão na tubulação principal

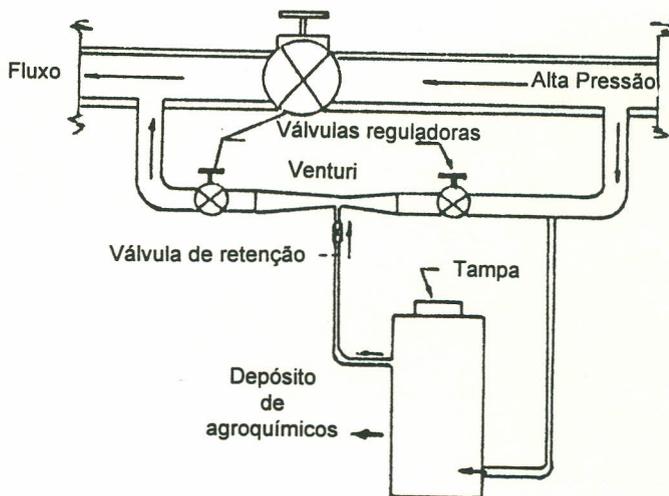


FIGURA 3.13. Injetor venturi ligado a uma bomba centrífuga Booster.
Fonte: Haman et al. (1990)

pularmente conhecido como vaquinha, por ter sido utilizado, na confecção do mesmo, um latão de leite como depósito da solução do produto químico.

O desenvolvimento do aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação baseou-se no modo de instalação dos tubos de Pitot e na conservação de energia, onde o escoamento permanente de um líquido en-

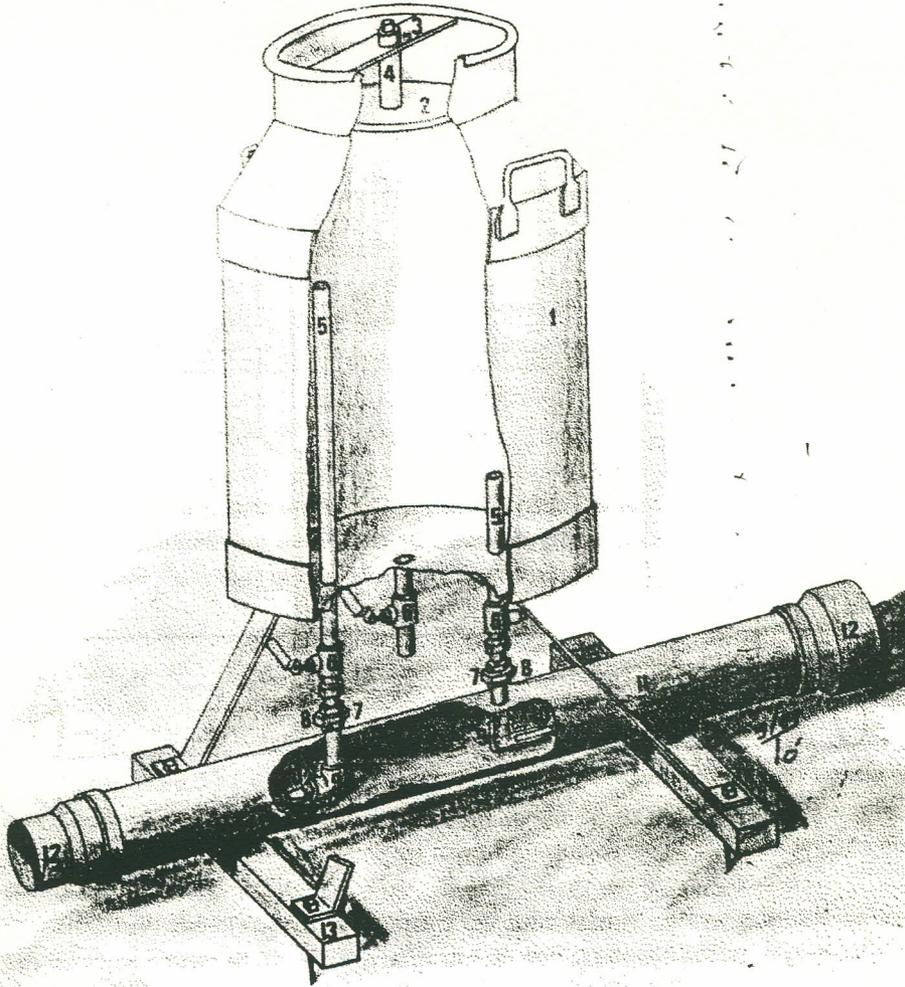


FIGURA 3.14. Aplicador portátil de produtos químicos (vaquinha).
 Fonte: Costa e Brito (1988)

tre dois pontos (1 e 2) ao longo de um conduto sob pressão, pode ser descrito pela equação de Bernoulli:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + hf \quad (\text{eq.3.2})$$

onde:

Z = carga de posição, ou potencial/ gravitacional

$\frac{p}{\gamma}$ = carga de pressão, ou altura manométrica

$\frac{v^2}{2g}$ = carga de velocidade, ou taquicarga.

hf = perda de carga entre os pontos 1 e 2.

Considerando o trecho da tubulação na horizontal, a carga de posição é a mesma nos dois pontos, ou seja, $z_1 = z_2$. A energia total, h , existente em um ponto da tubulação na horizontal, será dada por:

$$h = \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (\text{eq. 3.3})$$

Essa energia, h , resultante da pressão mais a velocidade, pode ser medida por meio de um tubo de Pitot instalado com o prolongamento da curva no centro do conduto e contrário ao sentido do escoamento (Figura 3.15), no ponto 1. Quando se instala um tubo de Pitot com o prolongamento da curva direcionado no sentido do escoamento (Figura 3.15), no ponto 2, cria-se um efeito negativo de velocidade e a coluna que se forma no tubo passa a ser:

$$h = \frac{p}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} \quad (\text{eq. 3.4})$$

Associando-se dois tubos de Pitot, com extremidades em posições opostas, conforme Figura 3.15, cria-se um gradiente entre os dois pontos, em consequência da transformação da carga de velocidade em carga de pressão no ponto 1. Considerando-se que o diâmetro da tubulação é constante e que os tubos de Pitot situam-se próximos um do outro, pode-se adotar $v_1 = v_2$ e $p_1 = p_2$. Chamando-se de h_1 a energia no ponto 1 e de h_2 no ponto 2, a diferença de energia entre os tubos de Pitot, Δh , será determinada pela combinação das equações 3.3 e 3.4.

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \left(\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \right) - \left(\frac{p}{\gamma} - \frac{v^2}{2g} \right) = 2 \frac{v^2}{2g} \quad (\text{eq.3.5})$$

Essa diferença de pressão, equivalente ao dobro da carga de velocidade, propicia a criação de um gradiente positivo de energia quando se conecta o par de tubos de Pitot (Figura 3.15) a um tanque de solução hermético (Figura 3.14), o que permite injetar a solução na linha principal ou lateral de irrigação.

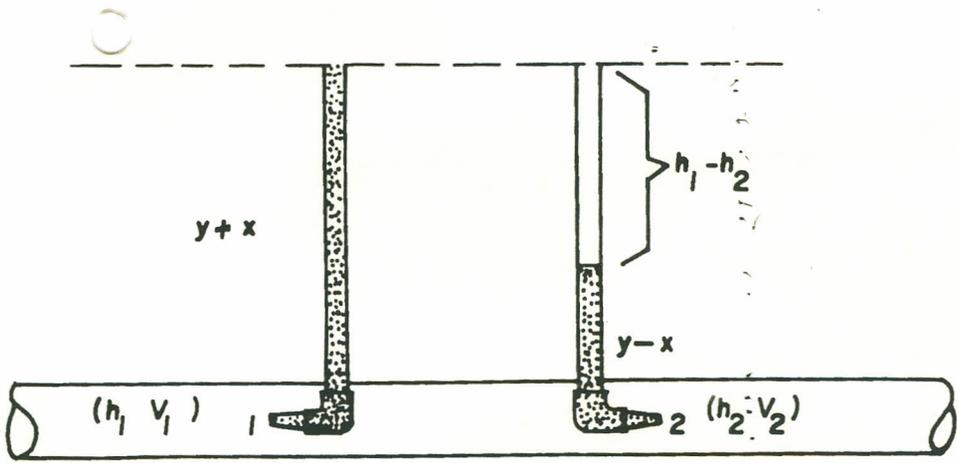


FIGURA 3.15. Detalhe de um par de tubo de Pitot.
 Fonte: Costa et al. (1987)

3.2.5. Método combinado/composto

Este método opera em função da pressão existente na linha de irrigação, baseado no trabalho desenvolvido pelo conjunto motobomba principal, por uma bomba auxiliar e pelo componente gravitacional exercido pela posição do injetor, localizado acima do ponto de injeção. A Figura 3.16 mostra as peças, os acessórios e as condições necessárias para sua operação. A pressão no ponto de entrada do sistema, p_A , é inferior à do ponto de injeção do produto químico, p_B . Se a pressão do componente gravitacional for p_G positiva, tem-se:

$$p_B = p_A + p_G - hf(AB) \quad (\text{eq.3.6})$$

e, portanto, $p_A < p_B$.

A ilustração, na Figura 3.16, mostra que a linha principal encontra-se numa cota inferior à cota da bomba auxiliar, numa distância vertical m , a uma distância $(m + n)$ do tanque e $(m + n + L) = p_G$, do sifão. A perda de carga entre A e B é representada por $hf(AB)$. A bomba auxiliar funciona às expensas da energia produzida pelo conjunto motobomba principal.

A Tabela 3.1. apresenta uma descrição concisa das características de vários métodos de aplicação, suas vantagens e limitações.

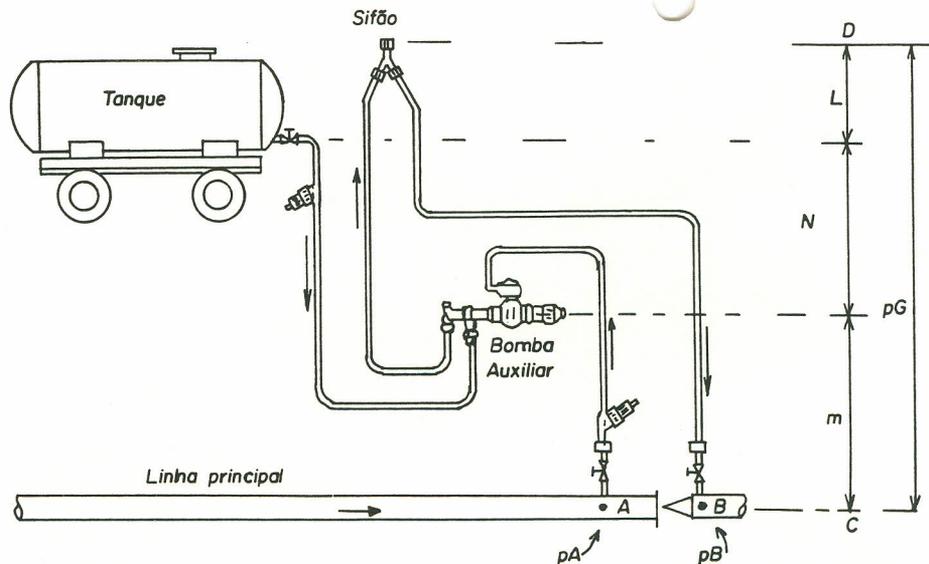


FIGURA 3.16. Esquema de instalação de bomba dosadora (injetora) num sistema de irrigação por aspersão.
Fonte: Costa et al. (1987)

TABELA 3.1. Comparação dos diversos métodos de injeção de produtos químicos¹.

| Injetor | Vantagens | Desvantagens |
|---|---|---|
| Turbobombas | | |
| Volumétricas | | |
| Bomba de diferencial de pressão Pressão positiva Recalque | Baixo custo. Pode ser calibrada durante o funcionamento | Calibração depende da pressão do sistema. Baixo controle do produto injetado. |
| Pressão negativa sucção | Baixo custo. Pode ser calibrada durante o funcionamento | Injeção do produto depende da bomba do sistema. Possibilidade de corroe-la e poluir o manancial. Baixo controle da qualidade do produto injetado. |

Continua...

TABELA 3.1. Continuação

| Injetor | Vantagens | Desvantagens |
|--|--|--|
| Turbobombas | | |
| Volumétricas | | |
| 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 do nível do produto no depósito. |
| Vaquinha | Baixo custo. Compacto, robusto, fácil uso e portátil. Fabricação simples, em qualquer oficina. Movido pela energia d'água do sistema | Controle relativo da quantidade do produto injetado. |
| 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 injetada. Frágil. |
| Orifício | Baixo custo | Controle adequado da quantidade de produto injetada. |

¹Adaptado de Haman et al. (1990) e Costa e Brito (1988)

3.3. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O primeiro cuidado a ser tomado no processo decisório de utilizar a água de irrigação como veículo para aplicação de produtos químicos/biológicos tem a ver com a solubilidade do produto a ser usado. Esse aspecto é ainda mais sério no caso da irrigação localizada (gotejamento, microaspersão e mangueiras perfuradas), onde os orifícios dos emissores têm dimensões muito reduzidas (geralmente entre 1 e 2 mm de diâmetro) e são mais suscetíveis a entupimento. Produtos de baixa solubilidade podem precipitar-se e obstruir os emissores.

Outros aspectos também merecem atenção, devendo-se evitar: a) produtos que possam ter efeitos nocivos aos componentes do sistema de irrigação, como, por exemplo, corrosão de partes metálicas e/ou amolecimento

mento ("softening") de tubulações de plástico; b) combinação de produtos que possam reagir entre si e causar danos ao equipamento ou às culturas; c) produtos que não ofereçam segurança para serem manipulados; d) produtos que afetem negativamente a produtividade das culturas (Bisconer 1985; Rolston et al. 1986). Segundo Rolston et al. (1986), a maioria dos fertilizantes são corrosivos a componentes metálicos de bombas, acessórios, válvulas e filtros. É importante também evitar que os produtos utilizados venham a constituir fontes de poluição ou degradação, seja por refluxo de volta à fonte de água, seja por contaminação de lençóis ou cursos d'água em função do escoamento do chamado "fluxo de retorno" da irrigação (água de escoamento ou percolação profunda, de áreas irrigadas, que flui para outros locais).

A compatibilidade entre o produto aplicado e as características da água de irrigação devem ser levadas em conta, para evitar possíveis reações indesejáveis. Bisconer (1985) sugere que seja feito um teste de compatibilidade antes de decidir pela aplicação de determinado agroquímico. O teste consiste em adicionar pequena quantidade do produto em um volume da água de irrigação, agitar bem e deixar repousar por 24 horas. Se formar algum precipitado, a injeção não deve ser feita.

Uma vez que a água é o veículo que conduz o produto, a aplicação do mesmo está diretamente associada à uniformidade de aplicação do sistema de irrigação. Portanto, quanto mais uniforme for o sistema, mais eficiente será a quimigação. Assim, é importante o cuidado com o desempenho do sistema em campo. Para obter-se boa uniformidade, é recomendado iniciar e terminar a injeção com a tubulação de irrigação completamente cheia de água (Rolston et al. 1986).

A pressão de serviço e a velocidade da água na tubulação podem afetar a uniformidade de distribuição do produto aplicado. Dowler et al. (1982) alertam para o fato de que, no caso de herbicidas solúveis em água, a distribuição do produto pode diferir substancialmente da distribuição da água entre sistemas com pressão de serviço alta (400 kPa) e baixa (240 kPa). Por outro lado, foi constatado (Young 1984) que a eficácia de inseticidas formulados em óleo pode ser errática e muito baixa quando aplicada por meio de sistemas cuja velocidade de fluxo inicial na linha é inferior a 1,4 m/s. Ainda no caso de inseticidas formulados em óleo, Groselle et al. (1986) afirmam que o emprego de aspersores com orifícios menores reduzem o tamanho das gotas do produto, facilitando melhor distribuição.

A seguir, discutem-se aspectos específicos de alguns sistemas de irrigação.

3.3.1. Sistema com laterais portáteis (convencional)

Os sistemas de aspersão com laterais portáteis, popularmente conhecidos como sistemas convencionais, têm sido muito usados na quimição, por serem largamente difundidos, geralmente de menor custo inicial e serem eficazes na aplicação de produtos. Heermann e Kohl (1983) recomendam que o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen seja mantido entre 80 e 90%, para possibilitar boa distribuição dos produtos aplicados.

Por outro lado, a uniformidade de distribuição da aspersão pode ser consideravelmente afetada pela ocorrência de ventos com velocidade de 4 m/s ou mais, comprometendo a uniformidade de aplicação dos produtos (Stegman et al. 1983). Os mesmos autores apontam o método como o mais recomendado para a aplicação de herbicidas nos primeiros 5 a 8 cm da superfície do solo, com lâminas de irrigação variando entre 6 e 19 mm.

Pair et al. (1983) sugerem que a injeção de fertilizantes via irrigação por sistemas com laterais portáteis leva cerca de 30 a 45 minutos para se completar, necessitando um tempo adicional de aproximadamente 30 minutos após a injeção para que a linha lateral fique completamente livre da solução. Entretanto, um estudo mais recente (Costa e Brito 1988) mostrou que, com o uso de injetores baseados no par de tubos de Pitot (vaquinha), é possível aplicar 25 l de solução de KCl a 65.000 ppm, em um intervalo de 10 minutos, conseguindo-se injetar 99,6% da solução nesse período.

Pesquisas conduzidas no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Costa et al., 1992) apresentam resultados positivos no uso da aspersão com laterais portáteis para a aplicação de vários produtos em diversas culturas, quais sejam: nitrogênio em feijoeiro e trigo; inseticidas para o controle da lagarta-do-cartucho e lagarta-elasmô em milho; inseticidas para o controle da lagarta-da-espiga e mosca-da-espiga em milho doce; fungicidas para o controle da brusone em arroz; fungicidas para o controle da ferrugem no feijoeiro. Tais resultados servem de referência sobre o potencial oferecido pela quimição.

3.3.2. Sistema pivô central

Embora esteja popularizando-se no Brasil, há poucos resultados experimentais produzidos no País sobre a aplicação de produtos químicos via pivô central, sendo largamente baseada em literatura internacional.

O deslocamento circular característico do sistema resulta na necessidade de cada aspersor ou grupo de aspersores ter vazão diferente dos outros, em razão de cobrirem áreas diferentes e terem de aplicar a

mesma lâmina. Por essa razão, a velocidade de deslocamento do pivô determina a lâmina média aplicada e, conseqüentemente, afeta a taxa de aplicação de qualquer produto em solução na água. Reese et al. (1984) alertam para o efeito de eventual variação na velocidade de deslocamento do pivô durante a aplicação, que pode ser provocada pela presença de ondulações no terreno, ou mesmo por alteração nas condições de solo. Os autores afirmam que as bombas de injeção provavelmente constituem a principal fonte de erro na quimigação com pivô e recomendam o uso de bombas com deslocamento positivo, de pistão ou diafragma, sendo preferível a segunda, por permitir ajustes na calibração durante a operação. Recomendam a seleção de bomba com taxas de pelo menos 70 pulsos por minuto.

Stone (1984) constatou que a distribuição de inseticidas à base de óleo, aplicados por pivô central, teve uniformidade (81%) inferior à de distribuição da água (86%).

Cada aplicação deve ser calculada e programada para um ciclo inteiro, sem interrupção; caso contrário, a uniformidade será prejudicada (Heermann e Kohl 1983). Deve-se assegurar que a linha de aspersores passe pelo ponto inicial da aplicação e retorne ao mesmo ponto no final do ciclo, para alcançar bom nível de uniformidade. Isso se deve ao fato de a lâmina d'água ter uma precipitação com padrão aproximadamente elíptico.

3.3.3. Sistemas localizados

Os sistemas localizados permitem níveis mais altos de uniformidade na aplicação. Um sistema de gotejamento, por exemplo, deveria atingir uniformidade de emissão acima de 90% (Keller e Karmeli 1975, citados por Rolston et al. 1986). Entretanto, isso também depende do controle de qualidade do fabricante dos equipamentos. Davis & Pugh (1974), citados por Rolston et al. (1986), constataram que a vazão individual de emissores de várias marcas e operando a diferentes pressões oscilou entre 1% e 16% em relação à média. Tais resultados dão uma idéia da variação existente no controle de qualidade e devem servir de alerta ao usuário para procurar equipamentos de fabricantes idôneos.

A irrigação localizada, também conhecida por microirrigação, caracteriza-se pela aplicação de água em apenas uma fração da área cultivada, onde está contido o sistema radicular (bulbo úmido). Por essa razão, a aplicação de produtos tende a ser mais econômica, por reduzir desperdícios (Dasberg e Bresler 1985; Bisconer 1985). Segundo Bisconer (1985), o nitrogênio é usado mais eficientemente quando aplicado pela microirrigação do que pelo método superficial a lanço, em razão da sua transformação em nitrato, o qual é móvel na água e acompanha a frente de umedeci-

mento dentro da zona radicular, podendo ser distribuído com melhor precisão.

Com relação ao fósforo, segundo o mesmo autor, há uma melhoria na sua mobilidade, devido à saturação dos pontos de fixação do mesmo no solo, na área de umedecimento abaixo do emissor, que é relativamente pequena, permitindo ao excesso mover-se com a água. A obstrução de emissores, causada pela precipitação de fósforo, pode ser evitada pela injeção de ácido fosfórico, imediatamente após a injeção do mesmo, ou misturando-o com ácido sulfúrico. Chase (1985) concluiu que níveis subótimos de fósforo, aplicado por sistemas localizados subsuperficiais, são imobilizados próximo ao emissor, em concentração elevada, e propiciam maior suprimento do nutriente para a primeira cultura que a aplicação a lançou.

Uma vantagem específica, em termos econômicos e de eficiência, da aplicação de nematocidas por meio da irrigação localizada foi apontada por Bisconer (1985). Trata-se do efeito de "desorientação" dos nematóides, causado pela aplicação do produto apenas na zona do sistema radicular, o que impede ou dificulta que os parasitas atinjam as raízes, no momento do seu deslocamento para as mesmas (descrito pela expressão "root flush"). Como o objetivo passa a ser de apenas desorientar, em vez de erradicar os nematóides, a dose do produto pode ser consideravelmente reduzida.

É importante, por outro lado, atentar para possíveis efeitos específicos indesejáveis da quimigação via sistemas localizados. Pesquisa conduzida no Vale de São Joaquim, na Califórnia, EUA (Bianchi et al. 1985), mostrou um efeito nocivo da aplicação de fertilizantes através da irrigação por gotejamento. O fato de a aplicação ser localizada implica um aumento considerável da concentração de sais na área molhada abaixo do emissor, o que ocasionou acúmulo de sais monovalentes e bivalentes naquela área. Após irrigações subseqüentes com água de boa qualidade (baixa condutividade elétrica e baixa razão de adsorção de sódio - RAS), os cátions bivalentes, como cálcio e magnésio, foram lixiviados, elevando-se a concentração local de monovalentes (sódio e potássio), o que deu origem à sodificação do solo. Como conseqüência, ocorreu dispersão de partículas, resultando em decréscimo da permeabilidade. Os autores descreveram o aparecimento de sintomas como redução de pH e crostas na superfície.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIANCHI, M. L., BURT, C. M.; RUEHR, T. A. 1985. Drip fertilization practices and soil permeability. In: **DRIP/Trickle Irrigation in Action**. St. Joseph: ASAE, 1995. v.1, p.357-364.

- BISCONER, I. 1985. Chemigation: a practical overview. In: **DRIP/Trickle Irrigation in Action**. St. Joseph: ASAE, 1995. v.2, p.477-484.
- CHASE, R. G. 1985. Phosphorus application through a subsurface trickle system. In: **DRIP/Trickle Irrigation in Action**. St. Joseph: ASAE, 1995. v.2, p.393-400.
- COSTA, E. F. da; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.12, n.139, p.1-112, 1986.
- COSTA, E.F. da, FRANÇA, G.E. de; ALVES, V.M.C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. In: HERNANDEZ, F.B.T., MORAES, J.F.L. de A., LEANDRO, W.M. **Irrigação: Momento atual e perspectivas**. Jaboticabal: SECITAP, 1987. p. 51-71.
- COSTA, E.F. da; BRITO, R.A.L. **Aplicador portátil de produtos químicos via água de irrigação**. Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1988. 19p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 13).
- COSTA, E. F. da., SILVA, J. B., PINTO, N. F. J. A.; VIANA, P. A.; OLIVEIRA, A. L.; BRAGA, M. V. N. Aplicação de produtos químicos via água de irrigação na aspersão convencional, método experimental. **Relatório Técnico Anual EMBRAPA-CNPMS 1988-1991**. Sete Lagoas, 1992. p.42-43.
- DASBERG, S.; BRESLER, E. **Drip irrigation manual**. Bet Dagan: International Irrigation Information Center, 1985. 95 p. (Publication, 9).
- DOWLER, C.C., RHODE, W.A., FETZER, L.E., SCOTT, D.E., SLANKY, T.E. e SWANN, C.W. **The effect of sprinkler irrigation on herbicide efficacy, distribution, and penetration in some Coastal Plain soils**. Univ. of Georgia, 1982. (Agricultural Experimental Station Research Bulletin 281).
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (Sete Lagoas-MG) Enio Fernandes da Costa. Dispositivo portátil para aplicação de produtos químicos via água de irrigação. Br. N. PI 880452. 31 de agosto de 1988. Revista da propriedade industrial, Rio de Janeiro, N. 1014, p.3, 17.04.90.
- FISCHBACH, P.E. **Applying fertilizer in the irrigation water**. Lincoln: University of Nebraska, s.d. 7p. (E.C. 71.792).

- FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PAES, L.A.D.; NASCIMENTO, V.M. **Fertirrigação Mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985, 31p. (Boletim Técnico 2).
- GROSELLE, D.E., STANSELL, J.R.; YOUNG, J.R. Effects of injection parameters on the droplet size of an oil formulated insecticide during chemigation. **Transactions of ASAE**, v.29, n.40, p.1065-1069, 1986.
- HAMAN, D.Z.; SMAJSTRIA, A.G.; ZAZUETA, F.S. **Chemical injection methods for irrigation**. Gainesville, FL: University of Florida, 1990. 21p. (Florida Cooperative Extension Service, Circular 864).
- HEERMANN, D.F., KOHL, R.A. 1983. Fluid dynamics of sprinkler systems (Ch.14). In: JENSEN, M.E. (Ed.) **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. 829p.
- McCULLOCH, A.N. & SCHRUNK, J.F. **Sprinkler irrigation**. Washington: Sprinkler Irrigation Association, 1969. 444p.
- PAIR, C.H., HINZ, W.H., FROST, K.R., SNEED, R.E.; SCHILTZ, T.J. (Ed.). 1983. **Irrigation**. 3ed. s.l: Irrigation Association, 1983. 686p.
- REESE, L.E., LOUDON, T.L.; POTTER, H.S. **Chemigation: using center pivot and linear move systems**. St. Joseph: ASAE, 1984. 25p. Paper No. 84-2100.
- ROLSTON, D.E.; MILLER, R.J.; SCHULBACK, H. Management Principles-Fertilization. In: NAKAYAMA, F.S. e BUCKS, D.A. ed. **Trickle Irrigation for Crop Production**, "Developments in Agricultural Engineering 9". Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p.
- STEGMAN, E.C., MUSICK, J.T.; STEWART, J.I. Irrigation water management (Ch.18). In: JENSEN, M.E. (Ed.) **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASAE, 1983. 829p.
- STONE, K.C. **Water and chemical distribution through a sprinkler irrigated plant canopy**. Athens: University of Georgia, 1984. Tese Mestrado
- YOUNG, J.R. (ed.). Chemigation of insecticides as an application technique for insect control. In: NATIONAL ENTOMOLOGICAL SOCIETY MEETINGS, 1984. **Proceedings ...**