

CÁLCULOS E MANEJO DA QUIMIGAÇÃO NOS SISTEMAS PRESSURIZADOS

Enio Fernandes da Costa¹

Ricardo A. L. Brito²

Euzebio Medrado da Silva³

7.1. INTRODUÇÃO

Os sistemas pressurizados de irrigação (aspersão, gotejamento e micro-aspersão) vêm sendo cada vez mais utilizados com o duplo propósito de distribuir água e produtos químicos, simultaneamente. Esse processo é facilitado sobremaneira nesses sistemas de irrigação, devido ao movimento turbulento da água, que ajuda a manter o material químico uniformemente distribuído nas tubulações de condução. Essa característica, aliada à condição de água pressurizada, confere a esses sistemas de irrigação uma vantagem importante no processo de controle das taxas de aplicação de água e dos produtos veiculados. Esses sistemas de irrigação podem ser usados para a aplicação de diversos produtos químicos, como fertilizantes, herbicidas, inseticidas, fungicidas e até mesmo outros produtos não tradicionais, como bioinseticidas e vírus.

A injeção desses produtos pode ser efetuada utilizando-se diferentes métodos e equipamentos, conforme foi tratado no Capítulo 3. Independentemente do método adotado para introdução do material no sistema de irrigação, a utilização adequada do processo de quimigação depende do cálculo correto de variáveis como taxa de injeção, quantidade do produto a ser injetada, volume do tanque de injeção, dose do produto a ser aplicada

¹ Engenheiro Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da EMBRAPA/CNPMS, Cx. P. 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

² Engenheiro de Irrigação, Ph.D., Pesquisador da EMBRAPA/CNPMS, Cx. P. 151, 35701-970 Sete Lagoas, MG

³ Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Pesquisador da EMBRAPA/CPAC, Cx. P. 08223, 73301-970 Planaltina, DF

na área irrigada, concentração do produto na água de irrigação, entre outros.

Este capítulo tem por finalidade apresentar as formas de cálculo e os procedimentos operacionais relativos à aplicação de produtos químicos através dos vários métodos de irrigação pressurizada. Serão apresentadas as fórmulas utilizadas no cálculo das variáveis que caracterizam o processo de quimigação via irrigação localizada, pivô central e laterais portáteis.

7.1.1. Informações preliminares sobre produtos

A quimigação requer que os produtos usados estejam em solução. Portanto, se os materiais usados não forem originalmente fluidos, é necessário preparar a solução desejada, antes de proceder à injeção. Para tanto, é importante conhecer algumas características dos produtos, como solubilidade, conteúdo do elemento ou nutriente desejado, densidade e/ou concentração e limite de tolerância pelas culturas, entre outros.

No caso de produtos fluidos, notadamente os fertilizantes nitrogenados, usam-se em geral valores de densidade da solução saturada (g/cm^3 ou kg/l), enquanto para os produtos sólidos é preciso antes preparar a solução e, por isso, se trabalha com valores de concentração (kg/l , g/l , mg/l ou ppm). Do ponto de vista hidráulico, as unidades são compatíveis e, portanto, é comum o uso daquelas com que o usuário esteja mais familiarizado, desde que não se percam de vista as respectivas equivalências dimensionais.

Algumas informações referentes a fertilizantes são apresentadas neste capítulo, para auxiliar no uso das equações apresentadas. A Tabela 7.1 apresenta dados de solubilidade em água e conteúdo dos nutrientes N, P e K de alguns fertilizantes sólidos. A mistura HAISOL é um produto relativamente recente, importado de Israel, que apresenta dissolução muito alta e, portanto com, grande potencial na irrigação localizada, por minimizar problemas de entupimento (Fertilizers & Chemicals s/d).

A Tabela 7.2 contém valores de densidade de alguns adubos nitrogenados fluidos. No caso de misturas de NPK, os valores de densidade e conteúdo de nutriente dependem de cada formulação.

O nível de tolerância das culturas à concentração de elementos específicos na água de irrigação é outro aspecto importante a ser considerado. Se o limite de tolerância for ultrapassado, as plantas podem sofrer danos por toxidez, queima foliar ou outros. A Tabela 7.3 apresenta os limites de tolerância de algumas culturas aos macronutrientes NPK.

TABELA 7.1. Solubilidade e conteúdo de macronutrientes de alguns fertilizantes.

Fertilizantes (macro)	Solubilidade kg/100 l (20°C)	N (%)	P (%)	K (%)
Nitrato de amônio	118	33	-	-
Sulfato de amônio	71	21	-	-
Cloreto de potássio	34	-	-	16
Fosfato diamônio-DAP	43	21	11	-
Fosfato monoamônio-MAP	23	12	10	-
Sulfato de potássio	11	-	-	13
Nitrato de potássio	32	13	-	13
Uréia	78	45	-	-
Mistura HAISOL amarelo	15	14	7	14
Mistura HAISOL rosado	15	12	6	18

Fontes: Frizzzone et al. (1985), Boaretto et al. (1991) e Fertilizers & Chemicals (s/d).

TABELA 7.2. Densidade e conteúdo de nutrientes de alguns fertilizantes fluidos em soluções saturadas.

Fertilizantes Fluidos (solução saturada)	Densidade (kg/l, 20°C)	N (%)	P (%)
Uran (Uréia-Nit.amônio)	1,33	32	-
Uréia	1,33	23	-
Sulfato de amônio	1,24	8	-
Sulfuran (Uréia-Sulf.amôn)	1,26	20	-
MAP 10-30-00	1,37	10	30
DAP 06-30-00	1,35	6	30

Fonte: Boaretto et al. (1991).

7.2. APLICAÇÃO VIA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

A irrigação localizada (gotejamento, microaspersão e mangueiras perfuradas) tem como característica principal a aplicação de água em um volume restrito do sistema radicular de cada planta ou fileira de plantas e não na totalidade da área cultivada, como acontece na irrigação por aspersão. Para compensar o umedecimento de apenas parte da área, adota-se um manejo de irrigação com aplicações mais frequentes de água e lâminas pequenas, resultando em elevado potencial de água no solo, com valores de conteúdo de água na zona radicular próximos à capacidade de campo, em comparação com os métodos de irrigação por superfície e aspersão.

TABELA 7.3. Limites de tolerância de algumas culturas a macronutrientes (g/m³ ou ppm).

Cultura	N	P	K
Abóbora	150-200	30-50	150-200
Alface	100	30-50	150
Algodão	40-60	20-30	100
Ameixa	80-100	30-50	150-200
Banana	15	-	45
Batata	130-150	30-50	120-180
Berinjela	130-170	50-60	150-200
Feijão	80-120	30-50	150-200
Girassol	40-60	20-3-	100
Laranja	35	3-5	8-10
Pimenta	130-170	30-50	150-200
Tomate	150-180	30-50	200-250

Fonte: Papadopoulos (1991).

A aplicação freqüente de água de forma localizada induz as raízes a se concentrarem em um volume reduzido de solo, caracterizado como bulbo úmido, especialmente em regiões de clima árido e semi-árido. A extensão da área molhada por cada emissor é função do diâmetro deste bulbo úmido e da lâmina de irrigação aplicada. Assim, a área molhada fica determinada pelo círculo de umedecimento ou pela faixa delimitada pela área molhada correspondente a um ou mais bulbos, que podem ter zonas de sobreposição (Brito 1987).

7.2.1. Medidas operacionais para a injeção de produtos químicos

No caso da aplicação de produtos químicos via água de irrigação localizada, em que a área molhada é mais restrita, em comparação com outros métodos, recomenda-se atenção especial no que diz respeito à concentração da solução aplicada, para evitar possíveis efeitos indesejáveis (ver no Capítulo 3 os comentários sobre o trabalho de Bianchi et al. 1985). Por essa razão, geralmente, necessita-se adotar limites máximos de concentração de produtos aplicados nos processos de quimigação utilizando a irrigação localizada.

O princípio operacional básico que rege a aplicação e a injeção de produtos na irrigação localizada é semelhante ao dos demais métodos de irrigação. Entretanto, por se tratar de um sistema com fluxos reduzidos,

torna-se muitas vezes, difícil medir com precisão a descarga da solução utilizando medidores convencionais, sendo necessário fazer uso de processos alternativos, como, por exemplo, o emprego de discos providos de orifícios, instalados nas mangueiras alimentadoras da injeção. Ao se utilizar este dispositivo de restrição ao fluxo, Rolston et al. (1986) recomendam calcular o diâmetro do orifício do disco utilizando a seguinte equação:

$$D = \left[\frac{15,13 q_i}{C \sqrt{p}} \right]^{0,5} \quad (\text{eq. 7.1})$$

onde D é o diâmetro (mm), q_i é a vazão na mangueira de injeção (ℓ/min), C é o coeficiente do orifício (geralmente 0,62) e p é a pressão (kPa). Por exemplo, caso se deseje dispor de uma vazão de 5 ℓ/min (300 ℓ/h) com uma pressão de 100 kPa (1 atm), será necessário utilizar um disco com orifício de 3,5 mm de diâmetro.

A importância da determinação de fluxos através de tubulações de pequeno diâmetro (por exemplo, 16 a 20 mm) está associada à necessidade de se estimar o tempo de injeção do produto, o que, por sua vez, pode ser feito pela previsão da concentração final desejada na solução, principalmente nos casos da utilização de tanques pressurizados de fertilização. Nessa condição, a idéia é definir qual o tempo necessário para a concentração da solução no tanque atingir um nível suficientemente baixo, que permita considerar o produto praticamente todo aplicado. Shani (1981), citado por Frizzone et al. (1985), propôs o emprego de um percentual final (considerando 100% inicial) de concentração da solução no tanque, P_t , como indicador do momento em que o produto foi aplicado, sendo:

$$P_t = 100e^{-x} \quad (\text{eq. 7.2})$$

onde P_t é % (comparado a 100% inicial), e é a base do logaritmo neperiano (2,718) e x representa a relação (adimensional) entre o volume de água que passou pelo tanque durante a aplicação e o volume (de solução) do tanque.

Para exemplificar, suponha que se deseja saber qual a relação de volumes no tanque necessária para que a concentração alcance 2% da inicial. Neste caso, o resultado é o seguinte:

$$\begin{aligned} x &= \ln \left(\frac{100}{2} \right) \\ &= 3,9 \approx 4 \text{ vezes} \end{aligned}$$

ou seja, será necessário fluir pelo tanque o equivalente a quatro vezes o seu próprio volume. Isso significa dizer que, caso o tanque usado tenha 100 ℓ de capacidade, será necessário circular aproximadamente 400 ℓ de água através do tanque para que a concentração da solução atinja 2% da concentração inicial no tanque. Caso o volume de água circulante seja 300 ℓ, para o mesmo tanque de 100 ℓ ($x = 3$), o valor de P_t será aproximadamente 5%.

Uma versão ligeiramente modificada da equação 7.2 foi apresentada pela FAO (1986), citada por Feitosa Filho et al. (1991), cuja forma é:

$$C_t = C_0 e^{-x} \quad (\text{eq. 7.2a})$$

em que C_t representa a concentração do produto no tanque (ppm, mg/L etc) após certo tempo de aplicação e C_0 é a concentração inicial (mesma unidade). Para determinar o tempo necessário para atingir a concentração final desejada, tendo-se estimado o valor de x , basta verificar/determinar a vazão circulante no tanque e então calcular o tempo para que essa vazão acumule o volume circulado requerido de água, em relação ao volume do tanque.

A injeção de produtos deve ser iniciada somente depois que todas as linhas estejam cheias de água e os emissores funcionando de maneira plena; caso contrário, a uniformidade de distribuição será comprometida. O processo de aplicação se compõe de três etapas (Frizzzone et al. 1985). A primeira, anterior à injeção propriamente, para enchimento do sistema e umedecimento do solo (ao redor de 30 minutos), a segunda, que é o período de aplicação (calculado para cada situação), e a terceira, após encerrada a injeção, para lavagem das tubulações e movimentação do produto para a profundidade desejada (15 a 30 minutos).

Os mesmos autores advertem para as consequências dos intervalos e tempo de aplicação, pois as aplicações a intervalos curtos e com pequenas lâminas induzem à formação de sistema radicular raso, em relação a aplicações com intervalos mais longos e lâminas maiores, que favorecem o aprofundamento de raízes. Entretanto, no caso da irrigação localizada, o volume de solo ocupado pelas raízes, dadas as características inerentes ao método, é comparativamente menor, não sendo isso sintoma de deficiência. Por outro lado, o tempo de irrigação é geralmente mais longo que na aspersão, e deve ser obedecido para evitar os problemas acima mencionados.

7.2.2. Cálculo da taxa de aplicação/injeção

A taxa ou vazão de injeção do produto no sistema pode ser calculada pela fórmula (Rolston et al. 1986):

$$q_i = \frac{P_d A}{C_p t_a} \quad (\text{eq. 7.3})$$

sendo q_i a taxa de injeção (ℓ/h), P_d a dose do produto a ser aplicada (kg/ha), A é a área que vai receber a aplicação (ha), C_p é a concentração ou densidade do produto na solução original (kg/ℓ) e t_a é o tempo de injeção (h).

Conforme mencionado anteriormente, pode ser necessário limitar a concentração do produto ou princípio ativo na água de irrigação para evitar efeitos indesejáveis, seja para o solo, as plantas, ou o ambiente. Se esse for o caso, pode-se determinar a concentração do produto, elemento ou princípio ativo na água, C_a , através da equação:

$$C_a = \frac{100 P_d}{L_i} \quad (\text{eq. 7.4})$$

em que C_a está em mg/ℓ , P_d em kg/ha e L_i é a lâmina de irrigação a ser aplicada (mm). A constante 100 é um fator de compatibilidade entre as unidades usadas. Quando se trabalha com outras unidades, é necessário modificar esse fator.

A seguir, apresenta-se um exemplo prático para o cálculo da taxa de injeção.

Exemplo 7.1

Um pomar de 5 ha, com espaçamento entre plantas de 6m x 5m, é irrigado por gotejamento, com quatro emissores por planta. O bulbo úmido formado por cada gotejador tem 0,7 m de diâmetro e a lâmina aplicada, em cada irrigação, deve suprir uma ET de 5 mm/d, com eficiência de 90%. A recomendação para adubação nitrogenada foi de 0,4 kg de N por planta, tendo sido sugerido o uso de Ureia, cuja porcentagem de N é 32% e a concentração/densidade em solução de 1,33 kg/ℓ (Tabelas 7.1 e 7.2). Necessita-se saber: a) a dose recomendada, por hectare e por emissor; b) a taxa equivalente por ha, a partir da dose obtida por emissor, e o fator de concentração; c) a taxa ou razão de injeção para o caso de se fazer a aplicação em dois dias, com dois turnos de 10 h por dia; d) a concentração de N na água de irrigação.

Solução:

- a) Cálculo da dose recomendada, por hectare e emissor:
No. de plantas/ha = $10.000/(6 \times 5) = 333$ plantas/ha
A partir deste valor, tem-se:
 $(0,4 \text{ kg N/planta}) (333 \text{ plantas/ha}) = 133 \text{ kg N/ha}$,
o que representa $(133/0,32) = 416 \text{ kg/ha}$ de Uran;
portanto, a dose por emissor será:
 $(0,4 \text{ kg N/planta}) / (4 \text{ emissores/planta}) = 0,1 \text{ kg N por emissor}$.
- b) Cálculo da taxa equivalente e do fator de concentração:
Área do bulbo = $\pi r^2 = \pi (0,7/2)^2 = 0,38 \text{ m}^2$ por emissor.
Tomando-se a dose por emissor do item a, tem-se:
 $(0,1)/(0,38) = 0,26 \text{ kg N/m}^2$,
que equivale a 2.600 kg N/ha , ou 8.125 kg/ha de Uran,
representando um fator de concentração, no bulbo, de 19,5 vezes.
- c) Cálculo da taxa de injeção:
A área para cada turno será:
 $5 \text{ ha}/(2 \text{ d} \times 2 \text{ turnos/d}) = 1,25 \text{ ha/turno}$;
Usando a eq.7.3, obtém-se:
 $q_i = (416 \text{ kg/ha} \times 1,25 \text{ ha}) / (1,33 \text{ kg/l} \times 10 \text{ h}) = 39,1 \text{ l/h}$;
- d) Cálculo da concentração de N na água de irrigação:
A lâmina de reposição será $L_i = (5 \text{ mm/d} \times 2 \text{ d}) / (0,90) = 11,1 \text{ mm}$;
Pela eq.7.4:
 $C_a = (100 \times 416 \text{ kg/ha}) / (11,1 \text{ mm}) = 3.748 \text{ mg/l}$.
ou 2.663 mg/l de N.

Como já foi dito anteriormente, as culturas têm um grau de sensibilidade ou tolerância a determinados produtos ou elementos e é necessário verificar se a concentração desses produtos está dentro dos limites toleráveis. Caso a concentração do produto ou elemento, na água de irrigação, esteja acima do limite desejado, a vazão de injeção, q_i (l/h), pode ser ajustada, partindo-se de uma concentração pré-definida do elemento na água de irrigação, C_a (mg/l), da vazão no sistema, Q (l/s), da densidade da solução a ser aplicada, ρ (kg/l), e do conteúdo percentual do elemento no produto em solução, P (%), de acordo com a fórmula (Rolston et al. 1986):

$$q_i = \frac{0,36 C_a Q}{\rho P} \quad (\text{eq. 7.5})$$

onde C constante 0,36 tem a finalidade de compatibilizar as unidades utilizadas. O próximo exemplo mostra o procedimento para utilização da fórmula acima.

Exemplo 7.2.

Suponha-se que, no caso do Exemplo 7.1, seja necessário manter a concentração de N, na água de irrigação, no limite de 150 mg/l . Calcular a q_i necessária para atender essa condição e avaliar as medidas operacionais que podem ser adotadas para tal fim.

Solução:

Inicialmente é necessário calcular a vazão de operação do sistema de irrigação, Q (ℓ/s), ou seja:

$$Q = \frac{(11,1\text{mm})(1,25\text{ha})}{10\text{h}} 10\text{m}^3 / \text{mm.ha} = 13,87 \text{ m}^3 / \text{h} = 3,85 \ell / \text{s}$$

Usando a eq. 7.5:

$$q_i = \frac{0,36(150)(3,85)}{(1,33)(32)} = 4,89 \ell / \text{h}$$

Entretanto, no Exemplo 7.1 foi determinada uma q_i de $39,1 \ell/\text{h}$ para aplicar a quantidade de produto desejada (416 kg/ha de Uran), em dois turnos de 10 horas por dia. A relação entre os dois valores de q_i é de $39,1/4,89 = 8$. Portanto, para não ultrapassar o limite de tolerância da cultura, a aplicação deve ser parcelada em oito vezes. Isto corresponde a aplicações de $416/8 = 52 \text{ kg/ha}$ de Uran de cada vez, na mesma área de $1,25 \text{ ha}$.

A aplicação de herbicidas via irrigação localizada não é prática muito freqüente. O círculo molhado, onde ocorre a emissão de água, é a única área superficial a apresentar umidade, ficando o restante da superfície seca, o que geralmente inibe o crescimento vegetal e, portanto, já exerce algum controle natural contra plantas invasoras. Além disso, o perímetro molhado pelo emissor normalmente se localiza sob a cobertura vegetal da cultura, especialmente na irrigação por gotejamento, caso em que a escassez de luminosidade sob a copa também contribui para a inibição do crescimento de ervas daninhas (Brito 1987).

Segundo Ogg Jr. et al. (1983), a aplicação de herbicidas via irrigação por gotejamento não controla todas as plantas daninhas, porque o herbicida não se desloca na mesma proporção que a água e é rapidamente degra-

dado nas proximidades do emissor, permitindo o  envolvimento de plantas no círculo molhado. Ainda de acordo com os mesmos autores, a injeção de herbicidas por esse método pode representar uma ameaça à saúde do operador, além de ser difícil o cálculo da taxa de aplicação, pelo fato de o padrão de deslocamento da água ser geralmente irregular. Por isso, os autores recomendam, como procedimento mais prático, a aplicação de solução com concentração conhecida por um período definido de tempo. Para o caso de culturas perenes com raízes profundas, soluções de 20 a 100 ppm, aplicadas por duas a quatro horas, tem apresentado controle seletivo de invasoras. Para controle seletivo em culturas anuais em fileiras, as concentrações são geralmente mais baixas.

7.3. APLICAÇÃO VIA PIVÔ CENTRAL

O sistema pivô central vem-se expandindo rapidamente nas áreas de concentração de irrigação no Brasil, graças à sua facilidade de automação e possibilidades de aplicação mais eficiente da água. O comprimento da lateral do sistema é bastante variado, dependendo da necessidade do produtor, das características topográficas e das dimensões da área a ser irrigada, variando de 60 m até aproximadamente 650 m, correspondendo a uma área irrigada de 1,31 a 133 ha, respectivamente. A lateral é sustentada, acima do solo, através de uma estrutura metálica, constituída de tesouras, tirantes e cabos de aço, montada em torres sobre rodas. O movimento da estrutura é feito através de motores, instalados em cada torre, para acionamento dos motorreductores das rodas. Esses motores são normalmente elétricos, com potência variando entre 0,5 a 1,5 HP.

A lateral é ligada em cada torre, por meio de junções móveis, as quais permitem certa flexibilidade de ângulos verticais e horizontais, para acomodar a estrutura metálica às variações de topografia e de alinhamento durante sua movimentação. Nos sistemas elétricos, o alinhamento é alcançado utilizando um mecanismo de acionamento elétrico-mecânico, que pára o movimento de uma determinada torre quando a lateral está alinhada, ou põe em funcionamento esta torre quando a lateral atinge um ângulo pré-estabelecido de desalinhamento. A velocidade de rotação do equipamento é determinada pela movimentação da última torre, a qual comanda as demais torres, que se deslocam em resposta ao acionamento de cada respectivo motor, buscando sempre a manutenção do grau de alinhamento preestabelecido.

A utilização desse sistema para aplicação de produtos químicos está se tornando muito comum. Os produtores usam fertilizantes, herbicidas, inseticidas e fungicidas aplicados via pivô central, tornando essa prática importante nas atividades produtivas da agricultura irrigada. Os métodos

de injeção empregados normalmente utilizam as bombas de deslocamento positivo, que se caracterizam por baixas vazões e altas pressões, ideais para introdução de produtos químicos em pivô central. O sistema de injeção na sucção da bomba, aproveitando-se o processo de admissão de água para o interior da mesma, também tem sido um processo adotado por muitos produtores. No entanto, essa forma de injetar produtos químicos deve ser evitada, pois existe perigo de contaminação da fonte de água.

7.3.1. Cálculo da taxa de injeção/aplicação

A taxa de injeção de produtos químicos via pivô central deve ser constante durante a aplicação de uma determinada dose na área irrigada. Esta condição é necessária porque o equipamento opera com um deslocamento contínuo e uniforme para aplicação da lâmina de água requerida. Neste caso, os métodos de injeção em que a concentração do produto cresce com o tempo não podem ser empregados para quimigação em pivô central.

A taxa de injeção de determinado produto químico na lateral de um pivô depende da dose do produto a ser distribuída na área, da velocidade de deslocamento do equipamento, da área irrigada e da concentração do produto no tanque de injeção. Estas variáveis estão todas relacionadas e a taxa de injeção pode ser calculada pela equação:

$$q_i = \frac{P_d r^2 v_t V_a}{20.000 r_t Q_p} \quad (\text{eq. 7.6})$$

onde q_i é a taxa de injeção (ℓ/min); P_d é a dose do produto na área irrigada (kg ou ℓ/ha); v_t é velocidade do pivô na última torre (m/min); r_t é a distância do ponto pivô até a última torre (m); r é o raio irrigado do pivô central; Q_p é a quantidade do produto no tanque de injeção (kg ou ℓ); e V_a é o volume de água no tanque em que o produto é diluído (ℓ). Na constante 20.000 está embutida a unidade m^2/ha . Na prática, geralmente, a taxa de injeção é pré-fixada, calculando-se a quantidade do produto a ser diluída em um determinado volume de água.

A introdução de produtos químicos, em especial os sais, representa um incremento na concentração e/ou na atividade dos íons já existentes na água de irrigação. Dependendo da concentração da solução injetada, de sua taxa de injeção e da vazão do sistema de irrigação, esta sobrecarga de sais advindos da quimigação poderá produzir efeitos indesejáveis, como precipitação de sais da água, corrosão dos materiais componentes do equipamento, toxicidade das plantas ou contaminação do ambiente. Por

isso, considera-se muito importante obter a concentração final do produto injetado na água de irrigação e avaliar as possibilidades de dano ao equipamento de irrigação e ao sistema de produção utilizado. O cálculo da concentração do produto na água de irrigação, C_a (mg/l), pode ser realizado utilizando a seguinte expressão:

$$C_a = \frac{q_i \left(\frac{Q_p}{V_a} \right)}{60Q} 10^6 \quad (\text{eq. 7.7})$$

onde Q representa a vazão do sistema de irrigação (l/s).

Quando o sistema não dispõe de um medidor de vazão, recomenda-se estimar seu valor a partir de informações sobre a lâmina média aplicada e a uniformidade de distribuição de água do equipamento, utilizando a seguinte fórmula:

$$Q = 3,636(10)^{-5} \frac{r^2 L_i}{U_i} \quad (\text{eq. 7.8})$$

onde L_i é a lâmina média aplicada (mm/d); e U_i representa o índice de uniformidade adotado, expresso em forma decimal;

Uma informação importante na quimigação é a quantidade de reservatórios necessários para aplicar a dose recomendada. Esta informação depende do tamanho do pivô, da capacidade do reservatório de injeção utilizado, da velocidade de deslocamento do equipamento e da taxa de injeção empregada. O número de tanques a serem utilizados pode ser calculado da seguinte forma:

$$N_T = \frac{2\pi r_i q_i}{v_t V_a} \quad (\text{eq. 7.9})$$

em que N_T representa o número de tanques necessários para a aplicação em um círculo completo; as outras variáveis já foram definidas anteriormente.

A seguir, será apresentado um exemplo ilustrativo dos cálculos.

Exemplo 7.3

Deseja-se aplicar uma dose de 20 kg/ha de uréia, através de um pivô central com raio irrigado de 400 m. O equipamento irá deslocar-se numa velocidade de 2,5 m/min, na última torre, que se encontra a 385 m do

ponto pivô. Pretende-se dissolver 360 kg do fertilizante, de uma só vez, em 800 litros de água no tanque de injeção. Pede-se determinar: a) a taxa de injeção necessária para aplicar uréia uniformemente; b) a concentração do produto na água de irrigação, sabendo que a vazão no sistema de irrigação é de 47,5 ℓ/s ; c) o volume total de solução necessário para aplicação da dose requerida em toda a área desse pivô central.

Solução:

a) Taxa de injeção:

Usando a eq. 7.6

$$q_i = \frac{(20)(400)^2 (2,5)(800)}{20.000(385)(360)} = 2,31 \ell / \text{min}$$

b) Concentração do produto na água de irrigação

Aplicando o valor obtido acima na eq. 7.7

$$C_a = \frac{(2,31)\left(\frac{360}{800}\right)}{60(47,5)} 10^6 \cong 365 \text{ mg} / \ell$$

c) Volume total de solução:

Redistribuindo os termos da eq. 7.9

$$\text{Volume total} = N_T V_a = \frac{2p r_i q_i}{v_t} = \frac{2p(385)(2,31)}{(2,5)} = 2.234 \ell$$

o que equivale aproximadamente a 2,8 tanques de 800-litros.

É importante salientar que altas concentrações de sais de Na, Cl, B e F podem causar deposições nas folhas, com risco de queima foliar em plantas sensíveis. Por outro lado, concentrações de Ca superiores a 100 mg/l, na presença de fosfatos, podem resultar em precipitação de fosfato de cálcio, produzindo a formação de camadas endurecidas (crostas) no interior das tubulações e emissores, com possibilidade de entupimento. A utilização de água com altas concentrações de Ca e Mg, também conhecida como água dura, requer cuidados especiais, no caso de utilizar qualquer produto químico à base de fosfato. A utilização de ácidos pode ser reco-

mendável para manutenção do pH em níveis baixos, forma a evitar a formação de precipitados. O ácido sulfúrico, utilizado em uma concentração de 20 a 50 ppm, é uma alternativa que poderá ser adotada para evitar precipitados de Ca e Mg, nos casos de injeção de fertilizantes fosfatos. O ácido fosfórico e o ácido nítrico podem também ser utilizados para o mesmo fim (Costa 1994).

A uniformidade de distribuição de fertilizantes aplicados via pivô central está diretamente ligada com o padrão de aplicação da água. Hernandez (1993) demonstra que o perfil de distribuição de nitrogênio, aplicado em cobertura, segue o padrão de distribuição de água ao longo da lateral do pivô central. Portanto, os equipamentos de pivô central devem estar bem ajustados, para promover uma aplicação eficiente do produto químico injetado. Em geral, equipamentos com uniformidade de distribuição acima de 85% são considerados adequados para a aplicação de fertilizantes.

7.4. APLICAÇÃO VIA ASPERSÃO CONVENCIONAL

O sistema de irrigação por laterais portáteis, também denominado convencional, caracteriza-se pela presença de uma ou mais linhas laterais, compostas de tubos que se acoplam mediante conexões de fácil manejo (engate rápido), contendo vários aspersores a intervalos iguais. Essas laterais são deslocadas manualmente, em períodos de tempo pré-estabelecidos, ocupando posições sucessivas, para promover a irrigação de uma faixa de terreno cuja área depende do comprimento da lateral, do alcance do jato dos aspersores e do número de posições ocupadas dentro do intervalo entre irrigações. Por serem portáteis, as tubulações devem ser leves, com diâmetro de até 75 mm, ou, excepcionalmente, 100 mm, dependendo do material (PVC rígido, alumínio, ou aço zincado). É talvez o sistema mais usado, sendo geralmente encontrado com aspersores pequenos e médios, embora não necessariamente.

A injeção de produtos químicos, nessa modalidade de irrigação, pode ser realizada utilizando os vários métodos já descritos no Capítulo 3 (turbobombas; bombas volumétricas; diferencial de pressão; combinado/composto e transformação de energia). Pelo fato de o sistema permanecer estacionário durante a aplicação de água, é comum a utilização de depósitos hermeticamente fechados, constituídos de fibra de vidro ou de metal protegido contra a ação corrosiva dos agroquímicos. Nesse caso, o volume do depósito é função da área a ser irrigada, do método de injeção e das condições de suprimento de água.

A escolha do equipamento para aplicação de agroquímico deve considerar diversos fatores inerentes ao empreendimento agrícola, pois existe uma ampla variação de características entre eles que devem ser analisadas. São fatores importantes: custo, mobilidade, forma de injeção, automatização, capacidade do equipamento, volume e solubilidade do produto.

7.4.1. Quantidade do produto injetada por lateral

O dimensionamento das operações de aplicação de agroquímicos, num sistema de irrigação convencional, utiliza as expressões seguintes para as diferentes etapas de cálculo (Frizzone et al. 1985):

7.4.1.1. Quantidade de produto a ser injetada (Q_p)

$$Q_p = \frac{E_a E_l N_a P_d}{10.000} \quad (\text{eq. 7.10})$$

onde Q_p é quantidade de produto ou nutriente a ser aplicada por linha lateral (kg); E_a é o espaçamento entre aspersores na linha lateral (m); E_l é o espaçamento entre laterais (m); N_a é o número de aspersores na linha lateral; P_d é a dose recomendada do produto ou nutriente (kg/ha).

7.4.1.2. Quantidade de produto sólido a ser colocada no tanque (Q_p)

$$Q_p = \frac{C_a Q V_a}{q_i P} \quad (\text{eq. 7.11})$$

em que Q_p é quantidade de produto/elemento a ser colocada no tanque (g); C_a é a concentração desejada da solução na saída dos aspersores (g/m³, mg/l ou ppm); Q é a vazão do sistema de irrigação (m³/h); V_a é a capacidade do tanque (m³); q_i representa a taxa de injeção (m³/h); P é a porcentagem do elemento no produto, expresso em valor decimal.

7.4.1.3. Número de tanques do produto (N_T)

$$N_T = \frac{P_d A}{P Q_p} \quad (\text{eq. 7.12})$$

onde Q_p representa a quantidade do produto por tanque; A é a área irrigada por posição; os outros termos já foram anteriormente definidos.

7.4.2. Memória de cálculo

No desenvolvimento da memória de cálculo, decisões e informações são necessárias com a finalidade de determinar a quantidade do produto a ser aplicada, quantidade do produto a ser colocada no tanque e o número de tanques do produto a serem utilizados.

a) A quantidade do produto a ser aplicada por hectare, através do sistema de irrigação (kg/ha), deve ser determinada com base na produtividade esperada, na capacidade de suprimento de N pelo solo e na perda estimada do fertilizante pelo solo. A quantidade total do produto requerida pela cultura pode (ou deve) ser parcelada em diversas aplicações, conforme as exigências da mesma em cada estágio de desenvolvimento.

b) O tipo e concentração da solução a ser aplicada depende das recomendações agronômicas estabelecidas para a cultura e do manejo a ser usado na aplicação.

c) É necessário definir a área a ser irrigada e o tempo requerido por cada posição da(s) linha(s) lateral(ais). O tempo é função da capacidade do sistema de irrigação, da capacidade de retenção de água no solo, do clima e da cultura.

Apresenta-se em seguida um exemplo ilustrativo do procedimento.

Exemplo 7.4

Deseja-se fazer a fertigação com uréia numa área de 10 ha com a cultura do feijoeiro, na fase de floração, utilizando-se um sistema de irrigação convencional com aplicador portátil de produtos químicos. As seguintes informações são disponíveis, inerentes aos sistemas de irrigação e injeção e ao produto a ser usado:

- concentração desejada na água de irrigação, $C_a = 100$ ppm de N;
- capacidade do sistema de irrigação, $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$;
- capacidade de injeção da bomba, $q_i = 0,48 \text{ m}^3/\text{h}$;
- capacidade do tanque secundário, $V_a = 500 \text{ l} = 0,50 \text{ m}^3$;
- porcentagem do nutriente no fertilizante, $P = 45\%$ de N $= 0,45$;
- dose recomendada do nutriente (N), $P_d = 30 \text{ kg/ha}$ de N;
- área irrigada por posição, $A = 0,22 \text{ ha}$;
- espaçamento entre aspersores na lateral, $E_a = 12 \text{ m}$;
- espaçamento entre laterais, $E_l = 18 \text{ m}$;
- número de aspersores em cada lateral, $N_a = 10$

Calcular: a) a quantidade de fertilizante sólido (uréia) a ser colocada no tanque secundário; b) o número necessário de tanques por aplicação; c) a quantidade de nutriente (kg) a ser aplicada por linha lateral.

Solução:

- a) Quantidade de fertilizante sólido (uréia) a ser colocada no tanque:
Usando a eq. 7.11

$$Q_p = \frac{(100)(30)(0,5)}{(0,48)(0,45)} = 6.944g \cong 6,96 \text{ kg}$$

A solubilidade da uréia (Tabela 7.1) é de 78 kg/100 ℓ. O fator de diluição de irrigação (F), entre a vazão do sistema e a capacidade de injeção da bomba será:

$F = (30 \text{ m}^3/\text{h}) / (0,48 \text{ m}^3/\text{h}) = 62,5$. Portanto, a solução armazenada no tanque será diluída pelo fator 62,5. Como o tanque secundário tem 500 litros de água para solubilizar 6,96 kg de uréia, a relação será de apenas 1,39 kg/100 ℓ. Portanto, a uréia será facilmente solubilizada.

- b) Número necessário de tanques (N_T):

$$N_t = \frac{(30)(0,22)}{(0,45)(6,96)} \cong 2$$

- c) Quantidade de nutriente (N) a ser aplicada por linha lateral:
Empregando-se a eq. 7.10

$$Q_p = \frac{(12)(18)(10)(30)}{10.000} = 6,48 \text{ kg}$$

que corresponde a 14,4 kg de uréia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOARETTO, A. E.; CRUZ, A. P.; LUZ, P. H. C. **Adubo líquido: produção e uso no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1991, 100p.
- BRITO, R. A. L. **Irrigação Localizada**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1987. 24 p (não publicado).
- FEITOSA FILHO, J. C.; DENICULI, W.; LOUREIRO, B. T.; AMARAL, F. A. L. Desempenho do tanque de derivação na fertirrigação por microaspersão. **Revista Ceres**, v.38, n.216, p.125-136, 1991.

- FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; e NASCIMENTO, V. M. 1985. **Fertirrigação Mineral**. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31 p. (Boletim Técnico, 2).
- HERNANDEZ, F. B. T. Potencialidades da fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, Piracicaba, SP, 1993. **Anais ...** Piracicaba: ESALQ/CENA/POTAFOS, 1993, p 199-210.
- OGG Jr, A. G.; DOWLER, C. C.; MARTIN, A. R.; LANGE, A. H.; HEIKES, P. E. 1983. **Application of herbicides through irrigation systems**. Washington: USDA, 1983. 8p. (AD-FO-2280).
- PAPADOPOULOS, I. Fertigation in cyprus and some other countries of the near east region. Fertigation, 1991, Cairo, Proceedings, Roma: FAO, 1991, p.67-82.
- ROLSTON, D. E; MILLER, R. J.; SCHULBACH, H. Management Principles - Fertilization. In: NAKAYAMA, F. S; Bucks, D. A.(ed.), Trickle Irrigation for Crop Production, "Developments in Agricultural Engineering" 9. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p.