

# 10 FERTIRRIGAÇÃO

*Waldir A. Marouelli*

*José Maria Pinto*

*Henoque Ribeiro da Silva*

*José Francismar de Medeiros*

## INTRODUÇÃO

Fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes nas plantas por meio da água de irrigação, o qual se adapta aos sistemas por aspersão e por microirrigação, especialmente o gotejamento. Não é recomendado, todavia, para sistemas por sulco ou qualquer outro com eficiência de irrigação inferior a 70%.

A fertirrigação na cultura do melão pode induzir incrementos significativos tanto na produtividade quanto na qualidade de frutos, sobretudo quando é praticada via gotejamento. Em termos práticos, o gotejamento sem aplicação de fertilizantes via água de irrigação é pouco eficiente, resultando em pequeno incremento na produtividade.

As principais razões para o uso da fertirrigação são o menor custo de aplicação e maior eficiência quanto à absorção de nutrientes pelas plantas. Por permitir que os nutrientes sejam fornecidos de forma parcelada, de acordo com a necessidade da cultura, a fertilidade do solo pode ser mantida num nível próximo do ótimo durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, possibilitando máxima absorção pelas plantas.

Os nutrientes mais utilizados na fertirrigação são aqueles com maior mobilidade no solo, como o potássio e, principalmente, o nitrogênio. O fósforo e os micronutrientes são em geral aplicados em adubação de plantio. A eficiência do nitrogênio, por exemplo, é maior quando aplicado via água de irri-

gação do que convencionalmente. A prática da fertirrigação ainda possibilita alocação do fertilizante de modo preciso, diretamente na zona radicular da cultura, minimizando a volatilização de nitrogênio, por exemplo, enquanto o parcelamento maximiza a absorção pelas raízes e minimiza a lixiviação de nutrientes.

É preciso ter em mente que o sucesso da fertirrigação depende do bom planejamento e execução da irrigação. Irrigação em excesso pode incrementar acentuadas perdas de nutrientes, principalmente de nitrogênio, por causa da movimentação com a água de irrigação, o que pode contaminar os aquíferos subterrâneos e superficiais.

## COMPONENTES DO SISTEMA

Um sistema básico de fertirrigação é composto de dispositivo de injeção, tanque de solução e bico injetor. Os componentes devem ser de materiais que não sofram ação corrosiva dos fertilizantes em uso no sistema. Dentre os materiais recomendados, destacam-se o cloreto de polivinil (PVC), polipropileno, polietileno, teflon, viton, nylon, etil-vinil-acetato (EVA) e aço inoxidável. Deve-se evitar a utilização de componentes contendo neopreno, borracha de butadieno e estireno, ferro galvanizado, latão, alumínio e bronze.

As mangueiras utilizadas devem ser reforçadas e feitas de preferência com EVA, o qual resiste a temperaturas ambientes extremas e a pressão de serviço de até 1.500 kPa, não envelhece sob ação da luz solar e, quimicamente, é compatível com quase todos os fertilizantes. Conexões de nylon, polipropileno, polietileno e aço inoxidável são, normalmente, de uso satisfatório.

### Dispositivo de injeção

Vários são os tipos de mecanismos disponíveis para a injeção de fertilizantes na água de irrigação, diferindo em preço, fonte de energia utilizada, precisão, vida útil, dentre outros. Os dispositivos de injeção mais comumente empregados são dos seguintes tipos:

- Venturi.
- Tanque de diferencial de pressão.
- Bombas injetoras.

### Venturi

Estes tipos de injetores baseiam-se no princípio hidráulico de Venturi e são os dispositivos mais frequentemente utilizados para fertirrigação, especialmente em sistemas de irrigação por gotejamento, pela sua simplicidade de uso e baixo custo. Injetores do tipo venturi

não devem ser utilizados em sistemas de irrigação mecanizados, como o pivô central porque a taxa de injeção desse tipo de injetor é afetada por variações de pressão durante a fertirrigação.

A instalação mais comum, sob condições de campo, é aquela em que o venturi é operado somente com a energia da água fornecida pela bomba de irrigação (Fig.1). O dispositivo é conectado à linha de irrigação por meio de uma tubulação de desvio (linha *bypass*), com um registro de controle colocado na linha de irrigação entre a linha *bypass*. Assim, durante a injeção da solução, o registro é parcialmente fechado para que parte da água de irrigação passe através do venturi. Dois registros na linha *bypass* são mantidos abertos durante a fertirrigação. A principal desvantagem desta montagem é a redução da pressão do sistema de irrigação, devido à perda de carga provocada pelo injetor. Em geral, uma queda de pressão de 70 a 150 kPa é requerida para funcionamento do venturi em sistema por gotejamento, o que, na maioria das vezes, não é fácil de ser obtido, sobretudo quando não previamente previsto no dimensionamento hidráulico do sistema. Esta redução na pressão pode prejudicar efetivamente a uniformidade da distribuição de água e de fertilizante na área, comprometendo o desempenho da cultura.

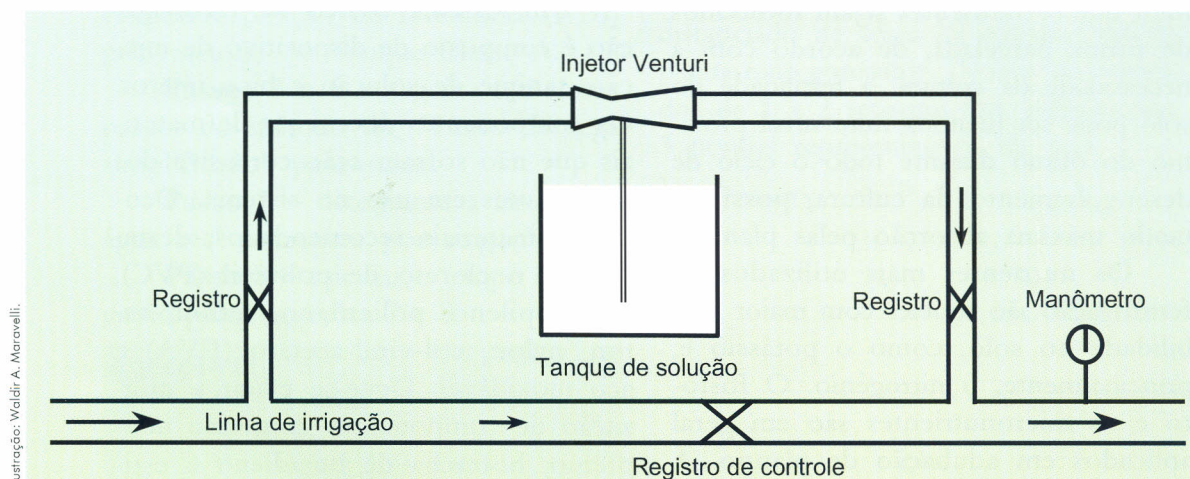


Fig.1. Diagrama de instalação para dispositivo de injeção de fertilizantes tipo venturi.



Para evitar a redução de pressão no sistema de irrigação que, em alguns casos, atinge valores acima de um terço da pressão do sistema, o venturi pode ser instalado na linha *bypass* em série com uma pequena bomba centrífuga (*booster*) (Fig.2). Uma vez que a bomba não entra

em contato com o produto químico injetado, bombas centrífugas de baixo custo podem ser utilizadas. A bomba deve fornecer ao sistema uma pressão igual ou ligeiramente superior à perda de carga provocada pelo venturi.

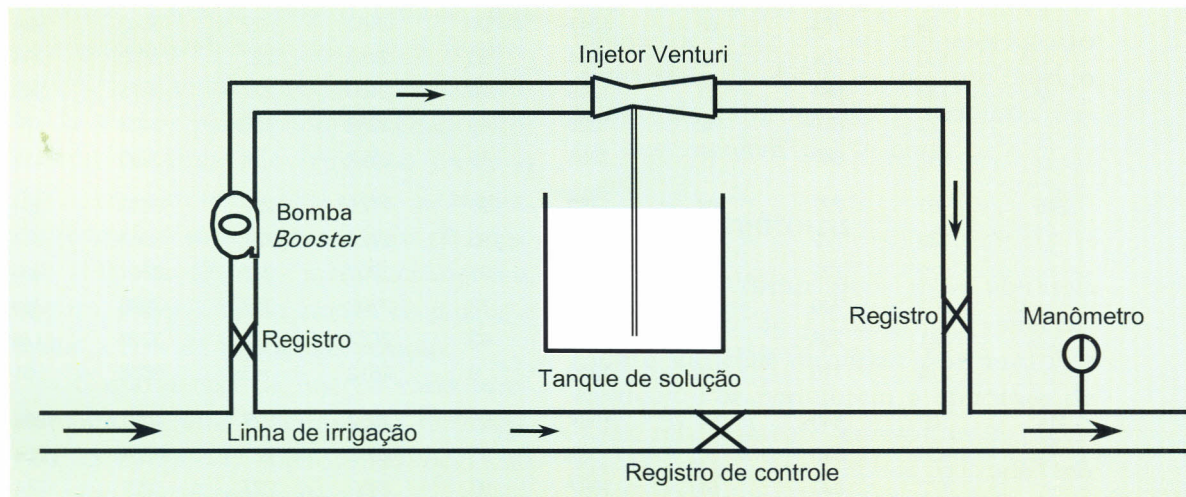


Ilustração: Waldir A. Maravelli.

**Fig.2.** Diagrama de instalação para dispositivo de injeção de fertilizantes tipo venturi instalado em série com uma bomba *booster*.

Exemplo: determinar a pressão e a vazão necessárias para uma bomba centrífuga a ser instalada em série com um venturi que produza uma sucção de 90 L/h, num cabeçal de controle que opera com pressão de 350 kPa.

Como não se deseja que a pressão do sistema de irrigação seja afetada, a pressão na saída do venturi deve ser  $P_{saída} = 350$  kPa. Pela Tabela 19, o modelo 584 é o que melhor atende às neces-

sidades requeridas, ou seja, vazão de sucção de 90 L/h e pressão de saída de 350 kPa. Na mesma tabela vê-se que a vazão motriz requerida é igual a 2.021 L/h e a pressão na entrada do venturi de 689 kPa. Assim, a pressão fornecida pela bomba deve ser igual a 339 kPa (689 kPa – 350 kPa). Portanto, a bomba a ser selecionada deve fornecer uma vazão de 2.021 L/h a pressão de 339 kPa.



**Tabela 19.** Desempenho de diferentes modelos de injetores do tipo venturi.

Pressão (kPa)		Modelo 484		Modelo 584		Modelo 878		Modelo 1078	
Entrada	Saída	Vazão (L/h)							
		Motriz	Sucção	Motriz	Sucção	Motriz	Sucção	Motriz	Sucção
207	34	613	68	1181	98	2203	227	3134	284
	69	613	68	1136	87	2203	227	3134	284
	103	602	49	1090	68	2157	197	3020	227
	138	579	26	1045	34	2089	114	2907	136
275	34	704	68	1317	95	2453	227	3543	284
	69	704	68	1317	95	2453	227	3543	284
	103	704	68	1294	95	2453	227	3543	284
	138	681	61	1249	76	2453	227	3475	273
	172	670	42	1226	49	2385	170	3407	197
	207	647	11	1204	19	2362	76	3293	114
345	103	772	64	1453	95	2725	227	3883	284
	138	772	64	1431	95	2725	227	3883	284
	172	772	64	1408	91	2702	227	3861	284
	207	749	57	1385	72	2702	208	3838	250
	241	738	30	1363	42	2657	132	3770	178
	275	715	4	1340	8	2612	45	3656	61
414	69	840	64	1567	95	2952	227	4201	284
	138	840	64	1567	95	2952	227	4201	284
	172	840	64	1567	95	2952	227	4201	284
	207	840	64	1567	95	2952	227	4201	284
	241	829	61	1522	76	2952	227	4179	273
	275	813	45	1499	57	2930	197	4133	227
	310	795	19	1476	26	2861	102	4020	136
482	69	897	64	1681	95	3179	227	4497	284
	138	897	64	1681	95	3179	227	4497	284
	207	897	64	1681	95	3179	227	4497	284
	241	897	64	1681	95	3179	227	4497	284
	275	897	64	1658	87	3179	227	4474	265
	310	886	57	1635	64	3134	216	4428	227
	345	874	34	1612	42	3111	170	4383	151
	379	852	8	1590	15	3066	83	3656	76
551	207	954	64	1771	95	3384	227	4928	284
	241	954	64	1771	95	3384	227	4928	284
	275	954	64	1771	95	3384	227	4928	284
	310	954	64	1749	91	3384	227	4928	284
	345	954	64	1726	76	3361	227	4860	269
	379	942	45	1703	53	3338	189	4815	231
	414	924	23	1681	30	3293	114	4769	159
	482	897	64	1681	95	3179	227	4497	284
689	275	1067	64	2021	95	3770	227	5519	284
	345	1067	64	2021	95	3770	227	5519	284
	414	1067	64	2021	95	3770	227	5519	284
	448	1056	64	1998	83	3770	227	5496	284
	482	1045	49	1976	61	3747	216	5450	246
	516	1033	30	1953	45	3724	170	5405	208

Fonte: MIC (1994).



### Tanque de diferencial de pressão

O tanque de diferencial de pressão é o dispositivo mais tradicional de aplicação de fertilizantes na água de irrigação. Deve ter tampa para fechamento hermético e ser resistente para suportar a pressão da água. O tanque é conectado à linha de irrigação por uma linha *bypass*, com registros, antes e após o tanque, que permanecem abertos durante a fertirrigação. Um terceiro registro de controle de vazão, parcialmente fechado, colocado na linha de irrigação entre o *bypass*, faz com que a água entre no tanque, conduzindo a solução para a linha de irrigação (Fig. 3). Quanto mais fechado este registro, maior a vazão através do tanque e maior a taxa de injeção da solução.

Como a taxa de injeção varia bruscamente durante o tempo de fertirrigação, esse tipo de injetor não deve ser utilizado em sistemas de irrigação mecanizados. Pode, todavia, ser utilizado em sistemas estacionários, como o gotejamento e a aspersão convencional. Mesmo nestes sistemas, não se deve usar uma mesma carga de solução do tanque para fertilizar mais de um setor de irrigação, ou seja, toda solução colocada no tanque

deve ser aplicada numa mesma área a ser irrigada. Embora com menos intensidade que no venturi, este dispositivo também reduz a pressão do sistema de irrigação, prejudicando a uniformidade de distribuição de água e nutrientes, caso sua utilização não seja prevista no projeto.

Nesse sistema de injeção, a quantidade de água que deve passar dentro do tanque deve ser de, no mínimo, quatro vezes o seu volume, o que prolonga o tempo da fertirrigação, sendo uma outra desvantagem do sistema.

### Bombas injetoras

São os dispositivos mais versáteis para injeção de fertilizantes, especialmente aquelas movidas por motores elétricos. Por permitirem a aplicação de taxas relativamente constantes e precisas da solução, podem ser utilizadas em todos os sistemas de irrigação. Embora apresentem custo mais elevado que outros dispositivos de injeção, elas são de fácil operação, possibilitam bom controle da taxa de injeção e, no caso daquelas que usam fonte de energia externa, não afetam a pressão de serviço do sistema de irrigação.

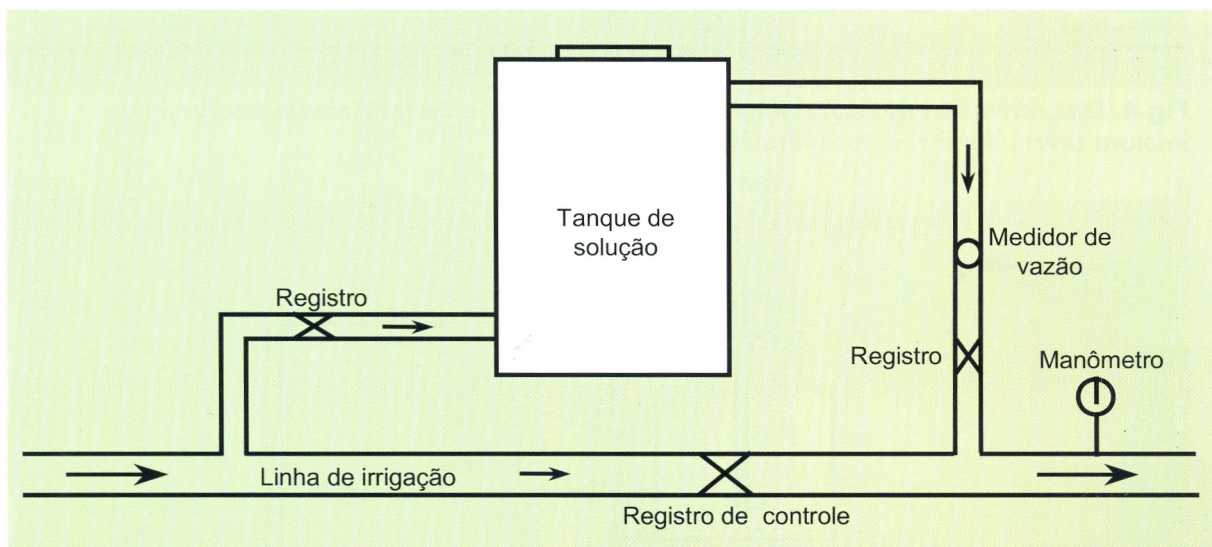


Ilustração: Waldir A. Marevelli.

**Fig.3.** Diagrama de instalação de dispositivo de injeção de fertilizantes tipo tanque de diferencial de pressão.



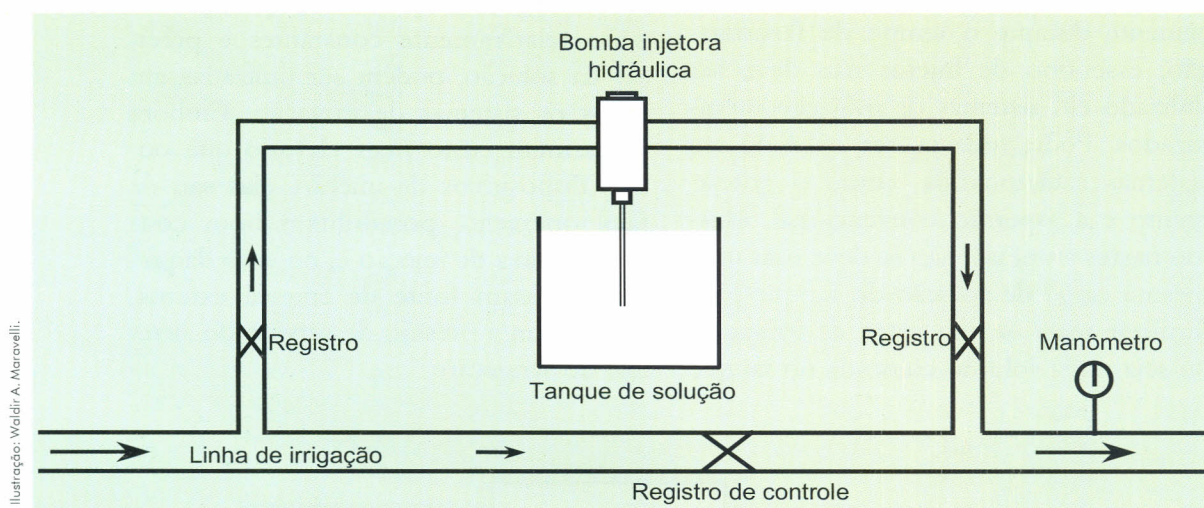
As bombas mais utilizadas são as do tipo pistão e diafragma. Estas últimas apresentam as vantagens da menor área interna exposta à solução e do fácil ajuste da taxa de injeção, mesmo com a bomba em operação.

As bombas injetoras são acionadas, de modo geral, por motores elétricos ou hidráulicos. Aquelas movidas por motores hidráulicos, do tipo turbina ou pistão, usam a pressão e o fluxo de água como força motriz, e são instaladas em uma linha *bypass* (Fig.4). Como são movidas hidraulicamente, elas reduzem a pressão da água do sistema de irrigação, porém, em menor intensidade que os injetores do tipo venturi. Bombas movidas por motores elétricos injetam a solução diretamente na linha de irrigação (Fig.5).

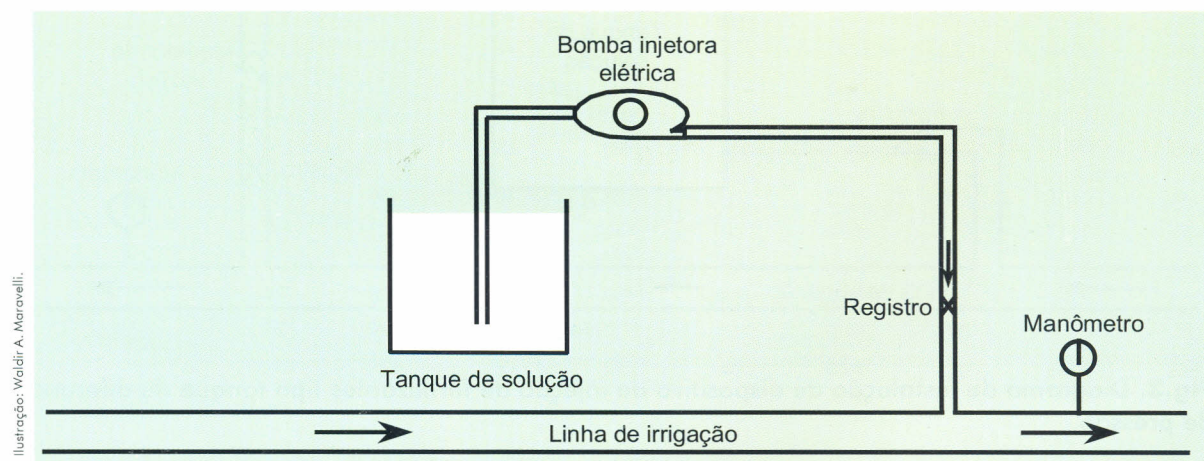
## Tanque de solução

É um reservatório utilizado para o fertilizante líquido ou solubilizado a ser injetado. Deve ser construído de polietileno, PVC, polipropileno, fibra-de-vidro, aço inoxidável ou outro material resistente à ação corrosiva da solução. Tanques de ferro galvanizado, latão e alumínio não devem ser utilizados, a menos que recebam pintura especial.

O tanque deve ter fundo cônico com abertura para ser facilmente esvaziado. Nos sistemas de fertirrigação com bombas injetoras ou venturi, os tanques podem ser abertos, mas nunca fechados hermeticamente. O volume do tanque deve ser suficiente para armazenar a solução necessária para fertirrigar a área relativa a um setor de irrigação, sem a necessidade de recarga.



**Fig.4.** Diagrama de instalação para dispositivo de injeção de fertilizantes tipo bomba injetora acionada por motor hidráulico.



**Fig.5.** Diagrama de instalação para dispositivo de injeção de fertilizantes tipo bomba injetora, acionada por motor elétrico.



## Bico injetor

São inúmeras as configurações de bicos injetores existentes. A configuração típica é composta de um tubo circular injetando a solução no centro da tubulação, perpendicularmente à direção do fluxo de água. A injeção no centro da tubulação, no qual a velocidade da água é máxima, permite maximizar a mistura do fertilizante com a água de irrigação. A posição do injetor é especialmente importante quando da aplicação de ácidos, já que a tubulação será corroída se o ácido for injetado próximo à parede. O injetor deve ser construído em aço inoxidável ou plástico rígido resistente à corrosão.

Alocar o injetor o mais distante possível do primeiro gotejador ou aspersor, a fim de permitir uma mistura mais eficiente entre o fertilizante e a água. No caso de irrigação por gotejamento, a injeção deve ser feita após o filtro de areia, em água previamente filtrada, e antes do filtro de tela ou discos, para prevenir a obstrução de gotejados,

em caso de precipitação de fertilizantes durante a injeção. Caso somente um filtro seja utilizado, a injeção deve ocorrer antes do elemento filtrante.

## FONTES DE NUTRIENTES

Os fertilizantes nitrogenados e potássicos são, na sua grande maioria, relativamente livres de limitações para fins de fertirrigação. Já os fosfatados e os micronutrientes são mais problemáticos.

Várias fontes de fertilizantes sólidos e líquidos podem ser utilizadas para a fertirrigação, considerando-se que a solubilidade, a compatibilidade, a conveniência de uso, a disponibilidade no mercado e o custo são os principais fatores a serem considerados na escolha. Dentre os fertilizantes sólidos, existem aqueles normalmente usados na fertilização convencional e aqueles específicos ou mais apropriados para fertirrigação, com maior nível de pureza e solubilidade. Na Tabela 20 são apresentados os principais fertilizantes utilizados para aplicação via água de irrigação.

**Tabela 20.** Teores médios de nutriente e solubilidade em água dos principais fertilizantes utilizados em fertirrigação.

Fertilizante	Teores médios (%)	Solubilidade de fertilizantes	
		Solubilidade (g/L)	Temperatura (°C)
Ácido fosfórico	53 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	líquido	—
Cloreto de potássio	60 K <sub>2</sub> O	340	20
Fosfato diamônico (DAP)	45 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 16 N	570	10
Fosfato monoamônico (MAP)	48 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; 10 N	370	20
Fosfato monopotássio (MKP)	34 K <sub>2</sub> O; 52 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	230	20
Nitrato de amônio	34 N	1950	20
Nitrato de cálcio	15 N; 34 Ca	1200	20
Nitrato de potássio	14 N; 44 K <sub>2</sub> O	310	20
Nitrato de sódio	16 N	730	0
Sulfato de amônio	20 N	760	20
Sulfato de potássio	50 K <sub>2</sub> O	100	20
Uréia	45 N	510	20

Obs.: A solubilidade dos fertilizantes pode variar dependendo do fabricante ou se é para fins de fertilização convencional ou via irrigação. Testes de solubilidade podem ser feitos pelo próprio usuário.  
Fonte: Adaptado de Montag (1999) e Burt et al. (1995).



Os fertilizantes líquidos são mais práticos para fertirrigação devido à conveniência de manuseio e ao fato de que os nutrientes estão totalmente solubilizados. Formulações líquidas de nutrientes específicos ou contendo diferentes concentrações de N-P-K + micronutrientes estão disponíveis no comércio especializado. A grande desvantagem é o alto custo.

Muitos dos fertilizantes sólidos para adubação convencional, especialmente os granulados, são manufaturados utilizando substâncias hidrófobas para evitar que eles absorvam umidade com facilidade; portanto, não devem ser utilizados para fertirrigação. Deve-se, também, evitar o uso de formulações sólidas N-P-K, pois, de uma maneira geral, são pouco solúveis em água. O uso de fertilizantes não totalmente solúveis também não garante que a quantidade final de nutriente aplicado seja igual à quantidade de nutriente indicada no rótulo do fertilizante. Formulações sólidas N-P-K + micronutrientes, específicas para fertirrigação, são encontradas no mercado. A desvantagem é que essas formulações, além de apresentarem custo mais elevado que o de fertilizantes individuais, não satisfazem, muitas vezes, às necessidades específicas da cultura. O ideal é que o produtor, com a devida assistência técnica, possa preparar as soluções com base nas reais necessidades econômicas e da cultura do produtor.

## Nitrogênio

A uréia, o nitrato de amônio, o sulfato de amônio, o nitrato de potássio e o nitrato de cálcio são fontes de nitrogênio altamente solúveis em água. Por fornecer nitrogênio na forma nítrica juntamente com potássio, o nitrato de potássio é o fertilizante adequado para o preparo de soluções simples ou em mistura. Durante a fase de frutificação do meloeiro, quando a demanda por cálcio é expressiva, o nitrato de cálcio é uma excelente fonte de

cálcio e de nitrogênio. O problema do nitrato de cálcio e, principalmente, do nitrato de potássio é o alto custo comparativamente, por exemplo, ao da uréia. O fosfato monoamônio (MAP) é outra fonte de nitrogênio que pode ser utilizada, principalmente quando a fertirrigação com fósforo for desejada.

Dentre as diferentes formas de nitrogênio, a nítrica é a mais susceptível à lixiviação. Em termos gerais, pode-se dizer que se nitrato é injetado continuamente e 10% da água de irrigação é drenada abaixo do sistema radicular da cultura, cerca de 10% do nitrato aplicado será lixiviado. Enquanto isso, o nitrogênio na forma amoniacal é retido pelas cargas negativas das partículas de argila e matéria orgânica, estando pouco sujeito à lixiviação. O amônio pode ser utilizado diretamente pela planta ou transformado em nitrato. A uréia, que contém o nitrogênio na forma amídica, é também menos sujeita a lixiviação que o nitrato, porém apresenta maior mobilidade que o amônio. Todavia, a uréia é transformada rapidamente, nos primeiros 5 a 10 cm do solo, para a forma amoniacal, que é retida pelas cargas negativas presentes no solo. A lixiviação poderá ser significativa após nitrificação do amônio.

A forma nítrica é a preferencialmente utilizada pelas plantas, sendo absorvida pelas raízes e translocada de imediato para a parte aérea da planta, enquanto que a amoniacal, preferida pelas plantas mais jovens, somente é translocada após supridas as exigências das raízes ou transformada para a forma nítrica. Assim, um balanço entre as formas nítrica e amoniacal é recomendado para maximizar o desenvolvimento da cultura. Em termos gerais, a quantidade de nitrogênio na forma amoniacal e/ou amídica deve ser equivalente à da forma nítrica, ou seja, 50% para cada. Para temperaturas baixas, a fração de nitrogênio na forma nítrica deve ser maior, pois a nitrificação é lenta. Já para temperaturas moderadas e altas, as formas amoniacal ou amídica podem representar até 100% do nitrogênio total aplicado.



A vantagem da uréia em relação às fontes amoniacais é sua maior penetração no perfil do solo, o que minimiza a volatilização de nitrogênio. Ademais, a uréia é a fonte com menor custo por unidade de nitrogênio. Perdas significativas de nitrogênio (>40%) ocorrem especialmente em solos/águas com pH acima de 7, em virtude da transformação do amônio em amônia gasosa. Além de menos sujeita a volatilização (<5%), a forma nítrica pode reduzir substancialmente a volatilização se aplicada com nitrogênio na forma amoniacal. Na Tabela 21 são apresentadas estimativas de perdas de nitrogênio por volatilização para diferentes fontes e métodos de aplicação.

Devido ao seu alto poder acidificante, o sulfato de amônio não deve ser utilizado em solos com pH abaixo de 7. Por outro lado, pode ser vantajoso em solos com pH alcalino.

## Potássio

A aplicação de potássio via irrigação praticamente não apresenta problemas, devido à alta solubilidade da maioria das fontes disponíveis, como cloreto, nitrato e sulfato de potássio. Destas, a

mais nobre para fertirrigação, é o nitrato de potássio, que, além de não conter cloreto ou sulfato, possui nitrogênio na forma nítrica. A desvantagem é o alto custo, comparativamente ao do cloreto de potássio.

O cloreto de potássio é a fonte de potássio de mais baixo custo utilizada para fertirrigação. O cloreto de potássio de coloração rosa, normalmente usado em fertilização convencional, provoca obstrução de filtros e gotejadores, não devendo ser utilizado. O indicado para fertirrigação tem coloração branca. Todavia, a aplicação de cloreto de potássio a partir da frutificação do meloeiro pode prejudicar a qualidade de frutos, em termos de sabor e conservação, devido ao íon cloreto, devendo-se optar por outras fontes de potássio. Sulfato de potássio é uma fonte ligeiramente mais barata do que o nitrato de potássio que pode ser utilizado durante a frutificação. Apresenta, porém, menor solubilidade que o nitrato e o cloreto de potássio e, na presença de sódio, pode salinizar o solo. O sulfato de potássio não deve ser aplicado em águas ricas em cálcio ou misturado com fertilizantes contendo este elemento, pois pode precipitar e entupir gotejadores.

**Tabela 21.** Perdas de nitrogênio por volatilização para diferentes fertilizantes nitrogenados e métodos de aplicação.

Fertilizante	Método de aplicação						
	Superfície do solo				Fertirrigação	10 cm da superfície <sup>2</sup>	
	Sem incorporação		Incorporação				
		Com água <sup>1</sup>	Mecânica				
PH	<7	>7	<7	>7	<7	>7	
Sulfato de amônio	5-20	>40	5-20	>40	5-20	5-20	>40
Fosfato de amônio <sup>3</sup>	5-20	>40	5-20	20-40	5-20	<5	20-40
Nitrato de amônio <sup>3</sup>	<5	5-20	<5	5-20	<5	<5	<5
Uréia	20-40	>40	<5	<5	5-20	<5	<5
Nitrato de cálcio	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Nitrato de potássio	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5

<sup>1</sup> Aplicação sobre a superfície do solo e incorporação imediata com irrigação ou chuva.

<sup>2</sup> Aplicação mecânica ou via gotejamento subsuperficial a pelo menos 10 cm abaixo da superfície do solo.

<sup>3</sup> Volatilização < 5% se fertirrigação for via gotejamento.

Fonte: Rauschkolb & Hornsby (1994).



O potássio não é tão móvel quanto o nitrogênio, que é adsorvido pelas cargas negativas das partículas de argila e matéria orgânica. Pode, no entanto, ser parcialmente lixiviado quando aplicado em excesso, especialmente em solos arenosos com baixo teor de matéria orgânica.

## Fósforo

Muitos dos fertilizantes fosfatados sólidos comercializados para em adubação convencional, incluindo os superfosfatos, termofosfatos e fosfatos naturais, apresentam baixa solubilidade, não sendo recomendados para fertirrigação. Dentre as fontes de fósforo solúveis em água e apropriadas para a fertirrigação, destacam-se: fosfato monoamônico (MAP), fosfato diamônico (DAP), fosfato monopotássio e ácido fosfórico. Todavia, esses fertilizantes são mais caros que aqueles normalmente utilizados para aplicação convencional.

O fósforo é um elemento pouco móvel no solo, com baixo potencial de lixiviação. Fertilizantes fosfatados, mesmo aqueles altamente solúveis, são rapidamente transformados em formas menos solúveis, sobretudo quando o pH do solo situa-se fora da faixa entre 6 e 6,5, tendendo a acumular o fósforo na camada superficial do solo (5 a 15 cm).

Fertirrigação com fósforo pode levar a problemas de entupimento de gotejadores decorrente da precipitação de sais insolúveis, dependendo da qualidade da água de irrigação. Deve ser evitada a injeção de fertilizantes fosfatados em águas com pH acima de 7,5 e concentração de cálcio acima de 60 mg/L (3,0 meq/L). Caso o teor de carbonato ácido ( $\text{HCO}_3$ ) estiver acima de 305 mg/L (5,0 meq/L), o risco de entupimento de gotejadores será ainda maior. O risco de precipitação pode ser minimizado reduzindo o pH da água por meio da injeção de ácidos, como o sulfúrico, o clorídrico e o nítrico, para valores abaixo de 7. O uso de ácido fosfórico com o objetivo principal de reduzir o pH da água não é recomendado, por ter baixo poder acidificante.

## Micronutrientes

Os sulfatos são as fontes solúveis de zinco, manganês, cobre e ferro de custos mais reduzidos para fertirrigação. Estes, todavia, são pouco eficientes quando aplicados via irrigação, por serem retidos na camada superficial do solo. Fontes mais eficientes de cobre, ferro e zinco são as formas quelatizadas, por se moverem no perfil do solo juntamente com a água de irrigação, ficando prontamente disponível à cultura. O alto custo dos quelatos é a principal desvantagem para sua utilização. As fontes de boro mais comuns são o bórax e o ácido bórico. O bórax apresenta baixa solubilidade a frio, o que limita sua utilização para fins de fertirrigação.

De um modo geral, a maneira mais prática e econômica de fornecer micronutrientes às plantas é via adubação de plantio ou foliar.

## COMPATIBILIDADE DE FERTILIZANTES

Para evitar problemas de precipitação e, posteriormente, de entupimento, recomenda-se avaliar a compatibilidade de fertilizantes com a água de irrigação a ser utilizada e com outros produtos a serem aplicados simultaneamente. Um teste simples de compatibilidade pode ser feito misturando um ou mais fertilizantes a serem injetados com a água de irrigação em um recipiente, na mesma taxa de diluição a ser utilizada. Neste 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 pelo menos uma hora, a ocorrência de precipitados ou turbidez acentuada na solução. Se a solução permanecer clara e transparente, será provavelmente seguro injetar os fertilizantes testados no sistema de irrigação. A Tabela 22 apresenta uma orientação geral da compatibilidade da mistura de alguns fertilizantes e micronutrientes.

Algumas regras básicas de compatibilidade a serem observadas durante a mistura e injeção de fertilizantes incluem:



- Realizar um teste rápido de compatibilidade misturando o(s) fertilizante(s) a ser(em) injetado(s) com a água de irrigação.
- Colocar, inicialmente, no tanque de mistura no máximo 70% da água requerida para a mistura.
- Misturar fertilizantes líquidos à água antes de adicionar fertilizantes sólidos solúveis.
- Adicionar fertilizantes sólidos lentamente na água, mantendo a solução agitada para evitar formação de aglomerados que dificultem a solubilização.
- Adicionar os ácidos lentamente na água e nunca água ao ácido.
- Não misturar fertilizantes que contêm o radical sulfato com fertilizantes ou águas contendo concentrações de cálcio acima de 400 mg/L (20 meq/L) ou de magnésio acima de 240 mg/L (20 meq/L). O resultado será a formação de gesso insolúvel que poderá entupir filtros e gotejadores.
- Não injetar fertilizantes fosfatados em água com concentração de cálcio acima de 60 mg/L (3,0 meq/L), sob o risco de formar precipitados de fosfato de cálcio.
- Não misturar fertilizantes fosfatados com produtos contendo magnésio e ferro sob o risco de se formar fosfato de magnésio ou de ferro, que são insolúveis e podem entupir filtros e gotejadores.
- Usar somente ácido fosfórico com alto grau de pureza para minimizar risco de obstrução de gotejadores.
- Ácidos e fertilizantes acidificados são compatíveis com micronutrientes na forma de sulfatos até 1,5% (em peso), mas são incompatíveis com quelatos.
- Não injetar fertilizantes contendo cálcio em água com mais de 305 mg/L (5,0 meq/L) de carbonato ácido ( $\text{HCO}_3^-$ ) e pH acima de 7,5, sob o risco de precipitar sais de cálcio.
- Evitar a injeção de fertilizantes contendo cálcio, magnésio e enxofre, pois podem formar compostos insolúveis.
- Não injetar fertilizantes nitrogenados na forma nítrica em águas contendo cálcio e magnésio, pois a elevação do pH da água poderá precipitar esses elementos.

**Tabela 22.** Orientação para compatibilidade de misturas de alguns fertilizantes.

Ácido fosfórico	Ácido nítrico	Ácido sulfúrico	Cloreto de cálcio	Cloreto de potássio	Fosfato diamônico	Fosfato monoamônico	Nitrato de amônio	Nitrato de cálcio	Nitrato de potássio	Sulfato de amônio	Sulfato de potássio	Uréia
C												
C	C											
X	L	X										
X	X	X	C									
L	L	L	X	C								
L	L	L	X	C	C							
L	C	L	X	L	X	X						
X	L	X	C	C	X	X	X					
C	C	X	C	C	C	C	C	C				
C	C	L	X	L	X	X	C	X	L			
C	C	C	X	C	C	C	C	X	C	C		
L	X	L	L	C	C	C	C	C	C	C	C	

C: compatível  
L: compatibilidade limitada  
X: incompatível

Obs.: Misturas com ácido nítrico ou sulfúrico podem gerar calor.

Fonte: Adaptado de Burt et al. (1995) e Montag (1999).



## MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação envolve três fases, sendo que na primeira e terceira deve-se somente irrigar e na segunda, fertirrigar. A primeira permite equilibrar a pressão do sistema de irrigação, para garantir maior uniformidade de distribuição dos fertilizantes. Durante a segunda fase, o fertilizante é efetivamente aplicado, não devendo ser inferior a 10 minutos. A terceira fase deve ser suficiente para lavar completamente o sistema de irrigação, para minimizar problemas de corrosão, entupimento de gotejadores e desenvolvimento de microorganismos no sistema e melhor incorporação do fertilizante na zona radicular. A primeira e a terceira fases devem durar cerca de um quarto do tempo de irrigação, enquanto que o tempo de fertirrigação deve ser igual à metade do tempo de irrigação. Esta recomendação, no entanto, deve ser tomada apenas como guia e não como regra, devendo ser ajustada para cada caso específico.

### Quantidade, frequência e parcelamento de nutrientes

As quantidades de potássio, fósforo e cálcio a serem aplicadas no cultivo do meloeiro, sob fertirrigação, são determinadas em função da análise de solo conforme recomendação apresentada no capítulo Nutrição e adubação.

A dosagem total de nitrogênio pode ser determinada de acordo com a produtividade esperada da cultura, considerando que para cada tonelada de fruto produzido, deve-se aplicar cerca de 3 kg de N. Por exemplo, se a produtividade esperada é de 30 t/ha, a dosagem de nitrogênio será de 90 kg/ha.

Existem poucas informações disponíveis sobre a recomendação de cálcio para aplicação via fertirrigação. Para suprir as exigências de cálcio do meloeiro e minimizar a necessidade de aplicações foliares, alguns produtores têm

aplicado entre 40 a 80 kg/ha de cálcio via água a partir do florescimento.

Por razões econômicas, nem todos os nutrientes precisam ser aplicados via fertirrigação para cultivo do meloeiro. Para gotejamento, recomenda-se que 90% do nitrogênio e do potássio sejam aplicados via fertirrigação ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura. Para cálcio, deve-se saturar o complexo de troca do solo para um índice de saturação de bases (V) de 70% e parcelar o restante via fertirrigação. Os demais macro e micronutrientes devem ser aplicados na adubação de plantio. No caso da adubação orgânica no plantio, todo nitrogênio deverá ser aplicado via fertirrigação. Para aspersão, recomenda-se aplicar, no plantio, 30% do nitrogênio, 50% do potássio e 100% dos demais macro/micronutrientes.

Embora resultados de pesquisa indiquem que a aplicação de fósforo por gotejamento é pouco eficiente, em termos de aumento de produtividade, vários produtores adotam esta prática, usando principalmente ácido fosfórico e fosfato monoamônico (MAP). Caso essa prática seja adotada, deve-se ter especial atenção para o risco de entupimento de gotejadores, especialmente se a água de irrigação contiver concentrações significativas de cálcio ou magnésio. A aplicação pode ser semanal, sempre em dias diferentes da injeção de cálcio.

A frequência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante, do solo e do sistema de irrigação. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais frequentemente que aqueles com menor potencial, como os potássicos. Todavia, para não aumentar o uso de mão-de-obra, e em razão da possibilidade de misturar e aplicar simultaneamente as principais fontes de nitrogênio e potássio, em geral, adota-se a mesma frequência para potássio e nitrogênio. Para gotejamento em solos de textura grossa, a fertirrigação deve ser realizada a cada 1 a 2 dias,



e em solos de textura média e fina, a cada 2 a 5 dias. Em sistemas por aspersão, a fertirrigação deve ser realizada semanalmente, para pivô central, e a cada 2 semanas, para sistemas convencionais.

Recomendações sobre o parcelamento de nutrientes ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura são apresentadas na Tabela 23. Nesta tabela, as quantidades são apresentadas de forma relativa, sendo que a quantidade aplicada a cada fertirrigação é facilmente determinada conhecendo-se a dosagem total recomendada.

Exemplo: calcular a quantidade de nutrientes a ser aplicada por fertirrigação ao longo do ciclo cultural do meloeiro na Região Nordeste para a seguinte situação:

- Ciclo da cultura: 75 dias
- Produtividade esperada: 35 t/ha

- Sistema de irrigação: gotejamento
- Solo: textura média
- Freqüência de irrigação: 1 dia
- Freqüência de fertirrigação: 3 vezes por semana
- Análise de solo: 2 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> de K<sup>1</sup>.
- Dosagem de cálcio via fertirrigação: 60 kg/ha

Pela Tabela 11, do capítulo "Nutrição e adubação", para um solo com 2 mmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> (0,20 meq/100 ml) de K, a dosagem total recomendada de K<sub>2</sub>O é de 80 kg/ha. A dosagem de N, computada em função da previsão de produtividade, é de 105 kg/ha (3 kg/t x 35 t/ha).

Para o cultivo com ciclo de 75 dias, irrigação por gotejamento e solo de textura média, obtém-se pela Tabela 23 o parcelamento de nutrientes indicado a seguir.

Fase da cultura (dias)											
Nutriente Plantio	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70	
<b>Quantidade relativa de nutriente (%)</b>											
N	10	1	5	10	15	20	20	10	5	2	2
K	10	1	2	5	7	10	15	20	15	10	5
Ca	V=70%	0	0	0	0	20	20	20	20	10	10

A quantidade de nutrientes a ser aplicada em cada fase da cultura é computada multiplicando-se a dosagem total recomendada de nutriente pela quantidade relativa de nutriente:

Fase da cultura (dias)											
Nutriente Plantio	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70	
<b>Quantidade relativa de nutriente (%)</b>											
N	10,50	1,05	5,25	10,50	15,75	21,00	21,00	10,50	5,25	2,10	2,10
K <sub>2</sub> O	8,00	0,80	1,60	4,00	5,60	8,00	12,00	16,00	12,00	8,00	4,00
Ca	V=70%	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	12,00	12,00	12,00	6,00	6,00

A quantidade de nutrientes a ser aplicada por fertirrigação em cada fase da cultura é computada dividindo-se a quantidade de nutrientes recomendada para cada fase da cultura pelo número de fertirrigações a serem realizadas por semana, que neste exemplo é de 3 por semana:

Fase da cultura (dias)											
Nutriente Plantio	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70	
<b>Quantidade relativa de nutriente (%)</b>											
N	10,50	0,35	1,75	3,50	5,25	7,00	7,00	3,50	1,75	0,70	0,70
K <sub>2</sub> O	8,00	0,27	0,53	1,33	1,87	2,67	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00
Ca	V=70%	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	4,00	4,00	4,00	2,00	2,00

<sup>1</sup> 1 mg/dm<sup>3</sup> = 1 ppm = 390 meq/100 ml de K.



**Tabela 23.** Quantidade relativa de nitrogênio, potássio, cálcio e fósforo a ser aplicada via fertirrigação, ao longo do ciclo de desenvolvimento do meloeiro irrigado por gotejamento e aspersão, para cultivares/regiões com diferentes duração de ciclo.

Nutriente		Fase da cultura (dias)									
		Cultivares/regiões com ciclo 75-80 dias									
		1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70
		Cultivares/regiões com ciclo 85-90 dias									
		1-8	9-16	17-24	25-32	33-40	41-48	49-56	57-64	65-72	73-80
Plantio		Cultivares/regiões com ciclo 95-100 dias									
		1-9	10-18	19-27	28-36	37-45	46-54	55-63	64-72	73-81	82-90
		Quantidade relativa de nutriente (%) <sup>1</sup>									
		Irrigação por gotejamento									
N	10	1	5	10	15	20	20	10	5	2	2
K	10	1	2	5	7	10	15	20	15	10	5
Ca <sup>2</sup>	V = 70% <sup>3</sup>	0	0	0	0	20	20	20	20	10	10
		Irrigação por aspersão <sup>4</sup>									
N	30	0	10	10	15	15	10	10	0	0	0
K	50	0	0	0	10	10	10	10	10	0	0

<sup>1</sup> % de nutriente a ser aplicado em cada fase da cultura em relação a quantidade total recomendada.

<sup>2</sup> % em relação ao total a ser aplicado via fertirrigação.

<sup>3</sup> Aplicar a quantidade necessária saturar o complexo de troca do solo para V = 70%.

<sup>4</sup> Somente aplicar via água para sistemas por aspersão com eficiência acima de 70%.

Fonte: Adaptado de Burt et al. (1995) e Scaife & Bar-Yosef (1995).

## Diluição de fertilizantes

Para evitar que fertilizantes sólidos causem problemas de obstrução de filtros e gotejadores, recomenda-se que estes sejam previamente dissolvidos em um tanque secundário. Neste tanque, a solução deve ser deixada em repouso por 24 horas para que resíduos não solúveis sedimentem no fundo do tanque. Somente a solução clara, transparente e livre de resíduos deve, então, ser transferida, sem que haja distúrbio do sedimento depositado no fundo, para o tanque de solução, de onde será injetada no sistema de irrigação.

A quantidade mínima de água necessária para solubilizar o fertilizante depende do tipo e da qualidade do fertilizante, bem como da temperatura da solução, podendo ser computada pela equação 15.

### Equação 15

$$V_a = \frac{F_p \times A_t}{S_p} \times f_s$$

Em que:

$V_a$  = volume de água para solubilização (L).

$F_p$  = quantidade de fertilizante a ser aplicado por fertirrigação (kg/ha ou L/ha).

$A_t$  = área do setor a ser fertirrigado (ha).

$S_p$  = solubilidade do fertilizante em água (g/L ou mL/L).

$f_s$  = fator de segurança (1,2).

A solubilidade em água de alguns fertilizantes recomendados para fertirrigação é apresentada na Tabela 20. Para



fertilizantes disponíveis na forma líquida concentrada, não se faz necessário, via de regra, proceder à diluição do produto; neste caso,  $S_p$  será igual a 1.000 mL/L; caso contrário,  $S_p$  será igual à taxa de diluição. A margem de segurança introduzida pelo fator  $f_s$  está relacionada, dentre outros fatores, à variabilidade da solubilidade do fertilizante em função do fabricante e da temperatura.

Exemplo: determinar o volume de água necessário para a solubilização do cloreto de potássio a ser aplicado numa área de 2 ha na dose de 30 kg/ha. Considere que a mistura é preparada no dia anterior da injeção e que a temperatura da solução é de 20°C.

Pela Tabela 20, tem-se para cloreto de potássio  $S_p = 340$  g/L. Assim, o volume de água necessário computado pela equação 15 será:

$$V_a = 1000 \times \frac{30 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha}}{340 \text{ g/L}} \times 1,2 = 211 \text{ L}$$

O volume de água necessário para solubilizar mais de um tipo de fertilizante, dentro de um mesmo tanque, depende dos tipos de íons presentes em cada fertilizante. Neste caso, o cálculo é complicado, devendo o volume ser determinado em testes de campo.

### Taxa de injeção

A taxa de injeção da solução depende de vários fatores, como quantidade de fertilizante a ser aplicado, área a ser fertirrigada, solubilidade do fertilizante, frequência de aplicação e tempo de irrigação. De maneira geral, é possível injetar a maioria dos fertilizantes quando o dispositivo injetor tem uma vazão equivalente entre 0,05% e 0,10% da vazão do sistema de irrigação.

### Bombas injetoras e venturi

Quando uma bomba injetora ou um venturi é usado para injetar a solução na tubulação de irrigação, a taxa de aplicação pode ser calculada, pela equação 16.

#### Equação 16

$$q_i = \frac{F_p \times A_t}{C_p \times T_i}$$

Em que:

$q_i$  = taxa de injeção (L/h).

$F_p$  = quantidade de fertilizante a ser aplicado por fertirrigação (kg/ha ou L/ha).

$A_t$  = área do setor a ser fertirrigado (ha).

$C_p$  = concentração do fertilizante na solução após diluição (kg/L ou L/L).

$T_i$  = tempo de injeção (h).

A concentração máxima de fertilizantes na solução após diluição não pode ser maior que a solubilidade do fertilizante em água, ou seja,  $C_p \leq S_p$ . No caso de fertilizantes líquidos aplicados sem nenhuma diluição, tem-se  $C_p = 1,0$  L/L. A solubilidade de alguns fertilizantes recomendados para fertirrigação é apresentada na Tabela 20, que também ilustra a percentagem média de cada nutriente existente no fertilizante. Para diluir o fertilizante é desejável adicionar cerca de 20% a mais do que a quantidade de água recomendada.

Exemplo: determinar a taxa de injeção requerida para aplicar 30 kg/ha de cloreto de potássio em 2 ha de melão irrigado por gotejamento. O tempo de irrigação é de 2 horas e o fertilizante começa a ser injetado após  $\frac{1}{4}$  do tempo de irrigação (30 min). A solução é injetada por 60 min,



deixando 30 min para lavagem do sistema.

Considerando que a solubilidade do cloreto de potássio é de  $S_p = 0,34 \text{ kg/L}$  a  $20^\circ\text{C}$  (Tabela 20) e que será adicionado 20% a mais de água do que a quantidade necessária para solubilização, a concentração do fertilizante na solução após diluição será  $C_p = 0,34/1,2 = 0,28 \text{ kg/L}$ . Assim, a quantidade de água a ser adicionada no tanque para solubilizar os 60 kg de potássio é de 214 litros ( $60/0,28$ ). Pela equação 16 obtém-se que a taxa de injeção requerida é de:

$$q_i = \frac{30 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha}}{0,28 \text{ kg/L} \times 1,0 \text{ h}} = 214 \text{ L/h}$$

A taxa de injeção para dispositivos tipo venturi e bombas injetoras pode ser determinada volumetricamente. A medição é realizada com auxílio de um recipiente com volume conhecido e um cronômetro, sendo a taxa de injeção obtida dividindo o volume injetado pelo tempo de amostragem. O volume injetado é obtido pela diferença entre o volume inicial e volume final no recipiente após o período do teste.

### Tanques de diferencial de pressão

Tanques de diferencial de pressão não proporcionam taxa constante de injeção da solução. A concentração do fertilizante dentro do tanque, variável ao longo do tempo, depende do tamanho e da forma do tanque, da densidade do produto e do fluxo de água através do tanque. A percentagem de fertilizante restante dentro do tanque ao longo da aplicação pode ser estimada pela seguinte função empírica de concentração (equação 17).

#### Equação 17

$$C_r = 100 \times \exp\left(-q_i \times \frac{T_i}{V_t}\right) = 100 \times \exp^{-v}$$

Em que:

$C_r$  = concentração de produto restante no tanque (%).

$q_i$  = fluxo de água através do tanque (L/h).

$T_i$  = tempo de injeção (h).

$V_t$  = volume do tanque (L).

$v$  = volume de água que passa pelo tanque em relação ao volume de solução (adimensional).

Na prática, a concentração de produto restante no tanque ao final da fertirrigação deve ser inferior a 2%. Pela equação 17, o volume de água necessário para aplicar 98% da solução é de aproximadamente quatro vezes o volume do tanque. Assim, o tempo da fertirrigação pode ser calculado pela equação 18:

#### Equação 18

$$T_f = \frac{4 \times V_t}{q_i}$$

Em que:

$T_f$  = tempo mínimo da fertirrigação (h).

O fluxo de água através do tanque pode ser determinado com auxílio de um medidor de vazão instalado na linha de descarga do tanque antes do ponto de injeção. Isso pode ser feito instalando um hidrômetro de baixo custo na entrada do tanque. Uma outra opção, porém mais trabalhosa, é a instalação de discos com orifícios na linha de injeção que permite estimar o fluxo com precisão satisfatória. O diâmetro do orifício para um determinado fluxo desejado pode ser determinado pela equação 19.



**Equação 19**

$$D_o = \left( 0,252 \times \frac{q_t}{C_o \times \Delta P^{0,5}} \right)^{0,5}$$

Em que:

$D_o$  = diâmetro do orifício (mm).

$q_t$  = fluxo de água através do tanque (L/h).

$C_o$  = coeficiente do orifício ( $\cong 0,62$ ).

$\Delta P$  = diferencial de pressão através do orifício (kPa).

Para o cálculo do diâmetro, fixar um valor de DP entre 50 e 100 kPa, em que 100 kPa é igual a 1 kgf/cm<sup>2</sup>.

Exemplo: determinar o diâmetro do orifício para aplicar 110 L de solução contida em um tanque de diferencial de pressão, considerando que o tempo de fertirrigação é de 1,5 horas e que a perda de pressão no orifício é de 70 kPa.

Pela equação 18, o fluxo de água através do tanque deve ser de:

$$Q_i = \frac{4 \times V_s}{T_f} = \frac{4 \times 110 \text{ L}}{1,5 \text{ h}} = 293 \text{ L/h}$$

O diâmetro do orifício, computado pela equação 19, é de:

$$D_o = \left( 0,252 \times \frac{293 \text{ L/h}}{0,62 \times 70 \text{ kPa}^{0,5}} \right)^{0,5} = 3,8 \text{ mm}$$