



**V CURSO DE HORTALIÇAS IRRIGADAS
NO NORDESTE BRASILEIRO**

**ASPECTOS TÉCNICOS DA
FERTIRRIGAÇÃO**

José Maria Pinto
Eng. Agric. PhD - Irrigação

Petrolina – PE, Setembro de 1999



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO - MA
EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA
EMBRAPA SEMI-ÁRIDO

ASPECTOS TÉCNICOS DA FERTIRRIGAÇÃO

JOSÉ MARIA PINTO

Eng. Agric. PhD - Irrigação

Petrolina - PE, 1999

INTRODUÇÃO

A irrigação teve avanço considerável nas últimas décadas tanto no que diz respeito ao aprimoramento de novos métodos de se levar água ao solo e às culturas, como no incremento de novas áreas irrigadas. Dentre as vantagens da irrigação está aquela que possibilita utilizar o próprio sistema de irrigação como meio condutor e distribuidor de produtos químicos como fertilizantes, inseticidas, herbicidas, nematicidas, reguladores de crescimento, etc., simultaneamente com a água de irrigação; prática conhecida atualmente, como “Quimigação”.

Embora o termo Quimigação seja relativamente novo, a idéia de se utilizar o sistema de irrigação como condutor de agroquímicos já vem desde o início dos anos 40 e ano a ano, essa técnica vêm sendo aprimorada e utilizada nos países que utilizam a irrigação mais tecnificada, como os Estados Unidos, Israel, Espanha.

Segundo Montag & Shnek (1998), a fertirrigação, aplicação de fertilizantes via água de irrigação, é o mais eficiente meio de fertilização e combina dois principais fatores essenciais no crescimento e desenvolvimento das plantas: água e nutrientes. Threadgill (1985) cita que pelo menos uma vez por ano, aproximadamente 4,3 milhões de hectares são cultivados nos EUA utilizando essa prática. O crescimento anual da fertirrigação naquele país está em torno de 8 a 9%, o que mostra sua importância nos cultivos irrigados.

Embora a fertirrigação apresente vantagens, existe uma carência de informações sobre período de aplicação, frequência, doses e tipos de fertilizantes para a maioria das culturas irrigadas.

No sentido de gerar tecnologias para áreas irrigadas, a Embrapa Semi-Árido vem desenvolvendo pesquisas visando solucionar os problemas e definir critérios técnicos da aplicação de fertilizantes através de sistemas de irrigação.

VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA FERTIRRIGAÇÃO

Prieto (1985) afirma que teoricamente, qualquer método de irrigação pode ser utilizado para condução e aplicação de produtos químicos junto com a água, porém, a uniformidade de distribuição naqueles que conduzem a água em tubulações fechadas e pressurizada são mais adequados para uso dessa prática. Dependendo do sistema de irrigação e dos cuidados em realizar a Fertirrigação, diferentes vantagens podem ser obtidas em relação aos métodos convencionais de aplicação dos adubos como:

- maior aproveitamento do equipamento de irrigação condicionando maior rentabilidade e melhor uso do capital investido;
- aplicação dos nutrientes no momento e quantidade exata requerida pelas plantas;

- menor necessidade de mão-de-obra para se fazer as adubações pois aproveita praticamente o mesmo trabalho requeridos para se fazer as irrigações;
- menor compactação com redução de tráfego de máquinas dentro da área como acontece nos métodos tradicionais de adubação;
- menos danos físico às culturas em razão dos mesmos motivos citados no item anterior, evitando derrubadas das flores, de frutos e dos galhos das plantas, o que reduz a incidência e propagação das pragas e doenças;
- aplicação de micronutrientes: geralmente, na adubação em pequenas dosagens por área, dificilmente se consegue, por métodos manuais, uma boa uniformidade de distribuição do adubo, o que facilmente se consegue com fertirrigação;
- possibilidade de uso em diferentes sistemas de irrigação;
- aumento de produtividade e qualidade comercial dos produtos;
- boa uniformidade de distribuição dos adubos no solo caso haja também boa uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação.

LIMITAÇÕES DA FERTIRRIGAÇÃO

Alguns contrafeitos que por ventura venham surgir dá-se em razão de não se observar os aspectos técnicos relacionados à nutrição de plantas, química e a física de solo, a fisiologia vegetal, água, clima e a própria prática da irrigação. Como limitações têm-se:

- exige conhecimentos técnicos dos adubos e cálculos das dosagens;
- exige pessoal treinado para o manuseio dos adubos e injetores;
- pode causar danos ambientais com a contaminação de fontes de água;
- pode trazer problemas de corrosão aos equipamentos de irrigação;
- pode trazer problemas de toxidez ao agricultor;
- pode trazer problemas de toxidade e queima das folhagens das plantas;
- pode onerar o custo inicial do sistema de irrigação;
- pode causar aumento nas perdas de carga no sistema de irrigação.

FATORES QUE AFETAM A FERTIRRIGAÇÃO

Para se ter uma fertirrigação adequada alguns fatores devem ser considerados e devidamente analisados. Esses fatores podem ter maior ou menor importância dependendo de cada uso. Os fatores são:

- fatores relacionados com os adubos utilizados na fertirrigação;

- fatores relacionados à nutrição das plantas;
- fatores relacionadas com o tipo de solo;
- fatores relacionados à qualidade da água de irrigação;
- fatores relacionados às plantas;
- fatores relacionados com tipo de injetor utilizado no sistema de irrigação;
- outros fatores (compatibilidade entre os produtos; posição do injetor no sistema; concentração, taxa de injeção; parcelamento; tempo de aplicação; quantidade e uniformidade de aplicação dos produtos na água de irrigação).
- fatores que afetam a relação custo/benefício,
- fatores relacionados à corrosão dos produtos, e
- fatores relacionados à contaminação do meio ambiente.

FATORES RELACIONADOS COM OS ADUBOS UTILIZADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

Já é de conhecimento que, em relação às culturas, uma fonte de nutriente não é melhor que outra, porém as diferentes características peculiares de cada produto levam às diferenças que justificam melhor o uso de determinado produto em detrimento de outros. A exemplo disso, tem-se o caso do nitrogênio que apresenta boa solubilidade em água, efeito sobre o pH do solo, forma do N no produto e possibilidade de contaminação do meio ambiente. Isso pode condicionar diferentes opções de escolha das diferentes fontes desse elemento. Como existem diferentes fontes de fertilizantes que podem ser utilizados na fertirrigação, a escolha de cada produto é função do sistema de irrigação, da cultura fertirrigada, do tipo de solo, da solubilidade de cada produto na água de irrigação e principalmente, de seu custo.

Ao se escolher os produtos a serem aplicados via água de irrigação, deve-se observar aspectos importantes tais como: solubilidade do produto na água; poder acidificante do solo e água de irrigação; compatibilidade com outros produtos; pureza do produto comercial; poder corrosivo dos demais equipamentos que compõem o sistema de injeção e de irrigação; riscos ambiental e custo com a fertirrigação.

A solubilidade do produto é considerada um dos fatores mais importantes na fertirrigação, uma vez que fertilizantes e demais produtos insolúveis ou pouco solúveis podem condicionar obstruções das tubulações e emissores do sistema de irrigação.

Hernandez, et al. (1987) recomendam que adubos que contêm aditivos para melhorar sua conservação ou para tornar sua liberação mais lenta devem ser descartados para uso via fertirrigação.

Shani (1983) classifica os fertilizantes com possibilidade de uso na fertirrigação em três grupos:

- a) fertilizantes líquidos comercializados na forma de solução prontas para serem usadas sem tratamento prévio;
- b) fertilizantes sólidos facilmente solúveis que devem ser dissolvidos antes de serem utilizados,
- c) fertilizantes de baixa solubilidade e que não são recomendados para uso.

Os fertilizantes ricos em Nitrogênio, Potássio e os Micronutrientes são na sua maioria solúveis em água e não apresentam problemas de uso. Já os fertilizantes fosfatados por serem na sua maioria insolúveis em água e por apresentarem disponibilidade lenta quando aplicados no solo são mais problemáticos para serem utilizados via fertirrigação. Embora existam alguns fertilizantes fosfatados solúveis, como o fosfato de amônio alguns apresentam perigo de serem utilizados em água de irrigação com elevado teor em cálcio pois pode sofrer precipitação quando constitui o fosfato de cálcio que é insolúvel levando as obstruções de tubulações e emissores do sistema de irrigação.

A aplicação de produtos contendo o cálcio deve ser evitado em razão do cálcio poder trazer riscos com a formação de precipitados. O uso de cálcio deverá apenas se restringir quando os solos forem muito ácidos e com alto teor em sódio. O nitrato de cálcio como fonte de cálcio é o adubo mais solúvel em água e por isso, o mais recomendado. Pode-se também usar o cloreto de cálcio como fonte desse elemento.

Antes de aplicar um ou outro produto deve-se verificar o pH da solução e ter o cuidado de fazer sua correção, elevando ou diminuindo para mantê-la em níveis adequados de uso. Hernandez, et al. (1987). recomenda-se utilizar 0,3 litro de ácido nítrico concentrado por kg de nitrato de cálcio.

Alguns fertilizantes injetados no sistema de irrigação podem precipitar-se caso a concentração de cálcio seja superior a 6,0 meq/l. As concentrações de bicarbonatos acima de 5,0 meq/l provocam problemas ainda mais graves.

A aplicação da amônia anidra não é recomendada devido a possibilidade do aumento dos níveis de pH da água de irrigação de valores superiores a 11. Isso acontecendo poderá levar a rápida precipitação do CaCO_3 .

Quando o pH da água for maior do que 7,5, o Ca e Mg podem se acumular nos filtros, nas laterais e nos emissores do sistema de irrigação. Isso acontecendo, pode trazer riscos de obstruções das tubulações e dos emissores, principalmente quando o valor de saturação do carbonato de cálcio for maior do que 0,5 e a concentração da solução for maior que 300 meq/l.

Segundo Burt et al. (1995) a presença de bicarbonatos, carbonatos e silicatos na água de irrigação não somente reduz a eficiência do fertilizante como pode formar precipitados insolúveis que podem reduzir o diâmetro das tubulações e dos emissores.

TIPOS, CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS ADUBOS NÍTRICOS RECOMENDADOS PARA USO VIA FERTIRRIGAÇÃO

Hernandez, et al. (1987) definem fertilizantes líquidos como produtos que contêm nutrientes em suspensão ou em solução podendo fornecer um único elemento ou mais elementos. A amônia anidra foi o adubo líquido mas utilizado na fertirrigação. É um gás que em condições normais de temperatura e pressão, porém passa fácil para o estado líquido quando submetida à pressões elevadas ou às baixas temperaturas.

Montag & Shnek (1998) apresentam a Tabela seguinte com os produtos mais recomendados para uso na fertirrigação com o conteúdo de nutrientes.

Tabela 1. Solubilidade dos produtos recomendados para uso via Fertirrigação.

Produto	Conteúdo do nutriente (%)						Solubilidade g/l de H ₂ O		
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O		10°C	20°C	30°C
Uréia	46	-	0	-	0	-	450	510	570
Nitrato de Amônia	33,5	-	0	-	0	-	610	660	710
Sulfato de Amônia	20	-	0	-	0	-	420	430	440
Nitrato de Cálcio	15,5	-	0	-	0	26,5 CaO	950	1200	1500
Fosfato mono-Amônio	12	26,6	61	-	0	-	290	370	460
Fosfato mono-Potássio	0	22,6	52	28	34	-	180	230	290
Nitrato de Potássio	13	-	0	38	46	-	210	310	450
Multi K+Mg	12	-	0	35,6	43	2MgO	230	320	460
Multi K + NPK	12	0,9	2	36,5	44	-	210	330	480
Magnisal (Mg-nitrato)	10,8	-	0	-	0	15,8MgO	2200	2400	2700
Sulfato de Potássio	0	-	0	41,5	50	0	80	100	110

FATORES RELACIONADOS AS PLANTAS

Nem toda espécie de planta necessita da mesma quantidade de água, de adubos e de condições ambientais para sobreviverem adequadamente. Algumas são mais tolerantes do que outras por água, nutrientes. A exemplo disso tem-se a tolerância das plantas à salinidade do solo. A Tabela seguinte apresenta os índices de tolerância de algumas espécies hortícolas à salinidade.

Tabela 2. Índices de tolerância de algumas espécies à salinidade.

Culturas	Condutividade elétrica em extrato de solo saturado		
	Limite (dS/m)	Perda (%)	Classificação
Abóbora	2,5	13,0	LS
Alface	1,3	13,0	LS
Aspargo	4,1	2,0	T
Batata	1,7	12,0	LS
Batata doce	1,5	11,0	LS
Beterraba	4,0	9,0	TN
Brócoli	2,8	9,2	LS
Cebola	1,2	16,0	S
Cenoura	1,0	14,0	S
Feijão	1,0	19,0	S
Milho doce	1,7	12,0	LS
Morango	1,0	33,0	S
Pimenta	1,5	14,0	LS
Repolho	1,8	9,7	LS
Tomate	2,5	9,9	LS

Fonte: Vitti et al. (1994) ; T= tolerante; TN= tolerância normal; LS= levemente sensível e S = sensível.

FATORES RELACIONADOS AO TIPO DE INJETOR

Para se fazer fertirrigação é necessário que o sistema de irrigação possua um injetor para incorporar os produtos na água de irrigação. Existe diferentes tipos de injetores que variam de acordo com a forma de energia utilizada para seu funcionamento, seus custos e eficiência.

Howel et al. (1983) classificam os injetores de produtos químicos através da água de irrigação em três grupos:

- aqueles que utilizam pressão efetiva positiva como a bomba injetora e a injeção feita por gravidade;
- os que utilizam diferença de pressão como o tanque de derivação e o injetor tipo Pitot, e
- aqueles que utilizam pressão efetiva negativa a exemplo do injetor tipo Venturi e da sucção pela própria sucção da bomba de irrigação.

Para facilitar o entendimento do processo de funcionamento de alguns dos injetores mais utilizados na Quimigação, os parágrafos seguintes descrevem alguns desses sistemas de injeção ou de injetores mais utilizados na Quimigação.

INJETORES QUE UTILIZAM ENERGIA DE GRAVIDADE INJEÇÃO POR GRAVIDADE

Esse método aproveita a energia de posição existente entre o reservatório contendo os fertilizantes e o nível que encontra-se a tubulação principal do sistema de irrigação. É um método de injeção de custo relativamente baixo, porém, só pode ser utilizado em condições onde os sistemas de irrigação trabalham com baixa pressão.

O princípio de funcionamento da injeção por gravidade consiste em: a solução contendo o produto a ser aplicado via água de irrigação é colocada num reservatório mantido num nível mais alto que o nível a tubulação principal do sistema de irrigação. A ação da pressão atmosférica faz com que a solução seja introduzida na tubulação ou nos canais de irrigação, se for o caso. Esse foi o primeiro processo utilizado para aplicar produtos químicos através da água de irrigação. Seu custo de execução é insignificante, porém, requer condições hidráulicas específicas para uso.

Talens (1994) cita um método simples utilizado em sistema de irrigação que trabalha com baixa pressão. O sistema consiste de pequenos reservatórios plásticos elevados a um nível superior em relação ao nível da tubulação de que conduz a água de irrigação. O desnível entre o reservatório e o nível da água da tubulação é aproveitado como forma de energia para introduzir a solução na água. A incorporação da solução na água se faz controlando a pressão na tubulação de abastecimento através de um registro de abertura lenta instalado num ponto à montante da derivação ao reservatório.

INJETORES QUE UTILIZAM PRESSÃO EFETIVA POSITIVA

BOMBA CENTRIFUGAS CONFECCIONADAS COM MATERIAIS ESPECIAIS

As bombas injetoras centrífugas são as mais utilizadas em todo mundo em razão de proporcionar vazões de injeção constantes durante a fertirrigação. Em razão de serem confeccionadas com materiais resistentes à corrosão e de funcionarem com pressão superior àquelas da bomba do sistema de irrigação, são bastante caras podendo inviabilizar seu uso para fertirrigação de pequenas áreas.

BOMBA INJETORA TIPO DIAFRAGMA

As bombas injetoras tipo diafragma são equipamentos que trabalham com uma pressão efetiva positiva e superior a pressão disponível no sistema de irrigação. Essas bombas são confeccionadas com materiais resistentes a pressão e apresentam a vantagem de introduzir a solução na água de irrigação através de taxa constante, o que nem sempre se tem com outros tipos de injetores.

Nathan (1994) cita que existe bombas tipo diafragma com capacidade de injeção de 10 a 250 l/h e que podem trabalhar com pressões de serviço entre 1,8 a 8 kg/cm.

Burt et al. (1995) referindo-se a esse tipo de bomba afirmam que elas são acionadas por motores elétrico de pequeno porte, motores à diesel ou gasolina, facilitando sua condução para diferentes locais nas áreas irrigadas. Além da facilidade no manuseio possuem custo relativamente baixo, se comparado com os custos de outros tipos de bombas injetoras. Como desvantagens tem-se baixo rendimento e caso haja variação na energia pode haver variação na rotação do motor o que leva a uma variação direta na quantidade da solução injetada na tubulação de irrigação. Outro problema citado por Burt et al. (1995) diz respeito a reduzida vida útil dos diafragmas devido à fragilidade dos materiais que são construídos e por trabalharem em contato direto com soluções corrosivas. Isso exige uma manutenção rigorosa e reposição freqüentes dessas peças.

BOMBA INJETORA TIPO PISTÃO

As bombas injetoras tipo pistão são bombas dotadas de um, dois ou mais pistões acoplados em blocos metálicos que se movimentam impulsionados por meio de sistemas tipo biela ou acoplados em roldanas.

No início de cada ciclo se tem a abertura de uma válvula de aspiração que deixa passar para o interior de câmara um volume de solução proveniente de um reservatório. Quando o

pistão executa o movimento em sentido contrário a válvula de aspiração se fecha e a válvula propulsora é aberta. O aumento da pressão no interior do cilindro provoca a abertura de válvula de descarga que deixa passar o volume da solução anteriormente aspirado e daí ela passa ser injetada na tubulação de irrigação.

INJETORES QUE UTILIZAM DIFERENCIAL DE PRESSÃO

TANQUE DE DERIVAÇÃO DE FLUXO

O tanque de derivação de fluxo é um recipiente geralmente metálico de forma cilíndrica conectado à tubulação principal de irrigação.

A solução é incorporada na tubulação de descarga do sistema de irrigação através da segunda tubulação que sai do reservatório. Um registro de fechamento lento é instalado entre os pontos de entrada e de saída das duas tubulações citadas justamente para criar um diferencial de pressão que permite o processo de funcionamento do tanque de derivação. O diferencial de pressão faz com a água seja desviada em maior ou menor volume para o interior do tanque. A tubulação de entrada conduz a água limpa para o tanque que contém a solução a ser aplicada e após a diluição, a solução passa a ser conduzida pela tubulação de saída e introduzida na tubulação principal do sistema de irrigação.

Segundo Roston et al. (1986) a quantidade da mistura que permanece no tanque em determinado tempo depende da solubilidade dos fertilizantes empregados, do diâmetro das tubulações de entrada e de saída ao tanque, do peso específico dos produtos e da vazão derivada ao tanque.

Segundo Montag & Shnek (1998) para determinar o volume do tanque precisamos conhecer:

- área a ser fertirrigada, (ha);
- tipo de cultura;
- quantidade de fertilizante a ser aplicado por vez, (Q, kg/ha);
- número de aplicações entre sucessivos abastecimento do tanque (n) ;
- solubilidade do fertilizante na água, (sol kg/m³).

Conhecendo-se estes parâmetros, o volume do tanque poderá ser obtido pela equação.

$$V = n \times Q$$

Há quem cite como limitação desse tipo de injeção, a variação da concentração dos produtos no interior do tanque com o tempo de aplicação. Trabalhos realizados por Zanini (1987) e Feitosa Filho (1990) comprovaram que no início da fertirrigação tem-se concentrações do produto mais elevadas no interior do tanque e como está entrando água limpa, passando a diluir cada vez mais a solução, com o passar do tempo de Fertirrigação há uma redução busca dessas concentrações.

Com relação a distribuição da solução ao longo das linhas laterais Feitosa Filho (1999) constatou que no início do tempo de Fertirrigação tem-se maior concentração da solução nos emissores situados no início das laterais e com o movimento da solução no interior desses tubos cada vez vai diminuindo a concentração nos pontos próximos ao início das laterais. No tempo final da fertirrigação há maior menor concentração nos emissores situados no início das laterais e maior concentração naqueles localizados no final. Essa inversão de concentração faz com que a quantidade de fertilizantes distribuída no solo no tempo total de Fertirrigação seja aproximadamente a mesma ao longo das laterais.

CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO NO TANQUE DE DERIVAÇÃO DE FLUXO

A FAO (1986) recomenda a formula seguinte para se determinar a concentração da solução do produto adicionado no tanque e que permanece no seu interior em relação a quantidade inicial com fluxo de entrada e de saída constante:

$$C_t = C_o \cdot e^{\frac{-qt}{Vt}}$$

em que:

C_t - concentração da solução no tanque após o tempo t, mg/l ou ppm;

C_o - concentração inicial da solução colocada no tanque, mg/l ou ppm;

e - base do logaritmo neperiano;

q - vazão derivada ao tanque, l/h;

V_t - volume do tanque, h.

Ao se estabelecer uma relação entre o volume que deve passar no tanque em relação ao volume do tanque, a equação ficará simplificada para:

$$C_t = C_o \cdot e^{-x}$$

Segundo a FAO (1986), o valor de x na equação normalmente é tomado com valor igual a quatro e pode ser obtido também por:

$$x = \frac{-qt}{V_t}$$

Taxa derivada (l/min) = volume do tanque x 4 volumes de água (l)/tempo de Fertirrigação (minutos). Ex: volume do tanque: 100 l e tempo de duração da Fertirrigação 40 minutos. A taxa de água derivada ao tanque será:

$$\text{taxa derivada ao tan que} = \frac{100 \times 4}{40 \text{ min}} = 10 \text{ l/min. ou } 600 \text{ l/h.}$$

CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NO TANQUE DE DERIVAÇÃO DE FLUXO

Para se calcular o tempo que a solução atinge determinada concentração no tanque pode ser utilizada a seguinte fórmula:

$$t = 2,303 \left[\log \left(\frac{C_o}{C_t} \right) \right]^{-x}$$

em que,

t - tempo para a solução atingir determinada concentração no tanque, s.

log - base do logarítimo decimal.

Shani (1983) comenta que este tipo de injetor é mais utilizados em todo mundo devido seu baixo custo se comparado com os custos das bombas injetoras e também por ser de fácil construção e manuseio. Outra vantagem é que a vazão injetada na linha de irrigação não é muito influenciada por pequenas variações de pressão na tubulação como ocorre com outros tipos de injetores.

Segundo Bisconer (1987) e San Juan (1985) um inconveniente desse tipo de injetor é a diminuição da concentração dos produtos no seu interior à medida que aumenta o tempo de aplicação. Tem-se que se determinar tempos de aplicações diferentes para se ter uma distribuição aproximadamente uniforme.

Outro inconveniente comentado por Kennedy e citado por Zanini (1987) diz respeito às dificuldades de determinar e controlar a vazão que é derivada ao injetor por parte do produtor que não está familiarizado com esse trabalho. A taxa de água derivada ao tanque constitui um

parâmetro importante nos cálculos das dosagens utilizadas na fertirrigação. A Tabela seguinte mostra os dados das estabelecidos das concentrações de potássio com um tanque de derivação trabalhando com três tempos de fertirrigação (60, 90 e 120 minutos e vazões derivadas ao tanque de 214 l/h, 143 l/h e 107 l/h, respectivamente).

Tabela 3. Instantes calculados para coleta das amostras no tanque com o sistema operando com diferentes tempos de Fertirrigação e vazões derivadas ao tanque.

Concentração relativa no tanque (%)	Concentração (ppm)	Tempo de coleta		
		T=60 min Q= 214 l/h	T=90 min Q= 143 l/h	T=120 min Q= 107 l/h
100,0	2963,0	0,0	0,0	0,0
90,0	2666,7	1,6	2,4	3,2
80,0	2370,4	3,35	5,0	6,7
70,0	2074,1	5,35	8,0	10,7
60,0	1777,8	7,7	11,5	15,3
50,0	1481,5	10,4	15,6	20,8
40,0	1185,2	13,7	20,6	27,5
30,0	888,9	18,1	27,1	36,1
20,0	592,6	24,1	36,2	48,3
10,0	296,3	34,5	51,8	69,1
1,83	54,2	60,0	90,0	120,0

Fonte: Feitosa Filho (1990)

Como exemplo de cálculo de cada instante apresentado na Tabela acima tem-se para o penúltimo instante do tempo de Fertirrigação de 60 minutos, o seguinte:

$$t_{34,4} = 2,303 \times \log \frac{2963,0}{293,3} \times 4^{-1} \times 60 = 34,5 \text{ min.}$$

Tanto Feitosa Filho (1990) quanto Bonomo (1995) observaram que a variação da concentração do fertilizante no tanque seguiram um modelo exponencial com redução brusca no início da aplicação e menos acentuada no final da Fertirrigação.

INJETOR TIPO PITOT

O injetor tipo Pitot é outro equipamento que pode ser utilizado na fertirrigação. Consiste de um tanque metálico semelhante ao de derivação de fluxo, só que neste caso, o desvio de parte da água de irrigação para o interior do tanque dá-se com uso de dois tubos de Pitot inseridos no interior de um tubo que é acoplado à tubulação do sistema de irrigação.

O princípio de funcionamento do injetor tipo Pitot é semelhante ao do tanque de derivação. O tanque de derivação necessita de um registro instalado entre a tubulação de entrada e saída de água para criar o diferencial de pressão entre os dois pontos. No injetor tipo Pitot leva-se em consideração o aumento de velocidade da água do tubo de entrada para fazer com que a água seja inserida no interior do reservatório contendo a solução a ser aplicada.

INJETORES QUE UTILIZAM PRESSÃO NEGATIVA

INJETOR TIPO VENTURI

O injetor tipo Venturi é um dispositivo de polipropileno, PVC ou metálico que possui uma secção convergente gradual seguida de um estrangulamento e de uma secção divergente gradual para igual diâmetro da tubulação a ele conectado. A função do injetor tipo Venturi nos trabalhos ligados a fertirrigação é aspirar uma solução de produtos químicos contida num reservatório aberto e incorporá-la na água de irrigação que passa pelo injetor.

O princípio de funcionamento do injetor tipo Venturi baseia-se na transformação de formas de energia, onde parte da energia de pressão da água na tubulação é transformada em energia cinética, quando alcança a secção convergente e secção estrangulada do injetor. Novamente esta energia é transformada em energia de pressão quando volta à tubulação principal.

Uma das vantagens desse tipo de injetor deve-se à simplicidade de operação, seu baixo custo e uma eficiência satisfatória quando se trabalha com condições de pressões de serviço e de vazões motrizes bem definidas.

Moorhead (1998) cita com vantagem do injetor tipo Venturi os seguintes aspectos:

- fácil manutenção;
- possibilidade de uso com pequena taxa de injeção;
- a taxa de injeção pode ser ajustada com controle apenas de registros; e
- possibilidade de uso com diferentes tipos de produtos na Quimigação.

Como limitação desse tipo de injetor tem-se as altas perdas de carga, em torno de 20 a 30% da pressão de serviço sendo mais acentuadas quando instalado em série na tubulação do sistema de irrigação (Shani 1983). Para diminuir essas perdas de carga recomenda-se fazer a instalação do injetor em paralelo (Feitosa Filho 1998).

Outra limitação citada por Ferreira (1994) e comprovada por Feitosa Filho (1998), diz respeito ao baixo rendimento e o reduzido limite operacional de cada injetor para determinada pressão de serviço e de diferencial de pressão.

Moorhead (1998) cita com desvantagens do injetor Venturi os seguintes aspectos:

- possibilidade de perda de pressão na linha principal do sistema de irrigação;
- os cálculos quantitativos dos fertilizantes podem ser difícil a nível de produtor.

O limite operacional inviabiliza utilizar o injetor em condições hidráulicas diferentes daquelas as quais foram estabelecidas e projetadas para construção de determinado injetor.

INJEÇÃO UTILIZANDO A TUBULAÇÃO DE SUÇÃO DA BOMBA DE IRRIGAÇÃO

Esse tipo de injeção foi usado por muito tempo nos sistema de irrigação por superfície e atualmente não vem sendo mais recomendado em razão dos problemas de corrosão das peças da bomba e demais componentes do sistema de irrigação. Além dos problemas de corrosão tem-se a possibilidade de entrada de ar dentro da tubulação de sucção da bomba de água, o que condiciona parada imprevista do sistema de irrigação.

Segundo Kennedy citado por Zanini (1987), esse método quando manuseado inadequadamente pode favorecer a ocorrência da cavitação além do risco de favorecer a contaminação das fontes de água quando se tem uma parada imprevista da bomba.

FATORES QUE CONTRIBUEM PARA A EFICIÊNCIA DA FERTIRRIGAÇÃO

COMPATIBILIDADE ENTRE OS PRODUTOS UTILIZADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

Nem todos os fertilizantes são mutualmente compatíveis e podem ser aplicados juntos via água de irrigação. Por exemplo, a mistura de sulfato de amônia e cloreto de potássio reduz significativamente a solubilidade do fertilizante no tanque. A aplicação de cálcio na água rica em bicarbonato forma precipitados de gesso que leva a obstrução dos emissores do sistema de irrigação e dos filtros. A injeção do cloreto de potássio aumenta a salinidade da água de irrigação e pode levar a problema de intoxicação nas culturas (Montag & Shnek 1998).

A compatibilidade entre os adubos e entre estes e os íons presentes na água de irrigação é outro fator de importância. O ânion sulfato é incompatível com o cálcio e os fosfatos com o cálcio e magnésio. Para facilitar a escolha dos produtos que podem ser misturados para aplicação via fertirrigação há tabelas que facilitam as decisões.

Tabela 4. Compatibilidade entre fertilizantes solúveis na água de irrigação.

Fertilizantes solúveis	Uréia	NA	SA	NC	MAP	MKP	NP	NP +Mg	NP+P	M+Mg	SP
Uréia		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Nitrato de Amônia	C	-	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Sulfato de Amônia	C	C	-	L	C	C	L	L	C	C	C
Nitrato de Cálcio	C	C	L	-	X	X	C	X	X	C	L
Fosfato monoamônio (MAP)	C	C	C	X	-	C	C	L	C	X	C
Fosfato monopotássio	C	C	C	X	C	-	C	L	C	X	C
Multi- K (NP)	C	C	L	C	C	C	-	C	C	C	C
Multi- K+ Mg	C	C	L	X	L	L	C	-	X	C	C
Multi- NPK	C	C	C	X	C	C	C	X	-	X	C
Magnisal (N+Mg)	C	C	C	C	X	X	C	C	X	-	C
Sulfato de Potássio	C	C	C	L	C	C	C	C	C	C	-
C- Compatíveis, L- Compatibilidade limitada, X - Incompatíveis											

Fonte: Montag & Shnek (1998).

PARCELAMENTO DOS PRODUTOS NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

Algumas literaturas citam que quando se aumenta o parcelamento da adubação nitrogenada na água de irrigação aumenta-se também a eficiência dos adubos pelas plantas e diminui-se as perdas por lixiviação. Costa et al. (1994) recomendam que o parcelamento dos fertilizantes nitrogenados pode ser feito de quatro, seis ou até oito vezes durante o ciclo das culturas.

Trabalhos conduzidos por Alves et. al. citados por Costa et al. (1994) comparando métodos de aplicação de uréia diretamente no solo através de métodos convencionais de adubação e via água de irrigação na cultura do milho plantado em dois Latossolos verificaram que a dosagem de 120 kg de N/ha aplicado pelo método tradicional resultaram em produção de grãos semelhantes

àquelas obtidas com a Uréia aplicada via água de irrigação com parcelamento em duas, quatro ou seis vezes.

Há um consenso entre os autores de que para solos de textura arenosa e sujeitos a chuvas de alta intensidade o parcelamento sendo maior, permite o controle de menos risco de perdas dos adubos devido a lixiviação, pois as quantidades aplicadas por vez serão menores e haverá maior eficiência nos adubos e segurança com a fertirrigação.

TEMPO DE APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO DE IRRIGAÇÃO

O tempo que deve ser aplicado o produto em relação ao tempo de irrigação é outro aspecto importante na Fertirrigação. Esse tempo não deve ser muito pequeno para que o produto tenha condições de ser bem distribuído no solo e nas culturas.

Keller & Karmeli (1975) recomendam tempos de aplicações entre uma e duas horas sempre considerando um tempo antes da Fertirrigação e pós Fertirrigação em torno de 30 min. e 60 min., respectivamente, com o sistema trabalhando apenas com água limpa para lavagem de todo sistema de irrigação. Conhecendo-se a vazão que passa na tubulação de irrigação e a taxa de injeção do injetor, o tempo de aplicação pode ser facilmente determinado. É preciso para isso que se conheça a concentração desejada dos produtos na tubulação de irrigação.

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA SOLUÇÃO NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A uniformidade de distribuição do produto na água e/ou no solo está diretamente relacionado com a própria uniformidade de distribuição de água pelo sistema de irrigação. Sistemas de irrigação que não apresentam boa uniformidade de distribuição de água diretamente não apresentam boa uniformidade de distribuição da solução.

Feitosa Filho (1990) trabalhou com dois injetores tipo tanque de derivação de fluxo e injetor tipo Venturi num sistema de irrigação por microaspersão. Encontrou uniformidade de distribuição da solução nas linhas laterais de 94% para o segundo injetor. Com o tanque de derivação, as concentrações da solução no início das linhas laterais no início das aplicações foram maiores do que as concentrações nos emissores localizados no final das linhas laterais. Já no final do tempo de fertirrigação aconteceu o contrário. Entrando água com menor concentração no início das tubulações tem-se menor concentração nos primeiros emissores e concentração maior no final das laterais. Essa inversão dos valores das concentrações ao longo das laterais durante o tempo de fertirrigação proporcionou quantidades aplicadas dos produtos no solo aproximadamente iguais ao longo das linhas laterais.

FATORES RELACIONADOS À RELAÇÃO CUSTO/BENEFÍCIO DA FERTIRRIGAÇÃO

Não só a Fertirrigação como qualquer atividade agrícola deverá ser devidamente planejada e avaliada em relação se as vantagens condicionadas pela prática justificam os investimentos de implantação para sua execução. Com relação aos custos para se fazer a fertirrigação, não se tem conhecimento de trabalhos realizados no Brasil que compararam esse aspecto em relação aos métodos convencionais de adubação. O trabalho mais completo que enfoca esse assunto é o de Threadgill (1985) que apresenta as Tabelas 5 e 6 que dão idéia da relação custo/benefício da Quimigação. Esse trabalho de muita importância, entretanto não informa com qual foi a cultura trabalhada, aspectos relacionados ao tipo de solo e outros detalhes que ajudariam tirar melhores conclusões dos dados apresentados.

Tabela 5. Custos (dólares/ha) de uma aplicação de produtos químicos pela fertirrigação

Produtos químicos	Convencionais	Fertirrigação	Água aplicada (mm)
Fertilizantes	6,20	13,06	10
Herbicidas	14,00	13,06	10
Inseticidas	5,60	9,84	3
Fungicidas	5,60	9,84	3
Nematicidas	14,00	13,06	10

Tabela 6. Custos comparativos da fertirrigação x métodos convencionais (dólares/ha)

Aplicação	Fertirrigação			Convencional	Economia
	Custo fixo	Custo variável	Custo total	Custo total	
1F	8,56	4,50	13,06	6,20	-6,86
1F; 1H	4,28	9,00	13,28	20,20	6,92
2F; 1H	2,85	13,50	16,35	26,40	10,05
2F; 1H; 1I	2,14	14,78	16,92	32,00	15,08
2F; 1H; 1I; 1Fg	1,71	16,06	17,77	37,60	19,83
2F; 1H; 2I; 1Fg	1,43	17,34	18,77	43,20	24,43
2F; 1H; 4I	1,22	18,62	19,84	48,80	28,96
3F; 1H; 4I	1,07	23,12	24,19	55,00	30,81
3F; 2H; 2I; 4Fg	0,95	27,62	28,57	69,00	40,43
3F; 2H; 5I	0,86	28,90	29,76	74,60	44,84

Fonte: Threadgill (1985).

F= Fertirrigação; H = Herbificação; I = Insetigação e Fg = Fungigação.

Os dados da tabela anterior foram considerados que o preço da aplicação com trator e avião seria baseados no custo operacional de um pivô central para 61 ha, com custo fixo da irrigação mais o custo fixo anual do equipamento de fertirrigação.

Trabalhos de pesquisa têm demonstrado que a prática da fertirrigação proporciona aumento na produtividade da culturas em relação aos métodos convencionais de adubação desde que devidamente executada. Outros trabalhos porém, não obtiveram aumento nas produtividades. Sobre essa última constatação, há de se considerar que mesmo obtendo mesma produtividade ou até produtividade inferior àquelas obtidas quando adubada com os métodos tradicionais deve-se considerar que com a fertirrigação há menor custo com mão de obra e menos consumo e desperdício dos produtos utilizados. A avaliação do custo com a fertirrigação é um aspecto que precisa ser estudada com diferentes culturas, sistemas de irrigação, diferentes solos, água, clima e meio ambiente.

CORROSÃO DO PRODUTOS UTILIZADOS NA FERTIRRIGAÇÃO

Os problemas de corrosão tanto do injetor quanto do sistema de irrigação constitui aspecto que merece ser avaliado na fertirrigação pois o custo dos instrumentos são relativamente altos e o uso de determinado produto pode reduzir a vida útil dos instrumento e inviabilizar à pratica. Cada tipo de material apresenta maior ou menor capacidade de sofrer corrosão, dependendo do tipo de material utilizado para confecção do equipamento e do produto utilizado na Quimigação.

A Tabela seguinte apresenta uma lista de produtos testada por Martin em 1953 citada por Burt et al. (1995) que facilita identificar e quantificar o perigo de corrosão na fertirrigação.

Tabela 7. Corrosão relativa de vários metais, após quatro dias de imersão em soluções de fertilizantes comerciais com concentração de 120 g/l de água.

Metal	Produto*							
	A	B	C	D	E	F	G	H
Ferro galvanizado	2	1	4	3	1	4	1	2
Alumínio	0	2	1	1	0	2	2	1
Aço inoxidável	0	0	0	0	0	1	0	1
Bronze	1	0	3	3	0	2	4	4
Latão	1	0	3	2	0	2	4	4
PH	5,6	8,6	5,9	5,0	7,6	4,0	8,0	7,1

Identificação dos produtos: A = Nitrato de Cálcio; B Nitrato de Sódio; C = Nitrato de Amônio; D= Sulfato de Amônio; E = Uréia; F = Ácido Fosfórico; G = DAP; H = Solução 17-10-10.

Escala de corrosão: 0 = Nula; 1 = baixa; 2 = moderada; 3 = Severa; 4 = muito severa.

Fonte: Burt et al. (1995).

FATORES RELACIONADOS À CONTAMINAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

Em razão da Quimigação utilizar produtos tóxicos é de se espera que se não forem manuseados corretamente pode-se ter o risco da contaminação do homem, de fontes de água, do solo e demais componentes ambientais.

Viana (1994) cita que a Quimigação é considerada segura para os operadores porém, se houver uma parada imprevista do sistema de irrigação, há possibilidade de retorno da solução que estava na tubulação podendo alcançar a fonte de água. Esses riscos tornam-se cada vez maiores se o sistema de injeção utilizado trabalhar com pressão efetiva negativa, a exemplo do injetor tipo Venturi e sucção pela própria tubulação de sucção da bomba de irrigação.

MANEJO DA FERTIRRIGAÇÃO

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação deve seguir as recomendações de período de aplicação , frequência, doses e fontes assegurando, dessa maneira, uma adequada disponibilidade de água e nutrientes na zona radicular da planta.

Os procedimentos adequados para a aplicação de fertilizantes via água de irrigação compreendem três etapas distintas: na primeira etapa, o sistema deve funcionar por um tempo correspondente a 1/4 do tempo de irrigação, para equilibrar hidraulicamente as subunidades de rega; na segunda, faz-se a injeção do fertilizante no sistema de irrigação, através de equipamentos apropriados, por um período de tempo que corresponda a 2/4 do tempo total de irrigação; na terceira etapa, o sistema de irrigação deverá continuar funcionando, visando completar o tempo total de irrigação, para lavar completamente o sistema de irrigação e carrear os fertilizantes da superfície para as camadas do solo com maior concentração de raízes.

LITERATURA CONSULTADA

- BISCONER, I. Chemigation: how irrigation lines can serve double duty. **Agricultural Engineering**. V.1, n.1, p.8-11, 1987.
- BONOMO, R. Análise da validade da equação utilizada para estimar a variação da concentração de fertilizante no tanque de derivação, em fertirrigação. Viçosa: UFV, 1995, 57 p. (Tese de Mestrado).
- COSTA, E.F. da.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação. Sete Lagoas: CNPMS-EMBRAPA, 1994, 315 p.
- CREGHTON, G.; ROLFE, C. **Horticultural fertigation-techniques, equipment and management**, <http://w.w.w.agric.nsw.gov.au/Arm/Water.pub/1009.htm> (16 June 1998).

- F.A.O. **Riego localizado**. Roma. 1986. 203 p. Riego y Drenaje. no 36.
- FEITOSA FILHO, J. C.; PINTO, J.M., ARRUDA, N.T. Dimensionamento, construção e características hidráulica de um injetor tipo Venturi para uso na Quimigação. **Revista Irriga**, v.4. n.2. 1999. p.68-82.
- FEITOSA FILHO, J.C. Desempenho do tanque de derivação na Fertirrigação por microaspersão. Viçosa: UFV, **Revista Ceres**. v.38, n.216, p.125-136. 1991.
- FEITOSA FILHO, J.C. Otimização hidráulica e manejo de injetores tipo Venturi duplo para fins de Quimigação. Piracicaba: ESALQ/USP, 1998. 164 p. (Tese de Doutorado).
- FEITOSA FILHO, J.C. Uniformidade de distribuição de fertilizantes via água de irrigação por microaspersão com uso dos injetores tipo Venturi e tanque de derivação. Viçosa: UFV, 1990, 77 p. (Tese de Mestrado).
- FERREIRA, J.O.P. Características hidráulicas de dois injetores de fertilizantes do tipo Venturi. Piracicaba: ESALQ/USP, 1994. 76 p. (Tese de Mestrado).
- HERNANDEZ, A. J. M; RODRIGO LÓPEZ, J. PÉREZ REGALADO, A. Fertilizadores tipo Venturi. In: El riego localizado. Curso internacional de riego localizado. Madrid, 1987, p. 67-68.
- HOWEL, T.A.; FRESNO, C.A.; STEVENSON, D.S. Fertilizing and operation trough drip systems. In. JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation systems. **ASAE**, 1980, p.711-717.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. Sprinkle and trickle irrigation. New York. 1990. 652 p.
- LOPEZ, C.L. Fertirrigacion: Cultivos horticolas y honamentales. Madrid: Mundi-Prensa. 1998. 475 p.
- MAIA, P.C.S. Fertirrigação por sistema de irrigação por aspersão convencional na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Piracicaba, 1989. 80 p. (Dissertação de Mestrado).
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição de plantas. São Paulo: Ceres. 1980.
- MCCOLLAM, M.E.; FULLMER, F.S. Applying fertilizers in solution. **Better crop with plant food**. v.32, p.17-23.1948.
- PIZARRO, F. Riego localizados de alta frecuencia. Madrid: Mundi-prensa. 1987. 461 p.
- PRIETO, V.G. Quimigação. **Agricultura de las americas**. p.10; 14; 16; 18; 42 e 44. Julio 1985.
- ROSTON, D.E.; MILLER, R.J.; SCHUBACH, H. manegement principles. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickler irrigation for crop production. Amsterdam, Elsevier, 1986, p. 317-45.
- SHANI, M. La fertilizacion combinada com el riego. Tel-Aviv: Ministério da Agricultura. 1983, 36 p.

- THERADGILL, E.D. Chemigation via splinkler irrigation: corrents status and future development. **Applied Engineering in agriculture**. v.1, n.1, p16-23. 1985.
- VIANA, P. A . Insetigação. Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação. Sete Lagoas: CNPMS-EMBRAPA, 1994. 315 p.
- VIVANCOS, A. D. Fertirrigacion. Madrid: Mundi-Prensa. 1993, 217 p.
- ZANINI, J.R. Hidráulica da Fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora. Piracicaba: USP, 1987, 103 p. (Tese de Doutorado).