

Manejo da fertirrigação em fruteiras e hortaliças

Valdemício Ferreira de Sousa
Eugenio Ferreira Coelho
José Maria Pinto
Luis Carlos Nogueira
Maurício Antonio Coelho
Andréia Rodrigues de Araújo

Introdução

As avaliações dos teores de nutrientes do meio em que as plantas se desenvolvem são extremamente importantes numa agricultura altamente produtiva. O fornecimento adequado e eficiente de fertilizantes químicos às culturas é uma prática indispensável na agricultura moderna, que requer conhecimento, técnicas, métodos e equipamentos apropriados à atividade.

A utilização da água de irrigação como veículo para aplicar fertilizantes às culturas é relativamente antiga. De acordo com a literatura, há centenas de anos o lançamento de esterco animal em canais de irrigação e, conseqüentemente, em áreas cultivadas já era praticado. Na década de 1930, produtores da Califórnia usavam sistemas de irrigação por aspersão para aplicar fertilizantes em pomares, e isso marcou o início do uso da fertirrigação em sistemas de irrigação pressurizados. Entretanto sua expansão ocorreu a partir das décadas de 1940 e 1950 com o surgimento dos sistemas de irrigação por pivô central. Posteriormente, com o desenvolvimento e a expansão da irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), a fertirrigação expandiu-se de forma mais intensa por várias partes do mundo.

A fertirrigação é a aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Essa técnica traduz o uso racional de fertilizantes em agricultura irrigada, uma vez que aumenta a eficiência de uso do fertilizante, disponibiliza nutrientes no volume de solo explorado pelo sistema radicular da cultura e reduz a mão de obra e o custo com máquinas. Além disso, flexibiliza a época de aplicação, uma vez que as doses recomendadas de acordo com a necessidade da cultura podem ser fracionadas.

Qualquer método de irrigação possibilita a aplicação de fertilizantes via água, todavia os sistemas de irrigação pressurizados, especialmente a irrigação localizada, são os mais eficientes. No que se refere aos tipos de cultura e às características de solo e água, a fertirrigação pode ser utilizada em várias situações. As características da cultura e dos solos permitem determinar tanto o método quanto o sistema de irrigação, bem como as doses de fertilizantes mais adequados.

Embora o princípio de aplicação da fertirrigação preconize a utilização de produtos solúveis em água, na seleção dos fertilizantes a serem utilizados deve-se considerar, além da solubilidade, os aspectos relacionados à pureza, ao poder corrosivo, ao poder de acidificação e salinização dos solos e à compatibilidade entre produtos. Essas características são importantes no manejo operacional do sistema, na uniformidade de distribuição de fertilizantes, na eficiência de uso dos nutrientes pela cultura e na preservação ambiental.

O manejo adequado da fertirrigação proporciona o aumento da produtividade das culturas e a qualidade dos produtos. Entretanto, ainda é preciso investir em pesquisas e na transferência de tecnologias capazes de colocar ao alcance dos usuários as melhores condições para o uso racional da fertirrigação.

Este capítulo tem como objetivo apresentar as práticas de aplicação e o manejo de fertilizantes via água de irrigação em cultivos irrigados, as quais envolvem os aspectos de princípios de aplicação, as doses necessárias de nutrientes, a frequência de aplicação, o manejo, a dinâmica e o monitoramento de íons no solo, bem como seus efeitos no solo e nas plantas.

Necessidade de nutrientes

A fertirrigação não deve ser praticada de forma empírica. A aplicação de fertilizantes com base na experiência do produtor e em recomendações genéricas pode levar à má utilização dos nutrientes pela cultura, e isso pode causar desequilíbrio ambiental e trazer prejuízos econômicos para o empreendimento. Portanto, a prática correta da fertirrigação deve ter embasamento técnico-científico, e deve levar em consideração todos os fatores principais que influenciam a fertilidade do solo e a nutrição da cultura.

O planejamento e o manejo correto da fertirrigação devem iniciar com o conhecimento da situação do solo, de modo que seja possível a determinação da dose apropriada de nutrientes. Na determinação das doses de nutrientes, é necessário conhecer: a) a extração pela cultura durante o ciclo ou as necessidades nutricionais para atingir uma determinada produtividade; b) a quantidade de nutrientes que o solo pode fornecer para a cultura; c) a quantidade de nutrientes na água de irrigação; d) a eficiência da absorção de nutrientes nos diferentes métodos de irrigação (PAPADOPOULOS, 1999; DOMINGUEZ VIVANCOS, 1993). Em síntese, a necessidade de nutrientes para a cultura pode ser determinada utilizando-se a equação 1.

$$Dn = \frac{(Q_{nex} - Q_{nfs})}{E_f} \quad (1)$$

em que Dn é a dose do nutriente (kg), Q_{nex} a quantidade do nutriente exportada pela planta (kg), Q_{nfs} a quantidade do nutriente a ser fornecida pelo solo (t) e E_f a eficiência da fertirrigação.

Para estimar a capacidade de fornecimento de nutrientes de um determinado solo, precisa-se conhecer: a) a profundidade do sistema radicular da cultura a ser explorada; b) a densidade do solo; c) o volume do solo ocupado pelas raízes; d) os

nutrientes disponíveis conforme análise de solo. Com essas informações, calculam-se a massa de solo ocupada pelas raízes e a quantidade de nutrientes disponível:

$$ms = a \times z \times d \quad (2)$$

$$qnds = ms \times nd \times 10^3 \quad (3)$$

em que z é a profundidade do sistema radicular da cultura (m), d a densidade do solo ($t\ m^{-3}$), a a área do solo ocupado pelas raízes (m^2), nd a quantidade do nutriente disponível apresentada na análise do solo ($g\ t^{-1}$), ms a massa de solo ocupada pelas raízes ($t\ ha^{-1}$) e $qnds$ a quantidade do nutriente disponível no solo ($kg\ ha^{-1}$).

A dose necessária de nutrientes pode ser determinada utilizando-se a equação descrita a seguir, que permite uma boa estimativa dos nutrientes necessários ao cultivo.

$$Dn = 100 \left[\frac{En - qnds + qnda}{Es} \right] \quad (4)$$

em que Dn é a dose do nutriente necessária ($kg\ ha^{-1}$), En a necessidade do nutriente para obter determinada produtividade ($kg\ ha^{-1}$), $qnds$ a quantidade do nutriente disponível no solo ($kg\ ha^{-1}$), $qnda$ a quantidade do nutriente disponível na água de irrigação ($kg\ ha^{-1}$) e Es a eficiência de fertirrigação do sistema (%).

A seleção da dose do nutriente também pode ser efetuada por meio da utilização das recomendações de adubação – específicas para cada cultura e região – provenientes da pesquisa. Nesse caso, essas recomendações são feitas com base na produtividade esperada e nas quantidades de nutrientes que o solo pode fornecer à cultura.

Nesse sentido, trabalho realizado por Sousa et al. (1999a) em solos arenosos de tabuleiros costeiros mostraram que, com o aumento de doses de nitrogênio até $180\ kg\ ha^{-1}$, aplicadas via fertirrigação por gotejamento, as produtividades comercial e total do meloeiro aumentaram significativamente (Tabela 1).

Tabela 1. Efeitos de doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação por gotejamento na produtividade do meloeiro.

Dose de N	Produtividade total ($t\ ha^{-1}$)	Produtividade comercial ($t\ ha^{-1}$)
180	55,03 a	46,62 a
120	51,16 ab	43,51 a
60	40,81 bc	31,60 b
0	35,80 c	27,82 b

Fonte: Sousa et al. (1999a).

Nas condições da região do Submédio São Francisco, Pinto et al. (1996) verificaram que diferentes doses de potássio aplicadas via fertirrigação provocaram um efeito positivo nas produtividades de melão. A produtividade máxima foi obtida com a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de K₂O, efeito atribuído ao aumento do peso médio de frutos. Em solos arenosos de Tabuleiros Costeiros, Sousa et al. (1998, 1999b) constataram que a produtividade do meloeiro aumentou até 200 kg ha⁻¹ (Figura 1) com a aplicação de doses crescentes de potássio. Essas diferenças podem ser atribuídas às diferenças ambientais e de sistemas de produção, principalmente no que diz respeito à densidade de plantio e à condução de plantas e frutos. Ainda como exemplo, pode-se verificar nas Figuras 2 e 3 a resposta positiva do maracujazeiro amarelo em razão de diferentes doses de potássio aplicadas por fertirrigação (SOUSA, 2000; SOUSA et al., 2003).

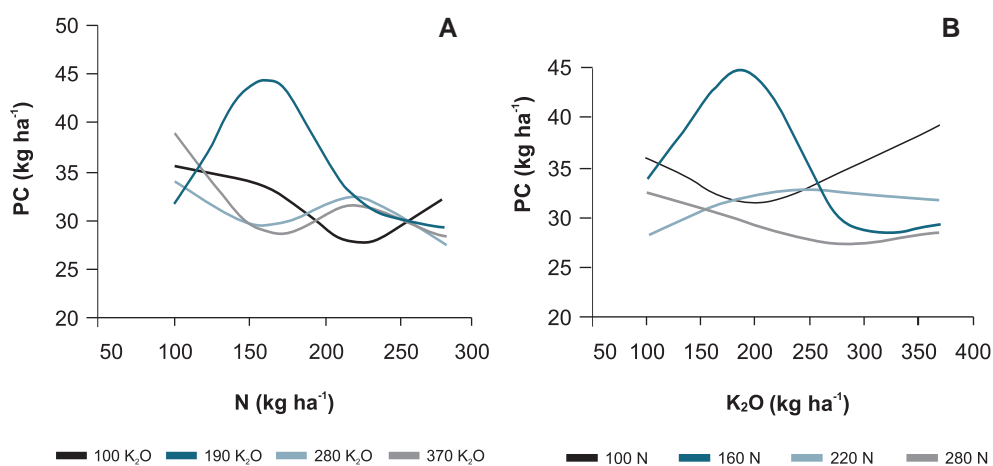


Figura 1. Produtividade comercial do meloeiro sob diferentes doses de N e K.

Fonte: Sousa et al. (1998).

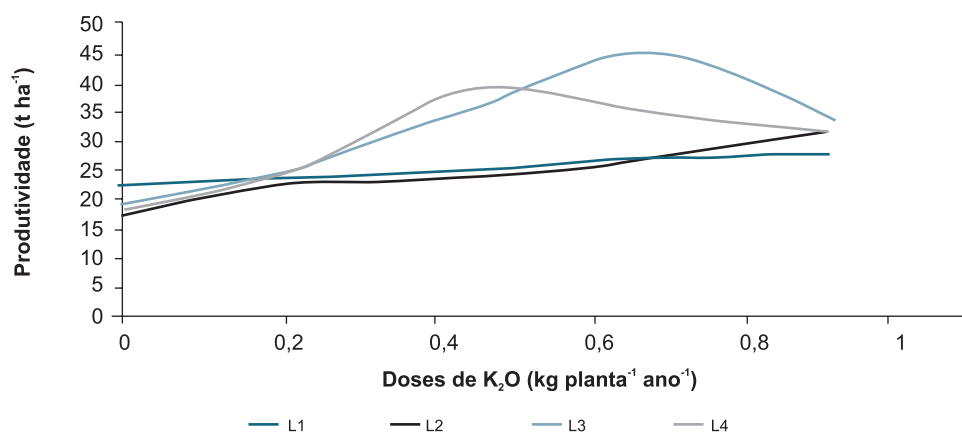


Figura 2. Doses de potássio e níveis de água na produtividade do maracujazeiro amarelo.

Fonte: Sousa (2000).

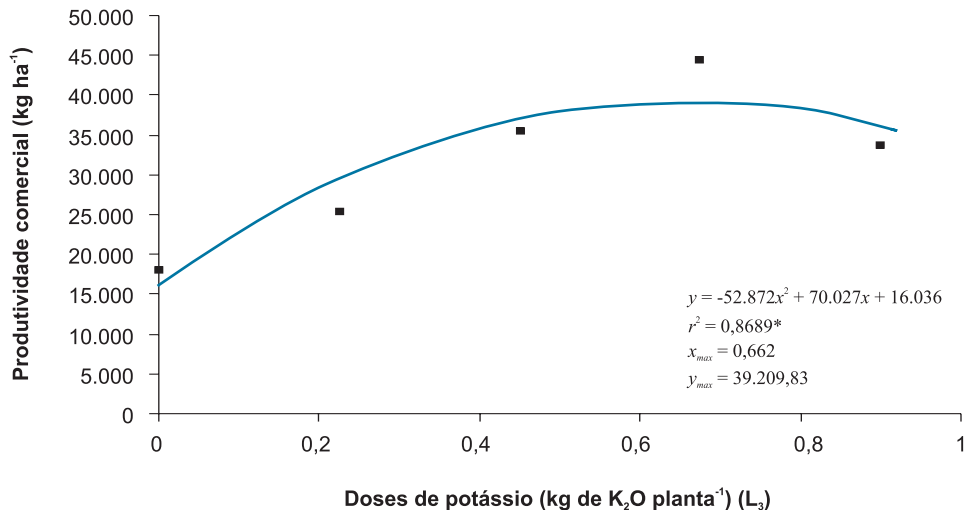


Figura 3. Doses de potássio aplicadas por gotejamento na produtividade do maracujazeiro amarelo.

Fonte: Sousa et al. (2003).

Resultados referentes a doses de nutrientes aplicadas por fertirrigação a outras culturas, como tomate, pimentão, melão, pepino e melancia, são abordados em Silva et al. (1999) e Dominguez Vivancos (1993) para algumas fruteiras.

Trabalho desenvolvido por Coelho et al. (2006) sobre avaliação do efeito de lâminas de irrigação e doses de nitrogênio e potássio sobre a produtividade da bananeira 'Prata Anã' em dois ciclos subsequentes mostrou que o N incrementou a produtividade da bananeira 'Prata Anã' e seguiu uma tendência quadrática, passando de 29,3 t ha⁻¹ por ano para 32,9 t ha⁻¹ por ano para doses de N de 72,9 kg ha⁻¹ e 230,9 kg ha⁻¹ por ano respectivamente (Figura 4a) no primeiro ciclo de avaliação.

Os autores verificaram que o potássio também contribuiu para o aumento da produtividade da bananeira 'Prata Anã' de forma quadrática (Figura 4b), proporcionando produtividade máxima de 32,3 t ha⁻¹ por ano com a aplicação de 431,7 kg ha⁻¹ por ano de K₂O. A redução da produtividade a partir de 431,7 kg ha⁻¹ por ano de K₂O mostra que a aplicação do potássio isolado foi benéfica até um certo valor para uma aplicação fixa de 170,1 kg ha⁻¹ por ano de N.

No segundo ciclo avaliado, o acréscimo de N proporcionou aumento da produtividade até a aplicação de 370 kg ha⁻¹. A partir desse valor, começou a ocorrer redução da produtividade (Figura 5).

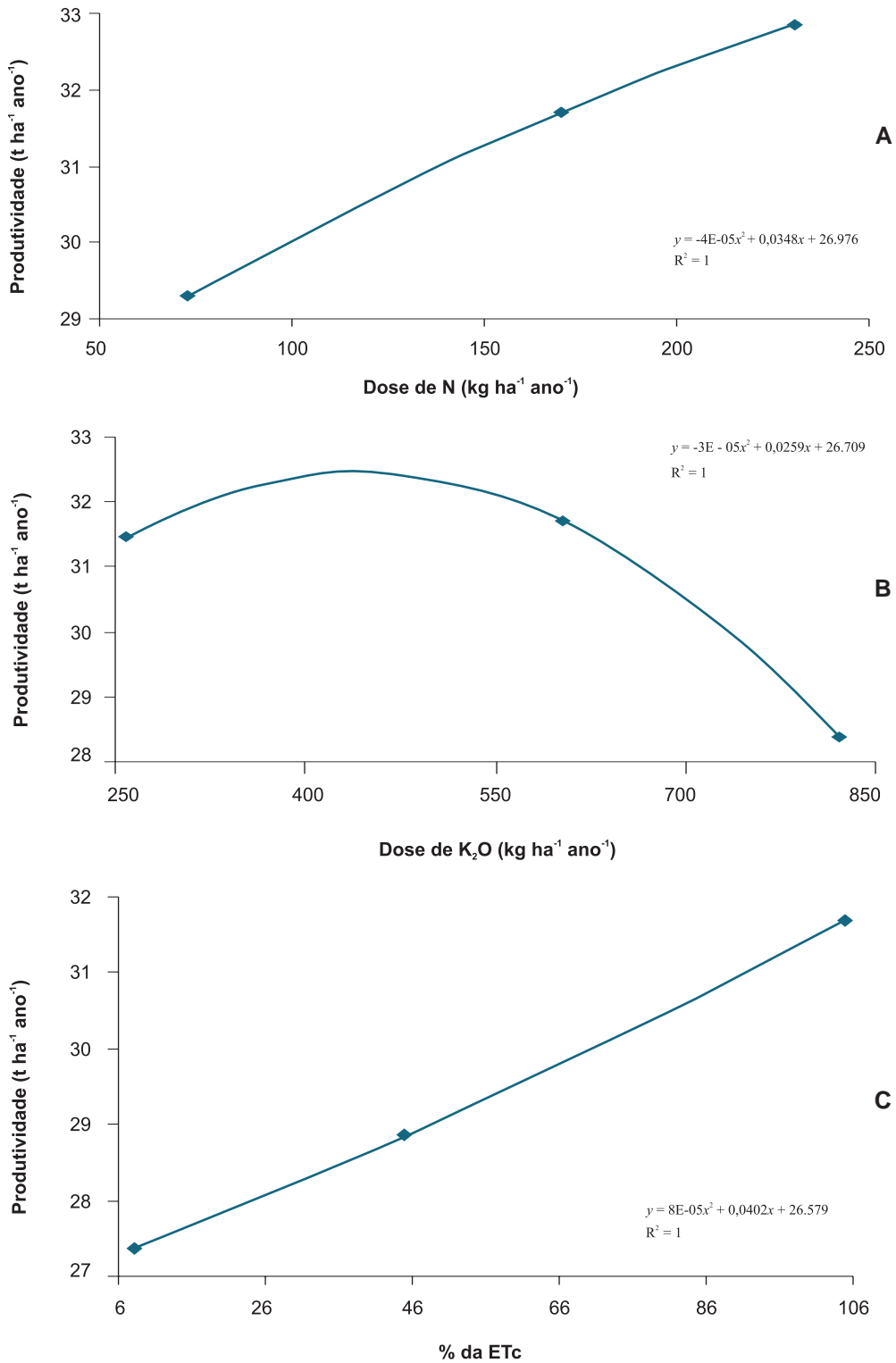


Figura 4. Produtividade da bananeira ‘Prata Anã’ em resposta ao N (A), ao K (B) e à irrigação (C) no primeiro ciclo avaliado.

Fonte: Coelho et al. (2006).

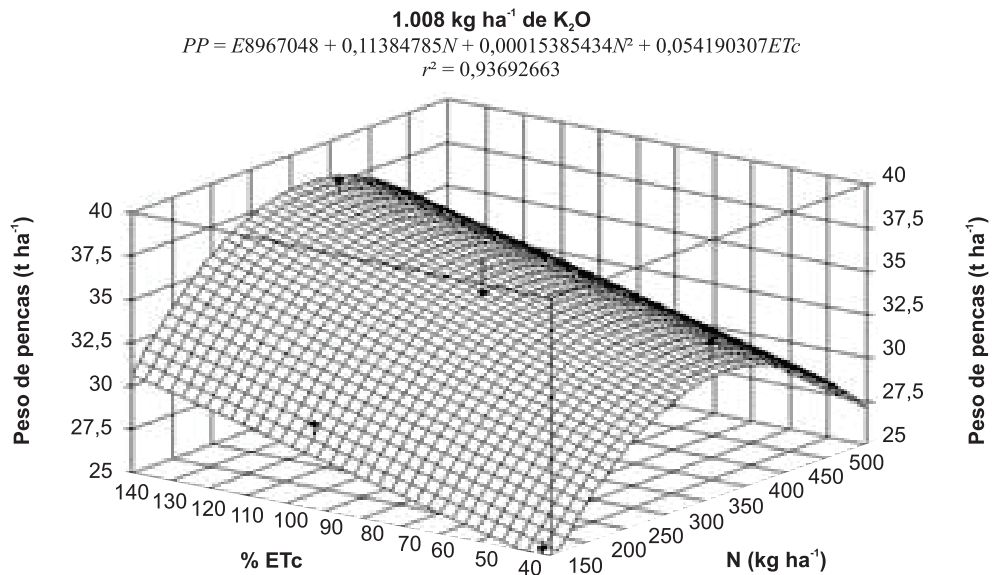


Figura 5. Produtividade de pencas de banana em razão de N e níveis de irrigação no segundo ciclo avaliado.

Fonte: Coelho et al. (2006).

Nas condições de Teresina, PI, Sousa et al. (2004) também avaliaram a resposta da bananeira, cultivar Grand Naine, a doses de N e K₂O aplicadas por fertirrigação. Os autores observaram produtividades máximas para aplicação de 665 kg ha⁻¹ a 770 kg ha⁻¹ de K₂O, não tendo sido observado efeito das doses de N na produtividade da cultura.

Borges et al. (2002), objetivando avaliar os efeitos de doses de nitrogênio e potássio via água de irrigação, na produção do primeiro ciclo da bananeira cv. Grand Naine, nas condições do projeto Jaíba, na região norte de Minas Gerais, verificaram que a aplicação de 300 kg de N e 550 kg de K₂O ha⁻¹ ano⁻¹ proporcionou uma produtividade máxima de 81 t ha⁻¹.

Em experimento de resposta do mamoeiro cv. Sunrise Solo a cinco níveis de nitrogênio e potássio (35, 210, 350, 490 e 665 kg ha⁻¹ ano⁻¹) aplicados via água de irrigação, Coelho et al. (2001) obtiveram um comportamento linear da produtividade como função do nitrogênio e quadrática como função do potássio, cuja máxima produtividade física correspondeu às doses de 490 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e 490 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, equivalentes a uma relação N:K de 1:1 (Figura 6). Já para a cultivar Tainung nº 1 em Latossolo Amarelo Distrófico, a produtividade respondeu de forma quadrática tanto à aplicação de N como de K₂O, com máximos físicos para 502 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N e 309 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, o que implica uma relação N:K de 1,6:1 (Figura 7).

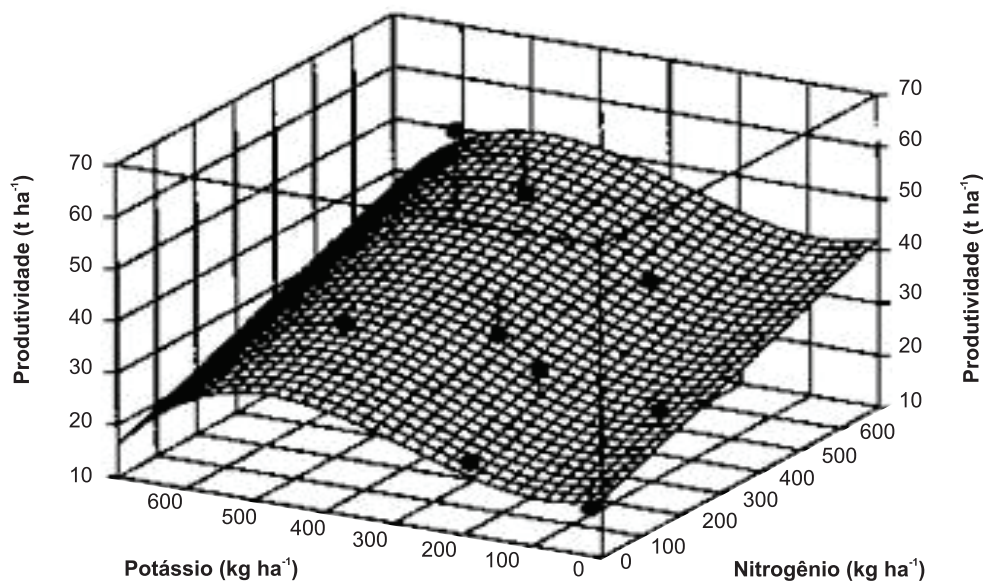


Figura 6. Resposta do mamoeiro cv. Sunrise Solo a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas via água de irrigação.

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

$$P = 3.18338 + 0,106846N + 0,0001063N^2 + 0,032022K - 5.1868.10^{-5}K^2$$

$$r^2 = 0,99148$$

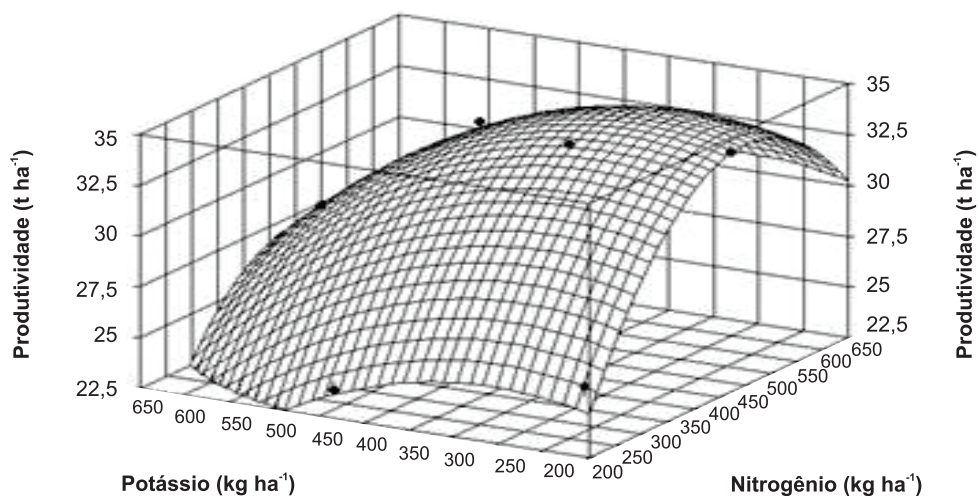


Figura 7. Resposta do mamoeiro cv. Tainung nº 1 a diferentes doses de nitrogênio e potássio aplicadas via água de irrigação.

Fonte: Coelho Filho et al. (2007).

Frequência de aplicação e distribuição de nutrientes

Uma das maiores vantagens da fertirrigação é a possibilidade de aplicação de forma parcelada dos nutrientes recomendados. A frequência de aplicação de nutrientes ou parcelamento de nutrientes deve ser feita de acordo com a marcha de absorção de nutrientes pela cultura nos seus diferentes estádios de desenvolvimento (SOUSA et al., 1992; SOUSA; SOUSA, 1998). Dessa forma, para efetuar um bom manejo da fertirrigação, é necessário conhecer como ocorre a distribuição da absorção dos nutrientes no ciclo da cultura. Em virtude da complexidade no que diz respeito à determinação, essas informações são pouco encontradas na literatura, principalmente em relação às fruteiras.

Assumindo-se as outras variáveis do sistema de produção das fruteiras como adequadas para se inferirem os efeitos da fertirrigação, deve-se levar em consideração a dinâmica do uso de nutrientes pelas plantas. Existem fruteiras, tais como o mamoeiro, o maracujazeiro e a bananeira, que, apesar de serem culturas de maior tempo no campo, permanecem a maior parte desse tempo em floração e em produção, fases críticas quanto à sensibilidade à água e a nutrientes. Portanto, essas culturas apresentam uma dinâmica de absorção e uso dos nutrientes mais intensa do que fruteiras como a laranjeira ou a mangueira, que concentram a floração e o crescimento de frutos em um período de 4 meses durante o ano. Dessa forma, a aplicação mais frequente de nutrientes via irrigação será imediatamente utilizada pelas fruteiras de regime constante de produção, enquanto a demanda, no caso das fruteiras de produção concentrada em apenas parte do ano, deve ser menor no período entre as fases produtivas. Para essas fruteiras, espera-se, portanto, menor resposta da produtividade à fertirrigação, quando comparada com a aplicação em menor frequência via sólida.

Outro aspecto que deve ser observado é a própria demanda de nutrientes das fruteiras (Tabela 2). Pode-se, nesse caso, citar o exemplo da bananeira que chega a demandar por ano 270 kg ha^{-1} de nitrogênio e cerca de 740 kg ha^{-1} de potássio, enquanto a mangueira demanda 90 kg ha^{-1} de nitrogênio e cerca de 160 kg ha^{-1} de potássio. Essas diferenças indicam que as duas culturas têm dinâmicas de absorção e de uso dos nutrientes muito diferentes entre si e que possivelmente a fertirrigação tenha uma resposta mais acentuada na bananeira do que na mangueira ou nos citros.

Tabela 2. Demanda de nitrogênio e potássio por algumas fruteiras.

Cultura	Nitrogênio (kg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	Potássio (kg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)
Abacaxi	320	480
Banana	270	740
Café	560	560
Citros	200	200
Manga	90	160
Mamão	350	350
Maracujá	300	477

Fonte: Borges e Costa (2002).

De modo geral, a frequência da fertirrigação depende, dentre outros fatores, do tipo de fertilizante, solo, cultura, salinidade e sistema de irrigação. Fertilizantes com maior potencial de lixiviação, como os nitrogenados, devem ser aplicados mais frequentemente. Todavia, por não implicarem aumento significativo de mão de obra, as principais fontes de nitrogênio e de potássio podem ser misturadas e aplicadas simultaneamente. Para gotejamento em solos de textura arenosa, a fertirrigação deve ser realizada em um período de 1 a 2 dias. No caso de solos de textura média e fina, esse período é de 2 a 7 dias.

As aplicações mais frequentes e em menores quantidades permitem reduzir as perdas de nutrientes, aumentam a eficiência do uso de fertilizantes e promovem o aumento da produtividade do meloeiro (COELHO et al., 2003; PINTO et al., 1993; SOUSA, 1993). No caso do nitrogênio, os efeitos da aplicação com maior frequência são mais evidentes em razão da facilidade de perda no solo, principalmente nos solos de textura arenosa.

O estado de salinidade do solo também deve ser observado. Fertirrigações menos frequentes resultam em maiores quantidades de fertilizantes por vez, o que implica aumento da condutividade elétrica e do potencial osmótico da solução do solo, que podem exceder os valores aceitáveis pelas plantas. Dependendo da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, poder-se-á manter uma maior ou menor frequência de fertirrigação. A Tabela 3 apresenta dados sobre o efeito da frequência de irrigação e fertirrigação na salinidade do solo (PIZARRO, 1996).

No caso da irrigação por aspersão, deve-se levar em conta que a frequência de fertirrigação deve ser menor ou igual à frequência de irrigação, e os demais critérios para definição da frequência serão os mesmos abordados.

Tabela 3. Frequência de fertirrigação e salinidade máxima da água na saída dos emissores em irrigação localizada.

Intervalo entre irrigações (dias)	Intervalo entre fertirrigações (dias)	Concentração (g L ⁻¹)	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)
1	1	1,5	2,3
1	2	2,0	3,1
1	3	2,5	4,0
1	4–7	4,0	6,3

Fonte: Pizarro (1996).

De maneira geral, a absorção de macronutrientes pelas culturas, principalmente de N, P e K, segue a mesma tendência do acúmulo de matéria seca (PAPADOPOULOS, 1999). Portanto, na ausência da curva ou marcha de absorção de nutrientes, o acúmulo de matéria seca dá uma boa aproximação. Esse mecanismo permite estimar os percentuais de acúmulo de nutrientes nas diversas fases do ciclo da cultura. Dessa forma, é possível planejar de maneira adequada o parcelamento e a distribuição dos nutrientes a serem aplicados via fertirrigação, conforme mostra o exemplo da Tabela 4.

Outro exemplo, que pode ser visualizado na Tabela 5, apresenta uma sugestão com base no conhecimento da marcha de absorção do mamoeiro ‘Sunrise Solo’ (COELHO FILHO et al., 2007).

Após a determinação da necessidade de nutrientes, da frequência de aplicação e da distribuição no ciclo da cultura, é importante fazer a seleção dos fertilizantes a serem usados. A escolha dos fertilizantes deve levar em consideração a solubilidade em água, o poder corrosivo, o índice salino, a capacidade de acidez e a compatibilidade na mistura com outros. As características dos fertilizantes e os critérios de seleção estão apresentados no Capítulo 7 deste livro.

Tabela 4. Distribuição percentual de nutrientes nas fases do ciclo da cultura de melão.

Nutrientes	Fases do ciclo da cultura (dias)							
	1–6	7–13	14–20	21–27	28–34	35–41	42–48	49–55
Quantidade relativa de nutriente (%)								
N	3	4	6	15	27	30	10	5
K ₂ O	2	3	5	10	17	20	28	15

Tabela 5. Porcentagem necessária de nitrogênio, potássio e fósforo no tempo (dias após o plantio – DAP) em relação ao total recomendado para o primeiro ano de ciclo do mamoeiro cv. Sunrise Solo.

Nitrogênio		Potássio		Fósforo	
DAP	Porcentagem necessária	DAP	Porcentagem necessária	DAP	Porcentagem necessária
0–90	4,21	0–120	8,59	0–180	15,27
91–150	8,15	121–180	14,18	181–300	71,15
151–240	56,33	181–270	51,66	301–360	13,56
241–360	31,29	271–360	25,54		

Preparo e aplicação da solução nutritiva

No preparo da solução nutritiva, deve-se levar em consideração, principalmente, o seu pH e a solubilidade dos adubos. O pH da solução deve ser mantido entre 5,5 e 6,5 (SOUSA et al., 1999c). Não há uma recomendação padrão para a concentração dos nutrientes na solução nutritiva. Essa concentração pode ser obtida a partir da concentração da solução que flui nas linhas de irrigação, conforme descrita no Capítulo 9. Quando for necessário misturar fertilizantes diferentes, é importante verificar a compatibilidade entre eles.

A aplicação da solução nutritiva na linha de irrigação deve ser iniciada quando todo o sistema estiver em pleno funcionamento, com todas as linhas cheias de água. De maneira geral, recomenda-se iniciar a aplicação da solução nutritiva após o funcionamento de aproximadamente 25% do tempo de irrigação (Ti). A aplicação da solução, ou a fertirrigação propriamente dita, deve ser feita em 50% do tempo de irrigação. O restante do tempo (25% de Ti) deve ser utilizado para a lavagem da tubulação. O tempo de fertirrigação nunca deve ser inferior a 30 minutos (FRIZZONE et al., 1985; SHANI, 1981); no entanto, avaliações de campo têm mostrado que a estabilização da concentração da solução nas linhas de irrigação ocorre depois de 22 minutos de funcionamento da prática (SOUSA et al., 2000a). Portanto, para tempos de fertirrigação muito pequenos, ocorre risco de baixa uniformidade de distribuição de fertilizantes ao longo da área, e isso afeta o desenvolvimento e a produtividade da cultura.

A aplicação de fertilizantes tradicionalmente usados em adubação convencional, por não serem apropriados para fertirrigação, pode acarretar solubilidade não

adequada. Nesse caso, deve-se dar preferência aos mais solúveis e, no caso do uso de bombas injetoras ou venturi, pode-se manter a solução dentro do tanque aberto, sob agitação contínua durante a injeção para evitar perdas. No caso da bomba injetora hidráulica, é necessário usar o filtro na admissão da água à bomba e na mangueira de sucção. Terminada a fertirrigação, mantém-se a bomba em funcionamento com água limpa por um período de 5 a 10 minutos, de forma que sua limpeza seja assegurada.

Pode-se também preparar a solução antes da fertirrigação em um reservatório e deixá-la em repouso por um período de 20 a 30 minutos. Depois disso, transfere-se a solução para outro reservatório, de onde será bombeada para o sistema de irrigação, deixando no primeiro apenas a parte decantada. Nesse procedimento, a eficiência da fertirrigação é menor em razão das partes de nutrientes que ficaram sedimentadas no reservatório.

Para fazer a manutenção do sistema de injeção de fertilizantes, no caso de bombas injetoras de acionamento hidráulico, deve-se conectar a mangueira de entrada de água da bomba injetora à tubulação e deixar a mangueira de injeção desconectada; em seguida, a mangueira de sucção deve ser colocada num recipiente com água limpa. A bomba deve funcionar por 15 minutos, após os quais a mangueira é desconectada. O exterior da bomba pode ser limpo usando-se produto anticorrosivo nas partes metálicas. As partes móveis metálicas da bomba podem ser lubrificadas.

Monitoramento da fertirrigação

O monitoramento da fertirrigação deve ser feito com o objetivo de avaliar os processos de aplicação e distribuição dos fertilizantes e seus efeitos no sistema solo-planta. Esse monitoramento deve envolver o acompanhamento da aplicação dos fertilizantes, observando-se a concentração da solução injetada, a concentração da solução final na saída dos emissores, a uniformidade de distribuição ao longo da área, a distribuição e a dinâmica dos nutrientes no perfil do solo.

De acordo com Villas Bôas e Souza (2008), o acompanhamento da água ou solução que está sendo aplicada na irrigação/fertirrigação pode ser feito periodicamente nas seguintes etapas do processo:

- a) Na água usada para irrigação – Observar se, ao longo do ano, ocorre variação do pH e da condutividade elétrica (CE), principalmente em água captada de rios.

- b) Na solução estoque de fertilizante preparada – A condutividade elétrica da solução estoque é a soma da CE de cada sal adicionado. Se, por exemplo, são colocados na solução 10 g de KCl + 20 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ por litro de água, a CE nessa solução é dada pela soma da CE dos dois fertilizantes. Valores de CE menores que os estimados significam que as quantidades solubilizadas são menores que as esperadas. Isso pode ocorrer por causa de erros de pesagem dos fertilizantes ou solubilidade inadequada dos sais dissolvidos.
- c) Na solução que sai dos emissores – Com base na solução-estoque e na taxa de injeção do fertilizante no sistema (diluição da solução), é possível calcular qual será a CE nas saídas dos emissores. Nessa determinação, é possível identificar problemas de erros de dosagens, bem como desuniformidade na diluição e na aplicação dos fertilizantes via irrigação. Por meio da CE, podem-se alterar fontes e quantidades de fertilizantes aplicadas, quando for identificada na solução uma CE acima do que é permitido para a cultura.
- d) Na solução do solo – Determinada no extrato de saturação da camada onde se concentram as raízes ou por meio de extrator de solução. Esse valor permite que se tenha a ideia do potencial salino da solução do solo. Além disso, quando a solução do solo é retirada de camadas mais profundas, é possível diagnosticar se está ocorrendo lixiviação de nutrientes.

O acompanhamento da concentração da solução injetada na tubulação de irrigação e na saída dos emissores deve ser feito por meio de amostragens coletadas durante a aplicação e, posteriormente, medindo-se a condutividade elétrica e/ou os teores dos nutrientes aplicados via água de irrigação. Com esses valores encontrados, procede-se à determinação da uniformidade de valores e verifica-se se os valores estão coerentes com o que foi planejado.

A uniformidade de distribuição deve ser feita a cada dois meses para detectar possíveis entupimentos na tubulação e nos emissores. A uniformidade de distribuição adequada deve estar acima de 90%. Se o percentual for menor, é possível que haja variações de pressão no sistema de irrigação, vazamentos na tubulação e emissores com defeitos e/ou com entupimento. Se esses defeitos forem constatados, as correções devem ser feitas imediatamente.

Na aplicação de nutrientes via água de irrigação, um dos pontos importantes que devem também ser acompanhados e monitorados é o movimento de nutrientes no solo, e devem-se fazer avaliações tanto do ponto de vista técnico, quanto econômico e ambiental.

O manejo inadequado de água no solo traz sérios problemas relacionados às perdas de nutrientes, principalmente por lixiviação. Aplicações de água além da capacidade de retenção do solo podem causar grandes perdas de solo e de nutrientes por lixiviação, bem como escoamento superficial e erosão. O nitrogênio, o cálcio, o potássio e o magnésio apresentam maiores taxas de perda por lixiviação (SANCHEZ, 1981).

A lixiviação dos íons através do perfil do solo é uma das principais causas de perdas de nutrientes e contribui sensivelmente para a acidificação do solo (REICHARDT, 1986). Isso indica a necessidade de adotar manejo de água e nutrientes com bastante critério, principalmente nos solos arenosos (SOUSA et al., 1992). Dessa forma, no uso da fertirrigação nesse tipo de solo, o controle da concentração de nutrientes na solução do solo é bem mais complexo, requerendo melhor acompanhamento.

Em cultivos com fertirrigação, é muito importante realizar o acompanhamento da dinâmica ou distribuição dos nutrientes no perfil do solo. Essa prática permite estabelecer ou ajustar a aplicação adequada dos fertilizantes e o manejo da água de irrigação, além de prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação do lençol subterrâneo e de fontes de água superficiais. Esse acompanhamento pode ser feito por diferentes meios, tais como: a) amostragens do solo e posterior determinação da condutividade elétrica e da concentração de íons, que utiliza o extrato de saturação do solo, ou por amostragens de solução do solo; b) extratores de solução do solo, confeccionados com cápsulas porosas utilizadas para confecção de tensiômetros, que são de fácil manuseio, conforme Figuras 8 e 9.

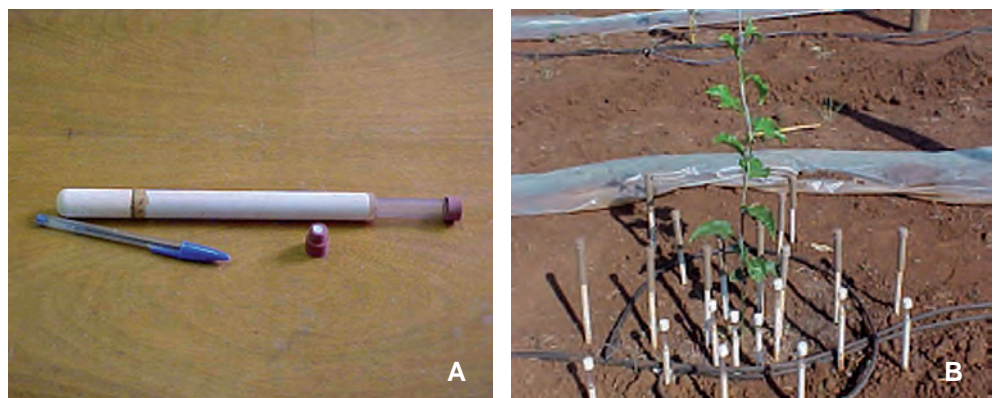


Figura 8. Extratores de solução confeccionados com cápsula porosa de cerâmica e tubo de PVC rígido, com a borracha de vedação na extremidade (A), instalados em torno de plantas de maracujazeiro amarelo (B).

Depois de instaladas no solo nas profundidades desejadas, a extremidade superior da cápsula deve ser fechada. Além disso, deve ser feita a extração do ar interno (vácuo) para facilitar a entrada da solução pela cápsula. A retirada da solução pode ser feita com pequenas bombas de vácuo ou com seringas descartáveis, da seguinte forma: a) fazer um vácuo com uma tensão em torno de 70 kPa, podendo-se utilizar uma seringa descartável; b) em torno de 24 horas após o vácuo, proceder à retirada da solução do extrator, utilizando-se a mesma seringa, acoplada a uma mangueira flexível, para posterior análise em laboratório (Figura 9).

Recomenda-se a utilização de pelo menos uma bateria de extratores de solução, instalados pelo menos em duas profundidades. Pode-se instalar um extrator na profundidade de maior concentração de raízes, que é em torno de 0,40 m para o maracujazeiro. O outro extrator deve ser instalado a uma profundidade tal (abaixo da região efetiva de absorção de nutrientes pelas raízes) que permita detectar lixiviação de nutrientes. No caso de gotejamento próximo à fileira de plantas, os extratores devem ser instalados entre o gotejador (a 0,10 m de distância) e a planta. No caso de microaspersão, se o emissor for localizado próximo à planta, os extratores devem ser instalados a 0,50 m da planta; se o emissor for localizado entre quatro plantas, deve-se manter a distância de 0,50 m entre o extrator e o microaspersor.

Além dos extratores de solução, podem-se utilizar também sensores de condutividade elétrica e de pH para fazer o monitoramento da distribuição de nutrientes e da variação de acidez no perfil do solo. Esses sensores são instalados no solo, na profundidade desejada, e, por meio de visor de leituras, podem-se acompanhar frequentemente as variações da condutividade elétrica e do pH da solução do solo. Os sensores podem ser conectados ao sistema de injeção de fertilizantes e torná-lo automático, com leituras feitas em um leitor digital específico.



Figura 9. Procedimento de extração de solução do solo utilizando-se extratores de cápsula porosa e seringa descartável: vácuo (A) e extração da solução (B).

Dias et al. (2003) destacam a utilização de medidor de íons compacto Horiba, como o Cardy Metter, que se encontra no mercado brasileiro há algum tempo. Esse aparelho pode facilitar o monitoramento da fertirrigação e do estado nutricional das plantas pela praticidade de uso e de custo, quando comparado às análises laboratoriais, pois permite quantificar os íons existentes na solução do solo e na seiva da planta. Ao utilizarem esse medidor de íons compacto, os autores observaram que é possível determinar com melhor precisão a concentração de nitrato em soluções, quando comparado aos resultados obtidos pelos métodos laboratoriais (FIA).

Após a coleta da solução do solo, procede-se às respectivas determinações da CE, do pH e dos nutrientes, e posteriores interpretações dos resultados. No caso da utilização de sensores, as leituras já são feitas diretamente no equipamento, cujas interpretações devem seguir os mesmos procedimentos.

Referências

- BORGES, A. L.; CALDAS, R. C.; LIMA, A. de A.; ALMEIDA, I. E. de. Efeito das doses de NPK sobre os teores de nutrientes nas folhas e no solo, e na produtividade do maracujazeiro amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 208-213, 2002.
- BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da. Requerimentos de nutrientes para fertirrigação: banana. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F.; TRINDADE, A. V. (Org.). **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2002. p. 77-84.
- COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; CRUZ, L. L.; SOUZA, L. F. da S.; OLIVEIRA, A. M. G. de; SILVA, T. S. M. Marcha de absorção de macro e micronutrientes do mamoeiro sunrise solo. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. N. da; COSTA, A. de F. S. da. (Org.). **Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamão**. Vitória: Incaper, 2007. p. 27-40.
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, T. S. M.; SANTOS, D. B. dos. Produtividade do mamoeiro sob diferentes doses de nitrogênio e de potássio aplicados via água de irrigação. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; REZENDE, R. S. (Org.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 1, p. 78-87.
- COELHO, E. F.; SANTANA, G. S.; SANTOS, M. R.; COSTA, E. L. Níveis de nitrogênio, potássio e água para a bananeira cv. 'prata anã' cultivada no norte de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBEA, 2006. 1 CD-ROM.
- COELHO, E. F.; SOUSA, V. F. de; PINTO, J. M. Manejo de fertirrigação em fruteiras. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 67-70, 2003.
- DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; GLOAGUEN, T. V. Avaliação e calibração de métodos rápidos para determinação de nitrato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. 1 CD ROM.
- DOMINGUEZ VIVANCOS, A. D. **Fertirrigación**. Madrid, ES: Mundi-Prensa, 1993. 217 p.
- FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira: Unesp, 1985. 31 p. (Boletim Técnico, 2).

- PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectivas para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 11-84.
- PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; CHOUDHURY, E. N.; PEREIRA, J. R. Adubação via água de irrigação na cultura do melão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 11, p. 1263-1268, 1993.
- PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; PEREIRA, J. R.; COSTA, N. D.; BRITO, L. T. L.; FARIA, C. M. B.; MACIEL, J. L. **Sistema de cultivo de melão com aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA-CPTASA, 1996. 24 p. (EMBRAPA-CPATSA. Circular Técnica, 36).
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. ed. Madrid, ES: Mundi Prensa, 1996. 513 p.
- REICHARDT, K. Dinâmica de íons no solo. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1986, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargil, 1986. p. 43-52.
- SANCHEZ, P. A. **Suelos del tropicos**: características y manejo. San José: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura, 1981. 660 p.
- SHANI, M. **La fertilización combinada con el riego**. Tel Aviv, IL: Ministerio del Agricultura, 1981. 36 p.
- SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Fertirrigação na Embrapa Hortaliças. In: FOLEGATTI, M. V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p. 433-440.
- SOUSA, V. F. de. **Freqüência de aplicação de N e K via água de irrigação por gotejamento no meloeiro (Cucumis melo L. cv. Eldorado 300) em solo de textura arenosa**. 1993. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- SOUSA, V. F. de. **Níveis de irrigação e doses de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento no maracujazeiro amarelo (Passiflora edulis Sims. f. flavicarpa Deg)**. 2000. 178 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SOUSA, V. F. de; ANDRADE, C. L. T.; SOUSA, A. P.; AGUIAR NETTO, A. O. Redistribuição de água em solo de textura arenosa sob irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21., 1992, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992. p. 963-973.
- SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V. Fertirrigation management by drip irrigation for melon crop cultivated in sandy soils. In: ASAE/CSAE-SCGR ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Toronto, 1999a. **Proceedings...** Saint Joseph: ASAE, 1999a. 1 CD-ROM.
- SOUSA, V. F. de; CONCEIÇÃO, M. A. F.; FOLEGATTI, M. V.; ALENCAR, C. M.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. L. Distribuição de fertilizantes sob diferentes concentrações da solução aplicada via água de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 28., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000a. 1 CD-ROM.
- SOUSA, V. F. de; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; COELHO, E. F.; VIANA, F. M. P.; SILVA, P. H. S. da. **Cultivo do meloeiro sob fertirrigação por gotejamento no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 1999c. 68 p. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 21).
- SOUSA, V. F. de; SILVA, F. C. da; COELHO, E. F.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, S. da S. Crescimento e produtividade do meloeiro sob diferentes doses de nitrogênio e de potássio aplicados via fertirrigação por gotejamento. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucon. **Resumenes...** Pucon: [s.n.], 1999b. 1 CD-ROM.
- SOUSA, V. F. de; SOUSA, A. P. Efeito da frequência de aplicação de N e K por gotejamento no na cultura do meloeiro (*Cucumis melo* L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 17, n. 3, p. 36-45, 1998.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F. Manejo de fertirrigação em fruteiras. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C. do; REZENDE, R. S. (Org.). **Fertirrigação**: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 289-317.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Doses de nitrogênio e de potássio por fertirrigação na produtividade do meloeiro. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1998, La Plata. **Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural Latinoamericana**. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, 1998. p. 195-200.

SOUSA, V. F.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A.; CORRÊA, R. A. L.; ALENCAR, C. M. Produtividade do maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio via fertirrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 4, p. 497-505, 2003.

SOUSA, V. F.; VELOSO, M. E. C.; VASCONCELOS, L. F. L.; RIBEIRO, V. Q.; SOUZA, V. A. B.; D'ALBURQUERQUE JUNIOR, B. S. Nitrogênio e potássio via água de irrigação nas características de produção da bananeira 'Grand Naine'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 9, p. 865-869, 2004.

VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, T. R. de. Fertirrigação: uso e manejo. In: SIMPÓSIO EM SISTEMAS AGROSILVIPASTORIS NO SEMI-ÁRIDO, 1., 2008, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: PPGZ: CSTR: UFCG, 2008. p. 1-14.

