

# Capítulo 6

## **Aspectos básicos em fertirrigação**

Eugênio Ferreira Coelho

Dani Or

Valdemício Ferreira de Sousa



## Introdução

A fertirrigação ou a aplicação de fertilizantes via água de irrigação difere significativamente da aplicação via solo, principalmente porque acelera o ciclo dos nutrientes. Na aplicação convencional, os nutrientes sólidos são depositados próximo à planta e na superfície do solo e precisam esperar a chuva para entrarem na solução do solo. No caso, ficam dependentes das intensidades e das frequências das chuvas para se moverem no solo, podendo ou não ser interceptados pelo sistema radicular. Muitas vezes, esses fertilizantes sólidos são depositados em posições que podem não corresponder à região do solo de maior concentração de raízes. Na aplicação via água de irrigação, o tempo de chegada do fertilizante às raízes das plantas é significativamente reduzido, uma vez que o fertilizante solúvel na água infiltra no solo já em solução, de modo uniforme, em toda a região da zona radicular, garantindo máxima interceptação pelo sistema radicular. Assim, um maior número de raízes passa a absorver nutrientes fazendo com que a planta possa trabalhar no seu potencial de absorção. Aliado a isso, os fertilizantes são aplicados juntamente com a água de irrigação, em que se espera uma irrigação cujo manejo proporcione um uso racional de água, ou seja, que se irrigue com alta uniformidade de distribuição e alta eficiência de aplicação, reduzindo a percolação e a lixiviação, resultando numa aplicação de fertilizantes de maior eficiência que a obtida na adubação convencional.

## Aplicação de água e fertilizantes na superfície do solo

O sucesso da fertirrigação depende da distribuição de água às plantas, o que deve ocorrer do modo mais uniforme possível, isto é, o ideal é que todas as plantas recebam a mesma quantidade de nutrientes. Isso pode ser possível desde que haja a menor variação possível entre a vazão dos emissores para uma mesma pressão de serviço e haja a menor variação possível de pressão nas linhas laterais e entre linhas laterais de um mesmo setor irrigado. Keller e Karmeli (1975) sugerem uma variação máxima de 5% na vazão dos emissores. No uso de fertirrigação em aspersão convencional, deve-se espaçar as linhas laterais e os aspersores de forma a obter o maior coeficiente de uniformidade de distribuição e de aplicação de água possível. Na irrigação localizada, o uso de emissores autocompensantes garante uma vazão uniforme na linha lateral, minimizando o efeito da variação de pressão.

A fertirrigação se adequa muito melhor ao sistema de gotejamento que ao sistema de microaspersão, porque no gotejamento o sistema radicular da cultura coincide com as regiões de maiores valores de umidade do volume molhado gerado por um ou mais gotejadores, otimizando com isso o aproveitamento dos fertilizantes. Na microaspersão, o mesmo ocorre quando se usa um microaspersor por planta ou quando se usa uma faixa molhada contínua; entretanto, é comum o uso de um microaspersor para quatro plantas no caso de fruteiras como a bananeira e o mamoeiro, cujo emissor é posicionado no centro das quatro plantas. A distribuição individual da água próxima ao microaspersor tende a concentrar água próximo a ele e conseqüentemente concentrar também os fertilizantes (Figura 1) num raio que, dependendo da vazão do emissor e do espaçamento entre plantas, pode não promover uma distribuição correta dos fertilizantes, prejudicando a sua absorção pelas plantas. No uso de um emissor para quatro plantas, deve-se ater-se à escolha de um emissor que tenha um raio de ação suficiente para aplicar os fertilizantes no entorno das plantas.

## Transporte dos solutos no meio poroso

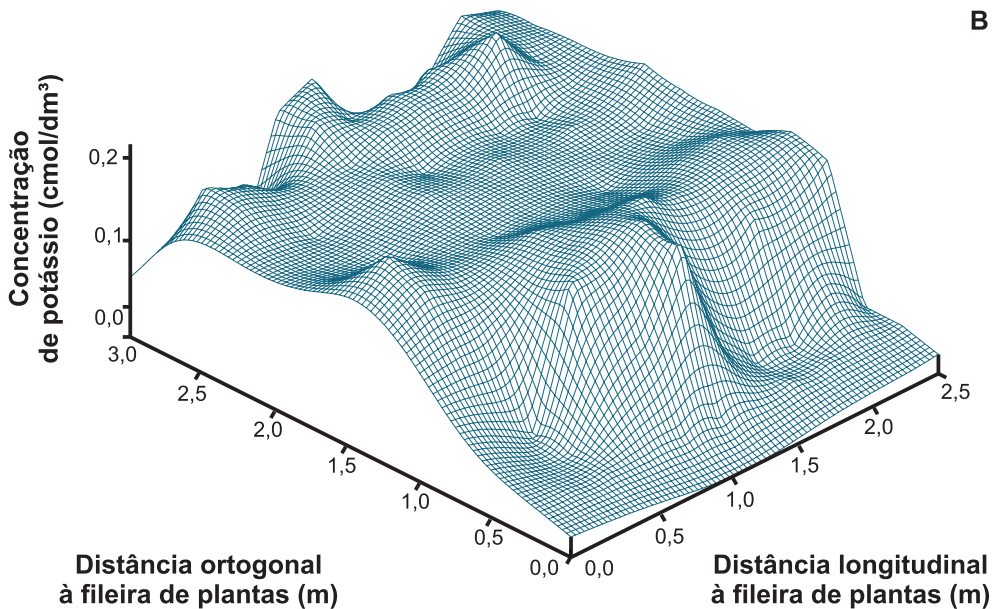
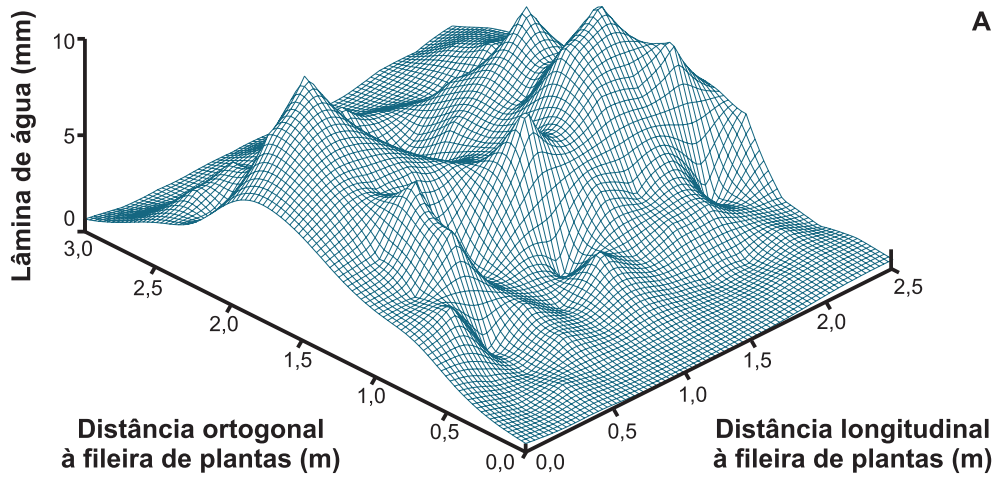
A concentração e a distribuição de solutos no solo contribuem, em última análise, para os rendimentos de uma cultura, o que requer o conhecimento da distribuição e do movimento dos solutos dentro do volume molhado do solo. O transporte de solutos no solo está inserido no movimento de água. A convecção é um processo passivo de movimento de massas líquidas com solutos dissolvidos em resposta a gradientes de potenciais, em que a água e o soluto movimentam-se à mesma taxa.

$$J_c = J_w c = c \left[ K(h) \frac{dH}{dx} \right] \quad (1)$$

em que (usando representação dimensional de unidade)  $J_c$  é o fluxo de solutos ( $M L^{-2} T^{-1}$ ),  $J_w$  o fluxo de água (velocidade de Darcy;  $L^3 L^{-2} T^{-1}$ ) e  $c$  a concentração de solutos ( $M L^{-3}$ ). Para a estimativa da velocidade aparente ou da velocidade da água no meio poroso ( $L T^{-1}$ ), usa-se a equação 2:

$$v = \frac{J_w}{\theta} \quad (2)$$

Assim, o fluxo de solutos  $J_c$  será determinado por  $J_c = v \theta c$ .



**Figura 1.** Distribuição espacial da água de irrigação (A); distribuição espacial do potássio na água de irrigação (B).

Fonte: Silva et al. (2002)

O transporte difusivo é resultante do movimento desordenado de moléculas, visando a equalizar as concentrações no meio poroso, onde os solutos se movem de regiões de maior concentração para as de menor concentração. A taxa de difusão na água é dada pela Lei de Fick:

$$J_d = D_0 \frac{dc}{dx} \quad (3)$$

em que  $D_0 [L^2 t^{-1}]$  é o coeficiente de difusão na água. No meio poroso, o coeficiente de difusão ( $D_s$ ) é menor, em razão da presença da matriz do solo, da porosidade e da tortuosidade [ $T(\theta)$ ; adimensional]. Jury et al. (1991) relacionaram  $D_s$  a  $D_0$  pela equação 4:

$$D_s = D_0 \theta \quad T(q) = D_0 \frac{\theta^{10/3}}{\eta^2} \quad (4)$$

em que  $\eta$  é a porosidade total do solo ( $L^3 L^{-3}$ ). Dessa forma, o fluxo de solutos por difusão será dado por:

$$J_d = D_s \frac{\partial c}{\partial x} \quad (5)$$

O transporte dispersivo no solo se dá pelas diferenças e velocidades da água em capilares e poros de diferentes tamanhos e formas, o que causa uma mistura (dispersão) de soluções residentes em dadas regiões com soluções que entram nessas regiões. É um processo que depende do fluxo de água e pode ser descrito similarmente à Lei de Fick da seguinte forma:

$$J_h = D_h \frac{\partial c}{\partial x} \quad (6)$$

em que  $J_h$  é o fluxo de dispersão hidrodinâmica e  $D_h$  o coeficiente de dispersão hidrodinâmica ( $L^2 T^{-1}$ ), que depende da velocidade da água no meio poroso  $v(L T^{-1})$  e da dispersividade  $\lambda(L)$ , ou seja:

$$D_h = \lambda \left( \frac{J_w}{\theta} \right)^n = \lambda \times v^n \quad (7)$$

A dispersividade varia de 1 cm em colunas de solo a alguns metros em determinações de campo. Em razão da similaridade dos coeficientes de dispersão e difusão, é comum a sua combinação, o que resulta no coeficiente de dispersão-difusão, ou seja:

$$D_e(\theta, v) = D_s + D_h \quad (8)$$

O fluxo total de solutos por unidade de área e por unidade de tempo ( $J_s$ ) será dado em razão da soma dos fluxos convectivos, difusivos e dispersivos, ou seja:

$$J_s = -D_e \frac{\partial c}{\partial x} + J_w \times c \quad (9)$$

A equação acima, combinada com a equação da continuidade (conservação das massas de solutos), resulta em:

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial J_s}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( -D_e \frac{\partial c}{\partial x} + J_w \times c \right) \quad (10)$$

em que  $\theta c$  é a massa de solutos na solução do solo. Em condições de escoamento constante, isto é,  $\theta$  e  $J_w$  constantes, a equação anterior se torna a equação de convecção e dispersão para meio inerte e soluto não adsorvido:

$$R \frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} \quad (11)$$

em que  $D = De/\theta$ ;  $v = J_w/\theta$  e  $R$  o fator de retardamento, sendo dado por (equação 12):

$$R = 1 + \frac{\rho_b}{k_d} \quad (12)$$

em que  $k_d$  é o coeficiente de distribuição e  $\rho_b$  a densidade do solo.

Numa condição de meio anisotrópico, soluto reativo, a equação generalizada de dispersão-convecção é apresentada da seguinte forma (GENUCHTEN; ALVES, 1982):

$$\theta \frac{\partial C}{\partial t} = \theta \nabla (D \nabla C) - q \nabla C - \rho \frac{\partial S}{\partial t} - Q \quad (13)$$

em que  $D$  é o coeficiente de dispersão do soluto ( $L^2 T^{-1}$ ),  $Q$  a fonte ou sumidouro para a interação irreversível dos solutos ( $M L^{-3}$ ),  $S$  igual a  $k_d$  e  $C$  a quantidade de soluto adsorvida na matriz do solo ( $M M^{-1}$  do solo).

## Soluções analíticas para transporte de solutos

A maioria das soluções analíticas de transporte de solutos refere-se ao escoamento unidimensional. Das poucas existentes para escoamento multidimensional, poucas são de caráter prático (CLOTHIER, 1984).

Philip (1984) derivou soluções analíticas para a determinação do tempo de movimentação de solutos, para a condição de ponto fonte, na superfície e enterrado, em escoamento constante dos solutos no meio poroso. O tempo adimensional de movimentação é dado por:

$$T = \frac{\alpha^3 x q x t}{16\pi x \theta} \quad (14)$$

em que  $t$  é o tempo de movimentação do soluto,  $q$  a vazão do emissor ( $L^3 T^{-1}$ ),  $\alpha$  o parâmetro do solo determinado da equação  $k(h) = K_s e^{\alpha h}$ ,  $\theta$  a média da umidade em todo o volume molhado ( $L^3 L^{-3}$ ). Para a situação do gotejador enterrado, os

tempos de movimentação do soluto na direção vertical para cima e para baixo são dados por:

$$T = \frac{1}{2} [e^{2Z}(1 - 2Z + 2Z^2) - 1] \quad \text{para cima } (Z > 0) \quad (15)$$

$$T = \frac{1}{2} (Z^2 - Z) + \frac{\ln(1+2Z)}{4} \quad \text{para baixo } (Z < 0) \quad (16)$$

em que  $Z = \alpha z/2$ . Estando o gotejador na superfície do solo, os tempos adimensionais de movimentação do soluto das direções radial e para baixo são:

$$T = 2e^R \left( 1 - R + \frac{R^2}{2} \right) - 2 \quad \text{radial } (Z = 0) \quad (17)$$

$$T = \frac{Z^2}{2} - Z + \ln(1 + Z) \quad \text{para baixo } (R = 0) \quad (18)$$

em que  $R = \alpha r/2$ . Portanto, dado um valor de  $\alpha$ ,  $\bar{\theta}$  (umidade média do volume molhado) e a vazão do gotejador ( $q$ ) conhecida, o tempo de movimento de um determinado soluto numa dada distância  $r$  ou  $z$  será obtido determinando-se os valores adimensionais de  $R$  e  $Z$ . Em seguida, determina-se  $T(R)$  ou  $T(Z)$  pelas equações de  $\alpha$  e finalmente determina-se o  $t$  da equação.

## Dinâmica dos nutrientes no volume molhado

A distribuição dos solutos no solo depende da sua mobilidade e das reações com a matriz do solo a que estão sujeitos. Essas propriedades dependem dos solutos no meio poroso e, portanto, do nutriente e da fonte de aplicação.

### Nitrogênio

O nitrogênio pode ser aplicado via água de irrigação a partir de diferentes fontes. Na fonte amídica, a ureia reage com a água (hidrólise), formando amônia ( $\text{NH}_3$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) pela ação da enzima urease, se estiver presente no solo. Da hidrólise, resulta o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), que é adsorvido pelos coloides ou partículas eletricamente carregadas (negativamente) do solo. O movimento desse íon depende da sua concentração e da capacidade de troca catiônica do solo ( $CTC$ ). Se a  $CTC$  do solo for significativa, o próprio solo ajudará na retenção do movimento dos íons de amônio. Esses íons reagirão biologicamente no solo resultan-

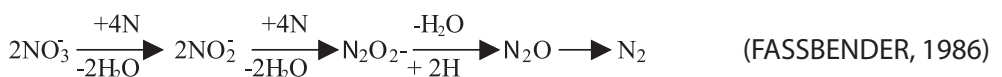


do em nitratos, o que pode ocorrer ao longo de duas a três semanas no solo, a temperaturas entre 25 °C e 30 °C. Todas as formas de amônio resultarão em nitratos. A nitrificação se desenvolve melhor em condições de pH do solo entre 7 e 9,5. A aplicação de fontes amoniacais em solos alcalinos, a altas temperaturas e umidades do solo baixas, implica volatilização direta do amônio.

No uso de fontes de nitrogênio amoniacal, deve-se observar que o amônio é um íon e que, uma vez lançado pelo emissor no volume molhado, o  $\text{NH}_4^+$  será adsorvido pelos coloides do solo que servirão de freio ao seu movimento, dando continuidade assim que se satisfizer a capacidade de troca catiônica do solo. Outro ponto a ser observado é que a nitrificação requer a presença de bactérias aeróbicas. Assim, a nitrificação não ocorre muito próxima do gotejador, onde as condições tendem a ser anaeróbicas. A nitrificação ocorrerá a distâncias maiores do emissor.

As fontes nítricas, uma vez aplicadas ao solo via água, hidrolizam-se liberando o  $\text{NO}_3^-$  que é utilizado diretamente pelas plantas (FASSBENDER, 1986). Os nitratos são altamente solúveis em água e não são adsorvidos às partículas do solo, o que os torna altamente móveis tanto por convecção como por difusão no solo. Dessa forma, após a transformação do amônio em nitrato, sucessivas irrigações podem levar esses íons às bordas do volume molhado. Caso a irrigação seja feita de forma a gerar perda por percolação, certamente haverá lixiviação de nitratos. Exceto o nitrato de amônio, as demais fontes nítricas são neutras. Um ponto a ser observado no uso das fontes de nitrogênio comuns em fertirrigação é o balanço catiônico-aniônico na solução do solo. Nesse balanço, um tipo de cátion ou ânion em excesso na solução poderá ser mais absorvido pelas raízes, limitando a absorção de outros cátions importantes (VIEIRA et al., 2001). Caso se aplique nitrogênio na forma de  $\text{NH}_4^+$  em excesso, isso provocará uma redução da absorção dos outros cátions,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , bem como absorção acima do normal de fosfatos, sulfatos e cloretos. O aumento de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo provoca a redução da absorção do fosfato e sulfatos e aumento da absorção de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  (BURT et al., 1995).

As perdas de nitrogênio na fertirrigação podem ocorrer pela lixiviação ou em razão da denitrificação biológica ou não biológica. Na denitrificação biológica, os nitratos são reduzidos, convertendo-se em  $\text{N}_2$  gasoso ou óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) pela ação de bactérias anaeróbicas do solo (ROLSTON et al., 1979).



As condições que favorecem essas transformações são umidades elevadas, acima da capacidade de campo do solo, próximas ou na saturação. Essas condições não

são esperadas numa irrigação por aspersão. Na irrigação localizada, pode ocorrer junto ao gotejador durante a irrigação, o que pode ser evitado se o tempo de aplicação dos fertilizantes nitrogenados via água for pequeno dentro do tempo de irrigação. Altos valores de pH do solo contribuem para essas transformações, e em pH próximo de 4,8, tais transformações serão mínimas (FASSBENDER, 1986).

A denitrificação não biológica ocorre em razão de reações entre os componentes nitrogenados inorgânicos presentes no solo e é muito importante no caso do uso de fontes amoniacais e ureia. Essas transformações são favorecidas pela elevação do pH do solo, principalmente para valores acima de 7, e baixas condições de umidade. Na fertirrigação em condições de intervalos de irrigação maiores, como na aspersão, essas perdas podem ser mais facilitadas do que na irrigação localizada, onde os teores de umidade do solo se mantêm a níveis relativamente elevados continuamente.

## Fósforo

O fósforo tem suas restrições à aplicação via água de irrigação pela sua característica de adsorção à matriz do solo, com consequente baixa mobilidade e enorme possibilidade de precipitação dos fosfatos (CHASE, 1985; HAYNES, 1985). Se aplicado na superfície do solo em forma sólida, não se move mais que 3 cm; porém, em condições de fertirrigação, pesquisas têm registrado movimento de 0,20 m, tanto horizontal como vertical em profundidade, a partir de um gotejador, num solo franco-arenoso (ROLSTON et al., 1979). Rauschkoub et al. (1976) aplicaram ortofosfato em solo franco-argiloso, via irrigação por gotejamento, e observaram que o mesmo se moveu à distância horizontal do emissor de 0,25 m e à profundidade de 0,30 m, concordando com Maciel (1998).

O fósforo requer cuidados na aplicação, principalmente no caso de águas com alto teor de cálcio e magnésio. O uso de ácido fosfórico, nesses casos, mantém baixo o pH durante a fertirrigação, evitando formação de precipitados no sistema de irrigação (ROLSTON et al., 1979).

Os sistemas de irrigação localizados são os mais adequados à aplicação de fósforo via fertirrigação, principalmente o gotejamento, que localiza ainda mais a aplicação à zona radicular. De toda forma, o fósforo aplicado via fertirrigação em gotejamento enterrado tem grandes chances de aumentar o desempenho do nutriente, uma vez que este é depositado dentro da zona de maior atividade do sistema radicular (BAR-YOSEF, 1999).

## Potássio

O potássio pode ser usado na fertirrigação sem problemas de entupimentos, a partir das fontes comumente disponíveis para tal fim, mesmo sólidas. A sua movimentação no solo vai depender da concentração e da *CTC* do solo, mas, uma vez saturadas as superfícies de adsorção, haverá menor impedimento à movimentação dos íons. Pesquisas têm mostrado que o potássio aplicado via gotejamento tem resultado em avanços laterais e verticais do nutriente de 0,60 m a 0,75 m de distância do emissor (ROLSTON et al., 1979). Avaliações da distribuição do potássio no volume molhado do solo gerado pela microaspersão em bananeira mostraram que as maiores incidências do nutriente e as suas maiores variações com o tempo ocorreram até 0,40 m de profundidade no perfil do solo (SILVA et al., 2002).

## Micronutrientes

Os micronutrientes, tais como ferro, zinco, cobre e manganês, podem reagir com os sais da água de irrigação, ocasionando formação de precipitados. Assim, seu uso deve ser feito na forma de quelatos como o ácido etileno diamino triacético (EDTA), ácido dietileno triamino penta-acético (DTPA) e outros (ROLSTON et al., 1979), ficando solúveis e mais móveis que na condição original, uma vez que o uso de quelatos evita a adsorção e a precipitação dos íons. Mesmo assim, com o uso de quelatos, há possibilidade de que o micronutriente se desprenda e seja substituído por outros íons, ficando imóvel no solo.

## Absorção de nutrientes pelas raízes na fertirrigação

A absorção de nutrientes pelo sistema radicular depende, entre outros, dos seguintes fatores, segundo Bar-Yosef (1977): a) taxa de absorção diária de nutrientes; b) relação entre a concentração de nutrientes na solução do solo e a taxa de absorção; c) necessidade diária das plantas. Pode-se dizer também que a absorção de nutrientes no solo depende da disponibilidade do nutriente na solução do solo e da sua concentração na solução.

A disponibilidade dos nutrientes depende da sua concentração na solução e da sua união ou adsorção ao solo (JUNGK, 1996). O movimento dos nutrientes para as raízes é considerado de baixa velocidade e se dá a curtas distâncias, visto que

a solução do solo se encontra dentro do sistema capilar tortuoso do solo, muitas vezes não interceptado por raízes. A absorção dos nutrientes pela raiz depende da sua concentração no entorno da raiz e da cinética de absorção da raiz.

O contato entre a raiz e a solução do solo, necessário para ocorrer a absorção, dá-se tanto pela interceptação da raiz na solução do solo como pelo transporte dos nutrientes do solo para a raiz pela convecção ou fluxo de massa (predominante) e pela difusão (JUNGK, 1996). A quantidade de nutrientes absorvida pode ser tomada por meio do produto do volume de água absorvido na transpiração pela concentração de nutrientes na solução de equilíbrio do solo.

Bar-Yosef (1977) observou, numa aplicação de nitrogênio em tomate, em solo arenoso, que 30% a 50% do total aplicado foi absorvido pelas raízes. As perdas ocorreram em razão da lixiviação e da baixa concentração de N na zona radicular, o que reduziu a absorção.

A concentração de nutrientes no entorno das raízes constitui o principal fator determinante da absorção (BAR-YOSEF, 1977; JUNGK, 1996). Existe, portanto, uma concentração adequada de nutrientes na solução de solo, no volume molhado, que otimiza a absorção, cujas concentrações inferiores ou superiores fazem-na reduzir. A absorção do fósforo pelas raízes aumentou com a aplicação em taxas razoáveis, o que promoveu elevação da concentração do nutriente junto à superfície das raízes e, conseqüentemente, aumentou a difusão do nutriente no volume molhado (CHASE, 1985).

O aumento da transpiração da planta pode causar acúmulo de solutos na superfície das raízes, se esses solutos não forem absorvidos. Isso eleva a concentração dos solutos na superfície das raízes, reduzindo o potencial total da água no entorno da raiz, fazendo diminuir a absorção (HAMZA; ALYMORE, 1992). O fluxo de nutrientes para a raiz,  $I_n$  ( $\text{pmol m}^{-1} \text{s}^{-1}$ ), pode ser tomado como função do fluxo máximo de nutrientes para a raiz ( $I_{max}$ ), da concentração dos solutos na superfície da raiz ( $C_r$  em  $\text{mmol m}^{-3}$ ) e de uma constante  $K_m$  de Michaelis (JUNGK, 1996) dada em  $\text{mmol m}^{-3}$ , da seguinte forma (BAR-YOSEF, 1999):

$$I_n = \frac{I_{max} \times C_r}{K_m + C_r} \quad (19)$$

A determinação de  $C_r$  foi feita a partir da equação diferencial para representar o fluxo radial de solutos para uma raiz cilíndrica (BAR-YOSEF, 1999). Assumindo-se escoamento uniforme e condições de contorno específicas, resulta em:

$$C_r = \frac{I_{\max}}{W \left( \frac{K_m}{C_r} + 1 \right)} + \left[ C_R - \frac{I_{\max}}{W \left( \frac{K_m}{C_r} + 1 \right)} \right] \left( \frac{R}{r_0} \right)^{\frac{w}{2pD_p}} \quad (20)$$

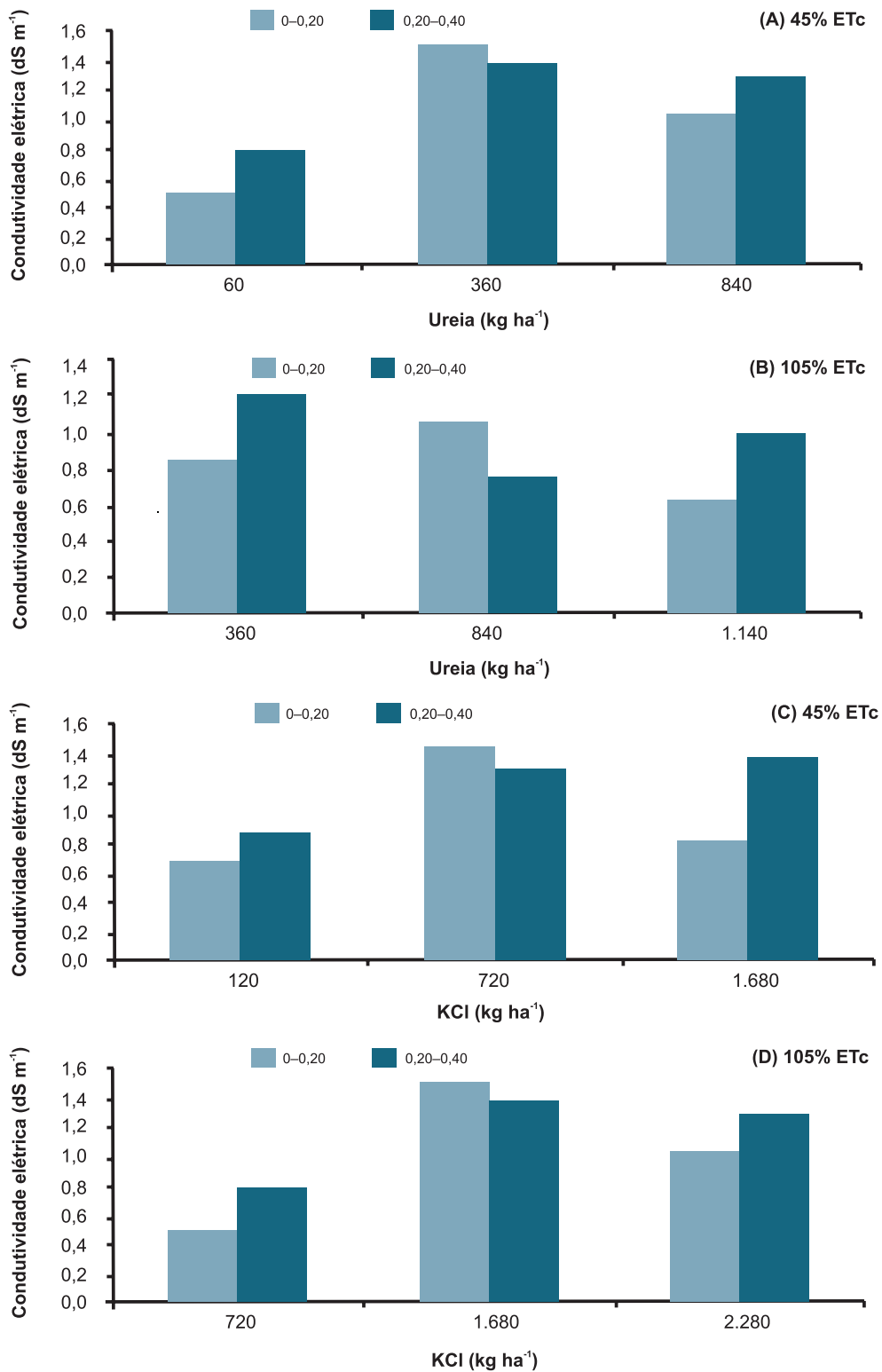
em que  $W = q_0 2\pi r_0 \theta$ ,  $q_0$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) é a velocidade da solução na superfície da raiz,  $r_0$  (m) o raio da raiz e  $D_p$  ( $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ) o coeficiente de difusão na solução do solo.

A concentração do nutriente na água de irrigação deve ser tal que, uma vez aplicada no solo, não faça com que  $I_n = 0,75 I_{\max}$ , o que corresponde a  $C_r = 3 K_m$ . Se a concentração da solução do solo superar esses limites, haverá redução do potencial total da água do solo junto ao sistema radicular em decorrência da redução do potencial osmótico, com consequente redução da absorção das raízes ( $I_n$ ).

## Impactos da fertirrigação no ambiente solo

A salinização é um processo com potencialidades em condições de cultivos protegidos em virtude do uso intensivo da adubação, da falta de chuvas ou irrigação para lixiviar o excesso de fertilizantes e da contínua evaporação da água do solo (DIAS, 2004). O manejo inadequado da irrigação e da adubação via água de irrigação constitui uma das principais causas de salinização nas condições de cultivos protegidos. Dias et al. (2005) observaram, no período de maior exigência nutricional da cultura do meloeiro, incrementos de até  $1,60 \text{ dS m}^{-1}$  na salinidade da água de irrigação por causa da fertirrigação em um Luvissole cultivado com melão fertirrigado, fato que elevou significativamente a salinidade do solo. Me-deiros (2001) constatou elevação da salinidade de um solo do nível não salino para moderadamente salino e salino, respectivamente, pelo uso de fertirrigação em condições de cultivos protegidos.

Uma vez que a fertirrigação consiste na aplicação de água e fertilizantes ao solo, a interação entre níveis de água e níveis de fertilizantes pode influenciar a salinidade do solo ou a condutividade elétrica do mesmo. Em trabalho conduzido em um plantio de bananeira, cultivar Prata Anã, com espaçamento  $3,0 \text{ m} \times 2,7 \text{ m} \times 2,7 \text{ m}$  em solo aluvial no norte de Minas, o comportamento da condutividade elétrica do extrato de saturação (*CEes*) foi avaliado para diferentes doses de nitrogênio aplicadas na forma de ureia sob dois níveis de irrigação, isto é, com a reposição de 45% da *ETc* e 105% da *ETc*, com as doses de potássio fixas em  $432 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $1.008 \text{ kg ha}^{-1}$ , respectivamente. A Figura 2 mostra variações na *CEes*



**Figura 2.** Condutividade elétrica do extrato de saturação como função de níveis de ureia e cloreto de potássio, para 45% e 105% de *ETc*.

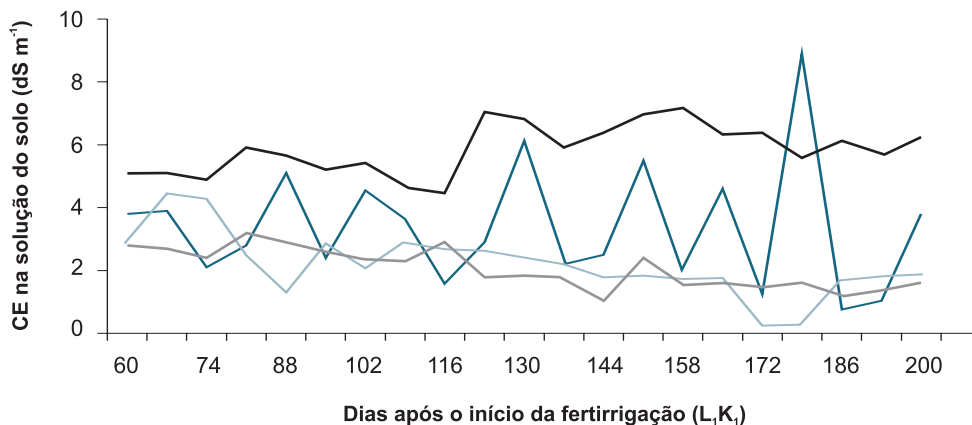
Fonte: Coelho et al. (2008).

de  $0,49 \text{ dS m}^{-1}$  a  $1,28 \text{ dS m}^{-1}$ , com elevação da *CEes* com o aumento do nível de ureia até  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  e aumento da *CEes* com o aumento do cloreto de potássio de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  a  $720 \text{ kg ha}^{-1}$ . Verificou-se para os níveis aplicados de  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $840 \text{ kg ha}^{-1}$  de ureia valores iguais ou superiores a  $720 \text{ kg ha}^{-1}$  de cloreto de potássio em menores valores de *CEes* para o nível de irrigação equivalente à reposição de  $105\% \text{ ETC}$ , indicando que o aumento da lâmina de irrigação promoveu diluição dos sais e redução na *CEes* do solo (Figura 2).

Numa avaliação da distribuição da *CE* (condutividade elétrica da solução do solo) ao longo do tempo, a  $0,30 \text{ m}$  do caule da planta de maracujazeiro, Sousa (2000) verificou o comportamento da salinidade da solução do solo em função de diferentes níveis de água e doses de potássio utilizados. Neste trabalho foi observado que a *CE*, no período, foi maior para os tratamentos que receberam menores níveis de irrigação, confirmando o efeito da quantidade de água aplicada na distribuição de íons e na concentração de sais na solução do solo (Figuras 3 e 4). Os elevados valores de *CE* podem ser atribuídos à quantidade de água aplicada ao tratamento  $L_1K_1$  ( $L_1$  –  $25\%$  do volume de reposição de água calculado;  $K_1$  –  $0,025 \text{ kg}$  por planta por ano de  $K_2O$ ), que provavelmente não foi suficiente para promover a lixiviação dos íons, principalmente  $K^+$ ,  $NH^+$  e  $NO_3^-$ , uma vez que, além do potássio, foi aplicado também nitrogênio na forma de ureia. Já com a aplicação de  $L_4K_4$  ( $L_4$  – volume equivalente à reposição de água calculado;  $K_1$  –  $0,900 \text{ kg}$  por planta por ano de  $K_2O$ ), com o volume de água aplicada ( $2.706 \text{ litros}$  por planta por ano), quatro vezes o  $L_1K_1$ , a concentração salina foi baixa (Figura 3).

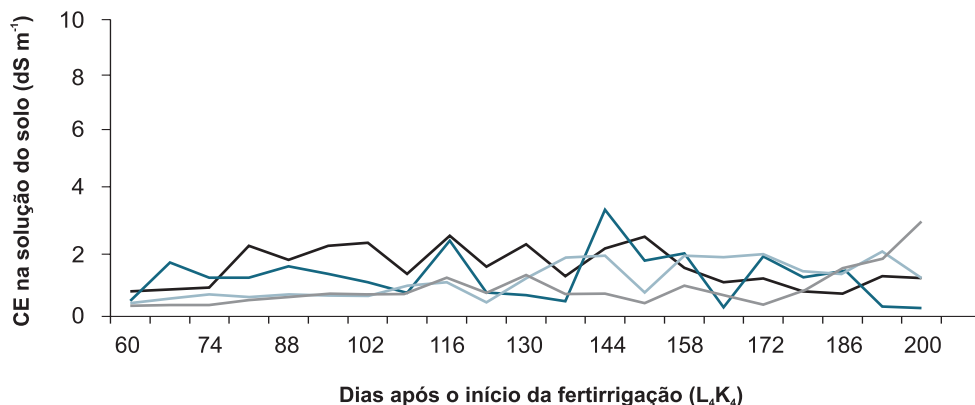
Com base nos resultados de *CE* apresentados nas Figuras 3 e 4, constatou-se que os valores registrados de *CE* em  $L_1K_1$  resultaram em *CEes* superiores à salinidade limiar para o maracujazeiro-amarelo durante quase todo o período, fato este que pode ter contribuído para a redução da absorção de nutrientes, afetando o rendimento das plantas; enquanto para  $L_4K_4$  os valores estimados de *CEes* foram inferiores a  $1,3 \text{ dS m}^{-1}$ . Considerando o nível de tolerância do maracujazeiro à salinidade, a aplicação de maior nível de irrigação proporcionou melhores condições de potencial osmótico no sistema radicular da planta durante todo o período avaliado, mas, por outro lado, pode ter reduzido os teores de nutrientes, principalmente de potássio, na zona de concentração das raízes, afetando a produção de frutos.

Outro impacto, ainda mais comum que a salinização, está relacionado ao uso das fontes nitrogenadas e a variação do pH do solo. As reações no solo seguem uma eletroneutralidade, isto é, um balanço de cargas iônicas, e isso também ocorre na solução de nutrientes nas plantas (BAR-YOSEF, 1999). Quando ocorre maior absorção de cátions que ânions, as raízes tendem a compensar excretando prótons ( $H^+$ ), que acidificam a rizosfera. Por outro lado, se há maior absorção de ânions,



**Figura 3.** Distribuição temporal de  $CE$  ( $dS\ m^{-1}$ ) no perfil do solo sob as lâminas de irrigação e a dose de potássio ( $L_1K_1$ ) aplicados por gotejamento em plantas de maracujazeiro-amarelo.

Fonte: Sousa (2000).



**Figura 4.** Distribuição temporal de  $CE$  ( $dS\ m^{-1}$ ) no perfil do solo sob a lâmina de irrigação e a dose de potássio ( $L_4K_4$ ) aplicados por gotejamento em plantas de maracujazeiro-amarelo.

Fonte: Sousa (2000).

as raízes tendem a compensar liberando hidroxilas ( $OH^-$ ), que reagem com o  $CO_2$  resultando em bicarbonatos  $HCO_3^-$ , que levam à alcalinização da rizosfera. Assim, a aplicação de fontes amoniacais com absorção dessas fontes em excesso pelas raízes pode causar acidificação, enquanto a aplicação com absorção de fontes nítricas em excesso pode causar alcalinização da solução do solo.

O uso de fontes amoniacais na fertirrigação favorece a acidificação do solo durante a nitrificação. Os efeitos acidificantes das diferentes fontes nitrogenadas amoniacais dependem da dose e granulação delas, bem como do pH original do solo e de sua capacidade tampão (FASSBENDER, 1986).



A ureia, pelo fato de ter caráter não iônico, não reage com a água do meio. O uso da ureia na fertirrigação pode resultar, da mesma forma que as fontes amoniacais, em acidificação do solo, uma vez que as reações no solo são semelhantes às que ocorrem com as fontes amoniacais. O efeito acidificante da ureia pode agravar-se com o seu uso em combinação com os fosfatados (superfosfato triplo) e potássicos acidificantes (cloreto de potássio). Deve-se, entretanto, levar em conta as diversas variáveis do solo, inclusive seu poder tampão, que pode alterar o efeito acidificante da ureia.

O pH e a condutividade elétrica do solo foram monitorados periodicamente até os 776 dias, em um Latossolo Amarelo de textura argilosa, após o plantio da cultura do mamoeiro, com fertirrigações semanais de ureia e cloreto de potássio. Os resultados mostraram que o uso de ureia e cloreto de potássio não teve efeito de redução do pH do solo ou de variação do nível de salinidade (COELHO et al., 2002).

Borges et al. (2005) avaliaram a variação do pH de um Latossolo Amarelo Distrófico de Tabuleiros Costeiros, fertirrigado a cada 15 dias, com duas fontes de nitrogênio (ureia e sulfato de amônio), em duas profundidades, aos 3, 4 e 5 anos após o cultivo da bananeira variedade 'Prata Anã', conduzida em sistema de fileiras duplas, no espaçamento de 4 m x 2 m x 2 m em que foi aplicado 400 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Após os anos de cultivo houve redução no pH do solo, notadamente com a aplicação de sulfato de amônio, com decréscimo no valor de 5,5 para 4,2. Por outro lado, com a ureia, a redução máxima no pH foi de 0,6 na camada de 0,20–0,40 m.

Coelho et al. (2008) avaliaram o pH para níveis de aplicação de ureia via fertirrigação durante 1 ano e 10 meses e as possíveis tendências de impactos no sistema solo-água decorrente da aplicação de nitrogênio e potássio em diferentes dosagens, sob diferentes lâminas de irrigação na cultura da bananeira 'Prata Anã' em Neossolo Fúlvico. O solo em seu estado inicial apresentou pH igual a 5,6, 5,4 e 5,7 para os locais onde se aplicou 18 kg ha<sup>-1</sup>, 108 kg ha<sup>-1</sup> e 252 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente. Seguindo essa mesma ordem, o pH foi reduzido em 5,35%, 7,40% e 21,05% após 22 meses de cultivo com banana.

## Referências

BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. **Advances in Agronomy**, New York, v. 65, p. 1-75, 1999.

BAR-YOSEF, B. Trickle irrigation and fertigation of tomatoes in sand dunes: water, N, and P distributions in the soil and uptake by plants. **Agronomy Journal**, Madison, v. 69, p. 486-491, 1977.

BORGES, A. L.; BISPO, L. D.; SANTOS JÚNIOR, J. L. C. dos. Propriedades químicas do solo fertirrigado com duas fontes nitrogenadas após três anos de cultivo com bananeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: SBCS, 2005. 1 CD-ROM.

BURT, C.; O'Connor, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: Irrigation Training Research Center, 1995. 295 p.

CHASE, R. G. Phosphorus application through a subsurface trickle system. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings...** Saint Joseph: ASAE, 1985. p. 393-400.

CLOTHIER, B. E. Solute travel times during trickle irrigation. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 20, n. 12, p. 1848-1852, 1984.

COELHO, E. F.; BORGES, A. L.; COSTA, E. L. da; ALVES, M. da S. **Aspectos de fertirrigação em bananeira**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2008. 28 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Documentos, 171).

COELHO, E. F.; SILVA, T. S. M.; LIMA, D. M.; SOUSA, V. F. Distribuição de potássio e da condutividade elétrica no solo pela aplicação de diferentes doses de potássio e nitrogênio por fertirrigação em mamoeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Unesp, 2002. 1 CD ROM.

DIAS, N. da S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662005000400009](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662005000400009)>. Acesso em: 30 jan. 2006.

DIAS, N. S. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido**. 2004. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. San José, CR: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1986. 401 p.

GENUCHTEN, M. T. H. van; ALVES, W. J. **Analytical solutions of the one-dimensional convective-dispersive solute transport equation**. Washington, DC: USDA, 1982. 151 p. (USDA. Technical Bulletin, 1661).

HAMZA, M. A.; ALYMORE, L. A. G. Soil solute concentration and water uptake by single lupin and radish plant roots: I. Water extraction and solute accumulation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 145, n. 2, p. 187-196, 1992.

HAYNES, R. J. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 6, n. 3, p. 235-255, 1985.

JUNGK, O. A. Dynamics of nutrient movement at the soil: root interface. In: ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). **Plant roots the hidden half**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 529-556.

JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. Soil aeration. In: JURY, W. A.; GARDNER, W. R.; GARDNER, W. H. **Soil physics**. New York: John Wiley & Sons, 1991. p. 196-217.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinklers, 1975. 133 p.

MACIEL, J. L. **Distribuição do fósforo e do potássio no perfil do solo aplicado via água de irrigação por gotejamento superficial**. 1998. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MEDEIROS, J. F. Salinização em áreas fertirrigadas: manejo e controle. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Coord.). **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v. 2, p. 201-240.

PHILIP, J. R. Travel times from buried and surface infiltration point sources. **Water Resources Research**, Washington, DC, v. 20, p. 990-994, 1984.

RAUSCHKOUB, R. S.; ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; CARLTON, A. B.; BURAU, R. G. Phosphorous fertilization with drip irrigation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 68-72, 1976.

ROLSTON, D. E.; SCHULBACH, R. S.; PHENE, C. J.; MILLER, R. J.; URIU, K.; CARLSON, R. M.; HANDERSON, D. W. **Applying nutrients and other chemicals to trickle irrigated crops**. Berkeley: University of California, 1979. 14 p. (Bulletin, 1893).

SILVA, T. S. M.; COELHO, E. F.; LIMA, D. M.; SANTOS, J. A. G. Distribuição do potássio no perfil do solo em bananeira (*Musa spp.*) fertirrigada por microaspersão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Unesp, 2002. 1 CD ROM.

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.

VIEIRA, R. F.; COSTA, E. L.; RAMOS, M. M. Escolha e manejo de fertilizantes na fertirrigação da bananeira. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Montes Claros: Unimontes, 2001. p. 203-217.

