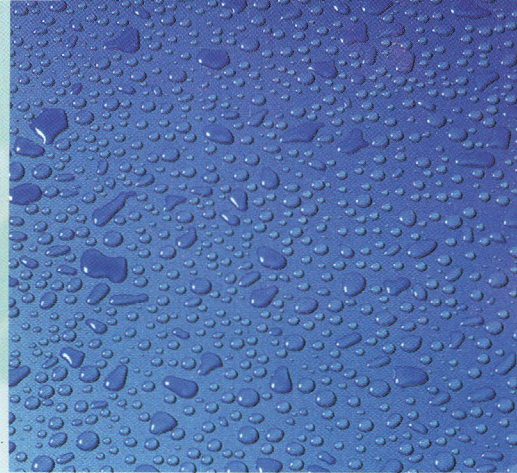


A close-up photograph of several ripe, yellow-orange mangoes hanging from a tree. The mangoes are in sharp focus, showing their smooth skin and some green leaves in the background. The title 'A Cultura da Mangueira' is superimposed over the central mango in a large, stylized yellow font with a black outline.

A Cultura da Mangueira

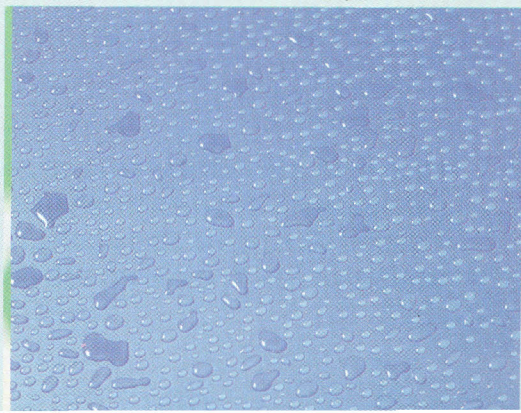
Editores Técnicos
Pedro Jaime de Carvalho Genú
Alberto Carlos de Queiroz Pinto

Capítulo 9



Irrigação

Eugênio Ferreira Coelho
Áureo Silva de Oliveira
Antenor de Oliveira A. Netto
Antônio Heriberto de Castro Teixeira
Eugênio Celso Emérito Araújo
Luís Henrique Bassoi





Introdução

A produção de manga (*Mangifera indica*, L.) no Brasil vem crescendo continuamente em virtude da incorporação de novas áreas ao processo produtivo. A região semi-árida do Nordeste brasileiro, onde a irrigação desempenha papel fundamental para o sucesso da mangicultura, é a que tem mais contribuído para o aumento da produtividade nacional e melhoria da qualidade dos frutos. No vale do Rio São Francisco, na microrregião de Juazeiro, BA e Petrolina, PE, a área plantada era de 3.200 ha em 1991 e em 1997 alcançou 10.200 ha (Lopes, 1999) – um crescimento de 219%. No entanto, por despreparo ou falta de orientação, mangicultores daquela e de outras regiões produtoras do País têm problemas em conduzir adequadamente a irrigação, ora aplicando água em excesso ora submetendo as plantas ao estresse hídrico. Nessas condições, a cultura pode não expressar o seu potencial máximo de produção e os custos com a irrigação podem se tornar muito altos. Pelo seu alto custo de implantação e manutenção, os produtores devem procurar otimizar o sistema de irrigação, explorando todas as suas possíveis vantagens, como, por exemplo, a fertirrigação, que, por meio dos sistemas pressurizados, faculta a aplicação de fertilizantes com mais eficiência.

A intensificação da fruticultura irrigada, no que pese o agravamento de conflitos pelo uso da água em algumas regiões, tem efeito positivo em dois aspectos dos mais importantes na moderna e globalizada economia atual, quais sejam: o aumento da produtividade das culturas e a melhoria da qualidade dos frutos, tornando-os mais competitivos. Tem-se verificado, no caso da manga, que o simples uso da irrigação, sem o emprego necessariamente de técnicas de manejo, garante produtividades médias em torno de 25 t/ha⁻¹, ao passo que, em áreas de sequeiro, a produtividade média gira em torno de 12 t/ha⁻¹.

Por se tratar a irrigação de um suplemento tecnológico de alto custo e capaz de proporcionar incrementos significativos na produção agrícola, pelo aumento da produtividade, a aplicação adequada de água, na quantidade certa e no momento exato, é o objetivo principal a ser perseguido. A aplicação indiscriminada de água, sem bases técnicas, leva comumente ao desperdício também de energia, significando gastos desnecessários e comprometimento do meio ambiente.

A atual posição de destaque da manga no cenário frutícola nacional e internacional vem requerendo, por parte dos técnicos e produtores, constante atualização e melhor compreensão das relações entre essa cultura e a tecnologia de irrigação.

Métodos de Irrigação

Os métodos de irrigação por superfície (sulcos, bacias em nível, faixas), bem como a aspersão subcopia fixa ou móvel e a irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), podem ser usados com a cultura da manga. A seleção do método e do sistema de irrigação mais adequado a uma dada situação depende de avaliação dos recursos físicos existentes,

tais como suprimento de água (quantidade, qualidade e localização), características dos solos (textura, estrutura, profundidade, salinidade, drenagem, topografia, erosibilidade) e o sistema planta-clima, em que se deve levar em conta a adaptabilidade da cultura às condições climáticas de cada local. Além do levantamento desses recursos físicos, deve-se também considerar a disponibilidade de capital para investimento, disponibilidade de mão-de-obra para condução da irrigação, disponibilidade e consumo de energia, viabilidade econômica e implicações para o meio ambiente.

A cultura da manga, sob condições irrigadas, vem sendo cultivada principalmente no Semi-Árido, onde os recursos hídricos são escassos e a racionalidade no uso da água é um imperativo, isto é, a eficiência da irrigação deve ser a maior possível. Com relação a esse aspecto, o método de irrigação por superfície tem sido o menos adotado, sendo, em geral, considerado de eficiência menor que os métodos pressurizados.

A irrigação por aspersão, além do maior consumo de energia, apresenta eficiência de aplicação entre 50% e 75%, o que indica perdas significativas de água (Allen, 1992). Valores baixos do coeficiente de uniformidade de Christiansen - CUC devem-se à interceptação do jato d'água pela copa das plantas e ao umedecimento das entrelinhas (100% de área molhada), favorecendo o desenvolvimento de ervas daninhas. Tais desvantagens se agravam na floração, quando os jatos podem causar redução no número de panículas e afugentar os insetos polinizadores (Silva et al., 1996).

O sistema de irrigação mais usado com a mangueira é a microaspersão, principalmente pela maior área molhada que ele proporciona em relação ao gotejamento em solos de textura média a arenosa (Allen, 1992). Os sistemas de microaspersão geram eficiência de aplicação entre 70% e 95%. Os microaspersores apresentam vazões entre 15 e 200 L.h⁻¹, operando com pressões na faixa de 80 a 350 kPa. Atualmente, há vários tipos de microaspersores no mercado, com variados padrões de molhamento, que vão desde um círculo completo (360°) até um quarto de círculo (90°). Há também microaspersores com dispositivos que permitem aumentar o raio de ação de acordo com o desenvolvimento da planta.

O sistema de gotejamento é também de alta eficiência (70% a 95%) e de menor demanda de energia, embora o custo inicial seja alto. Para mangueiras com espaçamento de 8 x 5 m, 5 a 6 gotejadores por planta têm sido suficientes, embora, teoricamente, essa quantidade resulte em uma área molhada de 14% a 16% da área de ocupação da planta (solo homogêneo de textura média, diâmetro molhado de 1,2 m). Pode-se usar apenas uma linha de gotejadores por fileira disposta em anel ao redor da planta com os gotejadores igualmente espaçados, ou uma ramificação por planta (rabo de porco). Em certos casos, são necessárias até 2 linhas de gotejadores por fileira de plantas. Em solos de textura arenosa, sem gradientes texturais que retenham a infiltração no perfil, a microaspersão é aconselhável, entretanto, apesar da diferença de área molhada nos dois sistemas de irrigação localizada, não se pode generalizar a microaspersão como mais adequada à cultura da manga. O uso do gotejamento, em alguns casos, tem propiciado produtividades similares às obtidas com o emprego da microaspersão.

Necessidades Hídricas

As necessidades de irrigação da mangueira devem ser determinadas com base em avaliações do solo e clima. Entretanto, devem ser feitas correções em função do estágio de vida e da fenofase da planta.

Demanda Hídrica e Fenologia

Soares & Costa (1995) recomendaram, para as condições do Semi-Árido, diferenciar o manejo de aplicação da água à mangueira em seis períodos distintos: pré-plantio, plantio e desenvolvimento inicial, desenvolvimento, repouso fenológico, estresse hídrico e reinício da irrigação. Para as regiões subúmidas, onde se registram índices pluviométricos de 1.200 a 1.600 mm por ano, apesar de concentrados em 6 meses, deve-se considerar os seguintes períodos e subperíodos: período não-produtivo, que vai desde o preparo das covas e plantio até antes da primeira indução floral para produção, e período produtivo, que envolve a floração e frutificação.

Preparo de Covas, Plantio e Pegamento

Apesar desse processo poder ser efetuado fora do período chuvoso, com irrigação, é mais viável executá-lo no período das chuvas, visto que, além das necessidades hídricas serem satisfeitas, a temperatura do ar mais baixa e a umidade relativa mais alta proporcionam índices mais favoráveis de pegamento. Esse subperíodo se prolonga até 6 meses, época em que termina o período chuvoso.

Desenvolvimento Vegetativo

É a fase de formação da arquitetura de copa a qual vai suportar o futuro crescimento produtivo. Inicia-se após o pegamento da muda, terminando antes da primeira indução, a qual é feita no terceiro ano pós-plantio.

Período Produtivo

Nesse período, deve-se considerar as diversas fenofases da planta, bem como o cronograma de produção da propriedade.

Emissão foliar

Nas condições subúmidas, os surtos vegetativos se prolongam por um longo período do ano, com maior intensidade de emissão nos meses mais chuvosos.

Pré-floração

Em regiões subúmidas, onde o crescimento vegetativo é intenso, somente a aplicação de retardantes de crescimento, como o paclobutrazol, não é suficiente para a paralisação do crescimento, a qual é o pré-requisito básico para a iniciação floral. É imprescindível a aplicação de estresse hídrico, o qual, ao reduzir a turgescência celular, paralisa o crescimento como primeiro efeito. Nas condições subúmidas do Meio-Norte do Brasil, após o período chuvoso, as plantas devem permanecer sem irrigação por 60 a 70 dias, sendo irrigadas novamente apenas no início da floração.

Floração

Nessa fase, as irrigações devem ser reiniciadas tão logo haja a emergência das primeiras panículas. A mangueira necessita de água durante a formação floral, todavia essa necessidade não chega a ser crítica. Na Índia, recomenda-se irrigar em intervalos mensais no final do inverno para retardar a floração, tendo em vista a maior ocorrência de malformação floral naquele período. Tem sido verificado, experimentalmente, que a irrigação não é

recomendável durante a fase de diferenciação do broto floral, devendo ser iniciada somente na emergência da panícula. Nunez-Elisea & Davenport (1994), avaliando o efeito da temperatura do ar e do estresse hídrico sobre a floração da mangueira, concluíram que o fator principal na diferenciação floral é a temperatura. A deficiência hídrica no solo retarda o crescimento das gemas vegetativas e colabora para o crescimento das gemas florais.

Crescimento dos Frutos

A fase de crescimento de frutos é a fase de maior demanda hídrica do ciclo produtivo, onde a ocorrência de deficiências hídricas pode afetar seriamente a produção. A fase da planta mais crítica à falta de água está compreendida entre a quarta e a sexta semana após o estabelecimento dos frutos, quando um período de 30 dias sem irrigação é suficiente para reduzir o tamanho dos frutos em 20% em comparação com a cultura sob irrigação (Schaffer et al., 1994).

Evapotranspiração

A necessidade de água da mangueira, assim como de outras culturas, está relacionada com a evapotranspiração (*ET*). A *ET* é um fenômeno de transferência de água na forma de vapor a partir da superfície do solo (evaporação) e da superfície das folhas através dos estômatos (transpiração), envolvendo fluxo de massa e de energia na camada atmosférica próxima à superfície. Assim, ao se quantificar a evapotranspiração da cultura (*ETc*), num determinado intervalo de tempo, quantifica-se sua necessidade hídrica naquele intervalo. A definição de *ETc*, como apresentada neste texto, implica que a água não é fator limitante ao pleno desenvolvimento da cultura.

A equação de Penman-Monteith é uma das mais completas como modelo simulador do fenômeno natural da *ET*, pois leva em conta a influência de elementos meteorológicos (radiação solar, temperatura, vento) e os parâmetros fisiológicos da planta (resistência estomática) ou indiretamente ligados à planta e à atmosfera em redor da planta (resistência aerodinâmica). A equação de Penman-Monteith pode ser escrita da seguinte forma (Allen, 1992):

$$ET = \frac{\Delta \cdot (R_n - G) + \rho \cdot c_p \frac{(e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} \quad (1)$$

em que:

ET = evapotranspiração da área cultivada (MJ.m⁻².dia⁻¹).

R_n = radiação líquida na superfície da cultura (MJ.m⁻².dia⁻¹).

G = fluxo de calor sensível no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹).

ρ = densidade do ar (kg.m⁻³).

c_p = calor específico do ar = 0,242; MJ.kg⁻¹ °C.

(*e_a* - *e_d*) = déficit de pressão de vapor (kPa).

Δ = inclinação da curva de pressão de vapor versus temperatura do ar (kPa. °C⁻¹).

γ = constante psicrométrica (kPa. °C⁻¹).

r_a = resistência aerodinâmica à transferência de calor da superfície da folha para a atmosfera (dia.m^{-1}).

r_s = resistência à difusão do vapor do interior dos estômatos para o ar (dia.m^{-1}).

O uso de modelos matemáticos, como o de Penman-Monteith, para estimativa prática e direta da ETc tem ainda encontrado obstáculos (Jensen et al., 1990), em razão, principalmente, das dificuldades de obtenção das resistências aerodinâmica e estomática. Experimentalmente, a ETc pode ser obtida por diferentes métodos, sendo os mais estudados, para a mangueira, o do balanço hídrico em lisímetros ou em parcelas no campo e o da razão de Bowen (Silva, 2000). O uso desses métodos requer equipamentos, muitas vezes indisponíveis, limitando a obtenção experimental da ETc .

Portanto, a estimativa de ETc para fins de irrigação ainda requer um procedimento em duas etapas. Esse procedimento envolve a ET de uma cultura de referência ETo , como definida por Doorenbos & Pruitt (1977), e um fator de conversão conhecido como coeficiente de cultura Kc . No Brasil, tem-se adotado a grama-batatais (*Paspalum notatum*, L.) como cultura de referência (Reichardt, 1990). Assim, a ETc é dada por:

$$ETc = Kc \cdot ETo \quad (2)$$

em que:

ETo (mm.dia^{-1}) e Kc (decimal).

Assim, como a ETc , a ETo pode ser medida ou estimada. Para fins práticos de irrigação, estima-se a ETo . Isso pode ser feito por meio de equações, como a de Penman-Monteith (Equação 1), ou tanques de evaporação. Uma equação simples e que tem mostrado bons resultados é a de Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985), pois requer apenas a temperatura do ar como dado meteorológico. A equação é a seguinte:

$$ETo = 0,0023 \cdot Ra \cdot [Ta + 17,8] \cdot [TD]^{0,5} \quad (3)$$

em que:

Ra = radiação solar extraterrestre.

Ta = temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), sendo a média aritmética entre a temperatura máxima Tx e a temperatura mínima Tn do ar.

TD = diferença entre Tx e Tn , ou seja, TD é a amplitude térmica diária ($^{\circ}\text{C}$).

A unidade de ETo depende da unidade de Ra podendo ser mm.dia^{-1} .

A lâmina d'água evaporada num tanque, cuja superfície líquida está exposta à atmosfera, pode ser usada para estimativa da ETo . O tanque Classe A, desenvolvido pelo United States Weather Service – USWS –, tem tido grande aceitação mundial, em virtude, principalmente, da sua simplicidade de operação e do custo relativamente baixo.

Com o tanque Classe A, a ETo é determinada por intermédio de um fator de conversão denominado coeficiente do tanque Kp , como se segue:

$$ETo = Kp \cdot ECA \quad (4)$$

em que:

ETo (mm.dia^{-1}), Kp (decimal) e ECA = lâmina d'água evaporada do tanque (mm.dia^{-1}).

Valores tabelados de Kp (Tabela 1) foram apresentados por Doorenbos & Pruitt (1977) em função da velocidade do vento, da umidade relativa média do ar e do tipo e extensão da bordadura (área que envolve o tanque). O tamanho da bordadura é medido a partir do centro do tanque em sentido oposto à direção média predominante do vento.

Como se deduz da Tabela 1, Kp é sempre menor do que a unidade e, portanto, ETo será sempre menor que ECA.

Tabela 1. Valores de Kp em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que o tanque Classe A se encontra instalado.

		Exposição A					Exposição B		
		Tanque circundado por grama					Tanque circundado por solo nu		
		UR média (%)					UR média (%)		
Vento (km/dia)	Posição do Tanque R (m)*	Baixa <40	Média 40-70	Alta >70	Posição do Tanque R (m)*	Baixa <40	Média 40-70	Alta >70	
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85	
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80	
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75	
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70	
Moderado 175-425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80	
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70	
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65	
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60	
Forte 425-700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70	
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65	
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60	
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55	
Muito forte >700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65	
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55	
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50	
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45	

Fonte: Doorenbos & Pruitt, 1977.

A Equação 2 fornece uma definição para Kc, como sendo a razão entre ETc e ETo. A determinação de Kc é, portanto, resultado da obtenção da ETc e da ETo. Para uma determinada cultura, esses fatores incluem o estágio de desenvolvimento da planta, o teor de água no solo e as variáveis meteorológicas, como a radiação solar, a umidade relativa, a velocidade dos ventos e a temperatura do ar (Doorenbos & Kassam, 1984; Allen, 1992). Assim, os fatores que afetam a ETc e a ETo afetam também o Kc da cultura.

Os estudos sobre evapotranspiração da cultura da manga são escassos, tanto no Brasil como no mundo. Experimentos na África do Sul mostraram que o total anual de água exigida por uma cultura adulta (12 anos) foi de 1.197 mm, com demanda média variando de 2,2 mm.dia⁻¹ no inverno a 4,4 mm.dia⁻¹ no verão (Mostert & Wantenaar, 1994).

No Brasil, as pesquisas sobre evapotranspiração da mangueira são recentes e se limitam a poucas regiões produtoras. A mangueira no Semi-Árido do Nordeste brasileiro requer aproximadamente 1.370 mm de água por ano (Silva et al., 1996), ou seja, 13.700 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Lopes (1999) avaliou a ET de mangueiras de 6 anos de idade na região do Submédio São Francisco por meio do balanço de massa (balanço hídrico) e do balanço de energia (razão de Bowen). O estudo cobriu o período de julho a dezembro de 1998. Segundo o autor, o método da razão de Bowen subestimou a ET da cultura (3,4 mm.dia⁻¹ a 6,1 mm.dia⁻¹) em relação ao balanço hídrico (3,6 mm.dia⁻¹ a 10,1 mm.dia⁻¹).

Em Petrolina, PE, Silva (2000) empregou os métodos do balanço de energia e balanço hídrico no solo na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras cv. Tommy Atkins, espaçadas em 8 x 5 m e com 6 anos de idade. Para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o), foi utilizado o método de Penman-Monteith. As fases fenológicas durante o ciclo produtivo de 1999 foram: floração: 10 a 30/6; queda de frutos: 1/7 a 9/8; formação de frutos: 10/8 a 30/9; maturação: 1/10 a 9/11. Para esses períodos fenológicos, os valores médios de ETC foram, respectivamente, 3,5; 3,8; 4,5; 4,9 mm/dia pelo método do balanço de energia; e 2,3; 3,2; 4,0; 4,6 mm/dia pelo método do balanço hídrico.

No entanto, a evapotranspiração diária obtida pelo método do balanço de energia variou de 3,0 mm/dia, no início da floração, a 5,5 mm/dia durante a formação de frutos; decresceu para 3,7 mm/dia no início do estágio fenológico de maturação, em virtude do total pluviométrico registrado no período e, em seguida, apresentou tendência crescente acentuada, chegando a superar a taxa de 5,0 mm/dia no final desse estágio fenológico. O consumo total foi de 642,9 mm, com uma média diária de 4,3 mm.

Com relação ao balanço hídrico no solo, a evapotranspiração aumentou de 2,4 mm/dia (início da floração e ainda sem irrigação) para 7,9 mm/dia, no final da formação dos frutos, decrescendo em seguida para 3,5 mm/dia na maturação dos frutos. Durante o ciclo produtivo (início da floração à maturação), a ET_c totalizou 612,4 mm, com uma média de 4,1 mm/dia.

Os valores do coeficiente de cultura (K_c) obtidos para o pomar de mangueiras pelo método do balanço hídrico no solo, em função do número de dias após a floração (DAF), é apresentada na Fig. 1. A Equação 5, ajustada aos dados, permite a estimativa do K_c conhecendo-se DAF, como se segue:

$$K_c = 0,36 + 0,009 \cdot DAF - 4 \cdot 10^{-5} \cdot (DAF)^2 \quad r^2 = 0,79 \quad (5)$$

Com o método do balanço hídrico no solo, o K_c observado do pomar de mangueiras aumentou de 0,39, no estágio fenológico de floração, para 0,85, no meio do estágio fenológico de formação de frutos, quando a planta se encontrava em seu desenvolvimento vegetativo máximo, decrescendo em seguida, para atingir o valor de 0,58 durante a maturação de frutos. A média do coeficiente de cultura do pomar de mangueiras foi de 0,71.

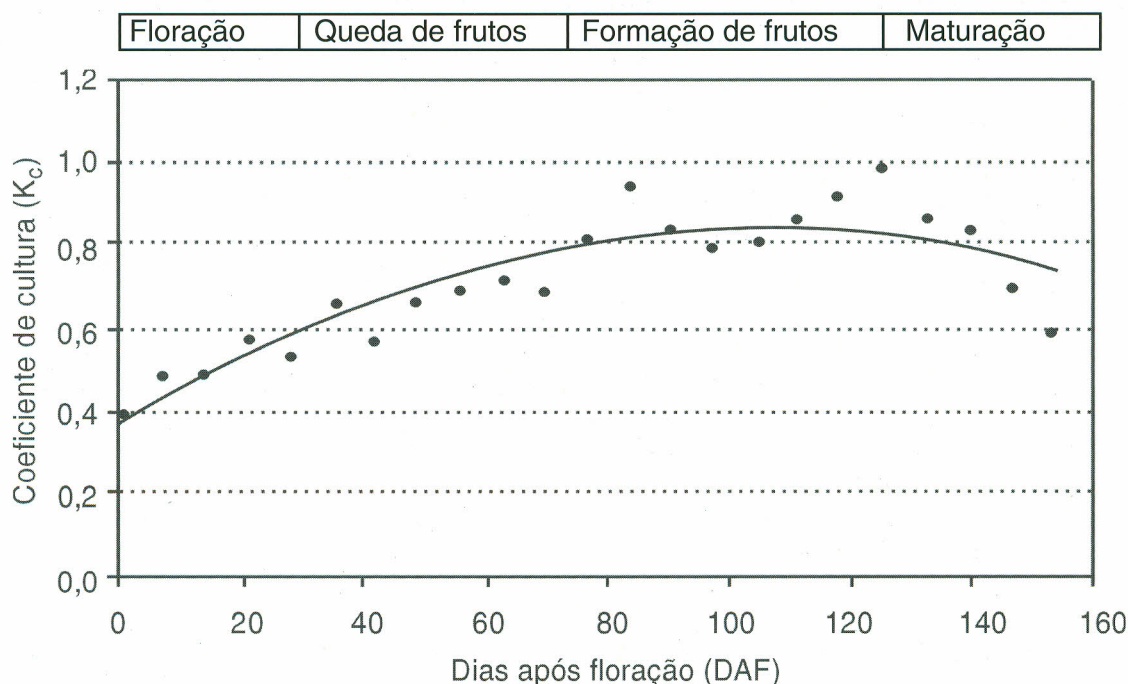


Fig. 1. Comportamento do coeficiente de cultura ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, cv. Tommy Atkins, em Petrolina, PE, obtido pelo método do balanço hídrico no solo, em 1999.

Fonte: Silva (2000).

Tolerância ao Déficit e ao Excesso de Água no Solo

A mangueira é uma planta capaz de tolerar a deficiência de água no solo por um período de até 8 meses. Essa habilidade em resistir a períodos prolongados de estresse hídrico tem sido verificada em diversos plantios sob diferentes condições edafoclimáticas, do clima subúmido ao semi-árido.

O excesso de água no solo, por sua vez, causa redução das atividades vegetativas da planta após 2 a 3 dias, quando os níveis de O_2 no solo caem de 20% para 5%. Entretanto, a deficiência de aeração do solo pode ser suportável por meses, uma vez que a manga é considerada moderadamente tolerante ao encharcamento do solo.

O efeito do encharcamento nas trocas gasosas na folha, no crescimento vegetativo e no desenvolvimento de lenticelas hipertrofiadas no tronco foi observado para a cultivar Tommy Atkins. O encharcamento causou redução da assimilação líquida de CO_2 e da condutância estomatal e aumentou a concentração subestomatal após 2 a 3 dias. Houve redução no crescimento de raízes. O desenvolvimento de lenticelas hipertrofiadas no tronco foi influenciado pela temperatura, sendo mais eficiente para temperaturas mais elevadas. Foi influenciado, também, pela concentração de oxigênio na água, sendo mais acentuado para mais baixas concentrações de O_2 na água. Dessa forma, concluiu-se que a cultura da manga mostra certa adaptação às condições de encharcamento do solo, mas não é completamente tolerante ao encharcamento (Larson et al., 1993).

Distribuição de Raízes sob Irrigação

Os padrões de distribuição do sistema radicular da manga ou de qualquer cultura são consequência das interações entre fatores genéticos inerentes à cultura e à disponibilidade de água e de nutrientes no solo (Clausnitzer & Hopmans, 1994). A distribuição de água no solo, por sua vez, depende principalmente do método e do sistema de irrigação em uso, que é responsável pela geometria de escoamento no meio poroso, do manejo da irrigação, do volume de água aplicado, das propriedades físicas do solo e de sua distribuição espacial e da atividade das raízes no solo.

A distribuição de raízes pela manga tem sido mais abordada em condições não-irrigadas que irrigadas. De certa forma, tem havido concordância entre os autores quanto à definição dos padrões de distribuição das raízes da cultura. A distribuição de raízes de três cultivares de manga (Haden, Kent e Diplomático) em solo arenoso e irrigado por gotejamento, avaliada por Medina (1983), mostrou maior densidade de raízes para a cultivar Haden na camada de 0,2 a 0,4 m. As cultivares Kent e Diplomático apresentaram maior densidade de raízes na camada de 0 a 0,2 m.

A avaliação do sistema radicular de mangueiras de 11 anos de idade na Venezuela mostrou que a região de maior concentração de raízes correspondeu àquela limitada pelo raio de 1,5 m a partir do tronco e pela profundidade entre 0,3 m e 0,5 m (Avilan Rovira et al., 1978). Em mangueiras de 8 anos de idade na região de Bangalore, na Índia, as raízes ativas se localizaram a distâncias radiais do tronco de 1,0 m a 1,5 m e até 0,6 m de profundidade a partir da superfície (Kotur et al., 1997).

Estudo sobre o sistema radicular da variedade Tommy Atkins, sob irrigação por aspersão subcopia em solo arenoso no Submédio São Francisco, indicou que 68% das raízes de absorção e 86% das de sustentação localizaram-se horizontalmente na faixa de 0,9 a 2,6 m, em relação ao caule, e verticalmente, na profundidade de até 1,0 m. Na distribuição vertical, 65% das raízes de absorção e 56% das de sustentação ocorreram na

profundidade do solo de 0 a 0,6 m. Os autores recomendaram a localização dos fertilizantes na faixa de 0,9 a 2,6 m de distância do caule, e o monitoramento da água do solo foi recomendado baseando-se na distância de 2,6 m do caule e nas profundidades de 0,3 a 0,6 m (Choudhury & Soares, 1992).

Na mesma região, a cv. Tommy Atkins, aos 6 anos de idade, plantada em espaçamento de 8 x 5 m em um Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, e irrigada por gotejamento com fila dupla de emissores, apresentou um sistema radicular atingindo a profundidade de 2 m. A Fig. 2 é a representação do comprimento das raízes a 0,20 m de distância do caule e ao longo de um perfil de 5 m, onde se pode observar a presença de raízes em praticamente todo o perfil, com maiores concentrações abaixo de 0,30 m de profundidade. Na Fig. 3, observa-se que as raízes atingem a distância de 2 m, com maior presença entre 0,3 e 0,9 m de profundidade e entre 0,3 e 1,6 m de distância do tronco.

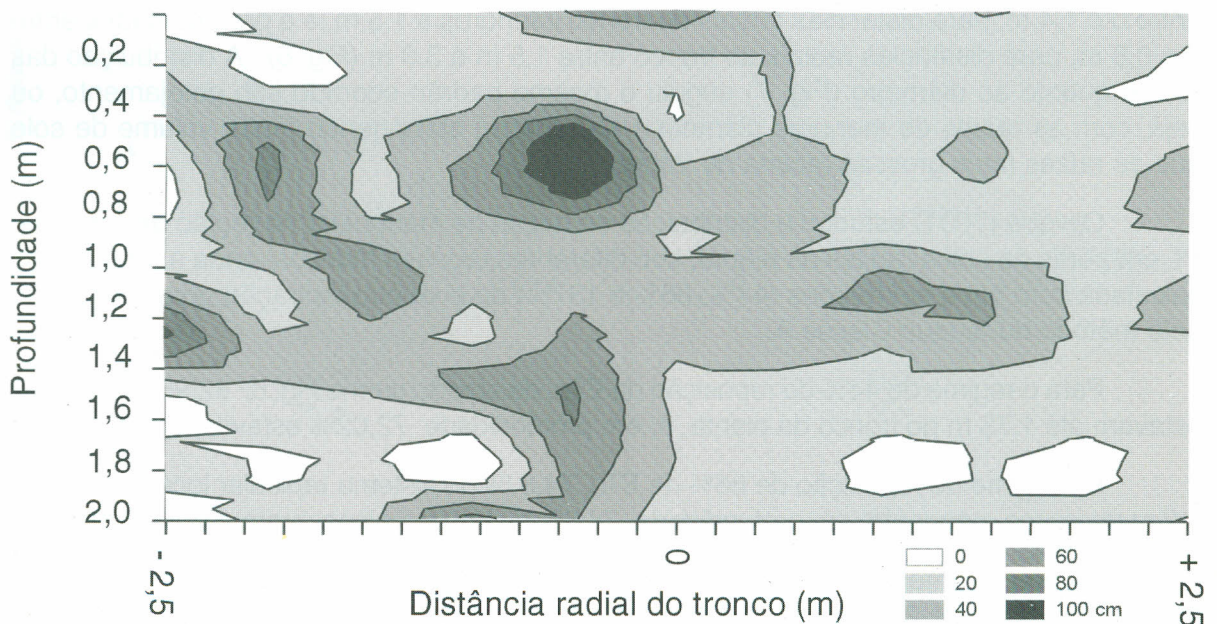


Fig. 2. Distribuição do comprimento de raízes no perfil de solo a 20 cm de distância longitudinal do tronco da cv. Tommy Atkins.

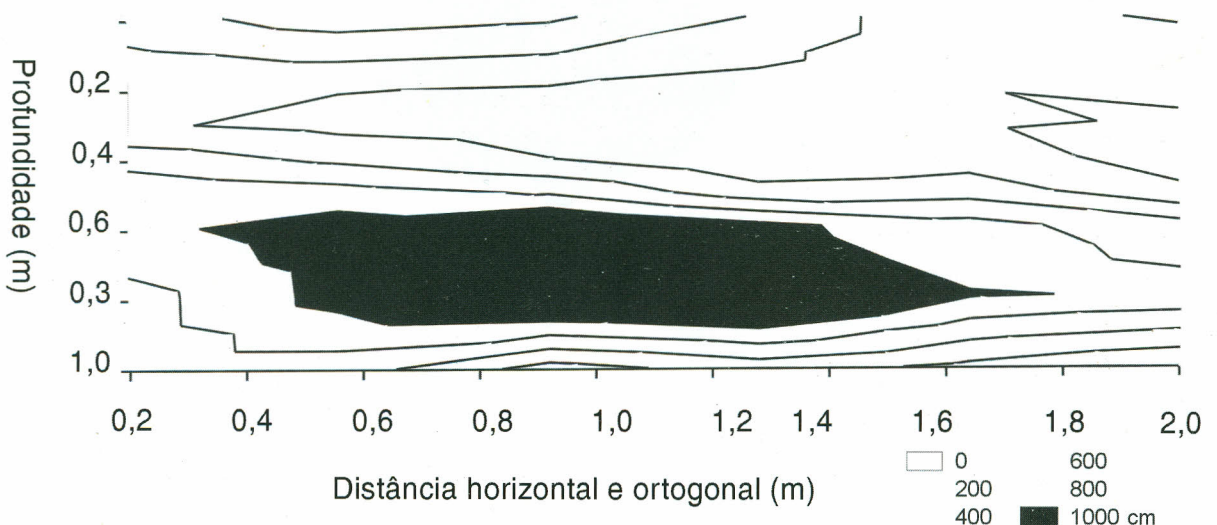


Fig. 3. Distribuição do comprimento das raízes ao longo dos perfis de solo na direção horizontal e ortogonal ao tronco da cv. Tommy Atkins.

Coelho et al. (2001) avaliaram a distribuição de raízes de mangueiras sob irrigação localizada (gotejamento e microaspersão) em solo arenoso de tabuleiros costeiros. Em geral, no sistema de gotejamento, a distribuição de raízes da planta limitou-se a uma distância horizontal de 3,5 m do tronco e a uma profundidade de 1,4 m. Os máximos valores de densidade de comprimento de raízes foram observados a profundidades de até 0,7 m e a distâncias horizontais médias do tronco de 2,1 m (Fig. 4). A distribuição das raízes no perfil ortogonal e longitudinal à direção das fileiras de plantas quanto ao diâmetro foi avaliada (Fig. 5), e as raízes de diâmetro entre 0,5 e 5 mm ocuparam todo o perfil limitado pela distância horizontal do tronco de 3 m até a profundidade de 1,4 m, embora as maiores porcentagens de raízes desses diâmetros tenham sido verificadas, principalmente, entre 1,0 e 2,0 m de distância do tronco e a profundidades entre 0 e 1,0 m. As raízes de maior diâmetro (acima de 5 mm) tenderam a se concentrar a menores distâncias horizontais do tronco.

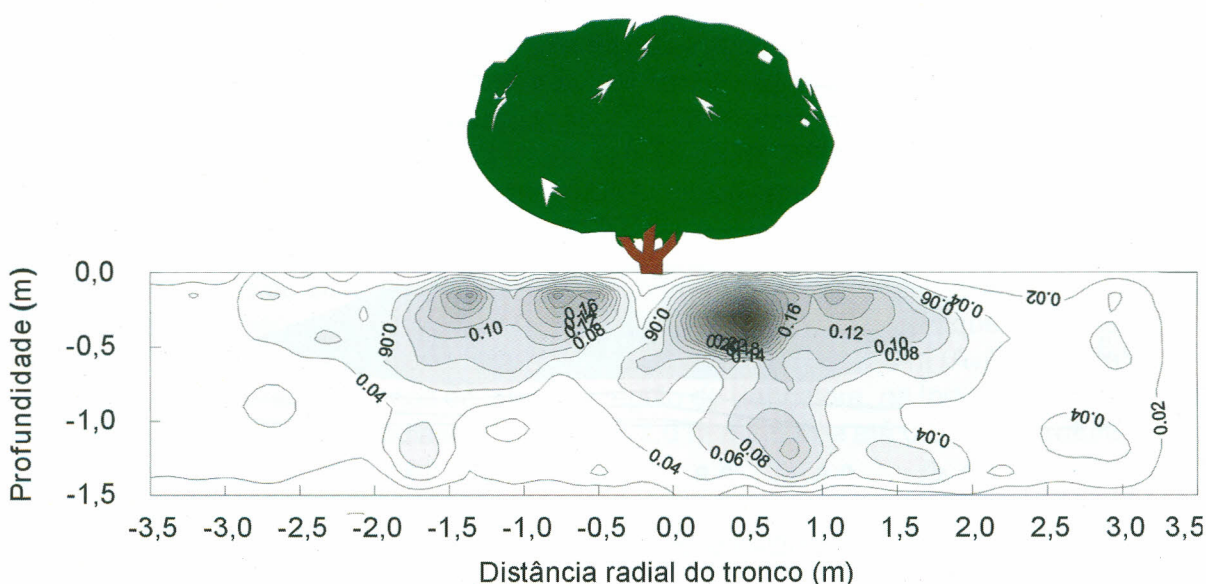
A distribuição das raízes, no caso da microaspersão, foi limitada pela distância de 3,0 m do tronco, onde as maiores densidades de comprimento ocorreram às profundidades entre 0 e 1,4 m, para distâncias radiais do tronco inferiores a 1,5 m, e a profundidades entre 0 e 0,6 m, para distâncias radiais do tronco entre 1,5 m e 3,0 m (Fig. 6). A distribuição das raízes quanto ao diâmetro (Fig. 7) seguiu o mesmo padrão ocorrido sob gotejamento, ou seja, com as raízes de menores diâmetros (0 a 2 mm) abrangendo maior volume de solo que as raízes mais grossas (acima de 2 mm).

Oliveira (2001) estudou a distribuição de raízes de mangueira na região de Teresina, PI, em perfis de solos radiais da planta, sob diferentes regimes hídricos, onde a irrigação foi calculada com base em frações (44%, 86% e 137%) da evapotranspiração potencial obtida pelo método do tanque Classe A.

Para o regime de 44% de reposição da ETo, de acordo com a Fig. 8, 82,9% das raízes estavam até 1,75 m do tronco da planta, e, em profundidade, 72,02% estavam até 0,8 m.

No regime de reposição de 86% da ETo, 74,8 % do sistema radicular localizou-se até 1,2 m do tronco, enquanto, em profundidade, 74,3% das raízes alcançaram até 0,8 m (Fig. 9).

O comportamento do sistema radicular para o regime de 137% de reposição da ETo apresentou cerca de 71,5% das raízes até 1,2 m do tronco da planta, na direção radial, e 75,8% em profundidade até 0,9 m (Fig. 10). Nesse regime, o sistema radicular ocupou uma maior área de solo, permitindo que houvesse uma maior exploração pelas raízes.



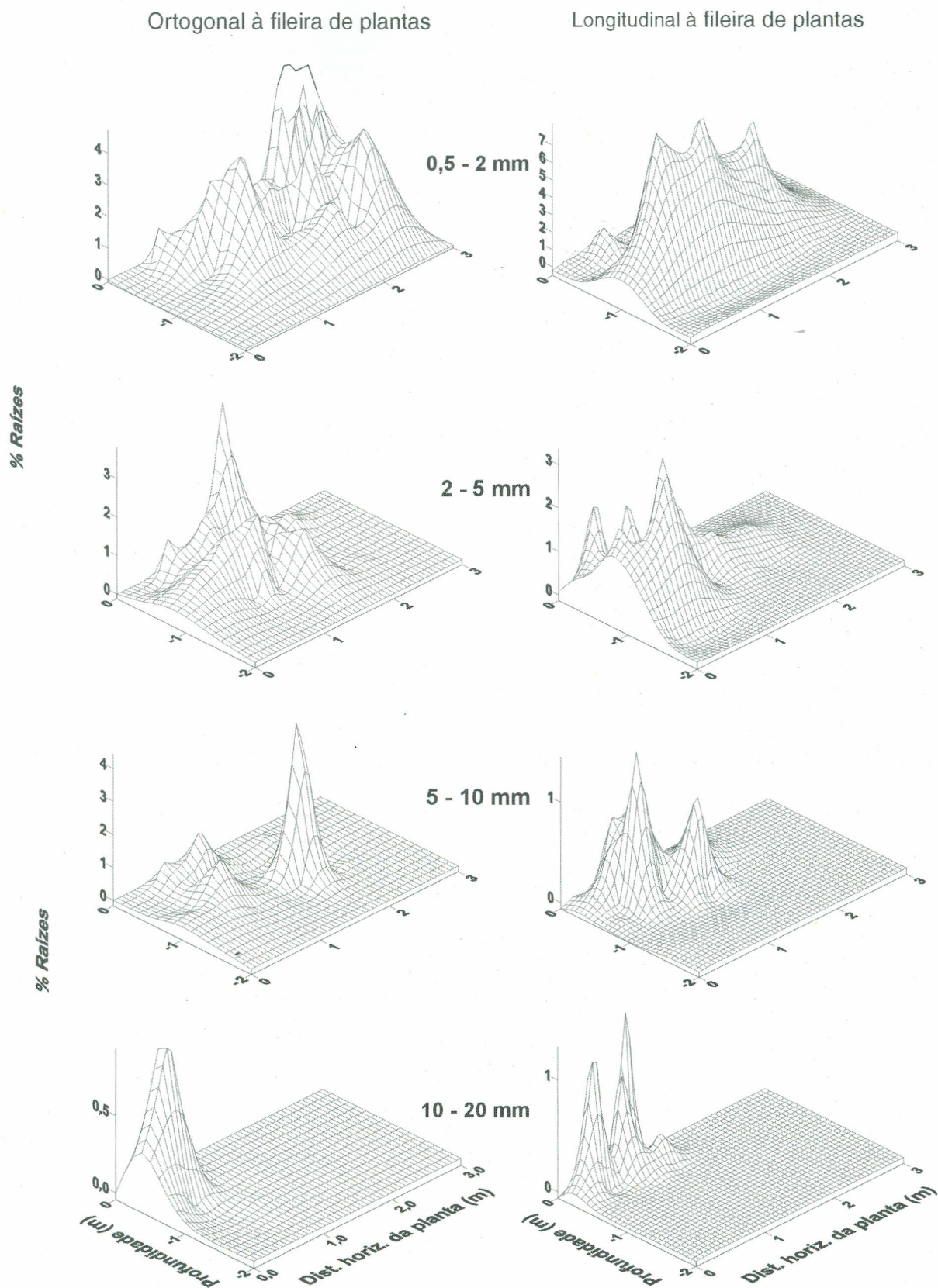


Fig. 5. Distribuição das raízes da manga 'Tommy Atkins' de acordo com o diâmetro das mesmas, no perfil de solo sob gotejamento.

Fonte: Coelho et al. (2001).

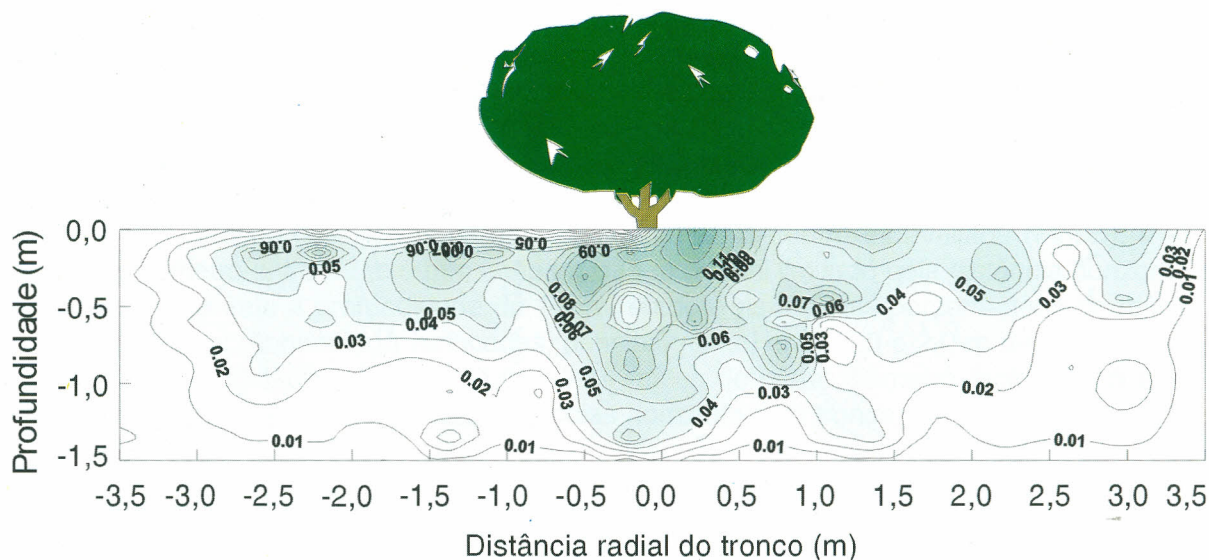


Fig. 6. Distribuição da densidade de comprimento de raízes (cm.cm-3) no perfil do solo sob microaspersão.

Fonte: Coelho et al. (2001).

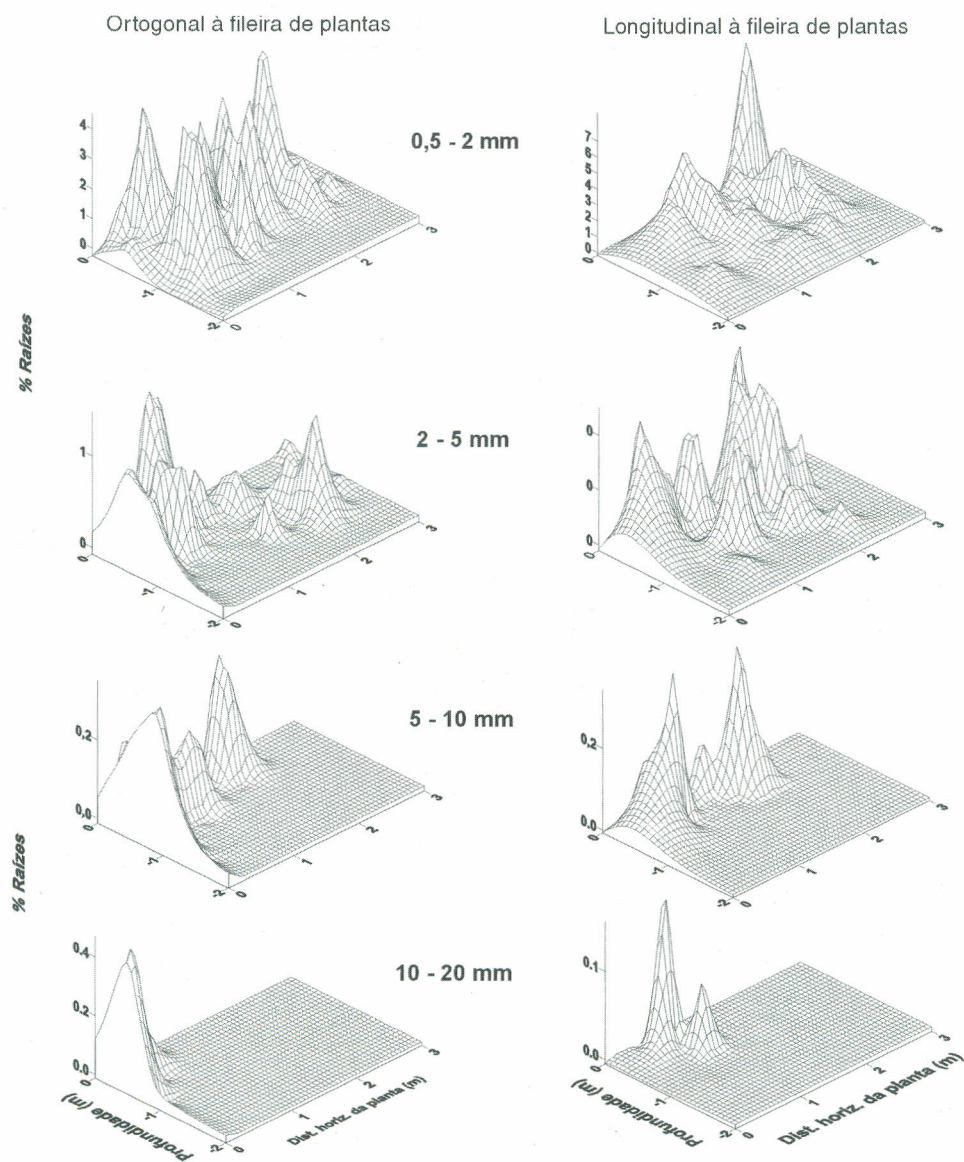


Fig. 7. Distribuição das raízes da manga 'Tommy Atkins' de acordo com os diâmetros das mesmas, no perfil do solo sob microaspersão.

Fonte: Coelho et al. (2001).

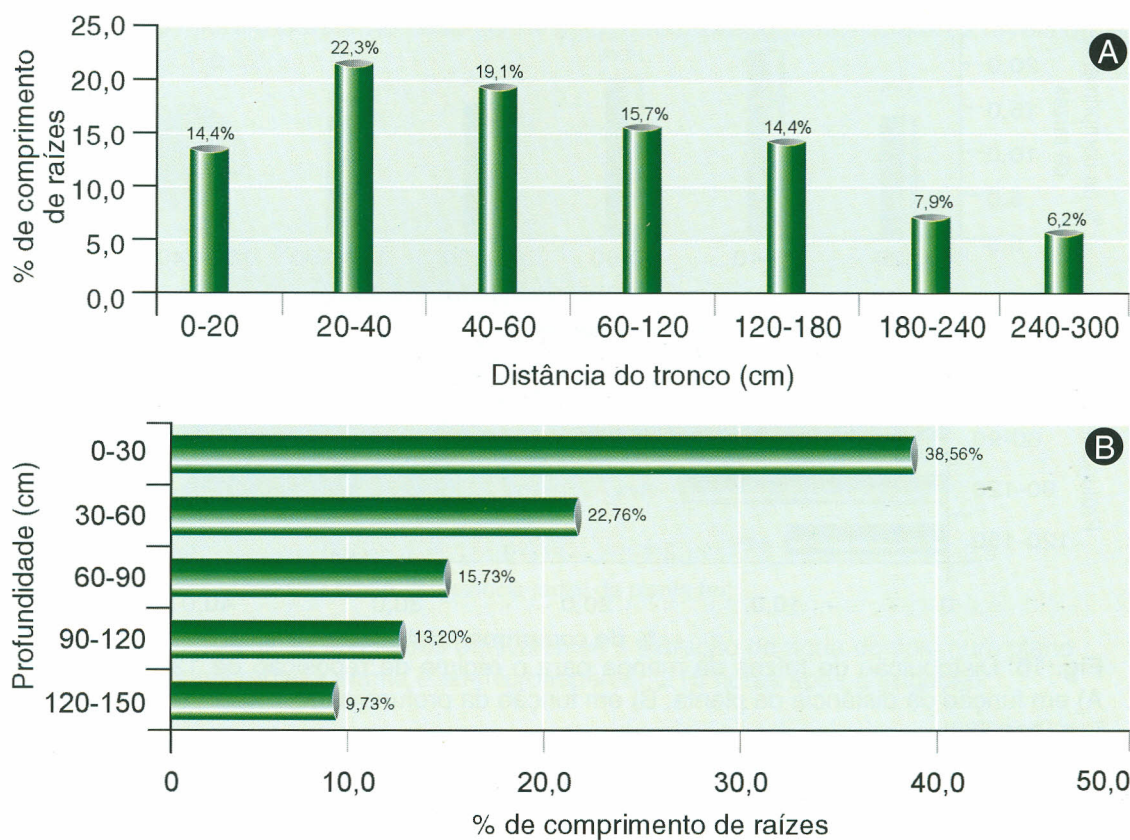


Fig. 8. Distribuição de raízes de manga para o regime de reposição de 44% da ETo: A) em função da distância da planta; B) em função da profundidade.

Fonte: Oliveira (2001).

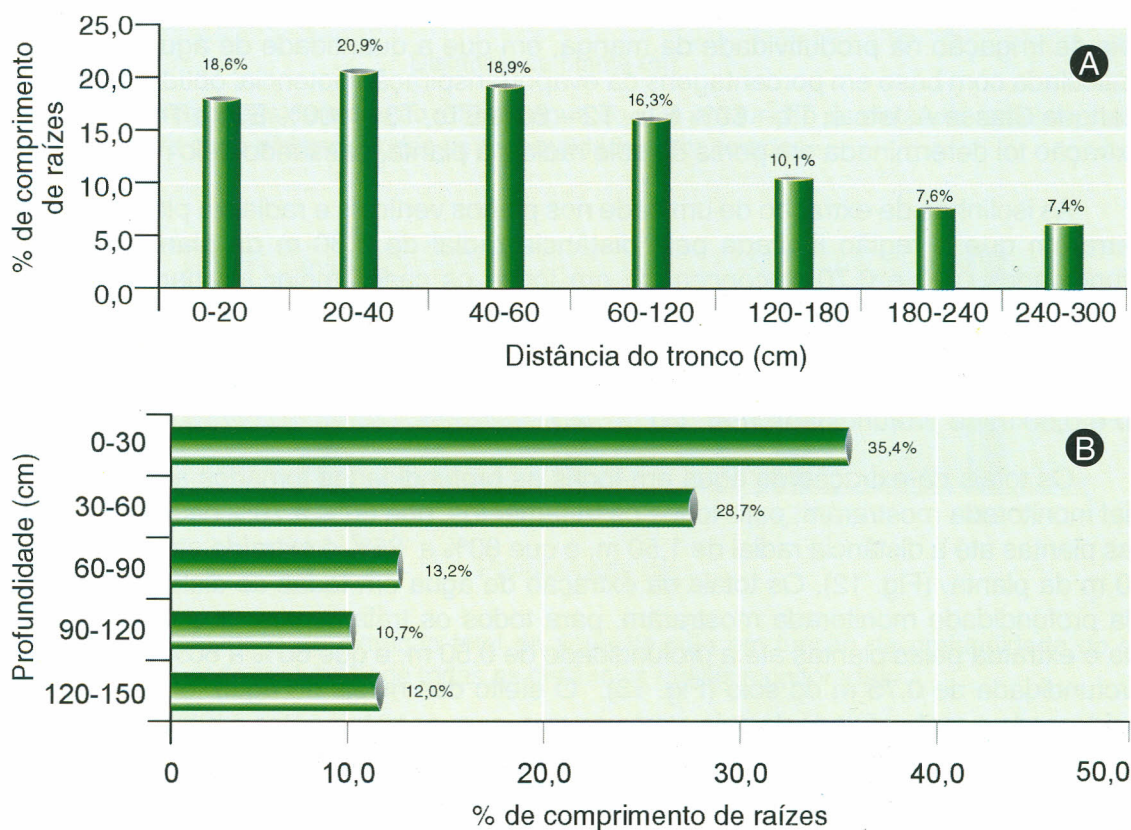


Fig. 9. Distribuição de raízes de manga para o regime de reposição de 86% da ETo: A) em função da distância da planta; B) em função da profundidade.

Fonte: Oliveira (2001).

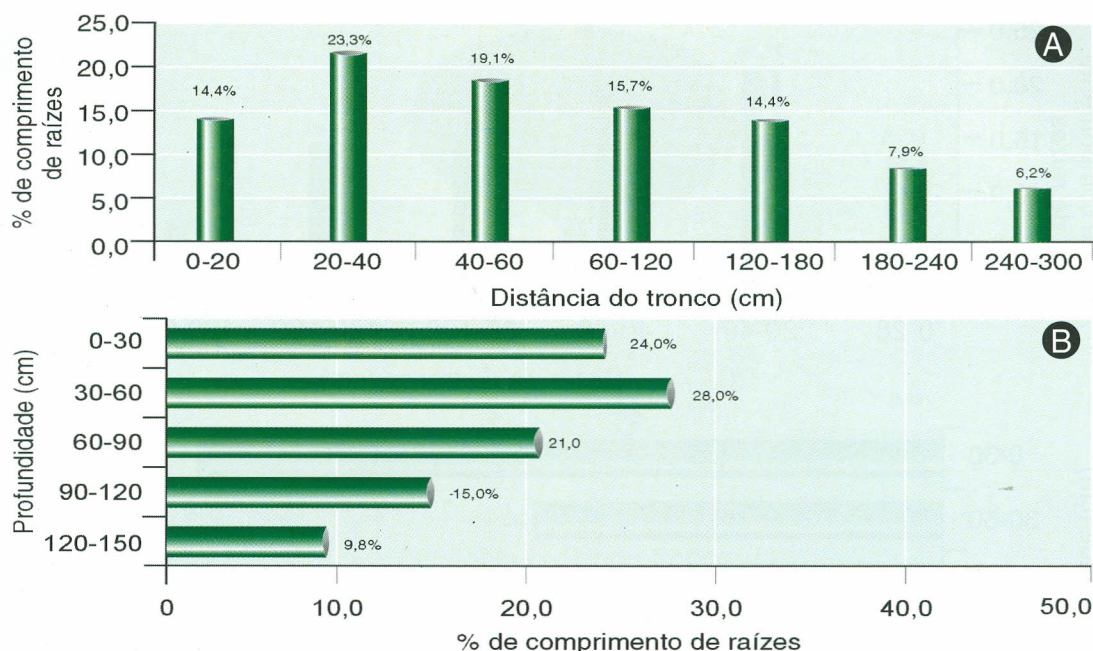


Fig. 10. Distribuição de raízes de manga para o regime de reposição de 137% da ETo: A) em função da distância da planta; B) em função da profundidade.

Fonte: Oliveira (2001).

Extração de Água pelo Sistema Radicular

A distribuição de água no volume molhado do solo resultante de irrigação por microaspersão foi avaliada por Coelho et al. (2001) para diferentes regimes de irrigação aplicados à manga cultivar Tommy Atkins, nas condições de Teresina, PI.

Durante o período de frutificação da cultura, foram utilizados quatro tratamentos de níveis de irrigação na produtividade da manga, em que a quantidade de água de irrigação foi calculada com base em porcentagens da evapotranspiração potencial obtida pelo método do tanque Classe A, isto é, T1 – 60% ETo, T2 – 80% ETo, T3 – 100% ETo e T4 – 137% ETo. A extração foi determinada em perfis do solo radiais à planta, passando pelo microaspersor.

As isolinhas de extração de umidade nos planos verticais e radiais à planta avaliados mostraram que a região limitada pela distância radial de 0,80 m da planta e entre as profundidades 0,20 e 0,70 m concentrou em todos os casos maior atividade do sistema radicular, sendo o centro da atividade localizado à distância de 0,50 m da planta. Outras posições de alta atividade do sistema radicular foram observadas entre 1,40 e 2,00 m de distância da planta, com maior atividade à distância de 1,50 m, na camada de solo entre 0,20 e 0,50 m de profundidade (Fig. 11).

Os totais da extração de água em todas as profundidades tomados a cada distância radial monitorada mostraram, para todos os tratamentos, que 60% a 70% da água é extraída pelas plantas até a distância radial de 1,50 m, e que 80% a 85% é extraída até a distância de 2,00 m da planta. (Fig. 12). Os totais da extração de água em todas as distâncias radiais a cada profundidade monitorada mostraram, para todos os tratamentos, que 40% a 50% da água é extraída pelas plantas até a profundidade de 0,50 m, e que 60% a 80% é extraída até a profundidade de 0,75 m do solo (Fig. 13). O efeito dos níveis de água foi mais aparente considerando a profundidade do solo, uma vez que, para os tratamentos em que a quantidade de água aplicada foi de 433 mm (T1) e 592 mm (T2), 80% da água extraída ocorreu até 0,75 m de profundidade, enquanto os tratamentos que receberam 766 mm (T3) e 867 mm (T4) retiveram 65% da água extraída até àquela profundidade, indicando maior profundidade das raízes e da extração de água. O mesmo ocorreu no sentido radial, isto é, os tratamentos T2 e T3 apresentaram maiores porcentagens do total extraído mais próximo do microaspersor que os tratamentos T4 e T5. Isso foi devido ao maior umedecimento do solo nas maiores distâncias

da planta ou do microaspersor no caso de T4 e T5, que representaram maiores níveis de água comparados a T1 e T2.

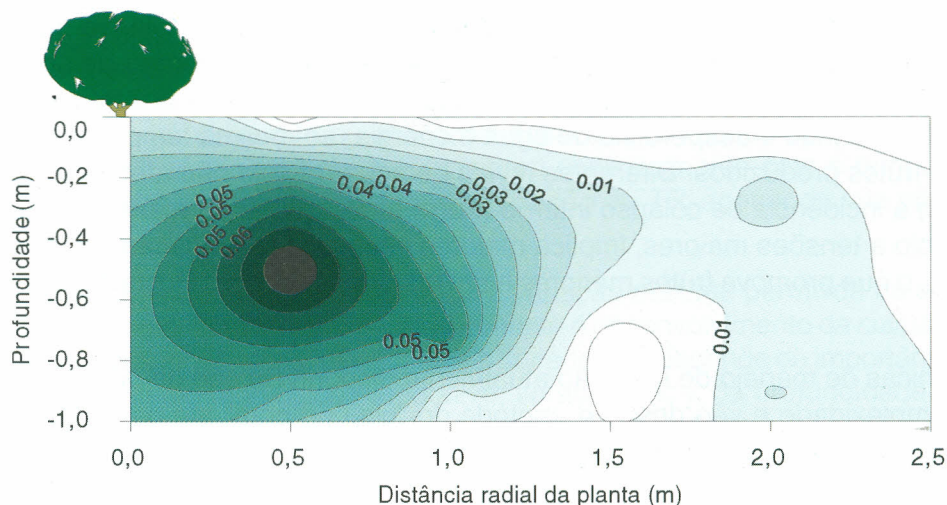


Fig. 11. Distribuição dos teores equivalentes à extração de água do solo num plano bidimensional radial à planta e ao microaspersor, 216 horas após a irrigação.

Fonte: Coelho et al. (2001).

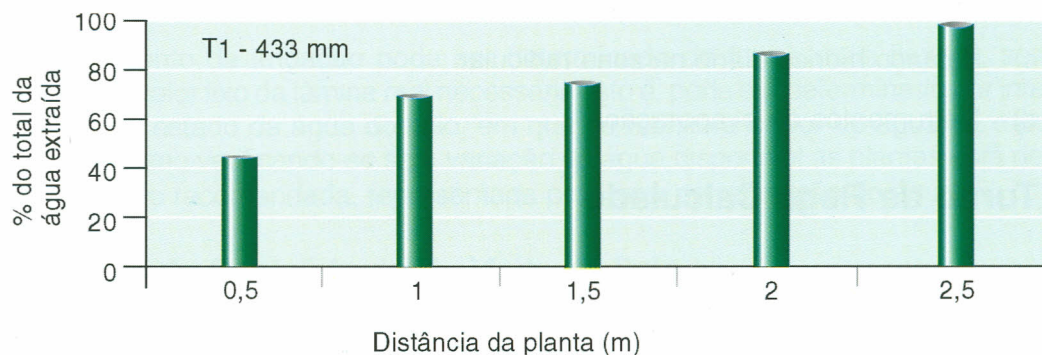


Fig. 12. Percentagens da extração total de água do solo em função da distância radial da planta, incluindo para cada distância todas as profundidades monitoradas.

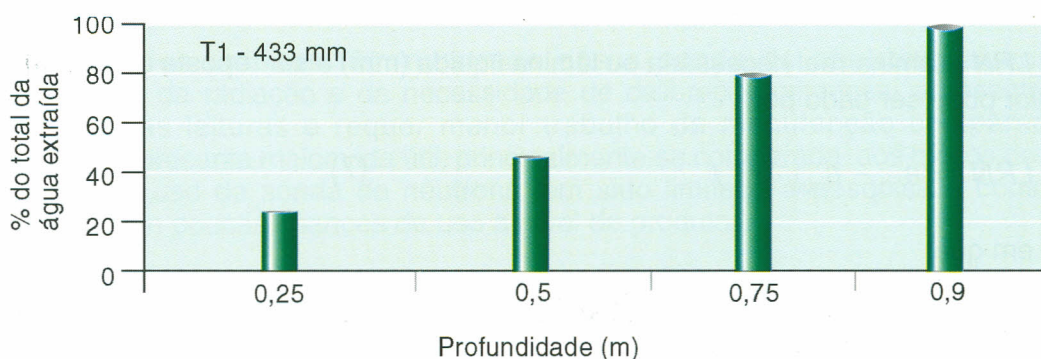


Fig. 13. Percentagens da extração total de água do solo em função da profundidade do solo, incluindo para cada profundidade todas as distâncias radiais monitoradas.

As camadas de solo mais profundas também podem contribuir para o processo de evapotranspiração da mangueira, em consequência da presença de raízes em grande profundidade (2 m). Silva et al. (2001) observaram que houve a ascensão de água de 1,2 e 1,4 m de profundidade durante a maturação dos frutos, quando ocorreu um grande consumo de água pela variedade Tommy Atkins, em um Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média, no Perímetro Irrigado de Bebedouro, em Petrolina, PE. A distribuição radicular da mangueira nessa área está apresentada nas Fig. 2 e 3.

Manejo da Irrigação

O manejo ou programação da irrigação envolve técnicas que auxiliam o mangicultor a definir o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar. O emprego de um ou mais métodos de manejo na propriedade é parte da agricultura moderna que busca garantir altas produtividades reduzindo o desperdício de água e energia, ao mesmo tempo melhorando a qualidade dos frutos produzidos. Diferentes níveis de água no solo não afetam a coloração dos frutos nem a incidência de colapso interno (Farre et al., 1995). O manejo da irrigação, mantendo o solo a tensões maiores, implica maiores intervalos de irrigação e maior déficit hídrico no solo, o que promove frutos menores e em maior quantidade (Mostert & Wantenaar, 1994).

As técnicas de manejo de irrigação atualmente disponíveis são de diferentes custos e graus de complexidade e vão desde o método do “bico da bota” até os aparelhos mais sofisticados, como a reflectometria no domínio do tempo (TDR).

A seguir, serão discutidos os métodos baseados em:

- Turno de rega calculado.
- Medidas do teor ou estado energético da água do solo.
- Balanço hídrico diário na zona radicular.
- Instrumentos de evaporação.

Turno de Rega Calculado

O turno de rega ou frequência de irrigação TR (dias) é dado pela razão entre a lâmina de irrigação real necessária e a ET_c (Equação 6), como se segue:

$$TR = \frac{LRN}{ET_c} \quad (6)$$

em que:

LRN = lâmina real necessária ou lâmina líquida (mm) a ser repostada a cada irrigação, cujo valor pode ser dado por:

$$LRN = (\theta_{cc} - \theta_{pm}) \cdot z \cdot f \quad (7)$$

em que:

θ_{cc} e θ_{pm} = correspondem ao teor de água no solo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente.

z = profundidade efetiva do sistema radicular (mm).

f = fator de reposição (decimal).

A diferença na Equação 7 ($\theta_{cc} - \theta_{pm}$) é conhecida como disponibilidade total de água no solo, ou seja, água entre a capacidade de campo (limite superior de disponibilidade) e o ponto de murcha permanente (limite inferior de disponibilidade). O limite superior de disponibilidade de água θ_{cc} corresponde ao potencial matricial -3 a -6 kPa para solos arenosos, -10 kPa para solos de textura média e -33 kPa para solos argilosos na curva de retenção de água do solo.

O TR na fase de elaboração do projeto de irrigação é calculado pela Equação 6, levando-se em conta o pico da ET_c dentro do ciclo da cultura. No entanto, para fins de manejo, usa-se um valor de ET_c a partir de um valor médio de ET_o para períodos, por exemplo, de 15 dias, 30 dias, ou mais, levando portanto a um TR fixo dentro do correspondente período. Deve-se lembrar, no entanto, que a fixação de TR dentro de um período quinzenal, mensal, anual ou durante todo o ciclo da cultura pode levar à aplicação excessiva de água em época de menor demanda ou aplicação deficitária em época de maior demanda. Isso ocorre porque z e especialmente a ET_c variam continuamente com o tempo. Portanto, o irrigante deve estar ciente das limitações da fixação do TR , apesar da sua praticidade para fins de manejo da irrigação.

O fator de reposição f corresponde à variação máxima permitida da disponibilidade total de água no solo, sem afetar significativamente o desenvolvimento da cultura em qualquer uma de suas fases fenológicas. O valor de f a ser adotado depende da importância econômica da cultura, do estágio fenológico (vegetativo, floração, etc.), da profundidade e distribuição das raízes e da sensibilidade ao estresse. Soares & Costa (1995) sugerem para a mangueira, como no caso de outras fruteiras, um valor de f igual a 50%. Azzouz et al. (1977) estudaram a produtividade de mangueiras para uma redução máxima de 33% durante o período crítico (floração à colheita) e 66% da disponibilidade total de água no restante do ano.

Medidas da Água no Solo

O momento da irrigação pode ser determinado de forma mais flexível, sem estar amarrado a um valor fixo da lâmina real necessária, isto é, pode ser determinado por intermédio de medidas do estado da água do solo, em que se monitora o teor de água ou o potencial matricial do mesmo verificando-se se a variação da água disponível às plantas está dentro da fração de manejo recomendada, representada pelo fator de reposição de água f .

Medida do Conteúdo de Umidade do Solo

O conteúdo de umidade do solo, para definição do momento de irrigar, pode ser obtido por métodos diretos e indiretos. O método gravimétrico, o TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), as sondas de capacitância e a sonda de nêutrons permitem a obtenção direta do teor de água no solo. Por sua vez, os blocos de resistência elétrica e o tensiômetro permitem a obtenção indireta da umidade do solo. No caso do tensiômetro, precisa-se da curva de retenção da água no solo.

Avaliações práticas têm mostrado que a sonda de nêutrons, apesar dos inconvenientes da radiação e da necessidade de calibração criteriosa, apresenta maior estabilidade nas leituras e requer menor trabalho de manutenção comparada aos tensiômetros; apresenta maior vida útil, principalmente se comparada aos blocos de gesso. No entanto, o uso da sonda de nêutrons tem sido limitado à pesquisa e consultores particulares, com poucas chances de uso a nível de produtor.

Assim, conhecendo-se a umidade atual do solo θ_a , através de qualquer um dos métodos acima, e comparando-a com a umidade crítica do solo para a cultura θ_c , decide-se irrigar quando $\theta_a \leq \theta_c$. Quando se dispõe de θ_a , o fator de reposição f torna-se desnecessário e LRN pode ser dado pela Equação 8 com um pequeno ajuste, ou seja:

$$LRN = (\theta_{cc} - \theta_a) \cdot z \quad (8)$$

em que:

θ_{cc} e θ_a estão em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ e z (mm).

Segundo a Equação 8, a máxima LRN admissível antes de se irrigar ocorre quando $\theta_a = \theta_c$, mas teoricamente nada impede que o mangicultor irrigue o pomar para valores de $\theta_a > \theta_c$.

Medida do Potencial Matricial da Água no Solo

Informação sobre o estado energético da água no solo pode auxiliar o mangicultor a decidir quando irrigar. Dos componentes do estado energético, o potencial matricial é o mais importante no manejo da irrigação. Nesse caso, utiliza-se o tensiômetro de mercúrio, o tensímetro ou o tensiômetro a vácuo, este também chamado de vacuômetro. Os tensiômetros de mercúrio são muito comuns e mais baratos. O tensímetro e o vacuômetro são práticos e precisos, porém de custo mais elevado.

O tensiômetro tem sido utilizado para o manejo de irrigação da mangueira. Ele indica o potencial matricial da água do solo Ψ_m (negativo) a uma dada profundidade em função do seu conteúdo de umidade. Portanto, se existe para a manga uma umidade crítica de irrigação θ_c , existe também um potencial matricial crítico Ψ_{mc} correspondente. Valores de Ψ_{mc} capazes de garantir adequado desenvolvimento e produtividade da cultura situam-se entre -15 e -25 kPa, em solos arenosos, e entre -30 e -60 kPa, em solos argilosos. Conhece-se θ_c a partir de Ψ_{mc} e vice-versa com o uso da curva de retenção de água no solo.

Neste momento cabe então a pergunta: quando o tensiômetro indica o momento de irrigar?

Uma vez conhecido o Ψ_{mc} da cultura em questão, procede-se à irrigação toda vez que a altura H da coluna de mercúrio, no caso do tensiômetro de mercúrio, for igual a um valor H_c previamente calculado. A expressão que fornece o valor de H_c é:

$$H_c = \frac{10,33 \cdot \Psi_{mc} + h_1 + h_2}{12,6} \quad (9)$$

em que:

H_c é expresso em cm.

h_1 = altura do nível de mercúrio na cuba em relação à superfície do solo (cm).

h_2 = profundidade de instalação do tensiômetro no solo (cm).

Na Equação 9, Ψ_{mc} deve ser um valor positivo e expresso em kPa. Assim, à medida que H se aproxima de H_c , em razão do secamento do solo, aproxima-se o momento de irrigar. Não se deve permitir que H ultrapasse o valor de H_c para proceder à irrigação.

O tensímetro permite leituras rápidas e seguras do potencial matricial da água do solo. Um mostrador digital é conectado a um pequeno cilindro-guia contendo uma agulha oca. Quando a agulha é inserida no "cap" de borracha que veda o tensiômetro na sua parte superior, a pressão negativa dentro do tensiômetro sensibiliza o sensor cujo valor em centibar ou milibar é mostrado no visor digital. Quando se usa o tensímetro ou o tensiômetro com manômetro metálico (vacuômetro), compara-se o valor de Ψ_m do visor digital ou do manômetro metálico com o valor crítico Ψ_{mc} da cultura e decide-se irrigar quando $\Psi_m \leq \Psi_{mc}$.

Um ponto importante a ser observado com relação aos sensores em geral é quanto à localização dos mesmos em relação às plantas e quanto às profundidades de leitura no perfil do solo. Como regra geral, deve-se instalar os sensores no centro de atividade do sistema radicular ou numa região do sistema radicular representativa do cenário geral de extração de água. As posições mais adequadas de instalação de sensores de água do solo para irrigação localizada (microaspersão e gotejamento) devem se situar entre 0 e 2 m do tronco e nas profundidades entre 0 e 0,6 m (Coelho et al., 2000). No caso da irrigação subcopia, recomenda-se a instalação dos sensores à distância da planta entre 0,9 e 2,6 m, e a profundidades iguais ou inferiores a 0,6 m (Soares & Costa, 1995).

O número de posições para instalação de tensiômetros depende da variabilidade espacial do solo, sendo necessária pelo menos uma bateria para cada mancha de solo da área. Stegman (1983) sugere 2 a 4 baterias para cada 65 ha. Cada bateria de tensiômetros deve ser composta de dois instrumentos, cujas profundidades de instalação variam conforme a profundidade do sistema radicular. Stegman (1983) recomenda que o mais profundo seja instalado a uma profundidade duas vezes maior que a do menos profundo, sendo o mais profundo o que determina o momento final da irrigação. Entretanto, esse procedimento pode implicar excesso de água de irrigação, se for considerado o processo de infiltração de água no solo.

Balanço de Água na Zona Radicular

Esse método baseia-se na contabilização diária da variação do armazenamento de água no solo (DA) até uma profundidade z , por meio do controle sobre a entrada e a saída de água. Os principais componentes de entrada no sistema são a precipitação efetiva, a irrigação e a ascensão capilar. A ascensão capilar ocorre quando o lençol freático está próximo do volume de solo sob controle. Os componentes de saída do balanço são a evapotranspiração, a percolação profunda e o escoamento superficial.

Para fins de manejo da irrigação de um pomar de mangueiras, o balanço hídrico num volume de solo controlado pode ser escrito como se segue:

$$D_i = D_{i-1} + ETc + Dr - I - Pe \quad (10)$$

em que:

D_i = déficit atual de água no perfil do solo na profundidade z até o dia i (mm).

D_{i-1} = déficit de água no perfil do solo até o dia anterior ($i-1$).

ETc = evapotranspiração da cultura (mm).

Dr = drenagem (mm) além da profundidade z .

I = lâmina líquida de irrigação (mm).

Pe = precipitação efetiva (mm). Precipitação efetiva é a fração da precipitação total P que contribui para atender as necessidades hídricas das plantas.

O objetivo do balanço é acompanhar diariamente a variação do conteúdo de umidade do solo, partindo por exemplo do solo na capacidade de campo. Portanto, D_i é a lâmina acumulada até o dia i , pois soma-se à lâmina acumulada até o dia anterior o que se extraiu (ETc e Dr) e o que se acrescentou ao perfil do solo (I e Pe). Como o balanço é diário, todos os componentes da equação devem também ser diários, ou seja, o mangicultor deve ter à mão os valores diários de ETc , Dr , I , e Pe .

Assim, com base na Equação 10, decide-se irrigar de acordo com as seguintes condições:

- 1) Se $D_i \geq LRN$, então irrigar.
- 2) Se $D_i < LRN$, então não irrigar.

em que:

LRN é dado pela Equação 7 ou 8 e representa o déficit máximo permissível na zona radicular. Se a irrigação não ocorre no momento certo, D_i vai se tornando maior que LRN e

as plantas passarão a sofrer deficiência hídrica com todas as consequências ao crescimento, desenvolvimento e produção de frutos.

Na Equação 10, I representa genericamente qualquer lâmina de irrigação que poderá ser aplicada antes que D_i se torne igual ou maior que LRN (condição 1). Nesse caso, I será igual ao D_i acumulado até aquele dia. A lâmina genérica I e a lâmina limite LRN visam elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Na Equação 10, ETc e Dr têm sinais positivos, pois esses componentes do balanço hídrico contribuem para o déficit de água no solo. Os componentes I e Pe acrescentam água e portanto são negativos, pois reduzem o déficit.

A drenagem profunda ocorre e, na maioria das vezes, não se tem controle sobre esse componente. Para fins práticos, no entanto, considera-se desprezível a drenagem da água após uma irrigação, pois entende-se que a lâmina de irrigação é suficiente unicamente para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. Após uma chuva (P), num dia i qualquer, usa-se o seguinte critério:

$$3) \text{ Se } P > D_i, \text{ então } Pe = D_i \text{ e } Dr = P - D_i$$

$$4) \text{ Se } P \leq D_i, \text{ então } Pe = P \text{ e } Dr = 0.$$

Na Equação 10 do balanço hídrico não aparece a contribuição da ascensão capilar e do escoamento superficial. Esses dois componentes podem ser desprezados na prática. A importância do escoamento superficial aumenta com a intensidade da chuva, tipo de solo, grau de cobertura do solo e declividade da área. Para áreas relativamente planas e chuvas de baixa a média intensidade, o escoamento superficial pode ser considerado desprezível.

O método do balanço hídrico pode ser empregado independentemente do método de irrigação usado para irrigar o pomar. No caso da microirrigação, Keller & Bliesner (1990) sugerem um fator de correção envolvendo os componentes ETc e Pe da Equação 10, conforme a Equação 11:

$$U = 0,1 \cdot (PS)^{0,5} \cdot (ETc - Pe) \quad (11)$$

em que:

PS = porcentagem de área sombreada, tomada como sendo a razão entre a projeção da copa da árvore no chão ao meio-dia e a área ocupada pela planta.

Instrumentos de Evaporação

Entre os instrumentos de evaporação usados em manejo da irrigação, destaca-se o tanque Classe A. O tanque é prático e de fácil aplicação, podendo portanto ser usado para definir o momento da irrigação, como alternativa para outros métodos.

De posse da lâmina d'água evaporada e acumulada ECA_i até o dia i , e do déficit de água permissível na zona radicular LRN , decide-se quando irrigar de acordo com as seguintes condições:

$$1) \text{ Se } ECA_i \geq LRN, \text{ então irrigar.}$$

$$2) \text{ Se } ECA_i < LRN, \text{ então não-irrigar.}$$

Nesse método, não se considera nem a ETc da cultura nem a drenagem Dr , pois não se constitui num balanço como aquele preconizado pela Equação 10. Por sua vez, a Pe não é desprezada, uma vez que a lâmina evaporada no tanque ECA já inclui o efeito da chuva na variação do nível d'água no tanque.

O uso do tanque Classe A para manejo da irrigação, como sugerido anteriormente, em geral leva à aplicação de uma lâmina maior que a necessária. Isso porque, sob as mesmas condições meteorológicas, a quantidade de água evaporada a partir de uma superfície livre é maior que a evapotranspirada. Assim, muitos autores em estudos de campo procuram estabelecer uma relação direta entre ECA e ET_c por intermédio de um fator de conversão K , como se segue:

$$ET_c = K \cdot ECA \quad (12)$$

em que:

todos os componentes já foram definidos anteriormente. A Equação 12 representa uma outra maneira de se usar o tanque Classe A para fins de manejo da irrigação. O coeficiente K deve ser determinado experimentalmente para as condições locais. Ele substitui os valores do coeficiente do tanque K_p e os valores de coeficiente de cultura K_c . Pode-se estimá-lo para cada fase fenológica da mangueira utilizando-se os valores de K_p da Tabela 1 e os valores de K_c determinados por Silva (2000). O uso de um valor constante durante todo o ciclo produtivo pode levar ao excesso ou déficit de irrigação em determinadas fases.

Nos métodos de manejo considerados, a LRN não inclui as perdas inevitáveis de água inerentes a todo sistema de irrigação. Determina-se então a lâmina total necessária, como se segue:

$$LTN = \frac{LRN}{Ea} \quad (13)$$

em que:

LTN = lâmina total necessária ou lâmina bruta de irrigação a ser aplicada (mm).

Ea = eficiência de aplicação (decimal) do sistema de irrigação usado para irrigar o pomar.

Em caso de microirrigação (gotejamento e microaspersão), pode-se substituir Ea pela uniformidade de emissão de água UE na Equação 13.

Na Equação 13, LTN também deve incluir uma fração extra de água para controle da salinidade. A importância da lixiviação dos sais aumenta das regiões úmidas para as regiões semi-áridas e áridas, onde a evaporação é maior que a precipitação. A necessidade de lixiviação é maior quando se usa o método de irrigação localizada em relação aos métodos por superfície e por aspersão. Isso se deve basicamente a duas razões: maior eficiência de aplicação de água para os sistemas de irrigação localizada (percolação profunda é menor); maior tendência de os sais se concentrarem na zona radicular quando se irriga por métodos localizados.

Em microirrigação, a necessidade de lixiviação NL , segundo Keller & Bliesner (1990), pode ser dada por:

$$NL = \frac{CEi}{2 \cdot (maxCEe)} \quad (14)$$

em que:

NL (decimal).

CEi = condutividade elétrica da água de irrigação (dS/m).

$maxCEe$ = condutividade elétrica máxima (dS/m) do extrato de saturação do solo que reduziria a zero a produtividade da cultura.

Assim, dependendo do valor de NL, deve-se acrescentar ao denominador da Equação 13 a diferença $(1 - NL)$ que adiciona lâmina d'água extra para controle da salinidade. Portanto, se $NL \leq 0,10$, então LTN não é corrigido, mas se $NL > 0,10$, então LTN é corrigido. Na Equação 14, CEi pode ser obtido em laboratório ou no campo usando-se um condutivímetro.

Além dos quatro métodos discutidos, medidas relacionadas diretamente à planta para determinar o estado da água, tais como condutância difusiva da folha, potencial de água da planta e temperatura da planta, têm sido avaliadas como instrumentos para manejo da irrigação. Dessas alternativas, a medida do potencial de água da planta por meio da bomba de Scholander ou pelo uso do psicrômetro de folha tem sido a mais empregada.

Os potenciais de água da mangueira sem deficiência hídrica situam-se acima de -1.200 kPa. Em folhas maduras, a perda de turgor ocorre para potencial de -1.750 kPa, e valores próximos a -3.200 kPa indicam necessidade de reposição de água (Schaffer et al., 1994). As medidas com base no estado de água da planta não têm sido usadas pelo produtor em razão do custo dos aparelhos envolvidos e da variabilidade temporal e espacial a que estão sujeitas.

Referências

- ALLEN, R.G. **Irrigation engineering**: course lecture notes. Logan, Utah: Department of Agricultural Engineering, Utah State University, 1992. 297 p.
- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. FAO-24 reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 117, n. 5, p. 758-773, 1991.
- AVILÁN, L. Variaciones de los niveles de nitrogeno, fosforo, potasio y calcio en las hojas de mango (*Mangifera indica* Linn.) atraves de un ciclo de produccion. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 21, n. 1, p. 3-10, 1971.
- AVILAN ROVIRA, L.; CHAURAN, O.; FIGUEROA, M. **Evaluacion del estado nutricional del mango (*Mangifera indica* L.) y el aguacate (*Persea americana* Mill) y distribucion radicular del mango cultivado en los suelos de las mesas orientales de Venezuela**. Venezuela: [s.n.], 1978. 18 p.
- AZZOUZ, S.; EL-NOKRASHY, M. A.; DAHSHAN, I. M. Effect of frequency of irrigation on tree production and fruit quality of mango. **Agricultural Research Review**, v. 55, n. 3, p. 59-66, 1977.
- CHOUDHURY, E. N.; SOARES, J. M. Comportamento do sistema radicular de fruteiras irrigadas. I. Mangueira em solo arenoso sob irrigação por aspersão sobcopa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 14, n. 3, p. 169-176, 1992.
- CLAUSNITZER, V.; HOPMANS, J. W. Simultaneous modeling of transient three-dimensional root growth and soil water flow. **Plant Soil**, v. 164, p. 299-314, 1994.
- CODEVASF (Brasília, DF). **Cadastro frutícola do Vale do São Francisco**. Brasília, 1999. CD-ROM.
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, F. C.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCONCELOS, L. F. L.; LIMA, D. M. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, ago. 2001.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. **Crop water requirements**. Rome, Italy: United Nations, 1977. (FAO Irrigation and Drainage. Paper, 24).
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. Sousa, F. A. V. Damasceno, J. F. Medeiros. Campina Grande: UFPB, 1984. 306 p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33)

- FARRE, J. M.; HERMOSO, J. M.; SCHAFFER, B. Mulching and irrigation effects on growth, cropping and fruit quality of the mango cv. Sensation. **Acta-Horticulturae**, n. 341, p. 295-302, 1995.
- FREVERT, D. K.; HILL, R. W.; BRAATEN, B. C. Estimation of FAO evapotranspiration coefficients. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 109, n. 2, p. 265-270, 1983.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Estimating potential evapotranspiration. Technical note. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.108, p. 225-230, 1985.
- JENSEN, M. E.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York, NY: ASCE, 1990. 332 p. (ASCE. Manuals and Reports on Engineering Practice, 70).
- KELLER, J.; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- KOTUR, S. C.; IYENGAR, B. R.; SHIVANANDA, T. N. Distribution of root activity in young 'Alphonso' mango (*Mangifera indica*) trees as influenced by season and growth. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 67, n. 3, p. 113-116, 1997.
- LARSON, K. D.; SCHAFFER, B.; DAVIES, F. S.; SCHAFFER, B. Physiological, morphological and growth responses of mango trees to flooding. **Acta-Horticulturae**, n. 341, p. 152-159, 1993.
- LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da mangueira na região do Submédio São Francisco**. 1999. 104 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB, 1999.
- MEDINA, U. V.M. Distribution of roots of native mango trees *Mangifera indica* L. grafted with three different cultivars. **Agricultura Tecnica on Mexico**, v. 9, n. 2, p. 165-178, 1983.
- MOSTERT, P. G.; WANTENAAR, L. Water needs and irrigation of mature mango trees. **Yearbook South-African -Mango Growers' Association**, v. 14, p. 21-23, 1994.
- NUNEZ-ELISEA, E.; DAVENPORT, T. L. Flowering of mango trees in containers as influenced by seasonal temperature and water stress. **Scientia Horticulturae**, v. 58, p. 57-66, 1994.
- OLIVEIRA, F. das C. **Uso e manejo da água na produção de manga sob condições subúmidas no estado do Piauí**. 2001. 99 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Agronomia, Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2001.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. [São Paulo]: Manole, 1990. 250 p.
- SCHAFFER, B.; WHILEY, A. W.; CRANE, J. H. Mango In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P. (Ed.). **Handbook of enviromental physiology of fruit crops**. USA: Lybrary of Congress, 1994. p. 165-198.
- SILVA, E. M.; PINTO, A. C. Q.; AZEVEDO, J. A. **Manejo da irrigação e fertirrigação na cultura da mangueira**. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1996. 77 p. (Embrapa-CPAC. Documentos, 61).
- SILVA, V. P. R. **Estimativa das necessidades hídricas da mangueira**. 2000. 129 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.
- SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. C.; SOARES, J. M.; SILVA, J. A. M. Estimativa da evapotranspiração da mangueira com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 456-462, 2001.
- SOARES, J. M.; COSTA, F. F. Irrigação. In: EMBRAPA (Brasília, DF). **Informações técnicas sobre a cultura da manga no semi-árido brasileiro**. Brasília: Embrapa-SPI, 1995. p. 41-80.
- STEGMAN, E. C. Irrigation water management. In: JENSEN, M. E. (Ed.). **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1983. p. 763-816. (ASAE. Monograph, 3).