

## Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia<sup>(1)</sup>

Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>(2)</sup>, José Antonio Frizzone<sup>(3)</sup>, Edson Alves Bastos<sup>(4)</sup>, Milton José Cardoso<sup>(5)</sup> e Braz Henrique Nunes Rodrigues<sup>(4)</sup>

Resumo – O trabalho teve como objetivo determinar estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia (*Citrullus lanatus* Thumb. Mansf.), considerando a água como fator limitante da produção e diferentes valores para o preço do produto e custos da energia elétrica. Utilizou-se uma função de produção quadrática e função de custo linear obtidas para as condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí. A irrigação com déficit proporcionou as maiores rendas líquidas, com significativa economia de água, no intervalo de variação de preços do produto de US\$ 0,05 kg<sup>-1</sup> a US\$ 0,35 kg<sup>-1</sup>, nas três formas de tarifação da energia elétrica. Acima desse intervalo, deve-se utilizar a lâmina que maximiza a produção de frutos.

Termos para indexação: *Citrullus lanatus*, níveis de irrigação, consumo hídrico.

### Optimal irrigation strategies for watermelon crop

Abstract – This paper aimed to determine optimal strategies for irrigation management watermelon crop (*Citrullus lanatus* Thumb. Mansf.), when water is limiting resource under different values of the crop and electrical energy price. The analysis involved quadratic production function and linear cost function developed to the soil and climate characteristics of the Coastal Tablelands, at Piauí State, Brazil. The highest net incomes were achieved with deficit irrigation, in the range crop prices of the US\$ 0.05 kg<sup>-1</sup> to US\$ 0.35 kg<sup>-1</sup>, independently of electrical energy price. Up this range, irrigation depth that maximizes fruits yield must be used.

Index terms: *Citrullus lanatus*, irrigation rates, water use.

### Introdução

A função de resposta da cultura à água constitui-se no elemento básico utilizado nos estudos econômicos relativos ao planejamento da irrigação, uma vez que a cultura apresenta comportamento produtivo diferenciado em razão da quantidade e frequência de irrigação durante o ciclo fenológico. A questão

é encontrar a solução ótima para determinada combinação insumo-produto, que maximiza a receita líquida sujeita às restrições de recursos pré-fixadas, em face da estrutura de preços vigentes e o nível de tecnologia adotado no sistema de produção.

Na definição das estratégias ótimas de irrigação, com base na análise econômica de funções de produção, duas situações podem ser consideradas: a) a disponibilidade de terra como único fator limitante da produção – e neste caso, a água pode ser adquirida e aplicada a um custo unitário constante; a regra de otimização agroeconômica preconiza que a lâmina aplicada deva maximizar a receita líquida por unidade de área; b) a disponibilidade de água como único fator que limita a produção. Nesta condição, a quantidade de terra é relativamente abundante e não-limitante. O objetivo da otimização é atingir a máxima receita líquida por unidade de volume de água, deixando alguma área sem irrigar (Frizzone, 1993).

<sup>(1)</sup> Aceito para publicação em 5 de abril de 2000.

<sup>(2)</sup> Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte (CPAMN), Caixa Postal 1, CEP 64006-220 Teresina, PI. Bolsista do CNPq. E-mail: aderson@cpamn.embrapa.br, asandrad@carpa.ciaagri.usp.br

<sup>(3)</sup> ESALQ, Dep. de Engenharia Rural, Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba, SP. E-mail: frizzone@carpa.ciaagri.usp.br

<sup>(4)</sup> Embrapa-CPAMN, UEP de Parnaíba, Caixa Postal 341, CEP 64200-970 Parnaíba, PI. E-mail: eabastos@cpamn.embrapa.br, braz@cpamn.embrapa.br

<sup>(5)</sup> Embrapa-CPAMN. E-mail: milton@cpamn.embrapa.br

Nas regiões áridas e semi-áridas, a limitação da água deve ser particularmente considerada no planejamento da irrigação, uma vez que é necessário a otimização dos recursos hídricos disponíveis visando à maximização da receita líquida por unidade de volume de água aplicado.

Quando a água constitui fator limitante à produção agrícola, a utilização de irrigação com déficit permite maior retorno econômico do que a irrigação completa (English, 1990). A definição de um intervalo de manejo de irrigação a partir de uma função de produção conhecida permite a utilização racional da irrigação com déficit.

O trabalho teve como objetivo determinar estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia (*Citrullus lanatus* Thumb. Mansf.), considerando a água como fator limitante da produção e diferentes valores para o preço do produto e custos da energia elétrica.

### Material e Métodos

A função de produção para a cultura da melancia, foi obtida por Andrade Júnior et al. (1997) nas condições edafoclimáticas da região dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, a partir de um experimento de níveis de irrigação baseado na evaporação de um tanque Classe A, realizado no campo experimental da Embrapa-Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, em Parnaíba, PI, cujas coordenadas geográficas são: latitude 3°5' S, longitude 41°47' W e altitude de 46,8 m. A função da produção utilizada tem a seguinte forma geral:

$$Y(W) = 3.137 + 228,614W - 0,32089W^2, R^2 = 0,96 \quad (1)$$

em que:

$Y(W)$  = produção de frutos comerciais (frutos com peso  $\geq 6$  kg) ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

$W$  = lâmina de irrigação (mm).

Os custos de investimento e custos variáveis associados à irrigação abrangem os dispêndios relacionados com energia, mão-de-obra, lubrificação, depreciação e manutenção dos equipamentos e da infra-estrutura utilizados na operação do sistema. Entretanto, no presente estudo, considerou-se apenas o custo relacionado com a energia elétrica, uma vez que apresenta a maior participação na composição dos custos variáveis das culturas agrícolas irrigadas (Brito & Scaloppi, 1986; Mattoso & Silva, 1989; Pizysieszni Filho et al., 1992; Mello, 1993).

O consumo médio de energia elétrica entre os produtores de melancia que utilizam sistema de irrigação por

gotejamento durante o ciclo de 70 dias da cultura foi estimado com base em informações obtidas com empresas de projeto e comercialização de equipamentos de irrigação em Teresina, PI. Considerou-se uma situação hipotética padrão para irrigação de uma área de 10 ha, subdividida em unidades de rega de 1 ha, com as seguintes características: a) vazão do gotejador, 3,75 L h<sup>-1</sup>; b) pressão de serviço, 20 m.c.a; c) espaçamento entre gotejadores, 0,5 m; d) diâmetro da linha lateral, 25 mm; e) comprimento da linha lateral, 100 m; f) número de linhas laterais/unidade de rega, 33; g) vazão da unidade de rega, 25 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>; h) comprimento da linha secundária, 100 m; i) diâmetro da linha secundária, 50 mm e 75 mm; j) comprimento da linha principal, 350 m; k) diâmetro da linha principal, 100 mm e 125 mm; l) altura manométrica total considerando o suprimento de água via poço tubular, 60 m.c.a (pressão de serviço do gotejador + perda de carga na linha lateral (0,6 m.c.a), secundária (4,8 m.c.a) e principal (4,7 m.c.a) + perdas no recalque (0,5 m.c.a) + altura geométrica entre o nível da água e a superfície do solo igual a 30 m); m) unidade de bombeamento, bomba submersa + motor elétrico trifásico de 15 CV/3500 rpm; n) lâmina líquida diária, 6,6 mm (466 mm ha<sup>-1</sup>, 4.660 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> no ciclo); o) lâmina bruta diária, 7,3 mm (eficiência de aplicação, 90%); p) tempo de irrigação/unidade de rega, 3 horas; q) número de unidades de rega em operação simultânea, 2; r) tempo de irrigação diário, 15 horas; s) consumo de energia do motor, 13,5 kwh (Bernardo, 1989); t) consumo de energia durante o ciclo, 14.175 kwh (aproximadamente 1.500 kwh ha<sup>-1</sup>).

O preço da água estimado em razão do preço do quilowatt-hora (kwh) de energia elétrica, segundo informações da Centrais Elétricas do Piauí, foi US\$ 0,08538, US\$ 0,04804 e US\$ 0,044984 por kwh nas tarifas normal, verde no horário de pico e verde fora do horário de pico, respectivamente. Dessa forma, os custos da água foram US\$ 0,2748 (mm ha<sup>-1</sup>); US\$ 0,1546 (mm ha<sup>-1</sup>) e US\$ 0,1448 (mm ha<sup>-1</sup>), adotando-se as tarifas normal, verde no horário de pico e verde fora do horário de pico, respectivamente, os quais foram calculados pela equação:

$$C_w = \left( \frac{CEE}{LL} \right) P_e \quad (2)$$

em que:

$C_w$  = custo da água de irrigação (US\$ (mm ha<sup>-1</sup>));

CEE = consumo de energia elétrica durante o ciclo da cultura (kwh ha<sup>-1</sup>);

LL = lâmina de irrigação total aplicada (mm);

$P_e$  = preço do quilowatt-hora de energia elétrica (US\$ kwh<sup>-1</sup>).

A função custo de produção foi considerada linear, e é expressa pela equação (3). Assumiu-se, como condição

simplificadora, que a soma dos custos fixos com os custos indiretamente dependentes da quantidade de água aplicada é constante conforme sugerido por Hart et al. (1980), English (1990), Frizzone et al. (1997) e Frizzone (1998).

$$C_t = C_0 + C_w W \quad (3)$$

em que:

$C_t$  = custo total de produção por unidade de área irrigada (US\$ ha<sup>-1</sup>);

$C_0$  = soma dos custos fixos com os custos indiretamente dependentes da irrigação (US\$ ha<sup>-1</sup>).

Conforme o sistema de produção preconizado por Andrade Júnior et al. (1998) para condições de solo arenoso e de baixa fertilidade natural, o custo médio de produção ( $C_0$ ), excetuando-se o custo da água de irrigação, foi US\$ 1.243,70 por hectare.

O cálculo das lâminas máxima ( $W_m$ ), ótima ( $W_o$ ) e equivalente ( $W_e$ ) foi realizado a partir das equações apresentadas em English (1990), que define como lâmina máxima a que proporciona a máxima produtividade fisiológica; lâmina ótima a que proporciona a máxima receita líquida por volume de água aplicado, para um dado preço do produto ( $P_i$ ) e um preço da água ( $C_w$ ), e lâmina equivalente a que proporciona uma receita líquida igual à lâmina máxima.

O cálculo da receita líquida foi efetuado pela expressão:

$$RL = \frac{P_i Y_{wi} - (C_0 + C_w W_i)}{10W_i} \quad (4)$$

em que:

RL = receita líquida obtida com a aplicação da lâmina  $W_i$  (US\$ m<sup>-3</sup>);

$P_i$  = preço do produto (US\$ kg<sup>-1</sup>);

$Y_{wi}$  = produção obtida com a aplicação da lâmina  $W_i$  (kg ha<sup>-1</sup>);

$W_i$  = lâmina de irrigação (mm).

Para a análise da influência da variação de preços na definição de estratégias ótimas de irrigação, considerou-se uma variação no preço do produto de US\$ 0,05 kg<sup>-1</sup> a US\$ 0,40 kg<sup>-1</sup> e o custo da água nas suas três formas de tarifação.

## Resultados e Discussão

Na condição de irrigação sem déficit hídrico, a produção máxima de frutos comerciais (43.855,3 kg ha<sup>-1</sup>) foi obtida com a aplicação da lâmina total de água de 356,2 mm (Figura 1). Essa lâ-

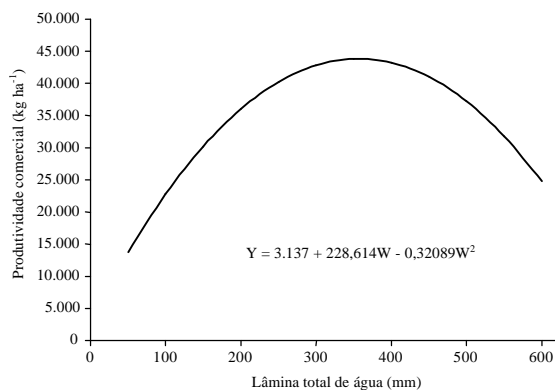
mina total de irrigação situa-se dentro da faixa considerada como ideal para a cultura (300 mm a 400 mm) (Doorenbos & Kassam, 1994).

Teoricamente, nas condições em que os dados foram obtidos, é possível haver uma produção de 3.137 kg ha<sup>-1</sup> de frutos comerciais sem o uso da irrigação. Entretanto, com base na experiência prática, tem-se constatado a impossibilidade de obter-se, nesse período do ano (setembro a novembro), tal produção, sem a utilização de irrigação. Esse valor é meramente oriundo da análise de regressão efetuada com os dados de produção de frutos comerciais versus lâminas de irrigação.

A lâmina ótima para manejo da irrigação depende do preço do produto (Figura 2). À medida que o preço do produto aumenta, as lâminas ótima ( $W_o$ ) e equivalente ( $W_e$ ) diminuem, aumentando o intervalo de manejo racional da água. Dessa forma, a economia de água com a aplicação de  $W_o$  ou  $W_e$  varia de acordo com o preço do produto. Comportamento semelhante foi verificado por Calheiros et al. (1996).

Para  $P_i \geq$  US\$ 0,40 kg<sup>-1</sup>, os valores de  $W_o$  e  $W_e$  aproximam-se de zero, inviabilizando a adoção do manejo econômico da irrigação. Neste caso, a estratégia ótima de irrigação consiste na aplicação da lâmina de irrigação visando à máxima produção de frutos, uma vez que o cultivo de melancia torna-se uma atividade de alto valor econômico, confirmando, assim, a proposição de Yaron & Bresler (1983).

Os valores das lâminas máxima, ótima e equivalente, correspondentes às estratégias de irrigação, e



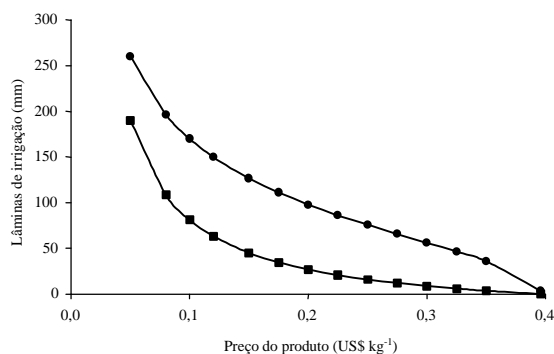
**Figura 1.** Produção comercial de frutos ( $Y$ ) de melancia em razão da lâmina de água ( $W$ ).

as respectivas receitas líquidas obtidas em razão das diferentes combinações de preço do produto e custo da água nas três formas de tarifação da energia elétrica (normal, verde no horário de pico e verde fora do horário de pico), são apresentadas na Tabela 1.

Os intervalos de manejo racional de água variaram de 356,2 mm a 3,6 mm em razão da oscilação do preço do produto. Os limites inferiores de cada intervalo representam a lâmina equivalente, enquanto os limites superiores correspondem à lâmina que maximiza a produção.

O preço médio mensal da melancia, no período de janeiro de 1994 a dezembro de 1998, no mercado atacadista de Teresina, fornecido pela Central de Abastecimento do Piauí S/A, variou de US\$ 0,10 a US\$ 0,30 por quilo. Dessa forma, considerando uma condição de preço médio do produto de US\$ 0,15 por quilo, o intervalo de manejo racional de água variou de 45,1 mm ( $W_e$ ) a 356,2 mm ( $W_m$ ). A lâmina ótima foi 126,7 mm, a qual proporcionou uma receita líquida de 2,18 US\$  $m^{-3}$  de água aplicada, com uma economia de água de 64,4% em relação à lâmina máxima. Nesse caso, o produtor poderá adotar a irrigação com déficit e aumentar a área irrigada com o volume de água que foi economizado. Essa estratégia é viável na faixa de variação de preços de US\$ 0,05  $kg^{-1}$  a US\$ 0,35  $kg^{-1}$  (Tabela 1).

Para baixo preço do produto (US\$ 0,05  $kg^{-1}$ ), a receita líquida obtida com a lâmina ótima (US\$ 0,28  $m^{-3}$ ) foi 16,7% superior à receita proporcionada com a aplicação da lâmina para produção



**Figura 2.** Lâminas de água ótima (●) e equivalente (■) em razão do preço do produto.

máxima (US\$ 0,24  $m^{-3}$ ). Por outro lado, para elevado preço do produto (US\$ 0,35  $kg^{-1}$ ), a receita líquida obtida com a lâmina ótima (US\$ 7,16  $m^{-3}$ ) superou em 82,2% a receita líquida alcançada com a aplicação da lâmina para máxima produção (US\$ 3,93  $m^{-3}$ ). Este comportamento indica que, dentro do intervalo de preços definido, à medida que o preço do produto aumenta, torna-se mais recomendável a adoção da irrigação com déficit. O preço do produto de US\$ 0,05  $kg^{-1}$  pode ser considerado como um valor mínimo na análise de decisão sobre a viabilidade econômica da irrigação.

**Tabela 1.** Estratégias de irrigação ( $W$ ) e respectivas receitas líquidas (US\$  $m^{-3}$ ) com as diferentes combinações de preço do produto ( $P_i$ ) e custo da água ( $C_w$ ) nas três formas de tarifação da energia elétrica.

$P_i$ (US\$ $kg^{-1}$ )	$W^{(1)}$ (mm)	$C_w$ [US\$ (mm ha) $^{-1}$ ]		
		0,2748	0,1546	0,1448
0,05	356,2	0,24	0,25	0,25
	260,3	0,28	0,29	0,29
	190,2	0,24	0,25	0,25
0,10	356,2	0,85	0,87	0,87
	170,2	1,17	1,18	1,18
	81,4	0,85	0,87	0,87
0,15	356,2	1,47	1,48	1,48
	126,7	2,18	2,19	2,19
	45,1	1,47	1,48	1,48
0,20	356,2	2,09	2,10	2,10
	98,0	3,29	3,30	3,30
	27,0	2,09	2,10	2,10
0,25	356,2	2,70	2,71	2,71
	75,7	4,47	4,49	4,49
	16,1	2,70	2,71	2,71
0,30	356,2	3,32	3,33	3,33
	56,1	5,75	5,76	5,76
	8,8	3,32	3,33	3,33
0,35	356,2	3,93	3,94	3,94
	36,0	7,16	7,18	7,18
	3,6	3,93	3,94	3,94
0,40	356,2	4,55	4,56	4,56

<sup>(1)</sup>Em cada valor de  $P_i$ , os valores de  $W$  correspondem às lâminas máxima, ótima e equivalente.

Apesar da redução média de 45,5% no custo da energia elétrica, pela utilização da tarifa verde, a adoção das lâminas para produção máxima, ótima e equivalente resultou em um pequeno incremento (0,25% a 4,0%) na receita líquida, comparado à utilização da tarifa normal, o que indica não ser vantajosa a utilização da tarifa verde dentro ou fora do horário de pico.

A definição de estratégias ótimas de irrigação é necessária no processo de planejamento e tomada de decisão em agricultura irrigada. No caso específico da cultura da melancia, a adoção da irrigação com déficit deve ser melhor analisada em cada situação, uma vez que a utilização de lâminas menores tende a reduzir o peso médio dos frutos, tornando-os não-aceitáveis no mercado consumidor. O ideal é conciliar a quantidade a ser produzida com a irrigação com déficit e o aspecto qualitativo dessa produção, tendo em vista as preferências do mercado consumidor a ser atingido.

### Conclusão

Independentemente do custo da energia elétrica, a utilização da irrigação com déficit é vantajosa no intervalo de variação de preços do produto de US\$ 0,05 kg<sup>-1</sup> a US\$ 0,35 kg<sup>-1</sup>; acima deste intervalo, deve-se utilizar a lâmina de irrigação que proporciona a máxima produção de frutos da cultura.

### Referências

- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade e qualidade de frutos de melancia em função de diferentes níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p. 43-46, 1997.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; DUARTE, R. L. R. **Cultura da melancia**. Brasília : Embrapa-SPI/Embrapa-CPAMN, 1998. 86 p. (Coleção Plantar, 34).
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa : Imprensa Universitária da UFV, 1989. p.137-268.
- BRITO, R. A. L.; SCALOPPI, E. J. Estimativa de custos da irrigação por aspersão no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., 1986, Brasília. **Anais...** Brasília : Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1986. v. 3, p. 879-898.
- CALHEIROS, C. B. M.; QUEIROZ, J. E.; FRIZZONE, J. A.; PESSOA, P. C. S. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 509-515, jul. 1996.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande : UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Irrigação e Drenagem, 33).
- ENGLISH, M. J. Deficit irrigation. I. Analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 116, n. 3, p. 339-412, 1990.
- FRIZZONE, J. A. Função de produção. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELLA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Ed.). **Manejo da irrigação**. Lavras : UFLA/Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p. 86-116.
- FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Piracicaba : ESALQ, 1993. 42 p. (Ler. Série Didática, 6).
- FRIZZONE, J. A.; COELHO, R. D.; DOURADO-NETO, D.; SOLIANI, R. Linear programming model to optimize the water resource use in irrigation projects: an application to the Senador Nilo Coelho Project. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, p. 136-148, 1997.
- HART, W. E.; NORUM, D. I.; PERI, G. Optimal seasonal irrigation application analysis. **American Society of Civil Engineers Irrigation and Drainage Division Journal**, Reston, v. 106, p. 221-235, 1980.
- MATTOSO, M. J.; SILVA, W. L. C. **Modelo para estimativa de custos de produção de culturas irrigadas**: caso do milho irrigado por pivô central. Parnaíba : Embrapa-CNPAP, 1989. 22 p. (Embrapa-CNPAP. Circular Técnica, 1).
- MELLO, J. F. **Custos da irrigação por aspersão em Minas Gerais**. Viçosa : UFV, 1993. 147 p. Dissertação de Mestrado.
- PIZYSIEZNIG FILHO, J.; GONZAGA, M. L.; SAAD, A. M. Rentabilidade e custos da agricultura irrigada na região de Guaíra, SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9., 1992, Natal. **Anais...** Fortaleza : Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1992. v. 2, p. 1875-1940.
- YARON, D.; BRESLER, E. Economics analysis of on-farm irrigation using response functions of crops. In: HILLEL, D. (Ed.). **Advances in irrigation**. New York : Academic, 1983. v. 2, p. 223-255.