

Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo

José Antônio Frizzone^{1*}, Clebio Santo Matioli², Roberto Rezende³ e Antônio Carlos Andrade Gonçalves³

¹Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil, ²Matioli Engenharia Agrícola, R. Padre Lopes, 444, Sala 133, 13416-080, Piracicaba, São Paulo, Brasil. ³Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Author for correspondence. e-mail: frizzone@carpa.ciagri.usp.br

RESUMO. Para usar a capacidade instalada das usinas de açúcar e álcool da região Norte do Estado de São Paulo, seus administradores recorrem ao arrendamento de terras distantes e, muitas vezes, de baixa fertilidade. O uso de técnicas que aumentam a produtividade da terra pode reduzir a necessidade desses arrendamentos, sendo a irrigação suplementar uma alternativa possível. Esse estudo, entretanto, avalia a economicidade da irrigação suplementar na cultura da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.* (Poaceae), na região. A árvore de decisão, um instrumento da análise de decisão, foi utilizada na avaliação dos valores esperados, associados a diferentes alternativas disponíveis para a escolha do tomador de decisão. Os resultados mostram que a irrigação suplementar aumenta os valores esperados por hectare de área cultivada. Os retornos líquidos esperados foram maiores quando se consideraram os benefícios indiretos (redução dos custos com arrendamento, plantio, tratamentos culturais e transporte de cana).

Palavras-chave: irrigação suplementar, cana-de-açúcar, viabilidade econômica.

ABSTRACT. Economic viability of supplementary irrigation in sugar cane plantations, *Saccharum spp.*, of northern state of São Paulo. Full plant capacity of sugar mills and alcohol distilleries of the northern region of the state of São Paulo, Brazil, is achieved by renting land from farmers far from the industrial plants and frequently with low soil fertility. Techniques that increase land productivity may lower the requirement for renting of these marginal areas and supplementary irrigation is one of the available alternatives. Research evaluates the worthiness of supplementary irrigation of sugar cane, *Saccharum spp.* (Poaceae), in the region. Dendrograms, an instrument of decision analysis, were used to evaluate the expected values of different alternatives faced by the decision maker. Results show that supplementary irrigation of sugar cane increases expected net return per hectare of cropped land. Expected net returns were higher when indirect benefits (lower costs in land rent, planting, cultivating and transport) were also taken into account.

Key words: supplementary irrigation, sugar cane, economic viability.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, *Saccharum spp.* (Poaceae), atingindo uma área total cultivada que ultrapassa 4,2 milhões de hectares, com uma produção anual da ordem de 287 milhões de toneladas (cana colhida); mais da metade desse total é cultivada no Estado de São Paulo, onde se sobressai a região Norte, representada pelas microregiões de Ribeirão Preto e Guaiá.

Praticamente, toda a cana produzida no Estado de São Paulo é cultivada em condições de sequeiro, isto é, sem o emprego da técnica de irrigação. A tradição do cultivo de cana de sequeiro é alicerçada no paradigma de que a irrigação de cana-de-açúcar é

economicamente inviável nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo.

Atualmente, nas principais regiões canavieiras paulistas, existe uma "saturação" de canaviais, que obriga as usinas e destilarias a contratarem arrendamentos de fazendas distantes, muitas vezes com solos de baixa fertilidade, para atender à capacidade de produção instalada e às ampliações industriais almeçadas. Esse novo panorama exige novas metodologias de análise de decisão, quanto à viabilidade da tecnologia de irrigação na cultura canavieira no Estado de São Paulo.

Rezende *et al.* (1999) consideram que o uso de um modelo analítico de decisão permite uma análise racional das possíveis ações e as conseqüências que poderão surgir no planejamento da atividade agrícola; com base em critérios pré-estabelecidos, permite definir a possibilidade de risco ou sucesso econômico dessa atividade, dependendo da decisão tomada a partir das informações disponíveis.

O objetivo deste trabalho foi estudar a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cultura da cana-de-açúcar (ciclo de cana soca) na região Norte do Estado de São Paulo.

Material e métodos

Os dados climatológicos utilizados para a elaboração dos balanços hídricos foram da Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), localizada no município de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo. Os dados decendiais de clima, referentes à chuva e à temperatura, consistiram de uma série de 30 anos (1961 a 1990). O solo considerado foi o Latossolo Roxo ácrico, que predomina nas lavouras canavieiras do Norte Paulista.

As deficiências hídricas das canas socas foram determinadas com o emprego do programa computacional desenvolvido por Dourado-Neto e van Lier (1991), que elabora o balanço hídrico, estimando a evapotranspiração de referência (ET_o), pelo método de Thornthwaite-Mather, e calcula a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m), considerando o coeficiente de cultura (K_c) e a capacidade de água disponível (CAD) variáveis, conforme os estádios de desenvolvimento da cultura. Os valores de K_c utilizados foram os divulgados pela FAO (Doorenbos e Kassan, 1979).

A irrigação suplementar preconizada consiste em suprir parcialmente as deficiências hídricas das soqueiras de cana-de-açúcar apenas no seu primeiro estágio de desenvolvimento (estabelecimento + vegetativo), porque esse é o estágio que proporciona as maiores quebras de produtividade, quando sujeito a deficiências hídricas.

Na aplicação do modelo de análise de decisão, a lâmina de irrigação suplementar foi definida para suprir cerca de 50% da maior deficiência hídrica mensal (58,9 mm), durante o 1^o estágio de desenvolvimento da cana soca, correspondente a uma lâmina mensal de até 30 mm. Com esse critério, busca-se uma racionalização da irrigação de cana, evitando os corriqueiros superdimensionamentos nos projetos e os conseqüentes exageros nos investimentos necessários, assim como nos custos operacionais da

irrigação plena, que visa ao suprimento total das deficiências hídricas da cultura.

A análise de decisão sobre a viabilidade técnica e econômica da irrigação suplementar de cana-de-açúcar foi elaborada com o emprego do método árvore de decisão (Hillier e Lieberman, 1974). O programa computacional utilizado para a modelagem e a solução do problema foi o ARBORIST, da Texas Instruments.

As árvores de decisão foram construídas para as socas de maio, julho, setembro e novembro, de modo a determinar a viabilidade da irrigação das socas de toda uma safra de cana. Para cada época de cana soca analisada, foram construídas duas árvores de decisão: uma considerando os benefícios diretos e a outra, os benefícios indiretos da irrigação suplementar (Matioli *et al.*, 1996). Aos ramos que partem dos nós de chance, foram associadas as probabilidades de as deficiências hídricas mensais serem maiores ou menores que a lâmina de irrigação máxima de 30 mm/mês. Os valores considerados nos nós finais da árvore de decisão consistem na determinação da receita líquida da irrigação. As equações utilizadas contemplam todos os fatores componentes dessa receita, aplicando-se a equação (1) para o caso da análise com os benefícios diretos, e a equação (2) para os benefícios indiretos mais o aumento da longevidade do canavial:

$$RLI_d = \left(\sum_{j=1}^J BAP_j \right) + BAL - CFI - \left(\sum_{j=1}^J COI_j \right) - \left(\sum_{j=1}^J PAI_j \right) \quad (1)$$

$$RLI_i = BAL + BRA + BRP + BTC + BRT - CFI - \left(\sum_{j=1}^J COI_j \right) - \left(\sum_{j=1}^J PAI_j \right) \quad (2)$$

em que:

- RLI_d: receita líquida da irrigação suplementar com os benefícios diretos (R\$/ha);
- RLI_i: receita líquida da irrigação suplementar com os benefícios indiretos (R\$/ha);
- BAP: benefício com o aumento da produtividade (R\$/ha);
- BAL: benefício com o aumento da longevidade das soqueiras (R\$/ha);
- BRA: benefício com a redução de custos pela dispensa de arrendamentos (R\$/ha);
- BRP: benefício com a redução dos custos de preparo de solo e plantio no arrendamento dispensado (R\$/ha);
- BTC: benefício com a redução de custos com tratamentos culturais no arrendamento dispensado (R\$/ha);
- BRT: benefício com a redução dos custos com transporte, se o arrendamento dispensado localizar-se mais distante da indústria que a área irrigada (R\$/ha);

- CFI: custo fixo da irrigação, com depreciação dos equipamentos e juros do capital investido (R\$/ha);
- COI: custo operacional da irrigação, com energia elétrica, combustível, mão-de-obra e manutenção (R\$/ha);
- PAI: preço da água para irrigação (R\$/ha);
- j: mês do 1º estágio da cana soca irrigada;
- J: 5 para as socas de maio e julho; 4 para as socas de setembro e novembro.

As probabilidades de as deficiências hídricas serem superiores ou inferiores à lâmina mensal de irrigação (LI) foram calculadas considerando-se os eventos independentes com base no teste de Pearson. Os resultados obtidos para as socas de maio, julho, setembro e novembro estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Probabilidades das deficiências hídricas mensais (DH), para o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca nos diferentes meses

Deficiências hídricas			
Cana soca de maio			
Mês	Média mensal de 30 anos (mm)	Probabilidade (%)	
		DH ≥ LI	DH < LI
Maio	13,1	3	97
Junho	15,0	10	90
Julho	24,8	36	64
Agosto	50,2	71	29
Setembro	58,9	61	39
Total	162,0	---	---
Cana soca de julho			
Julho	20,5	29	71
Agosto	32,2	58	42
Setembro	38,3	48	52
Outubro	21,1	32	68
Novembro	12,4	13	87
Total	124,5	---	---
Cana soca de setembro			
Setembro	22,6	36	64
Outubro	9,2	7	93
Novembro	5,9	0	100
Dezembro	4,3	3	97
Total	42,0	---	---
Cana soca de novembro			
Novembro	3,7	0	100
Dezembro	1,2	0	100
Janeiro	6,3	7	93
Fevereiro	14,3	10	90
Total	25,5	---	---

Os custos fixos e operacionais do sistema de aspersão, com autopropelido de longo alcance (AP), foram calculados com base nos resultados obtidos por Matioli e Barcelos (1994) e Matioli *et al.* (1998). De acordo com os autores, o investimento com o sistema de irrigação AP, projetado para fornecer uma lâmina de água de até 30 mm/mês, é R\$ 376,20/ha, correspondente a um custo fixo anual (CFI), com

depreciação dos equipamentos e juros do capital investido, de R\$ 73,19/ha.

A composição dos custos operacionais (COI) envolve os seguintes fatores: consumo de energia elétrica, consumo de combustível (óleo diesel), mão-de-obra, além de manutenção de obras e equipamentos. Matioli *et al.* (1998) determinaram que o custo operacional unitário do sistema AP é de R\$ 0,98/mm.ha.

O preço do uso da água (PUA) foi considerado zero, porque ainda não existem taxas governamentais definidas para a cobrança da água de irrigação.

Como benefícios diretos da irrigação suplementar, foram considerados:

- a) Benefício com o aumento da produtividade - para a determinação do aumento da produtividade agrícola (APE) proporcionado pela irrigação suplementar, empregaram-se as funções que relacionam produção e consumo de água, determinadas por Scardua (1985), ou seja:

$$Y = 0,0620 + 0,6610 \cdot x_1 + 0,2762 \cdot x_2 - 0,0306 \cdot x_3 \quad (3)$$

em que:

$$Y = (1 - Y_r/Y_m) \text{ estimado;}$$

$$x_1 = (1 - ETr/ETm) \text{ do 1º estágio;}$$

$$x_2 = (1 - ETr/ETm) \text{ do 2º estágio;}$$

$$x_3 = (1 - ETr/ETm) \text{ do 3º estágio.}$$

$$Y_m = - 15,5521 + 0,03886 \cdot a_1 + 0,00082 \cdot a_2 \quad (4)$$

em que:

$$Y_m = \text{produtividade máxima estimada, em (t/ha),}$$

$$a_1 = \text{total de graus-dia durante o ciclo da cana,}$$

$$a_2 = \text{total de radiação líquida no ciclo da cana, em (cal.cm}^{-2}\text{).}$$

A produtividade máxima da cana soca resultou em 114,9 t/ha e os aumentos esperados da produtividade agrícola (APE) com a irrigação suplementar, durante o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Aumento de produtividade esperado (APE) para cana soca irrigada no 1º estágio de desenvolvimento, de acordo com a função de produção de Scardua (1985)

Cana Soca	Produtividade esperada (t/ha)		Irrigação (mm/ano)	APE	
	Cana de sequeiro	Cana irrigada		(t/ha)	(t/mm.ha)
Maio	63,4	92,2	112,9	28,8	0,255
Julho	82,2	104,3	114,0	22,1	0,194
Setembro	94,4	104,2	42,0	9,8	0,233
Novembro	91,3	96,5	25,3	5,6	0,221

O preço da cana no campo (PCC) foi definido pela diferença entre o preço da cana na esteira e os custos de colheita (corte, carregamento e transporte). O preço da cana na esteira foi considerado R\$ 17,2043/t (preço oficial em abril/98). Como os custos da colheita tradicional, com corte manual, totalizam, em média, R\$ 6,50/t (Matioli *et al.*, 1998), o preço real da cana no campo resulta em R\$ 10,70/t.

- b) Benefício com o aumento da longevidade das socas - na aplicação do modelo de análise de decisão - considerou-se que a longevidade média da cana de sequeiro é de 5 cortes. O aumento da longevidade esperado para as soqueiras irrigadas (ALE) foi calculado com base num critério devidamente equacionado no modelo de análise de decisão, ou seja: para cada mês que a irrigação for executada com a lâmina mensal máxima LI (30 mm), considerou-se que haverá um aumento de longevidade de mais um corte. Para os meses em que a irrigação for inferior à lâmina mensal máxima LI (30 mm), não haverá aumento na longevidade do canavial, proporcionado pela irrigação.

Os benefícios indiretos da irrigação são aqueles advindos do aumento de produtividade agrícola, ou seja:

- a) Redução de custos com a dispensa de arrendamentos de áreas de cultivo de cana de sequeiro, considerando a produtividade média de 84,1 t/ha (Instituto de Desenvolvimento Agro-Industrial, 1997). O preço do arrendamento varia bastante nas diferentes regiões canavieiras paulistas, especialmente em função da distância da área até a indústria. Considerou-se como preço do arrendamento R\$ 320,00/ha, relativo a abril de 1998 na região de Ribeirão Preto-SP (equivalente a 18,6 t/ha para distância superior a 25 km). O preço da cana na esteira foi de R\$ 17,20/t;
- b) Redução de custos com o preparo de solo, plantio e tratos culturais na formação dos canaviais nos arrendamentos dispensados (R\$ 1.307,00/ha, Matioli *et al.*, 1998);
- c) Redução de custos com tratos culturais de soqueiras nos arrendamentos dispensados (R\$ 308,00/ha, Nunes Jr., 1996);
- d) Redução de custos com transporte, com o aumento da produtividade de áreas próximas à indústria (2 km ao custo de R\$ 0,98/t, Matioli *et al.*, 1998), e a conseqüente dispensa de arrendamentos distantes (25 km ao custo de R\$ 2,08/t, Matioli *et al.*, 1998).

A maximização do valor monetário esperado, utilizando as probabilidades condicionais, associadas à ocorrência de eventos independentes, tem significado especial na economia. De acordo com Friedman e Savage (1948), citados por Peres (1990), um indivíduo que tomasse decisões, com base apenas nesse critério de maximização, seria classificado como “neutro” em relação ao risco. No entanto, esse não é o comportamento esperado para os agricultores ou para qualquer tipo de empresário. Normalmente, os indivíduos são “aversos” ao risco.

A análise do risco de uma decisão é elaborada com o emprego da função utilidade. Para exemplificar a avaliação do grau de aversão ao risco de um tomador de decisões, entrevistou-se um diretor de produção agro-industrial de usina de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, onde é cultivada uma área de 20.000 ha com cana-de-açúcar.

Adotou-se o processo citado por Peres (1990), ou seja, primeiro, tomou-se o valor dos retornos extremos que ocorreram no modelo estudado. Atribuiu-se ao maior deles (\$MaV) o valor 1 (um) e, ao menor (\$MeV), o valor 0 (zero). Uma vez atribuídos os valores extremos da função, determinaram-se os valores de probabilidades correspondentes às receitas líquidas intermediárias, através da manifestação, pelo tomador de decisão, de qual valor de probabilidade (x%) faria com que ele manifestasse indiferença entre uma determinada receita líquida intermediária, recebida com certeza, e uma loteria que promettesse pagar \$MaV com x% de chance, ou \$MeV com 1-x% de chance. O valor escolhido (x%) é um ponto no espaço da curva de utilidade do indivíduo. Pontos adicionais da curva ou função utilidade foram conseguidos repetindo-se a pergunta, para outros valores de receitas líquidas intermediárias. A função utilidade do tomador de decisão foi ajustada por uma aproximação logarítmica, conforme ilustra a Figura 1, na qual U(RLI) representa a utilidade do tomador de decisão (valores entre 0 e 1) e RLI é a receita líquida esperada com a irrigação (R\$/ha);

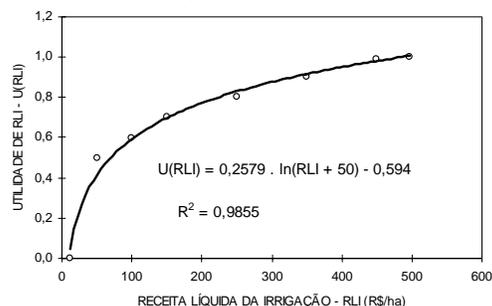


Figura 1. Função utilidade do Diretor entrevistado

Ressalta-se que essa função utilidade é válida apenas para o diretor entrevistado, na época da entrevista (maio/98). O mesmo, em outra ocasião, ou outros tomadores de decisões, poderão apresentar distintas aversões ao risco e, portanto, suas funções utilidade serão diferentes daquela representada na Figura 1.

Resultados e discussão

Os resultados de receitas líquidas esperados com a irrigação suplementar, obtidos com o modelo de decisão, encontram-se na Tabela 3. Verifica-se que a irrigação suplementar das canas socas de maio e julho, colhidas desde o início até meados da safra, apresentou potencial de viabilidade técnico-econômica, para ser introduzida nas lavouras canavieiras da região Norte Paulista. Por outro lado, a irrigação suplementar das socas de setembro e novembro, colhidas de meados até o final da safra, não apresentou viabilidade econômica.

Tabela 3. Resumo dos resultados econômicos obtidos com o modelo de análise de decisão

Cana soca	Benefícios da irrigação	Receita líquida da irrigação suplementar (R\$/ha)		
		Mínima	Máxima	Esperada
Maio	Diretos	198,90	372,96	227,00
Maio	Indiretos	226,99	446,71	261,64
Julho	Diretos	63,24	221,88	130,92
Julho	Indiretos	86,80	384,08	155,81
Setembro	Diretos	- 9,64	169,94	17,33
Setembro	Indiretos	- 0,09	218,18	28,85
Novembro	Diretos	- 37,88	91,36	- 26,09
Novembro	Indiretos	- 32,38	105,35	- 19,90

Os resultados podem ser explicados pelo fato de que o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, do início até meados da safra (maio a julho), coincide com o período do ano de maior deficiência hídrica (maio a setembro). Por outro lado, o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, de meados até o final da safra (setembro a novembro), coincide, em sua maior parte, com o período do ano de menor deficiência hídrica (outubro a março), nas condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo.

O modelo de decisão poderia ser adaptado para analisar a viabilidade da irrigação de cana soca, colhida desde meados até o final da safra (setembro a novembro), durante o 2º estágio da cultura (período de máximo desenvolvimento). Nesse caso, os resultados econômicos poderiam ser diferentes, apontando para a viabilidade da irrigação. No entanto, ressalta-se que a função de produção de Scardua (1985) não aponta nesse sentido, porque o

coeficiente da variável referente ao 2º estágio da cultura (x_2) apresenta o valor de apenas 0,2762, contra o valor de 0,6610 para a variável do 1º estágio (x_1).

Os resultados deste trabalho também confrontam com a tradição paulista do cultivo exclusivo de cana de sequeiro, mostrando a necessidade de reabrir a questão sobre a viabilidade da introdução da tecnologia de irrigação suplementar na lavoura canavieira, que pode proporcionar resultados técnicos e econômicos bastante significativos para o empresariado do setor sucro-alcooleiro do Estado de São Paulo.

Foram feitas as análises de sensibilidade das variáveis do problema relativo à cana soca de maio, procurando demonstrar as suas variações, em intervalos representativos da realidade da maioria das usinas e destilarias, localizadas na região Norte Paulista. Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstram que a sensibilidade da variável LI (lâmina mensal de irrigação), sobre as receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão, é inversamente proporcional às sensibilidades das variáveis CFI (custo fixo da irrigação) e CUI (custo operacional unitário da irrigação). Quando se aumenta LI, também ocorrem aumentos nas receitas, mas isso implica em maiores custos (CFI e CUI) e conseqüentes decréscimos nas receitas líquidas esperadas.

A análise de sensibilidade da variável PUA (preço do uso da água) demonstra que a eventual cobrança pelo uso da água de irrigação, cujas taxas governamentais ainda são desconhecidas, vem reduzir sensivelmente as receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar de cana-de-açúcar. A variável APE (aumento da produtividade esperada) apresentou grande sensibilidade nas receitas líquidas da irrigação, podendo até inviabilizar essa tecnologia, se o aumento da produtividade esperado for inferior a 0,100 t/mm. Esses resultados demonstram a necessidade de se desenvolverem novas pesquisas, objetivando-se determinar funções de produção para as novas variedades de cana-de-açúcar, que representem, com maior exatidão, a produtividade esperada da cana irrigada.

Os resultados mostrados na Tabela 4 demonstram que a variável PCC (preço da cana no campo) também interfere na receita líquida da irrigação. São dois os fatores que compõem o preço da cana no campo, o primeiro é o preço da cana na esteira que, dependendo do ponto de equilíbrio que esse preço atinge no mercado canavieiro, o potencial de viabilidade econômica da irrigação poderá ser aumentado ou diminuído; o segundo fator que

interfere na variável PCC é o custo da colheita (corte, carregamento e transporte). O custo, considerado na aplicação do modelo de decisão, foi o da colheita manual. No entanto, com a atual legislação ambiental de proibição da queima da palha de cana, os produtores estão sistematizando intensamente suas lavouras para a introdução da colheita mecânica de cana crua. Esse tipo de colheita apresenta custos inferiores aos da colheita manual, apesar de determinadas regiões canavieiras paulistas apresentarem sérias limitações topográficas, que comprometem a execução da colheita mecânica. Assim, a tendência é de redução do custo da colheita, com o conseqüente aumento do preço da cana no campo e o correspondente aumento do potencial de viabilidade econômica da irrigação suplementar.

Tabela 4. Análise de sensibilidade das variáveis do modelo para a cana soca de maio

Variável	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$/ha)		Variável	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$/ha)	
	Benefícios diretos	Benefícios indiretos		Benefícios diretos	Benefícios indiretos
LI (mm/mês)	LCS (n. cortes)				
20	195,35	225,19	3	314,67	421,50
25	211,17	243,41	4	257,12	318,84
30	227,00	261,64	5	227,00	261,64
35	242,82	279,87	6	209,19	225,78
40	258,65	298,09	7	197,75	201,46
CFI (R\$/ha)	CP (R\$/ha)				
50,00	250,19	284,83	1.000,00	211,48	220,69
60,00	240,19	274,83	1.125,00	217,80	237,36
70,00	230,19	264,83	1.250,00	224,12	254,04
73,19	227,00	261,64	1.307,00	227,00	261,64
80,00	220,19	254,83	1.375,00	230,43	270,71
90,00	210,10	244,83	1.500,00	236,75	287,38
CUI (R\$/mm)	PA (R\$/ha)				
0,50	291,27	325,92	250,00	---	232,78
0,75	257,80	292,44	275,00	---	243,09
0,98	227,00	261,64	300,00	---	253,40
1,00	224,32	258,96	320,00	---	261,64
1,25	190,84	225,48	325,00	---	263,70
1,50	157,37	192,01	350,00	---	274,01
PUA (R\$/mm)	PMS (t/ha)				
0,00	227,00	261,64	75,00	---	306,00
0,25	193,52	228,16	80,00	---	280,37
0,50	160,52	194,69	84,1	---	261,64
0,75	126,57	161,21	85,00	---	257,77
1,00	93,09	127,73	90,00	---	237,71
			95,00	---	219,77
APE (t/mm)	CTS (R\$/ha)				
0,100	4,91	18,50	250,00	---	238,09
0,150	76,55	96,93	275,00	---	248,24
0,200	148,19	175,36	300,00	---	258,39
0,250	219,83	253,80	308,00	---	261,64
0,255	227,00	261,64	325,00	---	268,54
0,300	291,47	332,23	350,00	---	278,69
PCC (R\$/t)	CTA (R\$/t)				
9,00	168,95	----	1,50	---	241,83
10,00	203,09	----	1,75	---	250,37
10,70	227,00	----	2,00	---	258,91
11,00	237,24	----	2,08	---	261,64
12,00	271,39	----	2,25	---	267,45
13,00	305,53	----	2,50	---	275,98

A variação do custo de preparo de solo e plantio (CP) não apresenta grande interferência na

sensibilidade da receita líquida da irrigação (Tabela 4). Mesmo assim, deve-se ressaltar que tecnologias têm sido desenvolvidas para o plantio mecânico da cana, em substituição ao plantio convencional (“manual”), visando à redução do custo dessa atividade agrícola. Portanto, a perspectiva para o valor desta variável é de redução, com a conseqüente diminuição na receita líquida da irrigação.

A interferência da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) é significativa na sensibilidade da receita líquida da irrigação (Tabela 4): demonstrou-se que quanto menor for a longevidade da cana de sequeiro, maior será a receita líquida da irrigação. Salienta-se que as áreas com solos de baixa fertilidade e com pequena capacidade de retenção de água são aquelas que proporcionam as menores longevidades das soqueiras de cana-de-açúcar.

O preço do arrendamento (PA) apresenta grandes variações de uma região canavieira para outra. A atual política brasileira de crédito agrícola, com altas taxas de juros para o produtor rural, e os movimentos populares para a Reforma Agrária contribuem para o aumento da oferta de terras agricultáveis, com a conseqüente redução do preço do arrendamento. A receita líquida segue a tendência do preço do arrendamento, ou seja, quanto menor for o valor de PA, menor será a receita líquida esperada com a irrigação suplementar da cana soca de maio (Tabela 4).

A análise de sensibilidade da variável produtividade média de sequeiro (PMS) demonstra que, quanto menos produtiva for uma área canavieira de sequeiro (normalmente aquelas com solos de baixa fertilidade), maior será o potencial de viabilidade econômica para a introdução da tecnologia de irrigação suplementar.

A variação das variáveis custo com tratos culturais de soqueira (CTS) e custo com transporte do arrendamento dispensado (CTA) não tem grande interferência na sensibilidade da receita líquida da irrigação (Tabela 4). Ressalta-se que o aumento ou a redução da diferença entre as distâncias de transporte (da área irrigada até a indústria e do arrendamento dispensado até a indústria) correspondem ao aumento ou a redução na receita líquida esperada com a irrigação suplementar, respectivamente.

Para análise de risco, as equações determinantes das receitas líquidas esperadas, com a irrigação suplementar nas árvores de decisão (Equações 1 e 2), foram substituídas pela que representa a função utilidade do tomador de decisão entrevistado (Figura 1). Os resultados encontrados estão resumidos na Tabela 5. Comparando-se esses resultados com os da Tabela 3, verifica-se que, mesmo com a introdução

da aversão ao risco do Diretor entrevistado, as decisões “irriga” ou “não irriga” não foram alteradas. As análises das canas socas de maio e julho apontaram para a decisão “irriga”, com utilidades esperadas bastante superiores (0,74 a 0,89) à decisão “não irriga” (0,42). Para a cana soca de novembro, a decisão foi “irriga”, com utilidades de 0,13 e 0,22, contra a utilidade de 0,42 correspondente à decisão “não irriga”.

Tabela 5. Utilidade esperada com a irrigação suplementar de um tomador de decisão “averso” ao risco

Cana soca	Benefícios da irrigação	Utilidade esperada com a irrigação	
		Decisão: irriga	Decisão: não irriga
Maio	Diretos	0,86	0,42
Maio	Indiretos	0,89	0,42
Julho	Diretos	0,74	0,42
Julho	Indiretos	0,78	0,42
Setembro	Diretos	0,46	0,42
Setembro	Indiretos	0,51	0,42
Novembro	Diretos	0,13	0,42
Novembro	Indiretos	0,22	0,42

Os valores das utilidades esperadas da decisão “irriga” a cana soca de setembro (0,46 e 0,51) ficaram próximos aos valores das utilidades da decisão “não irriga” (0,42), tornando o resultado desta análise não evidente para o tomador de decisão. Por outro lado, essa indefinição identifica o ponto limite da viabilidade econômica da irrigação preconizada, ou seja, de início até meados da safra (maio a agosto).

Ressalta-se, ainda, que a análise do risco pode alterar a decisão resultante da análise dos valores monetários esperados, dependendo do grau de “aversão” ao risco do tomador de decisão.

O estudo de viabilidade econômica da irrigação da cana soca, para as condições de irrigação suplementar analisadas, durante o primeiro estágio de desenvolvimento da cultura, na região Norte do Estado de São Paulo, permite concluir que:

- existe potencial de viabilidade técnica e econômica para a irrigação suplementar de cana soca, do início até meados da safra (maio a julho), considerando-se os benefícios diretos do aumento da produtividade agrícola e da maior longevidade das soqueiras;
- quando se consideraram os benefícios indiretos da irrigação, proporcionados pelo aumento da produtividade agrícola (redução de custos com arrendamento, preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte), a viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana soca, do início até

meados da safra (maio a julho), tornou-se mais evidente;

- a irrigação suplementar da cana soca, de meados até o final da safra (setembro a novembro), apresentou-se economicamente inviável.

Referências

- DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Rome: FAO, 1979. (FAO. Riego y Drenaje, 33)
- DOURADO-NETO, D.; VAN LIER, Q. *Programa para elaboração do balanço hídrico para culturas anuais e perenes: manual do usuário*. Piracicaba: Fealq, 1991.
- HILLIER, F.S.; LIEBERMAN, G.J. *Introduction to operations research*. San Francisco: Holden-Day, 1974.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGRO-INDUSTRIAL. IDAO. *Pesquisa de produtividade sucroalcooleira no estado de São Paulo*. Ribeirão Preto, 1997.
- MATIOLI, C.S.; BARCELOS, J. Irrigação suplementar de cana-de-açúcar; estudo comparativo: pivô central x autopropelido. *Álcool & Açúcar*, São Paulo, v. 14, n. 73, p. 22-27, 1994.
- MATIOLI, C.S. *et al.* Análise de decisão sobre a viabilidade da irrigação suplementar de cana-de-açúcar colhida no mês de julho na região de Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25 e CONGRESSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA AGRÍCOLA, 2. 1996, Bauru. *Anais...* Bauru, 1996.
- MATIOLI, C.S. *et al.* Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para a região norte do Estado de São Paulo. *Stab: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 17, n. 2, p. 42-45, 1998.
- NUNES JR., D. Melhoria contínua da produtividade agrícola como fator de redução de custos. In: SEMINÁRIO SOBRE REDUÇÃO DE CUSTOS NA LAVOURA CANAVIEIRA, 1996, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: IDEA. 1996. p.121-156.
- PERES, F.C. *Confinamento de gado de corte: um modelo de análise de decisão*. 1990. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- REZENDE, R. *et al.* Viabilidade econômica da irrigação complementar na cultura de citros na região noroeste do Estado do Paraná. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 21, n. 3, p. 591-598, 1999.
- SCARDUA, R. *O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (saccharum spp)*. 1985. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

Received on March 30, 2001.

Accepted on June 12, 2001.