

Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas

Patricia Angélica Alves Marques* e José Antônio Frizzone

Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), Rua José Libânio Filho, 746, Parque Cedral, 19067-170, Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: pmarques@prudent.com.br

RESUMO. As empresas agrícolas atuam sob condições de risco; dessa maneira, a utilidade de modelos determinísticos para fins de planejamento torna-se relativamente limitada. Isso implica a necessidade de se introduzir esse risco na análise do projeto. Com este objetivo, confeccionou-se uma ferramenta na forma de um Modelo Computacional para Determinação do Risco Econômico em Culturas Irrigadas, para Windows XP, em linguagem Delphi 7.0, que realiza simulações dos componentes do custo da irrigação, gerando 31.250 valores possíveis de benefícios líquidos anuais combinados, além dos custos anuais da irrigação. O modelo fornece ainda a probabilidade de benefício líquido anual maior que zero, os índices econômicos envolvidos na decisão de irrigar ou não, uma análise de sensibilidade do benefício líquido anual e a participação percentual dos fatores econômicos na formação do custo total da irrigação.

Palavras-chave: irrigação, viabilidade da irrigação, modelo computacional.

ABSTRACT. Computation model for economical risk determination in irrigated cultures. The agriculture operates under risk conditions, thus the value of deterministic models aiming at planning becomes relatively limited. This implicates in the necessity of inserting this risk factor in the project analysis. Concerning this objective a tool in the form of a Computation Model for Economical Risk Determination in Irrigated Cultures was made, for Windows XP in Delphi 7.0 language. This model simulates the cost components of the irrigation generating 31,250 combined annual liquid profit possible values, besides the annual irrigation costs. This model supplies the annual liquid profit higher than zero as a probability, economical indexes, a profit sensibility analysis and the percentage participation of economical factors in the irrigation total cost formation.

Key words: irrigation, economic viability, computation model.

Introdução

A irrigação justifica-se como recurso tecnológico indispensável ao aumento da produtividade das culturas em regiões onde a insuficiência ou a má distribuição das chuvas inviabiliza a exploração agrícola. Entretanto a viabilidade econômica é um fator indispensável para sua adoção entre os agricultores (Frizzone *et al.*, 1994). Como as empresas agrícolas atuam sob condições de risco, a utilidade de modelos determinísticos para fins de planejamento torna-se relativamente limitada. Isso implica a necessidade de não se desprezar, na maioria das vezes, a aleatoriedade de determinados coeficientes e de introduzir esse risco na análise do projeto (Silva Neto e Stulp, 2000). Frizzone (2005) define risco como uma estimativa do grau de incerteza que se tem com respeito à obtenção dos

resultados futuros desejados. Decisões tomadas sob risco são aquelas em que o analista modela o problema de decisão em termos de resultados futuros conhecidos.

A condução de análises que considerem o risco na agricultura é dificultada pela raridade de dados, com dimensão suficiente para caracterizar uma distribuição de probabilidade (Just e Pope, 2003). Os modelos de simulação são ferramentas de grande importância no estudo do processo de tomada de decisão, uma vez que possibilitam considerar um grande número de fatores, o que seria impossível em experimentos convencionais, em razão dos altos custos e do longo tempo demandado para a obtenção de resultados de pesquisa. A utilização de modelos permite, portanto, uma economia de tempo e de recursos financeiros e humanos. Permite também a simulação de vários cenários e estimar a repercussão dos diferentes cursos de ação sobre os sistemas de

produção (Iglesias *et al.*, 2003).

A simulação de dados fornece o cálculo de diferentes combinações que probabilisticamente podem ocorrer, obtendo-se como resultado não um valor determinista, mas uma distribuição de frequências, sendo o risco traduzido em números pela variância. Uma técnica de simulação muito usada é o método de Monte Carlo, que obtém como resultado não um valor, mas uma distribuição de frequências dos valores simulados (Frizzone e Silveira, 2000; Andrade Júnior *et al.*, 2001).

A agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água, além de gastos com energia e com mão-de-obra para operação do sistema, que representem importantes custos adicionais, os quais devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pelo fornecimento de água às plantas (Rodríguez, 1990; Clark *et al.*, 1993). Marques e Coelho (2003) estudaram a viabilidade da irrigação da pupunheira para Ilha Solteira, Estado de São Paulo, variando o custo da água, a vida útil e o tipo de motor utilizado; concluíram que, para todas as simulações, a irrigação foi viável. Blanco *et al.* (2004), estudando a viabilidade econômica da irrigação da manga para o Estado de São Paulo, observaram que o custo da aquisição do equipamento associado à sua vida útil foi o fator de maior sensibilidade na análise de viabilidade e que a cobrança pela água não inviabilizou a implantação do sistema de irrigação.

Considerando-se o desenvolvimento da informática nos projetos de irrigação e a necessidade da determinação da viabilidade da agricultura irrigada em sua fase de projeto, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta na forma de um modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas, para o ambiente Windows XP, em linguagem Delphi 7.0, o qual permite simular os fatores que promovem o risco na aquisição de um sistema de irrigação e observar suas consequências econômicas sob o horizonte de risco. Esse modelo apresentará os fatores econômicos para a tomada de decisão (relação benefício/custo, valor esperado de benefício líquido anual, desvio absoluto, desvio padrão e variância), a probabilidade de benefício líquido anual maior que zero e uma análise de sensibilidade dos fatores envolvidos, permitindo, assim, que a decisão de investir ou não em um sistema de irrigação seja baseada em valores probabilísticos que representem as possíveis consequências dessa decisão.

Material e métodos

O desenvolvimento do *Modelo Computacional*

para *Determinação do Risco Econômico em Culturas Irrigadas* foi realizado no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Utilizou-se a linguagem Delphi 7.0, por meio de procedimentos e seqüências lógicas. O programa é constituído por rotinas seqüenciais, acompanhando passo a passo o estudo do risco econômico por meio de simulações e dos cálculos dos custos e dos benefícios envolvidos. Como exemplo, utilizaram-se os dados meteorológicos obtidos na estação meteorológica automática do Departamento de Ciências Exatas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, Estado de São Paulo, altitude 546 m, latitude 22° 42' 30"S e longitude 47° 38' 00"W.

A primeira rotina tem por objetivo definir as características do projeto para criação do banco de dados referente ao projeto e ao solo. Em seguida, são atribuídas as características da cultura e suas fases fenológicas para o banco de dados referente ao projeto e, a partir dessas, é realizado o preenchimento automático da tabela de balanço hídrico diário para o ciclo da cultura (Franke e Dorfman, 1998). Na rotina de características do sistema de irrigação, são inseridos o preço de aquisição e de instalação do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹), a vazão do sistema (m³ h⁻¹ ha⁻¹), a potência do motor (cv ha⁻¹) e a eficiência de aplicação de água (%) necessários para o prosseguimento dos cálculos.

O próximo passo é a seleção dos dados climáticos da cidade para a qual será realizada a análise econômica. Com esses dados armazenados, seleciona-se o método de estimativa da evapotranspiração a ser usado, dentre os quais temos: o método simplificado proposto por Camargo, o método Hargreaves e Samani, o método Priestley-Taylor ou o método Penman-Monteith, preconizado pela FAO e de utilização mundial (Doorenbos e Kassam, 2000; Pereira *et al.*, 2002). Com os dados diários, realiza-se a estimativa da necessidade de irrigação, por meio de um balanço hídrico diário, considerando-se a época de semeadura e as fases fenológicas da cultura. A somatória dos déficits hídricos diários, referentes a cada mês, corresponde à necessidade mensal de irrigação (Frizzone *et al.*, 1994; Raju e Kumar, 1999).

A quantificação da resposta da cultura à disponibilidade de água é um importante fator na estimativa da produção e na análise da viabilidade da irrigação. Para isso, na rotina de benefícios brutos da irrigação, a produtividade sem irrigação (equação 1) foi estimada pelo fator de resposta da cultura (Ky) referente ao ciclo anual da cultura e pela ETr_a, que representa a somatória dos ETr diários durante o período do ciclo da cultura (Mannocchi e Mecarelli, 1994; Doorenbos e Kassam, 2000; Arruda e Grande,

2003). Com os valores de produtividades, calcula-se o benefício bruto da irrigação (equação 2), que representa o acréscimo de renda oriundo da irrigação (Srivastava *et al.*, 2003).

$$Y_s = Y_i \cdot \left[1 - K_y \cdot \left(1 - \frac{ETr_a}{ETm_a} \right) \right] \quad (01)$$

$$B_i = (Y_i \cdot P_p) - (Y_s \cdot P_p) \quad (02)$$

onde:

Y_s – produtividade sem irrigação para um ciclo total da cultura ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

Y_i – produtividade com irrigação para um ciclo total da cultura ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

K_y – fator de resposta da cultura para um ciclo total da cultura (Doorenbos & Kassam, 2000);

ETr_a – evapotranspiração real para um ciclo total por ano da cultura ($mm\ ano^{-1}$);

ETm_a – evapotranspiração máxima para um ciclo total por ano da cultura ($mm\ ano^{-1}$);

P_p – preço pago ao produtor ($R\$ Mg^{-1}$);

B_i – benefício bruto anual da irrigação ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

O custo total da irrigação pode ser dividido em custos fixos e variáveis. Os custos fixos são aqueles que ocorrem independente do número de horas anuais de operação do sistema de irrigação, incluem a depreciação do sistema e a remuneração do capital investido (Frizzone *et al.*, 1994; Frizzone e Silveira, 2000; Marques e Coelho, 2003). Para obtenção dos custos fixos anuais da irrigação, utiliza-se o Fator de Recuperação de Capital (FRC) que pressupõe a reserva de uma quantidade suficiente de dinheiro em cada ano para possibilitar a reposição do bem em n anos mais os encargos dos juros sobre o capital investido (Frizzone e Silveira, 2000; Frizzone *et al.*, 2001). Com os valores de máximo, modal e mínimo das variáveis vida útil do sistema de irrigação e taxa de juros, realiza-se, pelo método de Monte Carlo, a simulação dos dados em Distribuição Triangular (Andrade Júnior *et al.*, 2001). Dessa maneira, utilizam-se 5 classes para as variáveis taxa de juros anual e para a vida útil do equipamento resultando em 25 valores de custo fixo anual.

Os custos variáveis (equação 3) dependem da utilização do sistema de irrigação. No cálculo dos custos variáveis anuais da irrigação, utilizam-se os custos de bombeamento, de manutenção, de mão de obra e custo da água (Frizzone *et al.*, 2001; Marques e Coelho, 2003). Entre os custos variáveis de um sistema de irrigação, o consumo de energia destaca-se como um dos principais componentes (Gohring e Wallender, 1987; Frizzone *et al.*, 1994; Andrade Júnior *et al.*, 2001). De acordo com Scaloppi (1985), os maiores valores de consumo de energia são associados, em ordem decrescente de consumo, aos seguintes sistemas: autopropelido, pivô central, aspersão localizada e superficial.

$$CV_a = Cam + Cab + Caw + Camo \quad (03)$$

onde:

CV_a – custo variável anual ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

Cam – custo anual de manutenção ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

Cab – custo anual de bombeamento ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

Caw – custo anual da água ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

$Camo$ – custo anual da mão de obra ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$).

O custo de manutenção corresponde aos gastos para manter o sistema de irrigação em condições adequadas de uso, sendo usual estimá-los como um percentual do investimento inicial do equipamento de irrigação (Zocoler, 2003; Blanco *et al.*, 2004). Nessa rotina, a taxa de manutenção é simulada e classificada em 5 classes. No cálculo do custo do bombeamento, o tipo de motor, elétrico ou a combustão, é um parâmetro de grande efeito sobre os custos. Para o motor elétrico, é importante considerar a modalidade de tarifação elétrica (Zocoler, 2003). O custo anual do bombeamento para o motor elétrico (equação 4) é calculado pela soma do faturamento anual da demanda e o faturamento anual de consumo ajustados pelo fator de potência (Marques e Coelho, 2003) em função do tipo de tarifa horosazonal utilizada, isto é, tarifa convencional, tarifa verde ou tarifa azul (Zocoler, 2003; Alves Júnior *et al.*, 2004). No motor a diesel, não se tem componente de demanda, sendo necessário calcular a potência requerida por hora (cvh) e transformá-lo em litros de óleo (Frizzone *et al.*, 1994; Marques e Coelho, 2003). O cálculo do custo da energia do motor diesel pode ser visto na equação 5.

$$Cab = (FDa + FCa) \cdot \left(\frac{0,92}{\cos \phi} \right) \cdot (1 + ICMS) \quad (04)$$

$$Cab = Co \cdot Pot \cdot Cs \cdot 0,00125 \cdot \sum_{mês=1}^{12} H \quad (05)$$

onde:

Cab – custo anual do bombeamento ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

FCa – aturamento anual de consumo ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

FDa – faturamento anual de demanda ($R\$ ha^{-1}\ ano^{-1}$);

$ICMS$ – imposto sobre circulação de mercadorias e serviços regional (decimal);

$\cos \phi$ – fator de potência.

Co – custo do óleo diesel na propriedade ($R\$ L^{-1}$);

Pot – potência do motor ($cv\ ha^{-1}$);

Cs – consumo específico do motor diesel ($g\ cv^{-1}\ h^{-1}$);

H – horas de funcionamento mensal ($h\ ha^{-1}\ mês^{-1}$).

No cálculo do custo anual da mão-de-obra (Marouelli e Silva, 1998; Marques e Coelho, 2003), o número de horas de trabalho necessárias por hectare irrigado e por irrigação realizada foi simulado e classificado em 5 classes (equação 6). Rezende *et al.* (1992) estudaram o efeito do custo da mão-de-obra,

da água e das estruturas hidráulicas no custo total da irrigação e concluíram que o custo da mão-de-obra apresentou pouca influência no custo total. A cobrança sobre o uso da água incidirá sobre qualquer uso, inclusive irrigantes, sendo esse mais um item que deve ser computado nos custos. O custo da água (equação 7) é calculado considerando a lâmina bruta mensal para irrigação e o preço da água (Rezende *et al.*, 1992; Marques e Coelho, 2003); sendo o preço da água simulado e classificado em 5 classes ou mantido fixo. O Custo Total Anual é obtido pela combinação dos custos fixos anuais (25 classes) e dos custos variáveis anuais (125 classes), resultando em 3125 valores. O benefício líquido anual (equação 8) é calculado como a diferença entre o benefício bruto da irrigação e o custo da irrigação, isto é, o benefício líquido anual só terá valor superior a zero quando o incremento de renda devido à irrigação for superior aos custos da irrigação (Gohring e Wallender, 1987; Clark *et al.*, 1993; Srivastava *et al.*, 2003).

$$C_{amo} = \sum_{\text{dias irrigados}=1}^n \left\{ \frac{S}{240} \cdot \left[1 + \left(\frac{\text{Encargos}}{100} \right) \right] \cdot HI \right\} \quad (06)$$

$$C_{aw} = \sum_{\text{mês}=1}^{12} (LBm_{\text{mês}} \cdot Pa \cdot 10) \quad (07)$$

$$BLA = (Ri - Cp \cdot Yi - CT_a) - (Rs - Cp \cdot Ys) \quad (08)$$

onde:

C_{amo} – custo anual da mão de obra (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

Salário – salário mensal (R\$ mês⁻¹);

240 – horas de trabalho por mês;

Encargos – relativo a férias, 13^o salário e INSS em porcentagem do salário (%);

HI – horas de trabalho necessárias por hectare irrigado (horas ha⁻¹ irrigação⁻¹);

C_{aw} – custo anual da água (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

LBm – lâmina bruta mensal (mm mês⁻¹);

Pa – preço da água (R\$ m⁻³);

BLA – benefício líquido anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

Ri – receita bruta anual com irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

C_p – custo de produção independente da irrigação (R\$ mg⁻¹);

CT_a – custo total anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

Rs – receita bruta anual sem irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹).

Na rotina seguinte, são calculados os coeficientes econômicos do projeto. A relação benefício/custo (B/C) consiste na razão entre os benefícios anuais e os custos anuais, a qual avalia quanto o projeto remunera por unidade de investimento. Um projeto deve apresentar B/C maior que a unidade para que seja viável e, quanto maior for essa relação, mais atraente será o projeto (equação 9) (Clark *et al.*, 1993; Frizzone e Silveira, 2000). O valor médio ponderado,

ou valor esperado, mede a tendência central, isto é, o resultado que, na média, espera-se que venha a ocorrer (Assis *et al.*, 1996; Frizzone e Silveira, 2000). O valor esperado é calculado pela equação 10 para os fatores benefício líquido anual, custo fixo total anual, custo variável total anual, custo total anual e benefício líquido anual.

$$B/C = \frac{Bi}{CI} \quad (09)$$

$$E(X) = \sum_{i=1}^{31,250} (X_i \cdot f_i) \quad (10)$$

sendo:

B/C - relação benefício/custo;

Bi - benefício bruto anual da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CI - acréscimo no custo anual promovido pelo uso da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

E(X) - valor esperado do fator (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

X_i - valor da variável i (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

f_i - frequência relativa da variável i.

Para obter a variabilidade dos resultados de benefícios líquidos obtidos no projeto, ou seja, medir o risco envolvido, utilizam-se como medidas de dispersão a variância (equação 11), o desvio padrão (equação 12) e o desvio médio absoluto (equação 13) (Frizzone e Silveira, 2000). A porcentagem de participação para os fatores custo fixo, custo da mão-de-obra, custo da água, custo do bombeamento e custo da manutenção no custo total da irrigação é calculada de acordo com a equação 16. Realiza-se também o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (Assis *et al.*, 1996).

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^{31,250} (X_i - E(X))^2 \cdot f_i \quad (11)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (12)$$

$$DM = \sum_{i=1}^{31,250} |X_i - E(X)| \cdot f_i \quad (13)$$

$$P_{\text{custo total}} = \frac{E(X)}{E(X)_{\text{custo total}}} \cdot 100 \quad (16)$$

em que:

σ² - variância (R\$² ha⁻¹ ano⁻¹);

σ - desvio padrão (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

DM - desvio médio absoluto (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

P_{custo total} - participação no custo total (%);

E(X)_{custo total} - valor esperado do custo total da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹).

Em outra rotina, a sensibilidade do benefício líquido anual é examinada pela variação percentual dos fatores: taxa de juros, preço de venda do produto, vida útil, taxa de manutenção, preço da água e horas de trabalho necessárias por hectare irrigado a cada irrigação realizada. Para cada fator selecionado, são fixados os demais com seu valor modal, e então são

calculados 200 valores de benefícios líquidos, os quais são visualizados graficamente em função da variação percentual. São apresentados os valores de variação percentual do benefício líquido anual pela variação de -20% e +20% dos fatores para cada análise estudada.

Analisaram-se as culturas cana-de-açúcar e tomate. Os valores utilizados para a análise de risco do projeto e para a análise de sensibilidade são encontrados em Faveta (1998), Marouelli e Silva (1998), Frizzone *et al.* (2001), Marques e Coelho (2003), Soares *et al.* (2003), Souza e Frizzone (2003), IEA (2004), SOB (2004), Agriannual (2005). Para o cálculo do custo do bombeamento com motor elétrico, utilizaram-se as tarifas elétricas vigentes no Estado de São Paulo (CPFL, 2004). Para o cálculo do bombeamento com motor diesel, considerou-se o valor de venda do óleo diesel de R\$ 1,50 L⁻¹ e um consumo específico de 170 g cv⁻¹ h⁻¹ (Marques e Coelho, 2003). O salário mensal utilizado foi de R\$ 260,00 mês⁻¹. A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Penman-Montheit. Os valores fixos utilizados são demonstrados na Tabela 1

Tabela 1. Valores fixos utilizados na análise econômica.

Fatores	Cana-de-açúcar	Tomate
Produtividade de sequeiro (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	estimada	estimada
Fator de resposta da cultura (Ky)	1,20	1,05
Produtividade máxima irrigada (Mg ha ⁻¹ ciclo ⁻¹)	174	80
Custo de produção (R\$ Mg ⁻¹)	18,00	105,00
Sistema de irrigação	Pivô Central	Aspersão Convencional
Eficiência de aplicação de água (%)	80	70
Vazão do sistema (m ³ h ⁻¹ ha ⁻¹)	4,56	4,80
Custo de aquisição (R\$ ha ⁻¹)	3.000,00	1.500,00
Potência do motor (cv ha ⁻¹)	2,39	3,00

1 US\$ = R\$ 2,90

Tabela 2. Valores utilizados na simulação por Monte Carlo.

Parâmetros	Mínimo	Modal	Máximo
Preço de venda da cana-de-açúcar (R\$ Mg ⁻¹)	25,40	27,90	31,55
Preço de venda do tomate (R\$ Mg ⁻¹)	140,00	160,00	190,00
Pivô central			
Vida útil (anos)	12	15	18
Taxa de manutenção (%)	4,0	5,0	6,0
Horas de trabalho (h ha ⁻¹ irrigação ⁻¹)	0,1	0,4	0,7
Aspersão convencional			
Vida útil (anos)	10	12	15
Taxa de manutenção (%)	1,0	2,5	4,0
Horas de trabalho (h ha ⁻¹ irrigação ⁻¹)	1,5	2,5	3,5
Taxa de juros (% ao ano)	3	6	12
Preço da água (R\$ m ⁻³)	0,00	0,01	0,03

hídrico, é necessário o preenchimento dos valores correspondentes a cada fase fenológica (Kc, período em dias e profundidade do sistema radicular) como utilizado em Franke e Dorfman (1998). Depois de definidas as características agrônomicas da cultura, são necessárias as características do sistema de irrigação para posteriores cálculos de custo fixo anual, da lâmina bruta de irrigação e custos de bombeamento.

Após essa caracterização, os dados climáticos são selecionados por região em um banco de dados

e o valores utilizados na simulação por Monte Carlo na Tabela 2.

Apresentação do modelo

O *Modelo Computacional para Determinação do Risco Econômico em Culturas Irrigadas* consta de 19.116 linhas de programação e banco de dados com 18 tabelas interligadas. A tela principal oferece as opções do projeto de viabilidade incluindo risco, acesso ao banco de dados e a opção de sair do programa. A próxima tela consta da caracterização agrônômica do projeto e do solo, em que são inseridos os dados do projeto que identificam o banco de dados para o controle das demais telas. Em seguida, são preenchidos os dados referentes ao solo, para posterior cálculo do armazenamento de água no solo. A tela seguinte consta das informações agrônomicas da cultura, em que os dados da cultura são inseridos, sendo: nome da cultura, fator f de esgotamento de água do solo FAO, data do plantio e ciclo da cultura. Para a criação da tabela de balanço

previamente preenchido, seguindo-se, então, ao cálculo do balanço hídrico diário em que são determinadas as lâminas brutas mensais. Essa tela permite selecionar o método de cálculo da estimativa da evapotranspiração de referência sendo: Camargo Simplificado, Hargreaves e Samani, Priestley-Taylor e Penman-Monteith baseados em Doorenbos e Kassam (2000) e Pereira *et al.* (2002). Na próxima tela, são inseridos, ou estimados, os valores dos benefícios brutos da irrigação, ou seja, o incremento de renda proveniente do uso da irrigação e, em

seqüência, apresenta-se a tela dos custos fixos anuais da irrigação em que se realiza a simulação por Monte Carlo da taxa de juros e da vida útil do sistema de irrigação; com esses valores, são calculadas as 25 classes de custo fixo anual da irrigação.

Com os custos fixos calculados e armazenados em banco de dados, segue-se para o cálculo dos custos variáveis anuais da irrigação em que é realizada a simulação por Monte Carlo da taxa de manutenção, do preço da água, do número de horas por irrigação e o cálculo do custo do bombeamento. Com os custos variáveis, segue-se para o cálculo do custo total anual da irrigação pela combinação de 3125 valores. Na próxima tela, são realizados os cálculos dos benefícios líquidos e dos coeficientes econômicos, sendo realizadas as combinações finais, resultando em 31.250 valores de benefícios líquidos anuais e realizando-se a distribuição de frequências para posterior teste de aderência e cálculo da probabilidade de benefício líquido anual > 0 . A última tela consta da análise de sensibilidade para os fatores econômicos.

Aplicação do modelo

Para exemplo de aplicação, realizou-se análise completa para a cultura da cana-de-açúcar utilizando o pivô central e, para o tomate, utilizando aspersão convencional, sendo que, em ambas as análises, foram simuladas as quatro modalidades de bombeamento (motor elétrico com desconto noturno para as tarifas verde, azul e convencional e motor diesel).

Em relação à probabilidade de ocorrência de benefício líquido anual > 0 (Tabela 3), para a cana-de-açúcar, a tarifa azul apresentou o melhor resultado e o uso do motor diesel deve ser descartado por apresentar probabilidade de benefício líquido anual > 0 nula. Para o tomate, todas as modalidades de bombeamento apresentaram probabilidade de benefício líquido anual > 0 superior a 99%. Observando o benefício líquido anual esperado e a relação B/C, para a cana-de-açúcar, todas as análises indicaram inviabilidade. Já para o tomate, todas as

análises indicaram benefícios líquidos anuais esperados positivos e B/C maiores que 1, ou seja, para todas as modalidades foi viável o uso da irrigação. A cultura que apresentou maior risco foi o tomate com um desvio padrão de R\$ 334,47 ha⁻¹ ano⁻¹.

Analisando os custos da irrigação (Tabela 4) e sua participação percentual no custo total da irrigação (Tabela 5), observa-se que os custos variáveis representaram a maior participação no custo total da irrigação e, dentre os custos variáveis, como citado em Gohring e Wallender (1987), Frizzone *et al.* (1994) e Andrade Júnior *et al.* (2001), o consumo de energia destacou-se como o fator de maior influência. O custo da mão-de-obra apresentou a menor influência no custo total da irrigação, como obtido nas conclusões de Rezende *et al.* (1992).

Na Tabela 6, são analisados os custos de bombeamento em função do tipo de motor e de tarifa. Nota-se que os maiores custos são associados ao motor diesel (Frizzone *et al.* 1994; Alves Júnior *et al.*, 2004). Scaloppi (1985), estudando as exigências de energia para irrigação, observou que o custo da energia requerida no bombeamento para os motores acionados a óleo diesel representou cerca de seis vezes o custo dos motores elétricos. Nessas análises, para a cana-de-açúcar, o custo do bombeamento utilizando diesel representou em média 2,61 vezes o custo de bombeamento dos motores elétricos e, para o tomate, representou em média 2,35. Em relação ao motor elétrico, a tarifa convencional, que não contempla tarifas diferenciadas para a época do ano (período seco ou úmido) e para o horário de funcionamento (ponta ou fora de ponta), apresentou os maiores custos. As tarifas verde e azul apresentaram valores semelhantes devido à não-utilização do horário de ponta nas análises, como explicado em Souza e Frizzone (2003). A Tabela 7 apresenta os valores de variação obtidos na análise de sensibilidade do benefício líquido anual. O valor de venda do produto foi o fator econômico que mais alterou o benefício líquido anual.

Tabela 3. Índices econômicos obtidos para irrigação da cana-de-açúcar e do tomate.

	Índices econômicos	Cana-de-açúcar	Tomate
Tarifa Verde	Probabilidade de BLA > 0 (%)	18,69	99,85
	Relação B/C	0,85	4,26
	Valor esperado de BLA (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-133,74	1.427,22
	Desvio padrão (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	150,38	334,47
	Variância (R\$ ² ha ⁻¹ ano ⁻¹)	22.614,2	111.871,2
	Desvio absoluto (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	123,20	272,6
Tarifa Azul	Probabilidade de BLA > 0 (%)	19,06	99,85
	Relação B/C	0,85	4,26
	Valor esperado de BLA (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-131,70	1.427,17
	Desvio padrão (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	150,38	334,47
	Variância (R\$ ² ha ⁻¹ ano ⁻¹)	22.614,2	111.871,2
	Desvio absoluto (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	123,20	272,60
Tarifa Convencional	Probabilidade de BLA > 0 (%)	4,61	99,96

	Relação B/C	0,75	3,75
	Valor esperado de BLA (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-253,28	1.368,11
	Desvio padrão (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	150,38	334,47
	Variância (R\$ ² ha ⁻¹ ano ⁻¹)	22.614,2	111.871,2
	Desvio absoluto (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	123,20	272,60
	Probabilidade de BLA >0 (%)	0,00	99,96
	Relação B/C	0,50	2,64
Motor Diesel	Valor esperado de BLA (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	-736,42	1.158,15
	Desvio padrão (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	150,38	334,47
	Variância (R\$ ² ha ⁻¹ ano ⁻¹)	22.614,2	111.871,2
	Desvio absoluto (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	123,20	272,6

Tabela 4. Valores médios de benefícios líquidos anuais e custos anuais médios advindos do uso da irrigação, para os sistemas de irrigação utilizando motor elétrico e motor diesel.

		Valores (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
		Cana-de-açúcar	Tomate
Motor elétrico	Custo fixo anual esperado	330,07	187,13
	Custo variável anual esperado	584,89	272,23
	Custo total anual esperado	914,96	459,36
	Benefício líquido anual esperado	-172,90	1.407,62
Motor diesel	Custo fixo anual esperado	330,07	187,13
	Custo variável anual esperado	1.148,34	521,69
	Custo total anual esperado	1.478,41	708,82
	Benefício líquido anual esperado	-736,42	1.158,15

Tabela 5. Participação percentual dos custos da irrigação no custo total da irrigação.

		Participação no custo total da irrigação (%)	
		Cana-de-açúcar	Tomate
Motor elétrico	Custos fixos esperados	36,23	40,85
	Custos variáveis esperados	63,77	59,15
	Mão de obra	1,56	4,77
	Manutenção	16,48	8,17
	Bombeamento	37,47	39,84
	Água	7,96	6,37
Motor diesel	Custos fixos esperados	22,33	26,39
	Custos variáveis esperados	77,67	73,61
	Mão de obra	0,96	3,09
	Manutenção	10,16	5,28
	Bombeamento	61,64	61,13
	Água	4,91	4,11

Tabela 6. Custo do bombeamento em função do tipo de motor e de tarifa.

Tipo de motor e tarifa	Custo do bombeamento (R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	
	Cana-de-açúcar utilizando pivô central	Tomate utilizando aspersão convencional
Motor diesel	911,06	433,45
Motor elétrico (média)	348,09	184,11
Tarifa verde	308,20	164,41
Tarifa azul	308,29	164,41
Tarifa convencional	427,78	223,51

Tabela 7. Análise de sensibilidade do benefício líquido anual, com a variação de ±20% dos fatores econômicos.

Fatores econômicos	Variação do benefício líquido anual (%)			
	Cana-de-açúcar		Tomate	
	- 20%	+20 %	- 20%	+20 %
Vida útil do sistema de irrigação (anos)	-12,35	8,03	-1,82	1,20
Taxa de juros (% a.a.)	6,00	-6,23	0,67	-0,70
Taxa de manutenção (%)	7,57	-7,57	0,43	-0,43
Valor de venda do produto (R\$ Mg ⁻¹)	-89,78	89,78	-60,73	60,73
Mão de obra (horas ha ⁻¹ irrigação ⁻¹)	0,77	-0,77	0,26	-0,26
Preço da água (R\$ m ⁻³)	3,05	-3,05	0,24	-0,24

Conclusão

O *Modelo Computacional para a Determinação do Risco Econômico em Culturas Irrigadas* mostrou-se eficiente no seu objetivo de fornecer a probabilidade de benefício líquido anual maior que

zero, os índices de viabilidade (relação benefício/custo, valor esperado de benefício líquido) e incluir o risco econômico presente no projeto (desvio absoluto, desvio padrão e variância). Assim, esse modelo permite a tomada de decisão e o estudo de diferentes situações baseado em valores

probabilísticos que representem as possíveis conseqüências dessa decisão.

O modelo permite o estudo da influência dos fatores econômicos (custo fixo, custo da mão-de-obra, custo da água, custo do bombeamento e custo de manutenção) no custo total da irrigação, bem como a possibilidade de testar o efeito do tipo de energia utilizada no bombeamento.

Considerando o exemplo de aplicação, podemos concluir o que se segue:

- a irrigação da cana-de-açúcar para a região de Piracicaba, nas condições testadas, é inviável. Já para a cultura do tomate, a irrigação é viável para todas as modalidades de bombeamento;

- o bombeamento foi o fator de maior influência no custo total da irrigação;

- os maiores custos totais anuais da irrigação estão associados ao uso do motor diesel;

- não houve diferença entre as tarifas azul e verde pela não utilização do bombeamento no horário de ponta;

- o fator econômico que menos influência teve sobre o custo total anual da irrigação foi a mão-de-obra (2,59%), seguido pelo custo da água (5,84%) e pelo custo de manutenção (10,03%). O custo do bombeamento apresentou a maior influência sobre o custo total anual da irrigação com uma participação média de 50,02%.

Referências

- AGRIANUAL *Anuário da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP, 2005.
- ALVES JÚNIOR, J. *et al.* Quanto custa a energia na irrigação. In: *AGRIANUAL Anuário Estatístico da agricultura brasileira*. São Paulo: FNP/M&S, 2004, 496p., p. 19-22.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S. *et al.* Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 36, n. 2, p. 301-305, fev. 2001.
- ARRUDA, F.B.; GRANDE, M.A. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. *Bragantia*, Campinas, v. 62, n. 1, p. 139-145, 2003.
- ASSIS, F.N. *et al.* *Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 1996.
- BLANCO, F.F. *et al.* Viabilidade econômica da irrigação da manga para o Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Eng. Agric. Ambient.*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 153-159, 2004.
- CLARK, E. *et al.* *Avaliação econômica e financeira de projetos de irrigação*. Brasília: Ministério da Integração Nacional/Secretaria da Irrigação, 1993. (Manual de irrigação, 3).
- CPFL *Tarifas para o fornecimento de energia elétrica Grupo "A" média e alta tensão resolução nº 565 da ANEEL de 22/10/2003*. [S.I.: s.n.], 2004 Disponível em: <http://www.cpf.com.br/piratininga/tarifa_27102003.htm> Acesso em: 16 nov. 2004.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. 2. ed. Trad. de H.R. Gheyi *et al.* Campina Grande: UFPB, 2000. 221p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- FAVETA, G.M. *Estudo econômico do sistema de adução em equipamentos de irrigação do tipo pivô central*. 1998. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- FRANKE, A.E.; DORFMAN, R. Viabilidade econômica da irrigação, sob condições de risco, em regiões de clima subtropical. I. cultura do milho. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v. 33, n. 12, p. 2003-2013, dez. 1998.
- FRIZZONE, J.A. *Análise de decisão econômica em irrigação*. Piracicaba: Esalq, 2005.
- FRIZZONE, J.A.; SILVEIRA, S.F.R. Análise econômica de projetos hidroagrícolas. In: SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. (Ed.) *Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília: Secretaria de Recursos hídricos; Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000, cap. 5, p. 449-617.
- FRIZZONE, J.A. *et al.* Análise comparativa dos custos de irrigação por pivô-central, em culturas de feijão, utilizando energia elétrica e óleo diesel. *Eng. Rural*, Piracicaba, v. 5, n. 1, p. 34-53, jul. 1994.
- FRIZZONE, J.A. *et al.* Viabilidade econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar, *Saccharum spp.*, para a região Norte do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1131-1137, 2001.
- GOHRING, T.R.; WALLENDER, W.W. Economics of sprinkler irrigation systems. *Trans. ASAE*, St Joseph, v. 30, n. 4, p. 1083-1089, jul./aug. 1987.
- IEA *Preços médios recebidos pelo produtor – Instituto de Economia Agrícola*. [S.I.: s.n.], 2004. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/ibcoiea.htm>> Acesso em: 23 ago. 2004.
- IGLESIAS, E. *et al.* Evaluation of drought management in irrigated areas. *Agric. Econ.*, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 211-229, Oct. 2003.
- JUST, R.E.; POPE, R.D. Agricultural risk analysis adequacy of models, data and issues. *American Journal of Agricultural Economics*, v. 85, n. 5, p. 1249-1256, 2003.
- MANNOCCHI, F.; MECARELLI, P. Optimization analysis of deficit irrigation systems. *J. Irrig. Drain. Eng.*, New York, v. 120, n. 3, p. 484-503, 1994.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. *Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças*. Brasília: Embrapa, 1998. (Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 11).
- MARQUES, P.A.A.; COELHO, R.D. Estudo da viabilidade econômica da pupunha (*Bactris Gasipaes* H.B.K) para Ilha Solteira – SP, Brasil. *Cienc. Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 291-297, 2003.
- PEREIRA, A.R. *et al.* *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guairá: Agropecuária, 2002.
- RAJU, K.S.; KUMAR, D.N. Multicriterion decision making in irrigation planning. *Agric. Syst.*, Essex, v. 62, p. 117-129, 1999.
- REZENDE, F.C. *et al.* Otimização dos parâmetros de projeto de um sistema de irrigação por sulcos: II – análise da sensibilidade ao custo da água, da mão de obra e das

estruturas hidráulicas. *Eng. Rural*, Piracicaba, v. 3, n. 2, p. 32-49, 1992.

RODRIGUEZ, F. Custos e benefícios da irrigação no Brasil. *ITEM: Irrig. Tecnol. Mod.*, Brasília, n. 41, p. 6-11, 1990.

SCALOPPI, E.J. Exigências de energia para irrigação. *ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna*, n. 21, p. 13-17, 1985.

SILVA NETO, B.; STULP, V.J. A consideração de tendências na otimização de sistemas de produção agropecuária sob condições de risco. *Rev Econ. Sociol. Rural*, Brasília, v. 38, n. 3, p. 61-80, 2000.

SOARES, J.M. *et al.* Agrovale, uma experiência de 25 anos em irrigação da cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco. *ITEM: Irrig. Tecnol. Mod.*, Brasília, n. 60, p. 55-64, 2003.

SOB Cotação de preços – Sociedade de Olericultura do Brasil. [S.l.: s.n.], 2004. Disponível em:

<http://www.horticiencia.com.br/cotacoes/default.asp>
Acesso em: 23 ago. 2004.

SOUZA, J.L.M.; FRIZZONE, J.A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada. I. simulação do balanço hídrico e do custo com água. *Acta Sci.: Agron.*, Maringá, v. 25, n. 1, p. 103-112, 2003.

SRIVASTAVA, R.C. *et al.* Investment decision model for drip irrigation system. *Irrig. Sci.*, New York, v. 22, n. 2, p. 79-85, 2003.

ZOCOLER, J.L. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C.M. *Irrigação*. Jaboticabal: Funep, 2003. (Série engenharia agrícola, 2). p.653-703.

Received on February 28, 2005.

Accepted on November 7, 2005.