

## **IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp*) COLHIDA NO MÊS DE JANEIRO: UM MODELO DE ANÁLISE DE DECISÃO PARA O LITORAL SUL DO ESTADO DE ALAGOAS**

**Márcio Aurélio Lins dos Santos; José Antonio Frizzone**

*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, aurelio.lins@bol.com.br*

### **1 RESUMO**

As usinas de açúcar e álcool no estado de Alagoas tem grande importância econômica. Para usar sua capacidade instalada torna-se necessário o uso de técnicas que aumentem sua produtividade e diminuam os custos de produção da cana-de-açúcar. A tecnologia de irrigação se tornou uma alternativa rentável para as condições do estado de Alagoas. Tomando-se por base a viabilidade da tecnologia de irrigação suplementar em cana soca de janeiro, durante apenas o primeiro estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar do litoral sul de Alagoas, a árvore de decisão foi utilizada na avaliação dos valores esperados dos retornos associados a diferentes alternativas disponíveis para a escolha do tomador de decisão. Levando em consideração as condições analisadas, os resultados do estudo permitiram obter as seguintes conclusões: existe um grande potencial de viabilidade técnica e econômica para irrigação do início de ano (janeiro), considerando os benefícios diretos e indiretos de aumento de produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras, redução de preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte de cana; a receita líquida esperada apresenta pequena sensibilidade às variáveis de custos com tratos culturais de soqueiras e preparo de solo e plantio.

**UNITERMOS:** irrigação suplementar; Cana-de-açúcar; Análise de decisão

**SANTOS, M. A. L. dos; FRIZZONE, J.A. ADDITIONAL IRRIGATION OF A SUGAR-CANE (*Saccharum spp*) CROP HARVESTED IN JANUARY: A DECISION ANALYSIS MODEL FOR THE SOUTHERN COAST OF ALAGOAS STATE**

### **2 ABSTRACT**

Sugar mills and alcohol distilleries in Alagoas State, Brazil, have great economical importance. The use of techniques that increase their productivity and reduce sugar-cane production costs is needed to use their installation capacity to the fullest. Irrigation technology has become a profitable alternative for the sugar-cane (ratoon cycle) conditions in Alagoas State. A decision tree was used to evaluate expected values from different available alternatives to choose the best decision maker, taking into consideration the viability of additional irrigation technology in cane beat in January, just during the first development stage of the sugar-cane (ratoon cycle) in the southern coast of Alagoas State. From the obtained results of the analyzed conditions, it was concluded that: there is a great technical and economical viability for irrigation in the beginning of the year (January), considering direct and indirect benefits of agricultural productivity increase, greater ratoon longevity, reduction of soil preparation and planting, culture treatments and sugar cane transport; the

expected net income presents small influence of cost variables with ratoon culture treatments and soil preparation and planting.

**KEYWORDS:** additional irrigation; sugar-cane; decision analysis

### 3 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se no ranking mundial da produção de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp.*), atualmente com uma área total cultivada de aproximadamente 5.400.000 ha e uma produção anual da ordem de 400.000.000 de toneladas (cana colhida). Sendo o Estado de São Paulo o maior produtor brasileiro com 51% da área colhida, seguido do Estado de Alagoas com aproximadamente 7,7% da área colhida do Brasil (Agrianual, 2005).

Scardua & Rosenfeld (1987) afirmam que o consumo de água da cultura da cana-de-açúcar varia em função do ciclo da cultura (cana planta ou soca), do estágio de desenvolvimento da cultura (ciclo fenológico), das condições climáticas e de outros fatores, como água disponível no solo e variedades da cana-de-açúcar.

Segundo Doorenbos & Kassam (1994), uma umidade adequada durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo é diretamente proporcional à água transpirada. Os valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), relacionam a evapotranspiração máxima ( $ET_m$ ) com a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para os diferentes períodos de crescimento.

De acordo com Matioli (1998) os benefícios da irrigação da cultura da cana-de-açúcar dividem-se em “benefícios diretos” e “benefícios indiretos”. Segundo o autor, os benefícios diretos consistem nos aumentos de produtividade agrícola e longevidade das soqueiras, enquanto os benefícios indiretos são aqueles relacionados com redução de custos no processo produtivo agrícola, proporcionados pelo aumento de produtividade.

Uma árvore de decisão é uma árvore orientada que representa um processo decisório. Estas árvores são usadas na determinação de decisões ótimas em processos complicados. A técnica é começar com nós finais e seqüencialmente retornar à rede, calculando os ganhos esperados nos nós intermediários. Cada ganho é escrito abaixo de seu nó correspondente. A decisão recomendada é aquela que leva a um ganho esperado máximo (Bronson, 1985).

Naturalmente, existe, para cada indivíduo, um mapa de utilidade, refletindo a subjetividade dos critérios de decisão. Os problemas de escolha em condições de incerteza têm sido, tradicionalmente, tratado no contexto de maximização de uma função utilidade esperada. Portanto, se a preferência do indivíduo é compatível com os axiomas da teoria de decisão, pode-se construir um mapa de utilidade, tal que permita a ordenação das escolhas do indivíduo (Yarri, 1996).

O objetivo do presente trabalho consiste na elaboração de um modelo de análise de decisão, com o emprego da técnica chamada “árvore de decisão”, que permitirá analisar a viabilidade e economicidade da introdução da tecnologia de irrigação suplementar na cultura da cana-de-açúcar cultivada no Estado de Alagoas. Posteriormente, o modelo deverá ser validado com os parâmetros técnicos e econômicos representativos da região do Litoral Sul do Estado de Alagoas, liderada pela microrregião de Coruripe e também dados da Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Determinação das deficiências hídricas

As deficiências hídricas da cultura da cana-de-açúcar foram determinadas com o emprego do programa computacional utilizado pela usina Coruripe para elaboração do balanço hídrico estimando a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ). Calcula-se a evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_m$ ) considerando o coeficiente de cultura ( $K_c$ ), conforme os estádios de desenvolvimento da cultura.

#### 4.1.1 Dados edafoclimáticos

Os solos considerados foram os classificados como argissolo Amarelo Distrófico fragipônico. Textura arenosa/argilosa, epieutrático. Textura média (leve) argilosa e muito argilosa e Argissolo Acinzentado Distrófico fragipônico, textura arenosa/argilosa, que representa bem os solos do litoral sul de Alagoas. (Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A., 2004). Os dados climatológicos utilizados para elaboração dos balanços foram os das Estações Meteorológicas da usina Coruripe, localizados no litoral Sul do Estado de Alagoas, no município de Coruripe. Os dados decendiais de clima, referentes à chuva e temperatura, foram considerados com base na Normal Climatológica de 1974 a 2004 (30 anos).

#### 4.1.2 Coeficiente de cultura ( $K_c$ )

Com base nos valores sugeridos pela FAO, foram definidos os coeficientes de cultura ( $K_c$ ) para a cana soca de janeiro, conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1.** Estádio de desenvolvimento e coeficientes culturais ( $K_c$ ) da cana soca de janeiro

Mês	Estádio de desenvolvimento		Coeficiente de cultura
	Estádio	Duração (dias)	( $K_c$ )
Janeiro	1	31	0,50
Fevereiro Março Abril Maio	2	120	Linear
Junho Julho Agosto Setembro	3	122	1,05
Outubro	4	31	0,95
Novembro Dezembro	5	61	0,70

#### 4.2 Irrigação suplementar

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 este é o estágio que proporciona as maiores quebras de produtividade, quando sujeito a deficiências hídricas. Assim, o período da irrigação suplementar tem início imediatamente após a colheita da cana-de-açúcar, e término no final do 1º estágio de desenvolvimento da mesma.

Para validação do modelo de análise de decisão, a lâmina de irrigação suplementar foi definida pelo consumo mínimo da cultura canavieira que é, em média, aproximadamente 2 mm dia<sup>-1</sup> (Scardua & Rosenfeld, 1987) e corresponde a uma lâmina mensal total de aproximadamente 60 mm. Esta lâmina de irrigação equivale a aproximadamente 74% da maior deficiência hídrica mensal (81,14 mm), correspondente ao mês de janeiro, durante o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca cultivada no litoral Sul do Estado de Alagoas.

#### 4.3 Análise de decisão

A análise de decisão sobre a viabilidade técnica-econômica da irrigação suplementar da cana-de-açúcar foi elaborada com o emprego da técnica da “Árvore de Decisão”. O programa computacional de análise de decisão utilizado para a modelagem e solução do problema será o “Netica<sup>TM</sup>”, que também permitem a análise do grau de “Aversão ao Risco” do tomador de decisões, quanto à escolha da melhor decisão a ser tomada.

A árvore de decisão foi construída para a soca de janeiro, de modo a determinar a viabilidade da irrigação suplementar da cana-de-açúcar para o litoral Sul do Estado de Alagoas. Para a época de cana soca analisada foi construída uma árvore de decisão, sendo considerados os benefícios (diretos + indiretos) da irrigação suplementar. Aos ramos que partem dos nós de chance serão associadas as probabilidades das deficiências hídricas mensais serem maiores ou menores que a lâmina de irrigação máxima de 60 mm mês<sup>-1</sup>.

Os valores que foram considerados nos nós finais da árvore de decisão consistem na determinação da Receita Líquida Esperada com a irrigação suplementar da cana-de-açúcar para cada mês estudado. A equação 1 contempla todos os fatores componentes dessa receita:

$$RLI = BAP + BAL + BRP + BTC - CFI - COI - PAI \quad (1)$$

sendo: RLI = receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>);

BAP = benefício com o aumento de produtividade (R\$ ha<sup>-1</sup>);

BAL = benefício com aumento da longevidade das soqueiras (R\$ ha<sup>-1</sup>);

BRP = benefício com a redução de custos com preparo de solo e plantio (R\$ ha<sup>-1</sup>);

BTC = benefício com redução de custos com tratos culturais de soqueiras (R\$ ha<sup>-1</sup>);

CFI = custo fixo da irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>);

COI = custo operacional da irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>);

PAI = preço do uso (utilização/captação) da água (R\$ ha<sup>-1</sup>).

#### 4.4 Probabilidade das deficiências hídricas

As deficiências hídricas foram determinadas com base nos balanços hídricos climáticos de 30 anos, utilizando a Variância e o Desvio-Padrão para determinação da média aritmética. Tal como Matioli (1998), os resultados foram submetidos ao teste de correlação de Pearson, verificando a significância ao nível de 0,05 de probabilidade, sendo que a grande maioria das correlações não foi significativa a este nível de probabilidade. As correlações foram feitas para 12 meses da cana soca (equivalente ao ciclo completo da cana-de-açúcar), das 60 correlações analisadas apenas 7 apresentaram significância (11,7%). No período curto para a irrigação suplementar da cana soca de janeiro em que são usado apenas 4 meses

(janeiro, fevereiro, março e abril), das 9 correlações analisadas apenas 2 apresentaram significância (22%).

Na Tabela 2 está apresentado o resultado obtido para a soca de janeiro. As probabilidades das deficiências hídricas para os meses de janeiro (DJA), fevereiro (DFV), março (DMR) e abril (DAB) serem superiores ou inferiores à lâmina mensal de irrigação (LI) foram calculadas de modo direto, considerando os eventos independentes com base no teste de Pearson.

**Tabela 2.** Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1<sup>o</sup> estágio de desenvolvimento da cana-soca de janeiro

Mês	Deficiência hídrica média		Probabilidade (%)	
	Denominação	Média de 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Janeiro	DJA	8,90	0,25	0,75
Fevereiro	DFV	21,85	0,41	0,59
Março	DMR	1,34	0,75	0,25
Abril	DAB	76,59	0,85	0,15

#### 4.5 Custos da irrigação suplementar

Segundo Mاتيoli (1998) o sistema mais recomendado para a irrigação suplementar almejada é o por aspersão com autopropelido de longo alcance (AP), dotado de aspersor tipo “canhão”. Por ser um sistema mecanizado e portátil, utiliza pouca mão-de-obra, que proporciona grande flexibilidade operacional no campo. Este sistema vem sendo bastante difundido nas usinas e destilarias de todo o Brasil.

Na usina Coruripe onde foram feitos os levantamentos de custos, a irrigação usada é por aspersão com sistema convencional de ramais e aspersores tipo “canhão hidráulico”. Os custos que serão utilizados na validação do modelo de análise de decisão foram fornecidos pela Usina Coruripe. Atualmente a usina Coruripe está utilizando o sistema de irrigação por aspersão com autopropelido de longo alcance (AP) dotado de aspersor tipo “canhão”. Como está em fase inicial, ainda não dispõe de dados de custos operacionais e resposta da cultura ao novo sistema.

##### 4.5.1 Custos fixos da irrigação

Os dados levantados na usina Coruripe têm como referencia a safra de 2001/02 e indicam um investimento necessário com o sistema de irrigação convencional de ramais e aspersores tipo “canhão hidráulico”, projetado para fornecer uma lâmina de água de até 60 mm mês<sup>-1</sup> de R\$ 748,00 ha<sup>-1</sup>, correspondente a um custo fixo anual (depreciação dos equipamentos + juros do capital investido) de R\$ 42,68 ha<sup>-1</sup>.

##### 4.5.2 Custo operacional da irrigação

Os custos operacionais da irrigação da safra de 2001/02 da usina Coruripe são compostos dos seguintes fatores: consumo de energia, mão-de-obra, despesa de tratores, despesas com motobomba, despesa com eletrobomba, transporte de apoio, técnico/oficina (salário), serviço de várzea, limpeza de canal, casa de bomba várzea, materiais diversos. O

custo operacional do sistema de irrigação em estudo é da ordem de R\$ 423,74 ha<sup>-1</sup>, que corresponde a um custo operacional unitário (CUI) de R\$ 2,82 mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>.

O equacionamento utilizado no modelo para o cálculo do custo operacional da irrigação (COI) contempla as duas alternativas possíveis, isto é:

Quando a deficiência hídrica mensal é maior ou igual à lâmina de irrigação:

$$\text{COI} = \text{CUI} \cdot \text{LI} \quad (2)$$

sendo: COI: custo operacional da irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>);

CUI: custo operacional unitário da irrigação (R\$ mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>);

LI: lâmina mensal máxima de irrigação (mm).

Quando a deficiência hídrica mensal é menor que a lâmina de irrigação:

$$\text{COI} = \text{CUI} \cdot \text{DH} \quad (3)$$

sendo: DH: deficiência hídrica mensal (mm).

#### 4.5.3 Preço do uso da água

O preço unitário da água (PUA) corresponde às taxas governamentais referentes à utilização e captação de água, que eventualmente venham a ser cobrada dos irrigantes. Como essas taxas ainda não são cobradas, a validação do modelo de análise de decisão foi elaborada com PUA igual a zero. O equacionamento utilizado no modelo para cálculo do preço da água para irrigação (PAI) contempla as duas alternativas possíveis:

Quando a deficiência hídrica mensal é maior ou igual à lâmina de irrigação:

$$\text{PAI} = \text{PUA} \cdot \text{LI} \quad (4)$$

sendo, PAI: preço da água para irrigação (R\$ ha<sup>-1</sup>);

PUA: preço unitário da água para irrigação (R\$ mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>)

Quando a deficiência hídrica mensal é menor ou igual à lâmina de irrigação:

$$\text{PAI} = \text{PUA} \cdot \text{DH} \quad (5)$$

#### 4.6 Benefícios diretos e indiretos da irrigação

##### 4.6.1 Benefício com o aumento de produtividade (BAP)

Para a determinação do aumento de produtividade agrícola (APE) proporcionado pela irrigação complementar, procurou-se selecionar as funções que relacionam a produção com consumo de água. Assim, foi escolhida a função de produção (Equação) determinada por Scardua (1985), que é a mais representativa para o ciclo de cana soca.

$$\begin{aligned} Y_m &= -15,5521 + 0,03886a_1 + 0,00082a_5 \\ R^2 &= 0,862 \end{aligned} \quad (6)$$

sendo: Y<sub>m</sub> – produtividade máxima estimada, em t ha<sup>-1</sup>;

a<sub>1</sub> – total de graus dias durante o ciclo da cana;

a<sub>5</sub> – total de radiação líquida no ciclo da cana, em cal cm<sup>-2</sup>;

Para o cálculo dos graus-dia será empregado o procedimento utilizado por Teruel (1995), com os dados de temperatura máxima e mínima da normal climatológica de 1974 a 2004, ou seja:

a) Para T<sub>m</sub> > T<sub>b</sub>:

$$\text{GD} = \frac{T_M + T_m}{2} - T_b \quad (7)$$

b) Para T<sub>m</sub> ≤ T<sub>b</sub>:

$$GD = \frac{(T_M - T_m)^2}{2 \cdot (T_M - T_b)} \quad (8)$$

sendo: GD = graus-dia;  
 $T_M$  = temperatura máxima, em °C;  
 $T_m$  = temperatura mínima, em °C;  
 $T_b$  = temperatura base da cana de 18 °C.

A produtividade máxima da cana soca resultou de 93,1 ton ha<sup>-1</sup>, conforme mostram os valores da Tabela 3.

**Tabela 3.** Produção máxima de soca ( $Y_m$ ), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	TM (°C)	Tm (°C)	UR (%)	GD	Q <sub>o</sub> (cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> )	N (h dia <sup>-1</sup> )	n (h dia <sup>-1</sup> )	RL (cal cm <sup>-2</sup> )	Y <sub>m</sub> (ton ha <sup>-1</sup> )
T/M	29,7	20,5	76,5	2 612	10 900	11,87	7,2	8.672	93,1
Jan.	31,6	21,4	73,3	264	908	12,99	6,5	645	
Fev.	31,6	21,6	74,0	241	908	12,78	6,7	660	
Mar.	31,4	21,7	76,8	265	909	12,15	7,0	691	
Abr.	30,5	21,4	79,3	246	909	11,59	7,6	741	
Mai.	28,9	20,8	82,4	212	908	11,03	7,7	766	
Jun.	27,8	20,0	80,6	183	908	10,25	7,4	791	
Jul.	27,2	19,1	79,8	160	909	10,30	7,6	807	
Ago.	27,2	18,6	77,1	152	909	11,12	7,9	798	
Set.	28,1	19,2	75,0	175	908	11,87	7,3	734	
Out.	29,5	20,8	72,9	222	907	12,45	7,2	712	
Nov.	30,8	21,1	73,0	246	908	12,80	7,4	704	
Dez.	31,4	20,5	73,4	246	909	13,16	6,2	623	

Fonte: S/A. Usina Coruripe Açúcar e Álcool, 2004.

Mediante este método foi determinado o aumento de produtividade agrícola esperado (APE) com a irrigação suplementar, durante o 1º estágio de desenvolvimento da cana soca de janeiro, conforme está resumido na Tabela 4 e detalhado nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 4.** Aumento de produtividade esperado (APE) para a cana soca irrigada no primeiro estágio de desenvolvimento

Soca	Produtividade Esperada (t/ha)		Irrigação (mm/ano)	APE	
	Sequeiro	Irigado		(t/ha)	(t/mm.ha)
Janeiro	62,7	81,9	104,0	19,2	0,185

**Tabela 5.** Produção da cana soca de janeiro de sequeiro ( $Y_s$ ), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET <sub>m</sub> (mm)		ET <sub>r</sub> (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y <sub>s</sub> (ton ha <sup>-1</sup> )
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 444,74	1 444,74	1 125,78	1 125,78	...	62,67
Janeiro	122,46		72,25			
Fevereiro	149,82	545,71	97,38	364,55	0,332	
Março	143,25		110,30			
Abril	130,19		84,62			
Maio	74,62		58,21			
Junho	73,66		56,72			
Julho	97,86	516,90	77,31	425,33	0,177	
Agosto	123,13		104,66			
Setembro	147,62		128,43			
Outubro	126,73		114,06			
Novembro	109,61	382,13	96,45	335,89	0,121	
Dezembro	145,80		125,38			

**Tabela 6.** Produção da cana soca de janeiro irrigada (Y<sub>i</sub>), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET <sub>m</sub> (mm)		ET <sub>r</sub> (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y <sub>i</sub> (ton ha <sup>-1</sup> )
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 444,74	1 444,74	1 296,50	1 296,50	...	81,92
Janeiro	122,46		122,46			
Fevereiro	149,82	545,71	149,82	535,28	0,019	
Março	143,25		143,00			
Abril	130,19		120,00			
Maio	74,62		58,21			
Junho	73,66		56,72			
Julho	97,86	516,90	77,31	425,33	0,177	
Agosto	123,13		104,66			
Setembro	147,62		128,43			
Outubro	126,73		114,06			
Novembro	109,61	382,13	96,45	335,89	0,121	
Dezembro	145,80		125,38			



Quando a deficiência hídrica é maior ou igual à lâmina de irrigação, o benefício com o aumento de produtividade esperado para cada mês (BAP) é determinado pela equação:

$$\text{BAP} = \text{LI} \cdot \text{APE} \cdot \text{PCC} \quad (9)$$

sendo: BAP = benefício com o aumento de produtividade (R\$ ha<sup>-1</sup>);  
 APE = aumento de produtividade esperado (ton mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>);  
 PCC = preço da cana no campo (R\$ ton<sup>-1</sup>).

Quando a deficiência hídrica é menor à lâmina de irrigação, o benefício com o aumento de produtividade para cada mês (BAP) é determinado pela equação:

$$\text{BAP} = \text{DH} \times \text{APE} \times \text{PCC} \quad (10)$$

A diferença entre o preço da cana na esteira e os custos de colheita (corte, carregamento e transporte) é o que define o preço da cana no campo. Os preços da cana na esteira e os custos de colheita têm grandes oscilações de valores durante a safra. A base média da safra de 03/04 foi de R\$ 42,00 ton<sup>-1</sup> para cana na esteira e um custo de colheita de aproximadamente R\$ 10,00 ton<sup>-1</sup>, obtendo assim, um preço da cana no campo de R\$ 32,00 ton<sup>-1</sup> (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A., 2004). Portanto, para a validação do modelo de análise de decisão foi considerado o valor de R\$ 32,00 ton<sup>-1</sup> para cana no campo.

#### 4.6.2 Benefício com o aumento de longevidade (BAL)

A longevidade média de sequeiro (LCS), para a condições tecnológicas e edafoclimáticas do estado de Alagoas, é de 5 a 6 cortes. Para a validação do modelo de análise de decisão foi considerado que a LCS é de 5 cortes, porque este valor tende a proporcionar resultados esperados menores na árvore de decisão, evitando a viabilidade econômica da irrigação suplementar.

$$\text{BAL} = \text{ALE} \left( \frac{\text{CP}}{\text{LCS}} - \frac{\text{CP}}{\text{LCS} + \text{ALE}} \right) \quad (11)$$

sendo: BAL = benefício com aumento de longevidade (R\$ ha<sup>-1</sup>);  
 CP = custo do preparo de solo e plantio (R\$ ha<sup>-1</sup>);  
 LCS = longevidade da cana de sequeiro (nº de cortes);  
 ALE = aumento de longevidade esperado (nº de cortes).

O aumento da longevidade esperado para as soqueiras irrigadas (ALE) foi determinado com base num critério devidamente equacionado no modelo de análise decisão, ou seja, para cada mês que a irrigação for executada com a Lâmina mensal máxima LI (60 mm), foi considerado que haverá um aumento de longevidade de mais de um corte. Para os meses em que a irrigação for inferior à lâmina mensal máxima LI (60 mm), não haverá aumento na longevidade do canavial.

#### 4.6.3 Benefício com redução de plantio (BRP)

O custo do plantio de cana-de-açúcar (CP), que também engloba as operações de preparo de solo é da ordem de R\$ 1.659,73 ha<sup>-1</sup> (S/A USINA CORURIBE AÇUCAR E ÁLCOOL, 2004). Este foi o valor considerado para a validação do modelo de análise de decisão.

$$\text{BRP} = \text{APE} \cdot \text{LI} \cdot \text{ALE} \cdot \frac{\text{CP}}{\text{PMS} \cdot \text{LCS}} \quad (12)$$

sendo: BRP = benefício com redução de custos com preparo de solo e plantio (R\$ ha<sup>-1</sup>);  
 PMS = produtividade média da cana de sequeiro (ton ha<sup>-1</sup>);

#### 4.6.4 Benefício com redução dos tratos culturais (BTC)

O custo com tratos culturais de soqueira (CTS) considerado na validação do modelo foi R\$ 634,92 ha<sup>-1</sup> (USINA CORURIBE AÇUCAR E ÁLCOOL S/A., 2004).

$$BTC = APE \cdot LI \cdot \frac{CP}{PMS} \quad (13)$$

sendo: BTC = benefício com redução de custos com tratos culturais de sequeiras (R\$ ha<sup>-1</sup>);

CTS = custo com tratos culturais de sequeiras (R\$ ha<sup>-1</sup>).

#### 4.8 Aversão 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 foi utilizada a função utilidade (equação 14) definida por Matioli (1998), quando o autor entrevistou um Diretor de produção agro-industrial de uma usina de açúcar e álcool do Estado de São Paulo, onde é cultivada uma área de aproximadamente 20.000 ha de cana-de-açúcar. A área definida pelo autor é semelhante à área da usina Coruripe que fica em torno de 20.000 ha irrigados.

A função utilidade do tomador de decisão definida por Matioli (1998) foi ajustada a uma aproximação logarítmica expressa por:

$$U(R) = 0,2579 \cdot \ln(RLI + 50) - 0,594 \quad (14)$$

sendo: U(R): utilidade do indivíduo (valores entre 0 e 1);

RLI: receita líquida esperada com a irrigação (R\$.ha<sup>-1</sup>);

R<sup>2</sup>: 0,9855.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo de análise de decisão foi desenvolvido para estudar a viabilidade técnica e econômica da introdução de irrigação suplementar de soqueiras de cana-de-açúcar no litoral sul do estado de Alagoas.

Os resultados obtidos referem-se às análises de decisão sobre os valores esperados das receitas líquidas, da irrigação suplementar realizada durante o primeiro estágio de desenvolvimento de cana soca colhida no mês de janeiro. Na análise contemplou-se os benefícios diretos e indiretos: aumento da produtividade agrícola, aumento da longevidade do canavial, redução de custo com preparo de solo e plantio, redução de custo com tratos culturais.

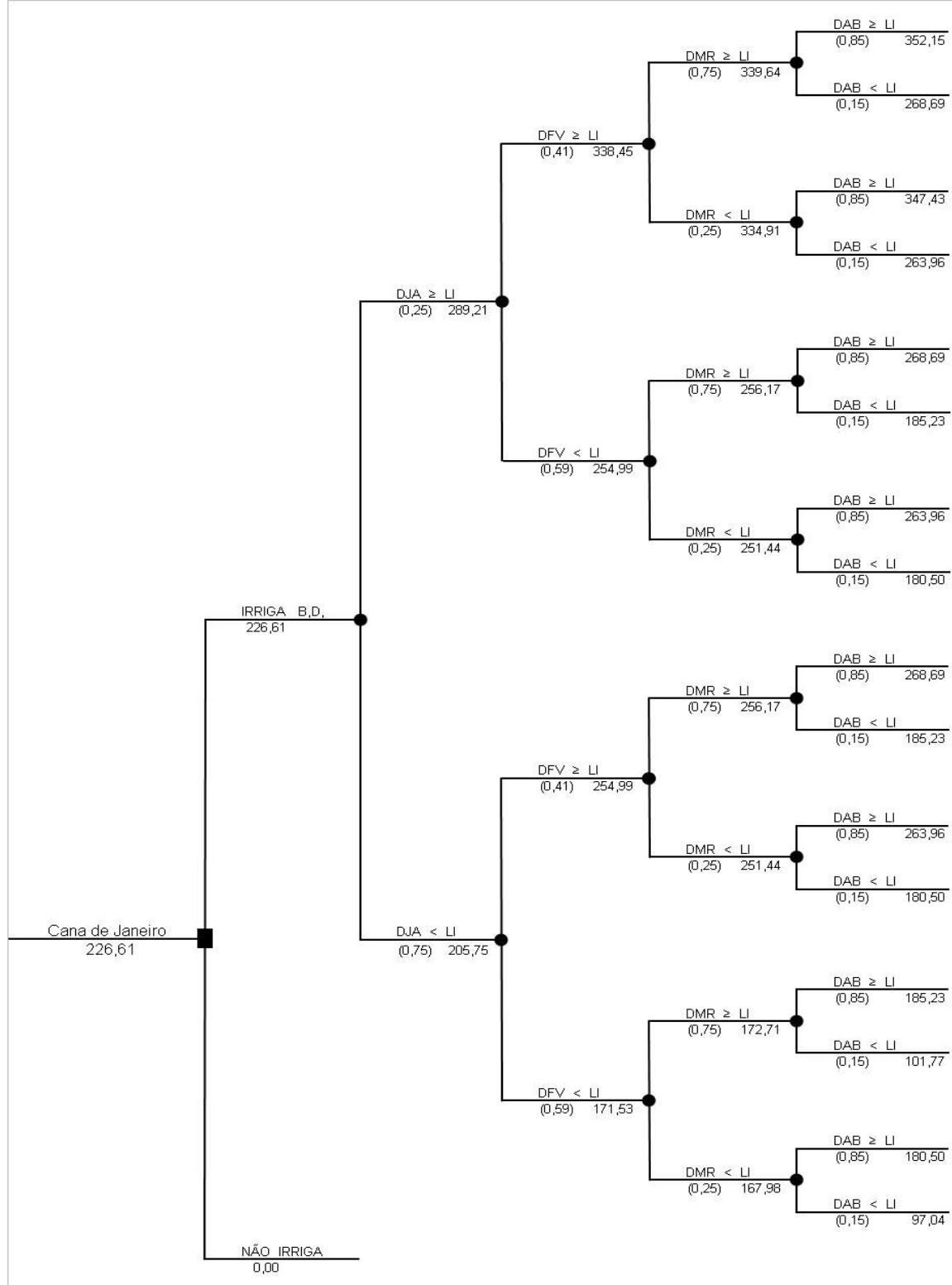
### 5.1. Análise de decisão da irrigação da cana soca de janeiro

#### 5.1.1 Valores esperados de receitas líquidas

Na Tabela 7 estão apresentados os valores das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar da cana soca do mês de janeiro. Os valores obtidos foram determinados pela árvore de decisão apresentada na Figura 1.

Os valores obtidos com os benefícios diretos e indiretos demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de janeiro apresenta um grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia. A solução ótima indicou a receita líquida de R\$ 226,61 ha<sup>-1</sup>, com intervalo de variação entre R\$ 97,04 ha<sup>-1</sup> e R\$ 352,15 ha<sup>-1</sup> (Figura 1). Esses resultados reafirmam o grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia para a cana soca de janeiro, em

função da intensidade e da probabilidade de ocorrência do evento natural “deficiência hídrica”.



**Figura 1.** Árvore de decisão para irrigação da cana soca de janeiro

**Tabela 7.** Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana soca de janeiro

Receita líquida (RL) (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Intervalo de variação da RLI (R\$ ha <sup>-1</sup> )	
	Valor mínimo	Valor máximo
226,61	97,04	352,15

## 5.1.2 Análise de sensibilidade das variáveis

As análises de sensibilidade de todas as variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana soca de janeiro, procurando demonstrar as suas variações em intervalos representativos da realidade da maioria das usinas localizadas na microrregião de Coruripe, estão apresentados nas Tabelas de 8 a 17.

**Tabela 8.** Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI), da cana soca de janeiro

LI (mm mês <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
40	142,99
50	174,96
<b>60</b>	<b>226,61</b>
70	330,62
80	362,59

**Tabela 9.** Análise de sensibilidade da variável custo fixo de irrigação (CFI), da cana soca de janeiro

CFI (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
30,00	239,29
40,00	229,29
<b>42,68</b>	<b>226,61</b>
50,00	219,29
60,00	209,29
70,00	199,29

**Tabela 10.** Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário de irrigação (CUI), da cana soca de janeiro

CUI (R\$ mm <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
2,00	257,62
2,50	238,71
<b>2,82</b>	<b>226,61</b>
3,00	219,81
3,50	200,90

Nas Tabelas 8, 9 e 10 estão apresentados os resultados das receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão das variáveis LI, CFI e CUI, demonstrando que a sensibilidade da variável LI sobre as receitas líquidas é inversamente proporcional às sensibilidades das

variáveis de custos (CFI e CUI). Pode-se observar que quando se aumentam as Lâminas de irrigação (LI) também ocorrem aumentos nas receitas, mas, isto implica em maiores custos (CFI e CUI), que quando aumentados provocam decréscimos nas receitas líquidas esperadas.

Na Tabela 11 pode-se observar que a análise de sensibilidade da variável PUA, que é a eventual cobrança pelo uso da água para irrigação, em que ainda não se tem conhecimento dos valores das taxas governamentais, tem um decréscimo bastante significativo nas receitas líquidas.

**Tabela 11.** Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA), da cana soca de janeiro

PUA (R\$ mm <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
<b>0,00</b>	<b>226,61</b>
0,25	215,51
0,50	204,41
0,75	193,30
1,00	182,20

A análise de sensibilidade da variável APE demonstrada na Tabela 12 apresenta a maior oscilação nas receitas líquidas esperadas, podendo chegar a inviabilizar a introdução desta tecnologia, se o aumento da produtividade esperado for inferior a 0,100 ton mm<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>. Os resultados mostram a necessidade de desenvolvimento de novos trabalhos e pesquisas com o objetivo de determinar funções de produção para as variedades de cana-de-açúcar para o Estado de Alagoas, que representam com maior exatidão o comportamento da produtividade esperada da cana irrigada.

**Tabela 12.** Análise de sensibilidade da variável aumento da produtividade esperado (APE), da cana soca de janeiro

APE (ton mm <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
0,050	-7,37
0,100	79,24
0,150	165,86
<b>0,185</b>	<b>226,61</b>
0,200	252,48
0,250	339,09

A análise de sensibilidade da variável PCC também demonstra uma grande interferência na receita líquida esperada da irrigação (Tabela 13). No entanto, torna-se necessário enfatizar dois fatores de grande importância que compõe o preço da cana no campo. O 1º fator é o preço da cana na esteira. O 2º fator importante é o preço da cana no campo, o custo da colheita (corte, carregamento e transporte). O custo considerado na validação do modelo de decisão foi o da colheita manual (o que é utilizado nas usinas de Alagoas).

**Tabela 13.** Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC), da cana soca de janeiro

PCC (R\$ ton <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
20,00	142,63
30,00	212,62
<b>32,00</b>	<b>226,61</b>
40,00	282,60
50,00	352,58

Na Tabela 14 estão apresentados os resultados com análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP), o qual não apresenta grande variação na receita líquida esperada.

**Tabela 14.** Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP), da cana soca de janeiro

CP (R\$ ha <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
1500,00	218,09
1600,00	223,43
<b>1659,73</b>	<b>226,61</b>
1700,00	228,76
1800,00	234,09
1900,00	239,43
2000,00	244,76

A análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) também é significativa, pois tem interferência na receita líquida. Na Tabela 15 é demonstrado que quanto maior for a longevidade da cana de sequeiro, menor será a receita líquida da irrigação. Fato este observado devido as áreas com solos de baixa fertilidade e com pequena capacidade de retenção de água são aquelas que proporcionam as maiores longevidades das soqueiras de cana-de-açúcar (Matioli, 1998)

**Tabela 15.** Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS), da cana soca de janeiro

LCS (n° de cortes)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
3	331,72
4	262,57
<b>5</b>	<b>226,61</b>
6	205,27
7	191,44

A Tabela 16 apresenta a análise de sensibilidade da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS) que demonstra que quanto mais produtiva for uma área canavieira de sequeiro (solos de baixa fertilidade), menor será o potencial de viabilidade econômica para a introdução da irrigação na cana-de-açúcar.

**Tabela 16.** Análise de sensibilidade da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS), da cana soca de janeiro

PMS (ton ha <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
50,0	265,28
60,0	242,72
<b>70,0</b>	<b>226,61</b>
80,0	214,53
90,0	205,13

A Tabela 17 representa a análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS), no qual não apresentou grande interferência na receita líquida esperada. No entanto, ressalta-se que o aumento ou a redução da diferença entre as distâncias de transporte (da área irrigada até a indústria), corresponde a um aumento ou redução na receita líquida da irrigação.

**Tabela 17.** Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana soca de janeiro

CTS (R\$ ton <sup>-1</sup> )	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha <sup>-1</sup> )
500,00	213,12
550,00	218,12
600,00	223,12
<b>634,92</b>	<b>226,61</b>
650,00	228,12
700,00	233,12
750,00	238,12

Na análise dos resultados pode-se observar que a irrigação suplementar da cana soca de janeiro apresentou grande viabilidade técnica econômica com uma receita líquida esperada de R\$ 226,61 ha<sup>-1</sup>, para ser introduzida nas lavouras canavieiras das usinas do litoral Sul de Alagoas.

Os aumentos de produtividade agrícola proporcionados pela técnica de irrigação é o que dá alicerce aos resultados. A utilização da função de produção determinada por Scardua (1985) foi de fundamental importância. Matioli (1998), em razão do desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar e do emprego de novas tecnologias de produção, recomendou a execução de outras pesquisas, semelhantes à de Scardua (1985), para determinação de outras funções de produção de cana, que representem melhor a realidade atual da lavoura canavieira do Estado de Alagoas.

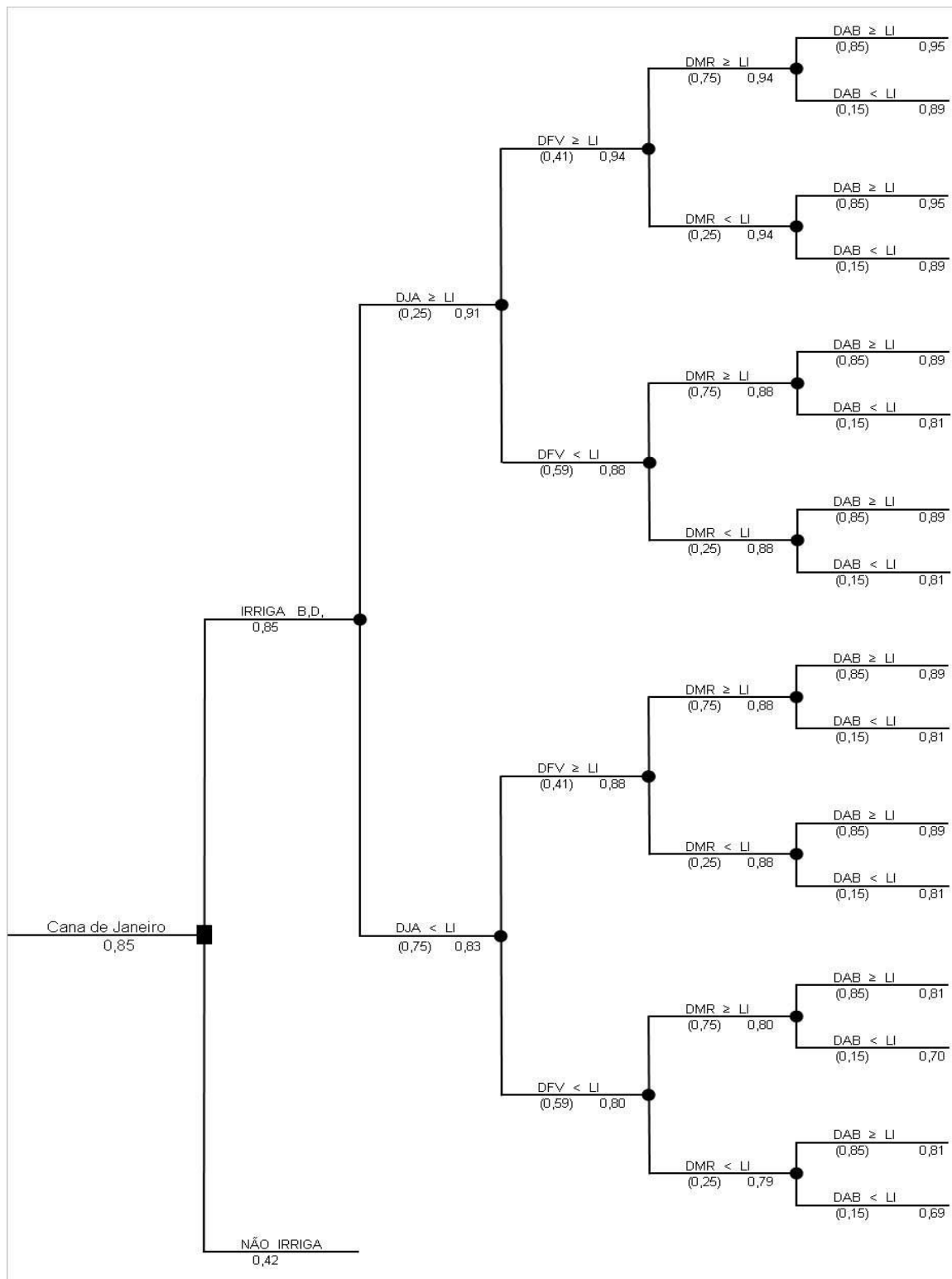
#### 5.6 Análise do Risco

Os valores apresentados na Figura 2. A equação 13 que representa a função utilidade do tomador de decisão substituiu as equações determinantes das receitas líquidas esperadas com a irrigação nas árvores de decisão.

A análise da cana soca de janeiro apontou para a decisão de “irriga”, com a utilidade esperada de 0,85, e a decisão de “não irriga” (0,42). Para a cana soca de janeiro o resultado foi bastante significativo.

Matioli (1998) ressalta 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. Quando ela não altera a decisão referente aos valores monetários, como ocorreu neste caso, a decisão resultante torna-se muito mais consolidada,



**Figura 2.** Valores esperados da utilidade na árvore “irrigação da cana soca de janeiro”



## 6 CONCLUSÕES

1. Existe um grande potencial de viabilidade técnica e econômica para irrigação do início de ano (janeiro), considerando os benefícios diretos e indiretos de aumento de produtividade agrícola, maior longevidade das soqueiras, redução de preparo de solo e plantio, tratos culturais e transporte de cana.

2. A análise de sensibilidade dos resultados das receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão das variáveis (lâmina mensal, custo fixo e custo operacional), mostra que a sensibilidade da variável lâmina mensal sobre as receitas líquidas, é inversamente proporcional às sensibilidades das variáveis de custos fixo e operacional. Já para as variáveis custos com tratos culturais de soqueiras e preparo de solo e plantio, a análise de sensibilidade não apresentou grande interferência na receita líquida esperada.

3. A análise de sensibilidade da variável aumento de produtividade esperada apresenta o maior efeito nas receitas líquidas esperadas, podendo chegar a inviabilizar a introdução da tecnologia de irrigação, se o aumento da produtividade esperada for inferior a  $0,100 \text{ t mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ .

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2005. Sencor Cana: É certeza de cana no limpo”. **Anuário da Agricultura Brasileira**. p. 262-277, 2005.

BRONSON, R. **Pesquisa operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 1985. 318p. (Coleção Schaum).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Universidade Federal da Paraíba: Campina Grande, 1994. p. 220-226.

MATIOLI, C. S. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Sccharum ssp*): um modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo**. 1998. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SCARDUA, R. **O clima e a irrigação na produção agro-industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1985. 122f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. v.1, p.373-431.

Usina Coruripe Açúcar e Álcool. **Demonstrativo agrícola**, safra 2003/04. Coruripe, 2004. 30p

YARRI, M. E. Some remarks on measures of risk aversion and their uses. **Journal of Economic Theory**, v.1, n.3, p.315-329, Oct. 1969.