

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): Um
modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas**

Márcio Aurélio Lins dos Santos

Tese apresentada, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e
Drenagem

**Piracicaba
2005**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Márcio Aurélio Lins dos Santos
Engenheiro Agrônomo

**Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): Um modelo de análise
de decisão para o Estado de Alagoas**

Orientador:
Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO FRIZZONE

**Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem**

Piracicaba
2005

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Santos, Márcio Aurélio Lins dos

Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp): um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas / Márcio Aurélio Lins dos Santos. - - Piracicaba, 2005.

100 p.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.
Bibliografia.

1. Análise de decisão 2. Cana-de-açúcar 3. Irrigação I. Título

CDD 633.61

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICO

Aos meus queridos pais, Antonio Jesus dos Santos e Maria de Lourdes Lins, que me ensinaram o necessário para que eu pudesse vencer na vida e também pela confiança depositada em vários anos dos meus estudos.

À minha esposa Dayse Lins e meu amado filho Maysson Jesus.

Aos meus irmãos: Marcos Antonio, Márcia Valéria, Mario Alberto, Messias André, Maciel Adaias, Ana Arcelina, Cícera, Givaldo e Ronaldo.

Aos meus sobrinhos: Alessandra, Adilson Jr., Abraão, Lucas, Luana, Sarah, Ingrid e Vitória

Aos cunhados: Adilson, Denis, Daniella, Josiara, Sandra, Gláucia, Sil, Ana.

O F E R E Ç O

A Deus meu Pai Eterno, pela Divina iluminação, e ao meu Senhor Jesus Cristo, pela salvação e pela ajuda nos momentos mais difíceis, através do seu divino Espírito Santo. “Deus é o nosso refúgio e fortaleza, socorro bem presente na hora de angústia”.

Ao meu avô paterno João Jesus dos Santos (*in memorian*)

À minha avó materna Maria Madalena Luna (*in memorian*)

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, pela oportunidade de aperfeiçoamento.

À CAPES pelo apoio financeiro que contribuiu para o bom aproveitamento do curso.

Ao Grupo Tércio Wanderley – Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A. pelos dados que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao amigo Prof. Dr. José Antonio Frizzone, pela paciência, apoio, amizade, confiança, ensinamento e orientação na realização deste trabalho.

Ao amigo Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa, pelo incentivo, apoio, valiosos conselhos e revisão deste trabalho.

Ao Diretor da empresa Usina Coruripe Açúcar e Álcool S/A., Engenheiro Agrônomo Márcio Silvio Wanderley de Paiva pelo apoio estrutural na realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Laércio Vitorino da Silva, pelo ensinamento incondicional e compartilhamento de sua experiência que às vezes não enxergamos.

Aos Engenheiros Agrônomos Pedro José Pontes Carnaúba e Cícero Augusto Bastos de Almeida, pelo fornecimento de dados e pelas colaborações prestadas.

Aos professores Dr. Jarbas Honório de Miranda (ESALQ/USP), Dr. Gilson Moura Filho (CECA/UFAL) pela ajuda e revisão do trabalho.

Aos professores Dr. Marcus Vinicius Follegatti, Dr. Tarlei Arriel Brotel, Dr. Rubens Duarte Coelho, Dr. Sérgio Nascimento Duarte e a todos os professores do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, que contribuíram para meu aprendizado.

Aos professores Dr. José Vicente Caixeta-Filho, Dr. Fernando Curi Peres do Departamento de Economia da ESALQ/USP, pelo ensinamento.

Aos Técnicos Agrícolas Luiz Carlos, Cláudio, Hélio, Mariozan, Juarez, Sandro, Sandra e Charles, pelas colaborações técnicas e dados fornecidos.

Aos amigos e funcionários da Usina Coruripe Adalberto e Valdir (recursos humano), Cícero Antonio (Méia), Santério Jr., Djair, Josevaldo (Dorita), Glaudstone, Jean, Allan, Nunes, Rubens, Solange e Célia pelo apoio, encorajamento e ajuda na coleta de dados para realização deste trabalho.

Aos amigos do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem em especial Cláudio, José Alves (Kumprido), Tonny, Tales, Miguel, Roberta, Patrícia, Adriana. Enfim..., a todos que colaboraram e enviaram boas energias para este trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
CURRICULUM VITAE RESUMIDO	11
RESUMO	12
ABSTRACT	13
1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO Bibliográfica	16
2.1 Consumo de água pela cana-de-açúcar	19
2.2 Produção e consumo de água.....	21
2.3 Produção e deficiência hídrica.	22
2.4 Balanço hídrico.....	24
2.4.1 Coeficiente de cultivo (K_c)	24
2.4.2 Determinação do balanço hídrico.....	27
2.4.3 Sistema radicular.....	27
2.4.4 Solos da região Sul de Alagoas	28
2.5 Planejamento de irrigação na cana-de-açúcar	29
2.6 Produtividade de cana-de-açúcar na região Sul Alagoana	29
2.7 Função de produção	31
2.8 Benefícios da Irrigação.....	34
2.8.1 Benefícios diretos	34
2.8.2 Benefícios indiretos	36
2.9 Custos da irrigação	37
2.10 Análise de decisão	39
2.10.1 Árvore de decisão	39
2.10.2 Função utilidade	40
3 MATERIAL E MÉTODOS	42
3.1 Estimativa das deficiências hídricas.....	42
3.1.1 Dados climáticos	42
3.1.2 Solo	42
3.1.3 Coeficiente de cultivo (K_c)	42

3.2 Irrigação suplementar.....	43
3.3 Análise de decisão	43
3.4 Probabilidade das deficiências hídricas	44
3.5 Custos da irrigação suplementar	46
3.5.1 Custos fixos da irrigação	47
3.5.2 Custo operacional da irrigação.....	47
3.5.3 Preço do uso da água	48
3.6 Benefícios diretos e indiretos da irrigação.....	49
3.6.1 Benefício com o aumento de produtividade esperada (BAP)	49
3.6.2 Benefício com o aumento de longevidade das soqueiras (BAL)	51
3.6.3 Benefício com a redução de custos com preparo de solo e plantio (BRP).....	52
3.6.4 Benefício com a redução de custos com tratos culturais de soqueiras (BTC).....	52
3.8 Aversão ao risco.....	52
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1 Análise de decisão da irrigação da cana-soca de setembro	54
4.1.1 Valores esperados de receitas líquidas.....	54
4.1.2 Análise de sensibilidade das variáveis	55
4.2 Análise de decisão da irrigação da cana-soca de novembro	60
4.2.1 Valores esperados de receitas líquidas.....	60
4.2.2 Análise de sensibilidade das variáveis	60
4.3 Análise de decisão da irrigação da cana-soca de janeiro	61
4.3.1 Valores esperados de receitas líquidas.....	61
4.3.2 Análise de sensibilidade das variáveis	61
4.4 Análise de decisão da irrigação da cana-soca de março	62
4.4.1 Valores esperados de receitas líquidas.....	62
4.4.2 Análise de sensibilidade das variáveis	62
4.5 Resumo dos resultados obtidos	63
4.6 Análise do Risco.....	64
5. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICES	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área colhida e produção da cana-de-açúcar nas regiões do Brasil. Adaptado do Agriannual 2005	17
Tabela 2 - Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil. Adaptado do Agriannual, 2005	17
Tabela 3 - Estimativa de crescimento da produção brasileira de cana-de-açúcar para os próximos dez anos	18
Tabela 4 - Estimativa de crescimento da área colhida no Brasil de cana-de-açúcar para os próximos dez anos	18
Tabela 5 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtidos lisímetros por diversos autores	20
Tabela 6 - Consumo de água pela cana, obtido pelo método de “Campo” por diversos autores	21
Tabela 7 - Consumo de água versus produção: informações obtidas em lisímetros	22
Tabela 8 - Valores do coeficiente cultural (K_c) para cana-de-açúcar.....	25
Tabela 9 - Valores de K_c para cana-planta.....	25
Tabela 10 - Valores de K_c para cana-de-açúcar.....	26
Tabela 11 - Valores de K_c para cana-soca.....	26
Tabela 12 - Valores de K_c para cana-planta, utilizando três métodos de estimativa de ET_o	27

Tabela 13 - Produção de cana-de-açúcar da usina Coruripe na safra 03/04	30
Tabela 14 - Perfil da cana-de-açúcar para safras de 1998/9 e 1999/00 para o Estado de Alagoas	30
Tabela 15 - Produção de cana planta irrigada e não irrigada (variedade SP 801842)	35
Tabela 16 - Produção de cana planta irrigada e não irrigada da usina Coruripe	36
Tabela 17 - Produção de cana irrigada e não irrigada da variedade SP 791011 da usina Coruripe	36
Tabela 18 - Evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar no litoral Sul do Estado de Alagoas	37
Tabela 19 - Valores de investimentos, custos fixos e operacionais do projeto de irrigação “padrão”	38
Tabela 20 - Valores das áreas irrigadas, lâminas aplicadas e custos da irrigação na usina Coruripe	38
Tabela 21 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1 ^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de setembro	45
Tabela 22 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1 ^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de novembro	45
Tabela 23 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1 ^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de janeiro	46
Tabela 24 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1 ^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de março	46

Tabela 25 - Aumento de produtividade esperado (APE) para a cana-soca irrigada no primeiro estágio de desenvolvimento	50
Tabela 26 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de setembro	54
Tabela 27 - Análise de sensibilidade da variável lâmina mensal de irrigação (LI), da cana-soca de setembro	55
Tabela 28 - Análise de sensibilidade da variável custo fixo de irrigação (CFI), da cana-soca de setembro	55
Tabela 29 - Análise de sensibilidade da variável custo operacional unitário de irrigação (CUI), da cana-soca de setembro.....	56
Tabela 30 - Análise de sensibilidade da variável preço do uso da água (PUA), da cana-soca de setembro	56
Tabela 31 - Análise de sensibilidade da variável aumento da produtividade esperado (APE), da cana-soca de setembro.....	57
Tabela 32 - Análise de sensibilidade da variável preço da cana no campo (PCC), da cana-soca de setembro	57
Tabela 33 - Análise de sensibilidade da variável custo de preparo de solo e plantio (CP), da cana-soca de setembro.....	58
Tabela 34 - Análise de sensibilidade da variável longevidade da cana de sequeiro (LCS), da cana-soca de setembro.....	58
Tabela 35 - Análise de sensibilidade da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS), da cana-soca de setembro	59

Tabela 36 - Análise de sensibilidade da variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana-soca de setembro	59
Tabela 37 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de novembro	60
Tabela 38 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de janeiro	61
Tabela 39 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de março	62
Tabela 40 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), das canas socas de setembro, de novembro, de janeiro e de março	63
Tabela 41 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), das canas socas de setembro, de novembro, de janeiro e de março	64

CURRICULUM VITAE RESUMIDO

Márcio Aurélio Lins dos Santos nascido em 11 de julho de 1974 na Usina Coruripe, município de Coruripe, Estado de Alagoas. Filho de Antonio Jesus dos Santos e Maria de Lourdes Lins.

Técnico Agrícola pela Escola Agrotécnica Federal de Satuba (EAFS) em 1991.

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em 2000.

Concluiu o curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem em nível de Mestrado pela Universidade Federal do Ceará (UFC) em 2002.

Atualmente aluno do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem em nível de Doutorado pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo (USP).

Trabalhou durante 12 meses na Usina Coruripe (1992), onde ocupou o cargo de Técnico Agrícola da Seção de Mecanização Agrícola.

Trabalhou durante 06 anos como professor, no C.C.P.B.L. (1994 a 1996 – 03 anos) e no E.S.J.B. (1997 a 1999 – 03 anos).

Monitor da Disciplina de Irrigação e Drenagem durante 02 anos (1998 e 1999), pelo Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal de Alagoas.

Monitor de Irrigação na Área Temática Agropastoril do Programa Xingó, nos municípios de Jatobá – PE e Canindé de São Francisco – SE, em 1998.

Monitor da Disciplina de Irrigação e Drenagem durante 06 meses em 2003 pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo.

Palestrante do curso de Irrigação Localizada no município de Morada Nova – CE, pelo CENTEC, em 2001.

Acompanhou durante um estágio na Usina Coruripe (Fazenda Capiatã) a implantação de 300 ha de gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar, no mês de fevereiro de 2001.

RESUMO

Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas

As usinas de açúcar e álcool no Estado de Alagoas têm grande importância econômica, para usar sua capacidade instalada torna-se necessário o uso de técnicas que aumentem sua produtividade e/ou diminuam os custos de produção da cana-de-açúcar. A irrigação suplementar apresenta-se como uma destas alternativas. A tecnologia de irrigação se tornou uma alternativa rentável para as condições do Estado de Alagoas. Com base na análise de viabilidade da tecnologia de irrigação em cana-soca, a árvore de decisão, um instrumento de análise de decisão, foi utilizada na avaliação dos valores esperados dos retornos associados a diferentes alternativas disponíveis para a escolha do tomador de decisão. Levando-se em considerações as condições analisadas de irrigação suplementar durante o primeiro estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar (ciclo soca), no litoral Sul do Estado de Alagoas, os resultados do estudo permitiram obter as seguintes conclusões: (a) existe um grande potencial de viabilidade da tecnologia de 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; (b) os valores obtidos com os benefícios diretos e indiretos da irrigação suplementar da cana-soca de março indicaram inviabilidade econômica para tecnologia de irrigação; (c) a análise de sensibilidade dos resultados das receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão das variáveis (lâmina de irrigação, custo fixo e custo operacional), mostrou que o efeito da variável lâmina de irrigação sobre as receitas líquidas, é inversamente proporcional aos efeitos das variáveis de custos fixo e operacional. (d) a receita líquida esperada apresenta pequena sensibilidade às variáveis de custos com tratos culturais de soqueiras e preparo de solo e plantio.

Palavras-chave: irrigação suplementar; cana-de-açúcar; análise de decisão

ABSTRACT

Supplementary irrigation of the sugar-cane (*Saccharum* spp): A model of analysis of decision for the State of Alagoas

The plant of sugar mills and alcohol distilleries of the State of Alagoas have great economical importance, to fulfill your installed capacities necessary the use of techniques that increase your productivity and/or reduce the costs of production of the sugar-cane. The supplementary irrigation is one of the available alternatives. The irrigation technology a profitable alternative for the conditions of the State of Alagoas. With base in analysis of viability of the irrigation technology in cane-beats, the decision trees, an instrument of decision analysis, was utilized in the evaluating the expected values of different alternatives faced by the decision maker, taking in considerations the analyzed conditions of the supplementary irrigation during the first stadium of development of the sugar-cane (ratoon cycle) in the coast South of Alagoas, the results of the study lead the following conclusions: (a) a great potential of viability of the technology of irrigation of the year beginning (january), considering the direct and indirect benefits of increase of productivity agricultural, larger longevity of the ratoon, reduction of soil preparation and planting, cultural treatments and cane transport; (b) the values obtained with the direct and indirect benefits of the supplemental irrigation of the cane-beats of march they indicated economical inviability for irrigation technology; (c) the analysis of sensibility of the results of the expected net benefit in the decision trees of the variables (irrigation sheet, fixed cost and operational cost), showed that the effect of the variable irrigation sheet on the net benefit, is inversely proportional to the effects of the variables of fixed and operational costs. (d) the expected net benefit presents small sensibility to the variables of costs with cultural treatments of ratoon and soil preparation and planting.

Keywords: supplementary irrigation; sugar-cane; decision analysis

1 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se em 1º lugar ranking mundial da produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), 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). O Estado de São Paulo é 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). Com essa produção a cultura da cana-de-açúcar demonstra ser de grande importância para a economia brasileira.

Grande parte da área plantada com cana-de-açúcar no Nordeste brasileiro localiza-se no ecossistema dos tabuleiros costeiros, que se caracteriza por apresentar distribuição de chuvas concentradas no outono/inverno, solos com horizontes coesos e com baixa capacidade de retenção de água. Tais características, aliadas aos efeitos dos diferentes métodos de preparo de solo utilizados e à particularidade da cana-de-açúcar, comportando-se como cultura semiperene, poderão determinar a distribuição do sistema radicular, de forma diferenciada e, assim, perfis distintos de disponibilidade hídrica no solo.

Acredita-se que mais de 50% da cana-de-açúcar produzida no Estado de Alagoas seja de cultivo de sequeiro, ou seja, sem irrigação. Existem áreas fertirrigadas com vinhaça, onde se priorizam a substituição da adubação mineral e o descarte de efluentes agroindustriais (vinhaça), não consideradas nessa contabilidade, apesar do pequeno, porém significativo, suprimento de água que a fertirrigação proporciona.

A tradição do cultivo exclusivo de cana-de-açúcar de sequeiro é alicerçada no paradigma de que não tem recursos hídricos suficientes para irrigação no Estado de Alagoas e que para os pequenos produtores de cana-de-açúcar é economicamente inviável a irrigação devido ao alto custo da implantação e manutenção de um projeto. Este paradigma foi formado ao longo dos anos, através de ensinamentos transmitidos de pais para filhos, que via de regra, analisavam os custos da irrigação, em comparação única com o benefício direto do aumento de produtividade proporcionado pela irrigação. Nestas condições, a viabilidade econômica da tecnologia da irrigação de cana-de-açúcar nunca se mostrou evidente para produtores açucareiros.

A irrigação é uma técnica altamente benéfica para a agricultura, pois proporciona condições adequadas de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura, garantindo melhor desenvolvimento, o que se traduz em maior produção e com um produto de melhor qualidade. A irrigação suplementar da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas propicia excelentes resultados, desde que conduzida dentro da técnica e com sistema adequado.

Atualmente em algumas áreas cultivadas com cana-de-açúcar vem sendo introduzida a tecnologia de irrigação, que constitui em uma das alternativas que pode contribuir para a “qualidade total” do processo de produção sucro-alcooleiro alagoano, desde que estudos e pesquisas sejam desenvolvidos para comprovar a viabilidade econômica da introdução desta tecnologia. Algumas pesquisas foram conduzidas no Brasil visando detectar os benefícios da cana-de-açúcar irrigada, comparativamente à não irrigada. Tais pesquisas, em geral, apresentam como resultados altos índices de produção, evidenciando os benefícios da irrigação. Todavia, há grande variação nos resultados, o que indica a importância das condições locais de clima, solo, manejo da cultura e da própria irrigação.

A hipótese deste trabalho é de que a irrigação suplementar da cultura da cana-de-açúcar, para as condições edafoclimáticas do litoral alagoano, procurando suprir parcialmente as deficiências hídricas da cultura no seu estágio de desenvolvimento mais crítico à ausência de água durante a estação seca (primavera/verão), é técnica e economicamente viável para as soqueiras de início até final da safra.

O objetivo da pesquisa consistiu na elaboração de um modelo de análise de decisão, com o emprego da técnica chamada “árvore de decisão”, que permite analisar a economicidade da introdução da tecnologia de irrigação suplementar na cultura da cana-de-açúcar cultivada no Estado de Alagoas. Posteriormente, o modelo foi validado com os parâmetros técnicos e econômicos representativos da região Litorânea de Alagoas, liderada pela microrregião de Coruripe e dados da Usina Coruripe.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cana-de-açúcar originou-se na Ásia, provavelmente na Nova Guiné. A maior parte da cana-de-açúcar comercial (de sequeiro e sob irrigação) é produzida entre as latitudes 35°N e 35°S do Equador. A cultura desenvolve-se bem sob estação quente e longa com incidência de radiação alta e umidade relativa adequada, seguida de período seco, ensolarado e medianamente frio, porém sem geadas, durante a maturação e a colheita (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Conforme Tropmair (1987), em 1920, 45% da área do Estado de São Paulo encontrava-se ocupada pela vegetação natural, que diminuiu para 14% em 1962, e 8,5% em 1973. No levantamento realizado por Camargo et al. (1995), em 1993 as atividades agropecuárias ocuparam 176.261 km², o equivalente a 71% da área do Estado, que foi subdividida preferencialmente entre pastagens (59%) e cana-de-açúcar (14%).

A área colhida com cana-de-açúcar no Brasil em 1991 representou 23,4% da área mundial (17.972 milhões de hectares). Neste mesmo ano, a produção mundial de açúcar foi estimada em 1,091 bilhão de toneladas, e o Brasil produziu 262 milhões de toneladas. No período de 1990/1992, a área total colhida no Brasil foi de 4.220.000 ha, sendo 34% na região Norte-Nordeste, e 66% no Centro-Sul, dos quais 44% no Estado de São Paulo (FERNANDEZ, 1996).

A área colhida de cana-de-açúcar no ano de 2004 foi estimada em aproximadamente 5.455.132 hectares, onde se destaca em primeiro lugar o Estado de São Paulo com 3.358.552 hectares, e em segundo lugar o Estado de Alagoas com 416.000 hectares. Já a produção brasileira estimada para 2004 foi de 421.408.000 toneladas de cana-de-açúcar, a Tabela 1 mostra a área colhida e produção nos últimos três anos do Brasil e de suas regiões (AGRIANUAL 2005).

A importância da cultura da cana-de-açúcar para a economia brasileira é suficientemente conhecida. Para compreender melhor esta importância, bastam observar os valores de evolução da produção de cana-de-açúcar nos Estados brasileiros (Tabela 2), apresentados por Agrianual (2005).

É praticamente desnecessário tecer considerações sobre a importância que o setor canavieiro representa para o País. Instalado no Brasil logo após a sua descoberta,

vem, desde então, desempenhando papel de grande importância na economia nacional (SOUSA et al., 1980).

Tabela 1 - Área colhida e produção da cana-de-açúcar nas regiões do Brasil. Adaptado do Agrianual 2005

Região	Área Colhida (ha)			Produção Brasileira (x10 ³ ton)		
	2002	2003	2004 ⁽¹⁾	2002	2003	2004 ⁽¹⁾
Brasil	5 100 485	5 336 985	5 455 132	364 391	389 849	421 408
Norte	13 279	11 632	12 012	795	748	739
Nordeste	1 096 827	1 130 957	1 120 968	59 726	62 897	63 829
Sudeste	3 149 810	3 299 092	3 358 552	241 150	258 083	283 801
Sul	409 298	419 518	442 428	29 815	32 860	34 256
Centro Oeste	434 271	475 786	521 172	32 906	35 262	38 783

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

⁽¹⁾ Previsão feita em junho/2004.

Tabela 2 - Evolução da produção de cana-de-açúcar no Brasil. Adaptado do Agrianual 2005

Estado	Ano de 2003		Ano de 2004 ⁽¹⁾	
	Produção (t)	Participação (%)	Produção (t)	Participação (%)
Brasil	389 849 000	100,0	421 408 000	100,0
São Paulo	226 277 000	58,04	248 740 000	59,03
Paraná	31 075 000	7,97	32 657 000	7,75
Alagoas	25 252 000	6,48	25 834 000	6,13
Minas Gerais	20 786 000	5,33	23 308 000	5,53
Pernambuco	18 522 000	4,75	19 001 000	4,51
Outros	67 937 000	17,43	71 868 000	17,05

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

⁽¹⁾ Previsão feita em junho/2004.

No Brasil, nos próximos dez anos a produção de cana-de-açúcar deverá crescer 48%, atingindo uma produção de 557 milhões de toneladas (Tabela 3) e cerca de uma área colhida de 7.039.000 ha (Tabela 4) na safra 2013/14. A produção deverá continuar concentrada no Centro-Sul (AGRIANUAL, 2005).

Tabela 3 - Estimativa de crescimento da produção brasileira de cana-de-açúcar para os próximos dez anos⁽¹⁾

Nº de cortes	Produção brasileira de cana-de-açúcar para os próximos 10 anos (x10 ⁶ de t)									
	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14
1º corte-1,5ano	60,15	76,65	75,34	74,43	90,72	85,81	86,37	86,36	102,40	102,50
1º corte-1 ano	19,94	24,71	23,30	21,99	25,49	22,97	21,93	20,84	23,16	22,16
2º corte	77,54	78,76	94,98	94,85	91,52	111,20	102,77	103,15	100,82	118,13
3º corte	75,19	67,49	67,19	83,81	83,81	81,83	99,55	93,08	93,52	92,45
4º corte	67,7	60,30	55,12	55,84	70,83	71,97	71,37	86,96	81,44	81,94
5º corte	35,26	52,85	47,80	73,86	43,85	54,94	55,16	54,08	66,41	62,34
6º corte	28,27	27,14	42,03	38,28	34,54	34,79	43,62	44,09	43,26	53,17
7º corte ou +	22,1	22,97	22,69	34,93	31,85	28,77	29,00	36,39	36,83	36,17
Bruta	386,15	410,87	428,45	477,99	472,61	492,28	509,77	524,95	547,84	568,86
mudas	(10,41)	(10,30)	(9,94)	(11,95)	(11,04)	(10,97)	(10,72)	(12,43)	(12,28)	(12,15)
Líquida	375,74	400,57	418,51	466,04	461,57	481,31	499,05	512,52	535,56	556,71

⁽¹⁾ Estimativa da FNP Consultoria (Ano-safra maio a abril).

Tabela 4 - Estimativa de crescimento da área colhida no Brasil de cana-de-açúcar para os próximos dez anos⁽¹⁾

Nº de cortes	Área colhida no Brasil de cana-de-açúcar para os próximos 10 anos (x10 ³ ha)									
	04/05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11	11/12	12/13	13/14
Total	5 421	5 638	5 807	5 981	6 161	6 315	6 504	6 667	6 867	7 039
1º corte-1,5ano	584	730	731	716	872	817	823	815	957	958
1º corte-1 ano	262	313	299	278	323	287	274	257	286	270
2º corte	852	838	1 032	1 020	984	1 183	1 093	1 086	1 061	1 230
3º corte	952	844	830	1 022	1 010	974	1 171	1 082	1 075	1 051
4º corte	1 092	942	835	821	1 012	1 000	964	1 159	1 072	1 064
5º corte	665	961	839	743	731	901	890	858	1 038	959
6º corte	544	532	778	696	617	610	752	747	721	872
7º corte ou +	470	478	463	685	612	543	537	662	658	635

⁽¹⁾ Estimativa da FNP Consultoria (Ano-safra maio a abril).

A importância das variedades de cana-de-açúcar pode ser avaliada pela própria história da cultura no país e no mundo. A constante renovação na distribuição destas,

juntamente com a evolução tecnológica do setor, têm propiciado uma contínua elevação dos índices de produtividade.

É fato que a importação de variedades não representa o caminho adequado para a lavoura canavieira do Brasil. Os critérios de seleção adotados em outros países buscam a solução de problemas e situações regionais. Uma variedade desenvolvida para outras regiões com excelentes resultados, pode não se adaptar na situação brasileira. O fracasso verificado em pesquisas de competição de variedades estrangeiras comprovam esta tese.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), a cana-de-açúcar não necessita de um tipo especial de solo. Os melhores são aqueles com mais de 1,0 m de profundidade. O solo deve estar preferencialmente bem arejado (após uma chuva intensa, com porosidade de aeração de 10 a 12%) e possuir uma quantidade total de água disponível de 15% ou mais. Quando existe lençol freático, seu nível deve estar a uma profundidade além de 1,5 a 2,0 m da superfície.

Segundo Sousa et al. (1980), as agroindústrias açucareiras, que têm na cultura da cana-de-açúcar o seu sustentáculo, vêm contribuindo em muito para o ganho de divisas para o País, via exportações do açúcar e, conseqüentemente, colaborando para a resolução do problema de desequilíbrio da balança de pagamentos. Aliás, esta contribuição cresce sobremaneira de importância nos dias atuais em que se verifica uma rápida recuperação do mercado mundial de açúcar, com sensíveis elevações nas cotações deste produto. Para um país como o Brasil, colocado sempre entre os quatro principais exportadores de açúcar de cana nos anos setenta, esta tendência de melhoria de preços propicia efeitos altamente positivos.

2.1 Consumo de água pela cana-de-açúcar

Peres, 1988 apud Matioli (1998) trabalhando com lisímetro de nível freático constante para a determinação dos coeficientes de cultura (K_c) da cana-de-açúcar, ciclo de cana-soca, concluiu que o consumo máximo, médio e mínimo de água foi, de 4,74; 2,17 e 0,60 mm dia⁻¹, respectivamente. O autor também apresenta um resumo de

resultados de consumo de água pela cana, obtidos por diversos autores que trabalham com lisímetros (Tabela 5).

Tabela 5 - Consumo de água pela cana-de-açúcar, obtidos em lisímetros por diversos autores

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Consumo de água (mm dia ⁻¹)		
				Mínimo	Médio	Máximo
Média	...	...	...	2,30	3,62	6,09
Campbell et al.	1959	EUA (Havaí)	Planta	4,10	5,70	8,60
Thompson et al.	1963	África do Sul	Planta	2,30	---	6,10
Thompson	1965	África do Sul	Planta	1,83	3,66	5,74
Chang & Wang	1968	Taiwan	Planta e Soca	2,18	4,80	7,75
Thompson & Boyce	1971	África do Sul	Planta	2,52	3,94	6,62
Early & Gregório	1974	Filipinas	Planta	1,52	3,10	4,62
Fogliata	1974	Argentina	Planta e Soca	3,42	4,36	5,09
Thompson	1976	África do Sul	1ª Soca	2,47	3,86	7,79
			2ª Soca	1,78	3,63	5,97
Shih & Gascho	1980	EUA (Flórida)	Planta e Soca	1,30	3,36	6,80
Barbieri	1981	Brasil	Planta	0,52	2,50	6,03
Chang et al	1983	Taiwan	Planta	---	2,33	---
			1ª Soca	---	3,14	---
			2ª Soca	---	3,06	---
Yang et al.	1985	Colômbia	Planta	2,70	3,33	3,70
			1ª Soca	3,23	3,57	4,04

Fonte: Peres (1988).

Shaw, 1965 apud Campbell (1968), em pesquisa na Jamaica, observou que o aumento de produtividade da cana irrigada é maior no primeiro terço do ciclo de uma cultura anual do que no último terço, o que vem mostrar que o primeiro estágio (estabelecimento + vegetativo) é o mais exigente à água.

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. Scardua e Rosenfeld (1987) apresentam um resumo

de resultados de estimativas de consumo de água em diversas regiões do mundo (Tabela 6).

Tabela 6 - Consumo de água pela cana, obtido pelo método de “Campo” por diversos autores

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Consumo de água (mm dia ⁻¹)		
				Mínimo	Médio	Máximo
Média	..	...	...	2,1	3,5	4,9
Cox	1960	Havaí	...	3,8	...	8,0
Thompson	1963	África do Sul	...	2,2	...	6,0
Tosello	1966	Brasil	...	1,3	...	3,4
Cruciani	1972	Brasil	...	1,2	...	2,8
Souza	1974	Brasil	Planta	2,3	3,6	4,5
Souza	1975	Brasil	Soca	2,2	3,6	5,0
Leme	1978	Brasil	Planta	1,9	3,8	5,6
Leme	1978	Brasil	Planta	1,3	3,2	4,8
Scardua	1979	Brasil	Planta	2,3	3,3	4,5
Scardua	1979	Brasil	Soca	2,2	3,2	4,4

Fonte: Scardua e Rosenfeld (1987).

2.2 Produção e consumo de água

De acordo com Gascho (1985 apud MATIOLI, 1998), é muito difícil estabelecer uma relação geral entre produção e consumo de água pela cana-de-açúcar, devido às variações de localização, clima e variedades. Esta situação pode ser comprovada pelas informações da Tabela 7.

Peres, 1988 apud Matioli (1998) “também concluiu que a relação entre o consumo de água e a produção da cana soca foi de 12,1 mm t⁻¹”.

Ressalte-se que todos os valores apresentados na Tabela 7 referem-se ao consumo médio de água pela cana e foram determinados em lisímetro, onde a cultura não sofreu deficiências hídricas ao longo de todo o ciclo, isto é, o solo esteve sempre com o teor de umidade próximo da condição de capacidade de campo. Portanto, pode-se inferir que em condições de campo, onde a cana-de-açúcar está sujeita a deficiências

hídricas durante o ciclo produtivo, o consumo de água pela cultura de cana-de-açúcar seja inferior aos valores determinados pelos diversos autores, e que também, exista uma variação desse consumo nos diferentes estádios fenológicos da cultura da cana (MATIOLI, 1998).

Tabela 7 - Consumo de água versus produção: informações obtidas em lisímetros

Autor	Ano	Local	Ciclo da cultura	Consumo/produção (mm t ⁻¹)
Campbell et al.	1959	EUA (Havaí)	Planta	9,4 – 14,9
Thompson et al.	1963	África do Sul	Planta	5,9 – 10,2
Chang & Wang	1968	Taiwan	Planta e Soca	4,9
Thompson & Boyce	1971	África do Sul	Planta	9,4
Fogliata	1974	Argentina	Planta e Soca	12,6 – 14,9
Thompson	1976	África do Sul	1ª Soca	8,9
			2ª Soca	8,7
Shih & Gascho	1980	EUA (Flórida)	Planta e Soca	9,2 – 12,2
Barbieri	1981	Brasil	Planta	8,6
Chang et al	1983	Taiwan	Planta	9,3
			1ª Soca	10,5
			2ª Soca	12,7
Yang et al.	1985	Colômbia	Planta	5,2
			1ª Soca	7,0

Fonte: Peres (1988).

2.3 Produção e deficiência hídrica

Os períodos de déficit hídrico podem ocorrer durante todo o ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana e açúcar, varia muito em função da interação entre a época do ano em que ocorrem, e a fase do ciclo fenológico da cultura (THOMPSON, 1976; DOORENBOS; PRUITT, 1975).

Rosenfeld e Leme (1984), estudando épocas de irrigação para cana-de-açúcar em Ribeirão Preto, concluíram que as maiores reduções de produção ocorreram com déficit hídrico nos primeiros oito meses do ciclo de cana-planta. Já Vazquez (1970), estudando épocas de irrigação em Porto Rico, concluiu que para as condições de

variedade e climas do estudo é possível economizar até 250 mm ano⁻¹, suspendendo a irrigação cinco meses antes da colheita, sem reduções significativas na produtividade.

Rosenfeld (1989), estudando o período crítico de deficiência hídrica para cana-planta, concluiu que, o início do estágio de máximo desenvolvimento da cana-planta é o período mais sensível a déficit hídrico. Para cana-de-açúcar plantada em fevereiro e junho, o período mais crítico é o do 4º ao 8º mês de idade, já para a cana plantada em outubro, o período mais crítico é do 8º ao 11º mês. As maiores reduções de produção são provocadas por períodos secos durante o verão em canas com idade de 4 a 8 meses, assim como o período de seca para o crescimento da cana-planta.

Thompson (1976), afirmam que os períodos de deficiência hídrica podem ocorrer durante todo ciclo da cultura, mas seu efeito sobre a produtividade de cana e açúcar varia em função da interação entre época do ano em que ocorrem e a fase do ciclo fenológico da cultura.

Doorenbos e Kassam (1979) mostraram que o efeito da deficiência de água varia com o estágio de desenvolvimento da cana. Os autores definem três estádios para a cana-de-açúcar: o primeiro é o de estabelecimento mais período vegetativo, o segundo é o da formação da produção e o terceiro é o da maturação. Os mesmos autores afirmam que o primeiro estágio é o mais sensível à deficiências hídricas.

Segundo Yang (1979 apud MATIOLI, 1998), em pesquisa em Taiwan, obteve uma equação que relaciona o aumento de produtividade da cana à irrigação, ou seja:

$$Y = 12,152 + 0,0918x - 0,0000549x^2 \quad (1)$$

sendo, Y – aumento de produtividade de cana (t ha⁻¹);

x – irrigação efetiva (mm).

Em experimentação com irrigação complementar, o autor verificou que a irrigação no início do estágio de crescimento é muito importante, confirmando que o estágio de estabelecimento + estágio vegetativo para a cana-de-açúcar é o mais sensível a deficiências hídricas.

Conforme Howell et al. (1990), afirmam que a frequência de aplicação de água, a quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação são parâmetros que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cultura.

2.4 Balanço hídrico

2.4.1 Coeficiente de cultivo (K_c)

A evaporação é o termo principal no ciclo hidrológico terrestre e a sua acurada estimativa é importante no gerenciamento dos recursos hídricos; na previsão da produção agrícola e na compreensão das relações entre o clima e as alterações no uso do solo (WALLACE, 1995).

Segundo Harding et al. (1992), a estimativa da evapotranspiração pode ser obtida diretamente, por meio das variações do armazenamento de água no solo durante os períodos secos; e indiretamente, utilizando-se modelos de contabilização diária da sua utilização em outros locais e condições climáticas.

Barbieri (1981), estudando a evapotranspiração da cultura da cana-de-açúcar em Araras – SP, mediante lisímetro de lençol freático constante, concluiu que a demanda climática ideal de água para a variedade NA 56-79, variou de $0,5 \text{ mm dia}^{-1}$ na época da emergência até $6,03 \text{ mm dia}^{-1}$ na fase de pico de consumo em dezembro, decaindo para $2,8 \text{ mm dia}^{-1}$ no início da fase de maturação.

A razão entre evapotranspiração ótima (ET_m) e a evapotranspiração de referência (ET_o) se denominada coeficiente de cultura (K_c). Os principais fatores que afetam são as características intrínsecas da cultura, e as condições climáticas locais, que é dada pela seguinte equação (DOORENBOS; PRUITT, 1975):

$$K_c = \frac{ET_m}{ET_o} \quad (2)$$

Segundo Matioli (1998), para culturas anuais, a classificação na qual se enquadra a cana-de-açúcar, o programa de Dourado Neto e Van Lier (1991) é

alimentado com os valores correspondentes aos estádios 1, 3 e 5. Nos estádios 2 e 4, o programa considera que o K_c varia linearmente com o tempo.

Os coeficientes de cultura (K_c) para os diferentes estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar foram definidos por Doorenbos e Pruitt (1977) e Doorenbos e Kassam (1979), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores do coeficiente cultural (K_c) para cana-de-açúcar

Idade da cultura (meses)		Estádio de desenvolvimento	Coeficiente (K_c)		
Cana-planta	Cana-soca		Mínimo	Médio	Máximo
0 – 2	0 – 1	Do plantio até 0,25 de cobertura	0,40	0,50	0,60
2 – 3	1 – 2	De 0,25 a 0,50 de cobertura	0,75	0,80	0,85
3 – 4	2 – 3	De 0,50 a 0,75 de cobertura	0,90	0,95	1,00
4 – 7	3 – 4	De 0,75 a cobertura completa	1,00	1,10	1,20
7 – 14	4 – 9	Utilização máxima	1,05	1,20	1,30
14 – 16	9 – 10	Início da maturação	0,80	0,95	1,05
16 – 18	10 - 12	Maturação	0,60	0,70	0,75

Fonte: FAO (1977; 1979).

Barbieri (1981), trabalhando com cana planta nas condições de Araras – SP, determinou os valores de K_c empregando três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os resultados encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores de K_c para cana-planta

Idade da cana-planta (meses)	Coeficiente da cultura (K_c)		
	Penman	Radiação	Tanque Classe "A"
0 – 2	0,10 – 0,20	0,10 – 0,20	0,12 – 0,25
2 – 3	0,20 – 0,40	0,20 – 0,40	0,25 – 0,53
3 – 4	0,40 – 0,60	0,40 – 0,55	0,53 – 0,75
4 – 7	0,60 – 1,50	0,55 – 0,96	0,75 – 1,47
7 – 17	1,50 – 0,96	0,96 – 0,77	1,47 – 0,87

Fonte: Barbieri (1981).

Uma umidade adequada durante todo o período de crescimento é importante para se obter rendimentos máximos, visto que o crescimento vegetativo (incluindo crescimento da cana) é diretamente proporcional à água transpirada. Dependendo do clima, as necessidades hídricas (ET_m) da cana-de-açúcar são de 1.500 a 2.500 mm uniformemente distribuídos durante a temporada de desenvolvimento. Os valores do coeficiente de cultivo (K_c), que relacionam a ET_m com a ET_o para os diferentes períodos de crescimento, estão relacionados nas Tabelas 10 e 11 (DOORENBOS; PRUITT, 1975) e (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Tabela 10 - Valores de K_c para cana-de-açúcar

Período de desenvolvimento	Dias do ciclo	Coeficiente de cultura $K_c^{(1)}$
Do plantio até 0,25 de cobertura	30 – 60	0,40 – 0,60
De 0,25 a 0,50 de cobertura	30 – 40	0,75 – 0,85
De 0,50 a 0,75 de cobertura	15 – 25	0,90 – 1,00
De 0,75 à cobertura completa	45 – 55	1,00 – 1,20
Utilização máxima	180 – 330	1,05 – 1,30
Início da senescência	30 – 150	0,80 – 1,05
Maturação	30 – 60	0,60 – 0,75

Fonte: Doorenbos e Kassam (1994).

⁽¹⁾ os valores de K_c dependem da umidade relativa mínima e da velocidade do vento.

Tabela 11 - Valores de K_c para cana-soca

Idade da cana (meses)	Estágio de desenvolvimento da cultura	K_c
0 – 1	Do plantio até 25% de cobertura do solo	0,55
1 – 2	De 25 a 50% de cobertura do solo	0,80
2 – 2,5	De 50 a 75% de cobertura do solo	0,90
2,5 – 4	De 75 a 100% de cobertura do solo	1,00
4 – 10	Cobertura total do solo	1,05
10 – 11	Início da maturação	0,80
11 – 12	Maturação	0,60

Fonte: Doorenbos e Pruitt (1975).

Posteriormente, Peres (1988), trabalhando com soca nas mesmas condições de Araras – SP, determinou os valores de K_c utilizando três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Os resultados encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Valores de K_c para cana planta, utilizando três métodos de estimativa da ET_o

Estádio	Idade cana-planta (dias)	Coeficiente da cultura (K_c)		
		Penman	Tanque Classe "A"	Thornthwaite
PID ⁽¹⁾	0 – 100	0,41	0,39	0,59
PMD ⁽²⁾	101 – 350	0,73	0,80	0,93
PM ⁽³⁾	351 – 489	0,78	0,71	0,94

Fonte: Peres (1988).

⁽¹⁾ Período inicial de desenvolvimento.

⁽²⁾ Período de máximo desenvolvimento.

⁽³⁾ Período de maturação.

2.4.2 Determinação do balanço hídrico

Existem diversos autores que desenvolveram programas computacionais para determinação de balanço hídrico de culturas, empregando métodos empíricos para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o). Dentre eles destacam-se os programas de Barbieri et al. (1991) e de Dourado Neto e Van Lier (1991), que empregam o método de "Thornthwaite-Mather (1955)". O programa de Dourado Neto e Van Lier (1991) apresenta a vantagem de permitir elaborar o balanço hídrico com variação do coeficiente de evapotranspiração da cultura (K_c) e da profundidade do sistema radicular (capacidade de armazenamento de água CAD), para qualquer distribuição de dados climáticos disponíveis (MATIOLI, 1998).

2.4.3 Sistema radicular

Segundo Matioli (1998) a literatura sobre os estudos do sistema radicular da cana-de-açúcar é relativamente pobre, quando comparado com os estudos da parte aérea da planta. De acordo com Casagrande (1991 apud MATIOLI, 1998), isto se deve

ao fato de o sistema radicular exigir um trabalho difícil e criterioso de mobilização de solo e separação das partes constituintes das raízes. O autor também afirma que ao se efetuar o corte dos colmos, ao mesmo tempo em que vai havendo a brotação das socas, um novo sistema radicular é formado. Os principais fatores que influenciam o desenvolvimento do sistema radicular são: variedade, umidade do solo, porosidade, densidade do solo e disponibilidade de nutrientes.

Inforzato e Alvarez, 1957 apud Machado (1987), afirmam que o crescimento e a distribuição das raízes da cana, variam acentuadamente com a idade da planta. De modo geral, até o 6º mês o crescimento das raízes é lento, aumentando rapidamente até o desenvolvimento máximo ao redor do 12º mês, podendo então diminuir com a idade. O crescimento das raízes até o 6º mês é maior em profundidade, enquanto que entre o 6º e o 12º mês é maior no sentido lateral.

Korndörfer et al. (1989), estudando a distribuição das raízes de cinco variedades, para cana-soca com 4,5 meses de idade, num solo PVA álico, concluíram que 85% a 92% das raízes se localizaram na profundidade de 0 a 0,40 m.

2.4.4 Solos da região Sul de Alagoas

Os canaviais do litoral Sul de Alagoas estão situados nos tabuleiros, de topografia plana e os solos são classificados como Argissolo Amarelo distrófico fragipânico, textura arenosa/argilosa, epieutrérico (40%); Argissolo Amarelo distrófico fragipânico, textura média (leve)/argilosa e muito argilosa (25%); Argissolo Acinzentado distrófico fragipânico, textura arenosa/argilosa (6%) e outros (29%). A topografia usada com cana-de-açúcar cultivada no litoral Sul de Alagoas está classificada como: plana com 96% e encosta com 4%. As áreas que apresentam declives que impossibilitam a mecanização estão sendo abandonadas do cultivo da cana e destinadas à recuperação da Mata Atlântica (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

2.5 Planejamento de área irrigada na cana-de-açúcar

Para o planejamento, construção e operação de sistemas de irrigação e drenagem, eficientes técnicas e economicamente, são necessárias informações detalhadas do consumo de água pelas culturas agrônômicas envolvidas. Um dos procedimentos comumente utilizado na estimativa envolve a determinação da evapotranspiração potencial de referência (ET_o), padrão grama, a qual, mediante o uso de coeficientes de cultura (K_c) apropriados, permite calcular a evapotranspiração potencial da cultura (ET_c), considerando diferentes estágios do seu ciclo fenológico. (PERES et al., 1992).

De acordo com Magalhães (1987), os fatores ambientais que mais influenciam na bioconversão de energia na cana-de-açúcar são a luz (intensidade e qualidade), a concentração de CO_2 , a disponibilidade de água e de nutrientes e a temperatura. Nos trópicos úmidos podem ser considerados bons rendimentos da cultura de sequeiro, na faixa de 70 a 100 toneladas por hectare de cana-de-açúcar e nos trópicos secos com irrigação, entre 100 e 150 t ha⁻¹ (DOORENBOS; KASSAM, 1994).

Conforme Howell et al. (1990), a frequência de aplicação de água, a quantidade de água aplicada, a uniformidade e a eficiência de aplicação, juntamente com a precipitação são parâmetros que ditam a relação entre água e produtividade potencial da cultura.

2.6 Produtividade de cana-de-açúcar na região Sul Alagoana

Na Tabela 13 podem ser observados mediante algumas variedades os valores de área, produção e produtividade da usina Coruripe na safra 03/04, que representa a região de Coruripe no litoral Sul de Alagoas. A produtividade média da cana-de-açúcar foi da ordem de 91,40 t ha⁻¹ (USINA CORURIFE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

Tabela 13 - Produção de cana-de-açúcar da usina Coruripe na safra 03/04

Variedades	Área (ha)	Produção (t)	Produtividade (t ha ⁻¹)
Total/Média	26 712,73	2 386 205,51	91,40
SP79-1011	7 336,09	671 105,51	91,48
RB72454	3 106,40	337 572,49	108,67
CO997	2 339,86	190 137,02	81,26
SP75-3046	1 411,32	128 416,01	90,99
Várias	12 519,06	1 058 974,48	84,59

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004)

Esses valores demonstram que no litoral Sul de Alagoas existem usinas que empregam alta tecnologia para obterem altas produtividades agrícolas. Dentre as principais tecnologias adotadas está a “fertirrigação com vinhaça”.

A produção de açúcar no Estado de Alagoas vem tendo oscilações de queda nos anos 2001/02. O clima seco nos meses de fevereiro a abril prejudicou as lavouras de cana do Estado e afetou o rendimento da cultura. A prova disso está no recuo de 5% no açúcar total recuperável (ATR) da cana-de-açúcar alagoana. A safra do ano 2001 de cana-de-açúcar foi muito boa ficando difícil para o Estado de Alagoas acompanhar o desempenho deste ano (SAFRASNET, 2003).

A Tabela 14 mostra o perfil da produção da cana-de-açúcar do Estado de Alagoas para a safra de 1998/99 e para a safra de 1999/00 (INFOENER, 2003).

Tabela 14 - Perfil da cana-de-açúcar para safras de 1998/9 e 1999/00 para o Estado de Alagoas

Produção	1998/99	1999/00
Quantidade Colhida (t)	17 345 104	19 315 230
Açúcar (t)	1 312 005	1 215 469
Álcool Total (m ³)	561 233	550 514
Álcool anidro (m ³)	375 563	332 436
Álcool hidratado (m ³)	185 670	218 078

2.7 Função de produção

Segundo Sousa et al. (1999) a avaliação econômica da irrigação freqüentemente envolve a quantificação da produtividade em resposta ao total de água aplicada. A caracterização da resposta da cultura à aplicação de água tem sido amplamente conhecida como função de produção Água-Cultura.

Os modelos estatísticos que melhor se ajustam à relação água-produtividade e que são mais comumente utilizados nas análises econômicas das pesquisas agrícolas são: Quadrático, Raiz Quadrada, Mitschelich-Spillman e Potência 3/2 (HEXEM; HEADY, 1978). Entre esses, destaca-se o modelo Quadrático, que, na maioria das vezes, melhor representa a estimativa de produção em estudo de Função de Produção em agricultura irrigada no Brasil.

Leme (1991), aborda ampla e detalhadamente sobre os métodos de função de produção que buscam relacionar a produtividade com o uso da água pela cultura, descrevendo sobre modelos fisiológicos, semi-empíricos e de otimização econômica. Destaca o autor, que os modelos semi-empíricos são usualmente caracterizados pela relação entre a produtividade da cultura e o conteúdo de água no solo, a transpiração ou evapotranspiração e a quantidade de água aplicada pela irrigação.

Doorenbos e Kassam (1979) propuseram um modelo semi-empírico para a quantificação da relação entre a produtividade e a água, sob a forma da expressão:

$$1 - \frac{Y_r}{Y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m} \right) \quad (3)$$

sendo: Y_r – produtividade real;

Y_m – produtividade máxima;

ET_r – evapotranspiração real;

ET_m – evapotranspiração máxima.

K_y – fator de sensibilidade da cultura à deficiência de água ou taxa de redução da produtividade.

Scardua (1985), usou o modelo de função de produção proposto por Doorenbos e Kassam (1979) em experimentos de cana irrigada realizados durante 11 anos no município de Araras – SP e obteve a seguinte função de produção:

$$Y = 0,0620 + 0,6610x_1 + 0,2762x_2 - 0,0306x_3 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,744.$$

sendo: $Y = \left(1 - \frac{Y_r}{Y_m}\right)$ estimado;

$x_1 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$ do 1º estágio;

$x_2 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$ do 2º estágio;

$x_3 = \left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$ do 3º estágio;

Scardua (1985), também estudou a relação da produção máxima (Y_m) com diversos elementos de clima como graus dias, índice de área foliar, comprimento do dia e radiação líquida, obtendo o melhor ajuste quando considerou o efeito conjunto dos graus dias e radiação líquida. O autor determinou a seguinte equação para estimativa da produção agrícola máxima (Y_m):

$$Y_m = -15,5521 + 0,03886a_1 + 0,00082a_5 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,862$$

sendo: Y_m – produtividade máxima estimada, em t ha⁻¹;

a_1 – total de graus dias durante o ciclo da cana;

a_5 – total de radiação líquida no ciclo da cana, em cal cm⁻²;

Ometto (1974), propôs uma equação para estimativa do rendimento da cana-de-açúcar, em função de parâmetros climatológicos e de nutrientes, ou seja:

$$RA = -132,91 + 59,81 \left(\frac{ET_r}{ET_m} \right) + 198,62 \left(\frac{e_a}{e_s} \right) + 2,67 \left[\frac{(P_2O_5)_c}{(P_2O_5)_o} \right] \quad (6)$$

sendo: RA – rendimento agrícola ($t\ ha^{-1}$);

ET_r – evapotranspiração real;

ET_m – evapotranspiração máxima ou potencial;

e_a – tensão atual de vapor d'água no ar;

e_s – tensão de saturação do vapor d'água no ar;

$(P_2O_5)_c$ – quantidade de fósforo à disposição da cultura;

$(P_2O_5)_o$ – quantidade de fósforo preconizada pelo IAC.

Barbieri (1993), desenvolveu um modelo matemático-fisiológico de estimativa de produção potencial da cana-de-açúcar, considerando as variações da fotossíntese e da respiração. O autor propôs a seguinte equação para determinação do acúmulo potencial da matéria seca (MST):

$$MST = MS_o \cdot Cr^n + \left[MS \cdot \left(\frac{Cr^n - 1}{Cr - 1} \right) \right] \quad (7)$$

sendo: MST – matéria seca acumulada no fim do mês em questão, ($kg\ ha^{-1}$);

MS_o – matéria seca existente no início do mês ($kg\ ha^{-1}$), considera as perdas de folhas e de colmos;

Cr – coeficiente respiração de manutenção (termo subtrativo);

$Cr = 1 - r\ max \cdot Cr(t) \cdot Cr(i)$;

Em que:

$r\ max = 0,023\ g\ g^{-1}$ – respiração máxima;

$Cr(t)$ – correção da $r\ max$ em função da temperatura;

$Cr(i)$ – correção da $r\ max$ em função da idade da planta;

n – número de dias do mês;

MS – matéria seca média mensal produzida por dia ($kg\ ha^{-1}$).

O autor afirma que os resultados de MST obtidos podem ser transformados em toneladas de colmos por hectare pela seguinte equação de regressão linear:

$$Y = b \cdot x \quad (8)$$

sendo: Y – produtividade de colmos ($t \text{ ha}^{-1}$);

x – MST ($t \text{ ha}^{-1}$);

b – coeficiente angular considerando-se as variedades:

CP5122	b = 2,07	r = 0,98*
CB4176	b = 1,99	r = 0,88**
CB47355	b = 2,22	r = 0,91**
NA5679	b = 2,27	r = 0,94**
Variedades	b = 2,12	r = 0,80**

2.8 Benefícios da Irrigação

Matioli et al. (1996 apud MATIOLI, 1998) definiram os benefícios da irrigação da cultura da cana-de-açúcar em “benefícios diretos” e “benefícios indiretos”. Segundo esses autores, os benefícios diretos consistem no aumento 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, tais como: com a dispensa de arrendamentos, com o plantio desses arrendamentos dispensados, com os tratos culturais dos arrendamentos dispensados e com transporte, se os arrendamentos dispensados forem mais distantes da unidade industrial que a área irrigada.

2.8.1 Benefícios diretos

Sobre o benefício direto de aumento de produtividade existem vários trabalhos na literatura mas, sobre o aumento de longevidade das soqueiras os trabalhos são

bastante escassos, permitindo apenas inferir resultados de experimentos que visaram essencialmente o aumento de produtividade (MATIOLI, 1998).

Guazzelli e Paes (1997) estudando o comportamento da variedade SP80-1842 (ciclo de cana planta) sob condições de irrigação por gotejamento, na Usina São Martinho localizada na região de Ribeirão Preto-SP, em solo classificado como Latossolo Roxo, textura muito argilosa e epieutrófico (LR-2), obtiveram aumento de produtividade de até 30 t ha⁻¹, correspondente a um acréscimo de 20,8% em relação à cana não irrigada (Tabela 15). O consumo de água em função da produção de cana-de-açúcar variou de 7,2 a 8,5 mm t⁻¹.

Tabela 15 - Produção de cana planta irrigada e não irrigada (variedade SP-80 1842)

Tratamento		Produtividade (t ha ⁻¹)	Aumento de Produtividade	
Irrigação	Lâmina (mm)		(t ha ⁻¹)	(%)
100% da ETr	946	173	29	20,1
75% da ETr	710	169	25	17,4
50% da ETr	473	174	30	20,8
25% da ETr	237	166	22	15,3
Testemunha	0	144	..	...

Fonte: Guazzelli e Paes (1997).

ETr = Evapotranspiração real da cultura.

Demétrio (1978), em experimento com irrigação suplementar por gotejamento na variedade NA5679, em Piracicaba-SP, obteve uma produtividade de 140,0 t ha⁻¹ para a cana-de-açúcar irrigada e 107,4 t ha⁻¹ para a cana não irrigada.

Na Tabela 16 os dados demonstram o aumento de produtividade média obtido mediante o uso de irrigação suplementar em cana-planta por aspersão convencional (aspersor tipo canhão) utilizando variedades de maior potencial produtivo e de áreas com maior cultivo no regime sequeiro e irrigado na microrregião de Coruripe, no litoral Sul de Alagoas. Já na Tabela 17, visualiza-se o resultado de cana-soca e ressoca da variedade SP79-1011 na usina Coruripe.

Tabela 16 - Produção de cana-planta irrigada e não irrigada

Variedade	Produtividade (t ha ⁻¹)		Aumento de produtividade (t ha ⁻¹) (1-2)
	Irigada (1)	Não irrigada (2)	
Média	90,1	55,7	34,4
CO997	88,5	51,6	36,9
SP70-1143	76,6	44,7	31,9
SP75-3046	105,3	70,9	34,4

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

Tabela 17 - Produção de cana irrigada e não irrigada da variedade SP79-1011

Ciclo da cultura	Produtividade (t ha ⁻¹)		Aumento de produtividade (t ha ⁻¹) (1-2)
	Irigada (1)	Não irrigada (2)	
Média	111,3	89,2	22,1
Soca	105,0	77,0	28,0
Ressoca	117,6	101,4	16,2

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURIBE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

Scardua e Souza (1975), em experimentos de irrigação suplementar de cana planta em Araras-SP, obtiveram um aumento de produtividade de 32,8 t ha⁻¹. Scardua, 1985 apud Matioli (1998), em trabalho com irrigação por sulcos de infiltração e aspersão em cinco variedades de cana, durante 11 anos, obtiveram aumento de produtividade relativamente baixo, com uma média de 13,2 t ha⁻¹.

Matioli (1998) destaca que a maioria das soqueiras pesquisadas era de final de safra, com corte no mês de outubro. Nesta condição, a resposta da cana à irrigação é pequena, porque nessa época do ano, quando inicia o primeiro estágio de desenvolvimento das socas, praticamente não existem deficiências hídricas para a cultura, nas condições climáticas do Estado de São Paulo.

2.8.2 Benefícios indiretos

A Tabela 18 apresenta a evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar no litoral Sul do Estado de Alagoas.

De acordo com Matioli (1998) o custo de colheita da cana-de-açúcar é bastante variável, em razão das alternativas envolvidas nessa atividade, tais como: corte manual, capacidade dos caminhões de transporte, cana queimada, cana crua, entre outras.

Tabela 18 - Evolução dos custos de produção de cana-de-açúcar no litoral Sul do Estado de Alagoas

Atividade	Custo da atividade (R\$ ha ⁻¹)		
	Safra 02/03 (1)	Safra 03/04 (2)	Diferença (2 -1)
Preparo do Solo	389,48	601,07	211,59
Plantio	1 270,25	1 713,80	443,55
Tratos culturais – planta	1 206,45	1 714,59	508,14
Tratos culturais – soca	634,92	754,70	119,78
Colheita (R\$.t ⁻¹)	10,00	10,89	0,89

Fonte: Demonstrativo Agrícola (USINA CORURUPE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

2.9 Custos da irrigação

Na Tabela 19, são apresentados, conforme Leme (1991 apud MATIOLI, 1998) os custos de um sistema de irrigação por aspersão “padrão” com montagem direta e extensões, para uma lâmina d’água efetiva de 265 mm ano⁻¹. O custo operacional de R\$ 199,00 ha⁻¹ equivale a um custo operacional de R\$ 0,75 mm⁻¹ ha⁻¹, para a lâmina anual preconizada de 265 mm. Os valores da tabela original foram corrigidos em US\$ 1,00 igual a R\$ 2,30.

O custo anual da irrigação (custos fixos + custos operacionais) da cultura cana-de-açúcar da usina Coruripe, localizada no litoral Sul de Alagoas, é apresentado na Tabela 20. A irrigação usada é por aspersão com sistema convencional de ramais e aspersores tipo “canhão hidráulico”. Tanto a cana planta como as soqueiras receberam duas a três lâminas brutas padronizadas de 60 mm, totalizando irrigações anuais que variaram de 120 a 180 mm.

O custo anual do sistema de irrigação (custos fixos + custos operacionais) determinado por Giacomini et al (1996) de R\$ 387,00 ha⁻¹ equivale a um custo anual unitário de R\$ 1,38 mm⁻¹ ha⁻¹, para a lâmina média anual de 282 mm. Os autores não explicam os valores de custos fixos e operacionais mas, com base nos resultados

percentuais dos custos do sistema de irrigação por aspersão convencional, pode-se inferir que o custo operacional da usina Sapucaia seja da ordem de R\$ 0,92 mm⁻¹ ha⁻¹.

Tabela 19 - Valores de investimentos, custos fixos e operacionais do projeto de irrigação "padrão"

Especificação	Valores (R\$)	Valores ⁽¹⁾ (US\$ ha ⁻¹)	Valores (R\$ ha ⁻¹)
Investimentos	157 408,57	977,69	2 248,67
Total	49 027,97	263,16	605,27
Sub-total	16 506,85	88,60	203,78
Custos Fixos:			
Depreciação anual	5 488,26	...	...
Juros anuais	9 444,49	...	...
Perdas Eventuais	1 574,07	...	...
Sub-total	32 521,13	174,56	401,48
Custos Operacionais:			
Mão-de-obra	8 259,55	...	...
Diesel	12 298,70	...	...
Energia elétrica	8 729,51	...	...
Manutenção	3 233,11	...	...

⁽¹⁾ Conversão: US\$ 1,00 = R\$ 2,30

Tabela 20 - Valores das áreas irrigadas, lâminas aplicadas e custos da irrigação na usina Coruripe

Safrá	Área irrigada (ha)	Lâmina aplicada (mm)	Custo anual da irrigação ⁽¹⁾	
			(t de cana ha ⁻¹)	(R\$ ha ⁻¹)
Média	19 020	136	20,73	870,45
96/97	16 385	160	26,30	1 104,60
97/98	17 230	120	22,10	928,20
98/99	18 150	146	37,90	1 591,80
99/00	18 150	116	25,40	1 066,80
00/01	20 561	105	17,50	735,00
01/02	20 561	101	8,00	336,00
02/03	20 561	169	24,60	1 033,20
03/04	20 561	175	4,00	168,00

⁽¹⁾ Conversão: 1 tonelada de cana na esteira = R\$ 42,00, base de jun./04.

2.10 Análise de decisão

2.10.1 Árvore de decisão

Segundo Turban (1993), a tomada de decisão foi considerada durante muito tempo como uma verdadeira arte, um talento, que ia sendo melhorado ao longo do tempo por meio do processo de aprendizado, via tentativa e erro. Dessa forma, o processo decisório era principalmente baseado em criatividade, julgamento, intuição e experiência do administrador do que em métodos analíticos e quantitativos com suporte científico.

De acordo com Yoon e Hwang (1995), tomar decisões sob critérios múltiplos significa efetuar decisões de preferência, avaliando, priorizando e selecionando as alternativas disponíveis, que são caracterizadas por objetivos múltiplos e, geralmente, conflitantes.

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).

O início do processo de engenharia de decisão ocorre o entendimento apropriado do problema para, a partir daí, tirar conclusões corretas sobre o estudo em questão. É necessário bastante rigor para determinação do problema, procurando evitar esforços na busca da “solução ótima para o problema errado” ou mesmo irrelevante (HAMMOND et al., 1998)

Para Hiller e Lierberman (1988), uma árvore de decisão é um método gráfico de expressar, em ordem cronológica, as ações alternativas que estão disponíveis para o tomador de decisão e as escolhas determinadas por acaso. A árvore de decisão consiste de nós e ramos. Há dois tipos de nós: nós de decisão representados por quadrados e nós de chance representados por círculos. Os ramos são linhas retas que partem dos nós. Quando um tomador de decisão encontra um nó de decisão, ele tem

que escolher um dos ramos alternativos para percorrer. Quando um tomador de decisão encontra um nó de chance, ele não tem nenhum controle sobre que ramo percorrer. Em vez disso, seu caminho é determinado por eventos de acaso, cujas probabilidades são associadas aos ramos que partem do nó de chance.

Peres (1990) tece melhores explicações iniciando pela afirmação que, basicamente, a Análise de Decisão identifica o melhor caminho ou estratégia explicitado nas chamadas árvores de decisão. A partir dos possíveis caminhos abertos ao tomador de decisão, estas árvores são construídas, reconhecendo que os eventos ocorrerão como resultados da interação entre decisões ou escolhas do responsável, e de efeitos aleatórios ou devido a chance. Na construção de uma árvore de decisão utilizam-se nós e ramos a partir de um nó básico. Os nós representam situações em que ocorrerão eventos exclusivos de dois tipos, ou sejam: uma escolha do tomador de decisão ou um evento aleatório. No primeiro caso, o nó é chamado de decisão, o qual é representado na árvore por um quadrado ou retângulo. No segundo caso, ele é chamado de nó de chance ou aleatório, e é representado por círculo. A partir dos nós, ocorrem ramos que indicam eventos diferentes. Os ramos que partem dos nós de decisão mostram alternativas que o tomador de decisão escolherá no momento em que toma conhecimento do evento anterior.

2.10.2 Função utilidade

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).

Hiller e Lieberman (1988), citam alguns exemplos procurando demonstrar a importância do conceito da função utilidade. O primeiro exemplo supõe que seja oferecida a um indivíduo a escolha de aceitar uma chance de 50% de ganhar US\$ 10.000,00 ou nada, ou receber US\$ 4.000,00 com certeza. Muitas pessoas preferiam os

US\$ 4.000,00 mesmo que o valor esperado na chance de 50% de ganhar US\$ 10.000,00 seja de US\$ 5.000,00. Outro exemplo interessante diz que uma companhia pode não desejar investir uma grande soma de dinheiro num novo produto, mesmo que o lucro esperado seja substancial, se houver um risco de perder seu investimento, e, com isso, ir à falência. Os autores afirmam que esses exemplos não invalidam os conceitos da Análise de Decisão, porque existe uma maneira de transformar valores monetários numa escala apropriada que reflita as preferências do tomador de decisão. Esta escala é chamada “Função Utilidade”, e ela se torna a medida apropriada das conseqüências de realizar um ação, dado um estado da natureza.

Segundo Peres (1990 apud MATIOLI, 1998) a pressuposição do tomador de decisão ser neutro com relação ao risco é, em geral, pouco realista. Neste caso, recorre-se ao conceito de função utilidade do indivíduo, e a escala de valores monetários é substituída por uma escala de utilidade dos valores. Quando, aos ramos finais, não se pode associar, unicamente valores monetários, ou seja, quando muitos atributos são considerados (valores monetários, satisfação pessoal, grau de aprovação social, etc), então é preciso especificar uma função ou escala de utilidade calculada de forma mais complexa.

O autor salienta ainda que, é preciso deixar claro que na Análise de Decisão usa-se, basicamente, o conceito Bayesiana e mede, de maneira subjetiva, o grau de crença que o indivíduo associa com a ocorrência de um evento. É lógico que a experiência, ou a percepção da freqüência de ocorrência de um evento, é importante na formação da crença dos indivíduos, ou seja, na formação de sua escala de probabilidades. Deve-se notar, no entanto, que a probabilidade relevante no processo decisório é a subjetiva. Em geral, não existe a possibilidade de repetições na decisão. A única possibilidade de se revisar as probabilidades é por meio de testes ou compras de informações, que podem custar dinheiro e/ou tempo. Neste caso, pode-se ganhar confiança com a revisão das probabilidades.

Anderson et al. (1977) afirma que a função utilidade representada pela exponencial negativa é uma função que se aproxima bastante das análises de utilidade aplicadas à agricultura.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Estimativa 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_o) pelo método de “Thorthwaite-Mather (1955)” e calcula a evapotranspiração máxima da cultura (ET_m) considerando as variáveis coeficiente de cultivo (K_c) e a capacidade de água disponível (CAD), conforme os estádios de desenvolvimento da cultura.

3.1.1 Dados climáticos

Os dados climatológicos utilizados para elaboração dos balanços foram das Estações Meteorológicas da usina Coruripe, localizada no município de Coruripe no litoral Sul do Estado de Alagoas. Os dados decendiais de clima, referentes à chuva e temperatura, foram considerados com base na Normal Climatológica de 1974 a 2004 (30 anos).

3.1.2 Solo

Os solos considerados foram os classificados como Argissolo Amarelo Distrófico fragipânico, textura arenosa/argilosa, epieutráfico; Argissolo Amarelo Distrófico fragipânico, textura média (leve)/argilosa e muito argilosa e Argissolo Acinzentado Distrófico fragipânico, textura arenosa/argilosa, que representam bem os solos do litoral sul de Alagoas (USINA CORURIFE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

3.1.3 Coeficiente de cultivo (K_c)

Com base nos valores sugeridos pela FAO obtidos na Tabela 8, foram definidos os coeficientes de cultivo (K_c) para a cana-soca no decorrer da safra, conforme se

apresentam nas Tabelas 1 a 4 do Apêndice A. Ressalte-se que para a entre-safra nos meses de chuva do ano (maio, junho, julho e agosto) não foi determinado o valor da evapotranspiração de referência (ET_o), porque não há irrigação em funcionamento nesse período para a região em estudo, visto que a precipitação nesses meses é maior que o consumo de água pela cultura da cana-de-açúcar durante qualquer ciclo de desenvolvimento da mesma.

3.2 Irrigação suplementar

A irrigação suplementar preconizada consiste em suprir as deficiências hídricas das soqueiras de cana-de-açúcar apenas no seu primeiro estágio de desenvolvimento (estabelecimento + vegetativo), porque este é o período que proporciona as maiores reduções 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 cana-de-açúcar.

Na validação do modelo da análise de decisão, a lâmina de irrigação suplementar foi definida pelo consumo mínimo da cultura canavieira que é em média de 2,0 mm dia⁻¹ (Tabelas 5 e 6), correspondendo, portanto, a uma lâmina mensal 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 de Alagoas.

3.3 Análise de decisão

Para a análise de decisão sobre a viabilidade técnica e econômica da irrigação suplementar de soqueiras de cana-de-açúcar foi empregar-se a técnica da “Árvore de Decisão”. O programa computacional de análise de decisão utilizado para a modelagem e solução do problema foi o Netica (NORSYS, 2004), que também permite analisar o grau de “Aversão ao Risco” do tomador de decisões, quanto à escolha da melhor decisão a ser tomada.

As árvores de decisão foram construídas para as socas de setembro, novembro, janeiro e março, de modo a determinar a viabilidade da irrigação das socas de uma safra de cana-de-açúcar para o litoral Sul do Estado de Alagoas. Para cada 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 são associadas às probabilidades das deficiências hídricas mensais serem maiores ou menores que a lâmina de irrigação máxima de 60 mm mês⁻¹.

Os valores que foram considerados nos nós finais da árvore de decisão consistiram no valor da Receita Líquida Esperada com a irrigação suplementar da cana-de-açúcar para cada mês estudado. A equação 9 contempla todos os fatores componentes dessa receita:

$$RLI = BAP + BAL + BRP + BTC - CFI - COI - PAI \quad (9)$$

sendo: RLI – receita líquida total da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

BAP – benefício com o aumento de produtividade (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

BAL – benefício com aumento da longevidade das soqueiras (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

BRP – benefício com redução de plantio (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

BTC – benefício com redução dos tratos culturais (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CFI – custo fixo da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

COI – custo operacional da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

PAI – preço do uso (utilização/captação) da água de irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹).

3.4 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 a 5% de probabilidade, sendo que a grande maioria das correlações não foi significativa a este nível de probabilidade. As

correlações feitas para 12 meses da cana-soca (equivalente ao ciclo completo da cana-de-açúcar), das 60 correlações analisadas apenas sete apresentaram significância (11,7%). No período curto para a irrigação suplementar da cana soca de setembro que é usado apenas quatro meses (setembro, outubro, novembro e dezembro), das nove correlações analisadas apenas duas apresentaram significância (22%).

Nas Tabelas 21, 22, 23 e 24 estão apresentados os resultados obtidos para as socas de setembro, novembro, janeiro e março, respectivamente. As probabilidades das deficiências hídricas 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 21 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de setembro

Mês	Deficiência hídrica média		Probabilidade (%)	
	Denominação	Média de 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Setembro	DST	1,53	0,01	0,99
Outubro	DOT	0,83	0,17	0,83
Novembro	DNV	42,22	0,65	0,35
Dezembro	DDZ	133,64	0,93	0,07

Tabela 22 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de novembro

Mês	Deficiência hídrica média		Probabilidade (%)	
	Denominação	Média de 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Novembro	DNV	1,24	0,18	0,82
Dezembro	DDZ	71,16	0,71	0,29
Janeiro	DJA	82,37	0,97	0,03
Fevereiro	DFV	49,94	0,62	0,38

Tabela 23 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1^o 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

Tabela 24 - Probabilidades das deficiências hídricas mensais, para o 1^o estágio de desenvolvimento da cana-soca de março

Mês	Deficiência hídrica média		Probabilidade (%)	
	Denominação	Média de 30 anos (mm)	DH ≥ LI	DH < LI
Março	DMR	2,20	0,25	0,75
Abril	DAB	1,09	0,02	0,98
Mai	DMA	0,83	0,00	1,00
Junho	DJN	0,97	0,01	0,99

3.5 Custos da irrigação suplementar

Segundo Matioli (1998) o sistema mais recomendado para a irrigação suplementar é por aspersão com autopropelido de longo alcance (AP) dotado de aspensor tipo “canhão”, por ser um sistema mecanizado, portátil, e que utiliza pouca mão-de-obra e proporciona grande flexibilidade operacional no campo. Este sistema vem sendo bastante difundido nas usinas e destilarias de todo o Brasil, para a fertirrigação de lavouras canavieiras com vinhaça e águas residuárias industriais, especialmente em substituição ao sistema convencional de aspersão com montagens diretas e extensões.

Na usina Coruripe onde foram realizados 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 são apresentados na Tabela 20, item 2.9. Atualmente a usina Coruripe está utilizando o sistema de irrigação por aspersão com autopropelido de longo alcance (AP) dotado de aspersor tipo “canhão”, no entanto, como esse sistema está em fase inicial, ainda não se dispõe de dados de custos operacionais e resposta da cultura ao novo sistema.

3.5.1 Custos fixos da irrigação

Os dados levantados na usina Coruripe têm como referência a safra de 2002/03 e indica 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⁻¹, no valor de R\$ 748,00 ha⁻¹, correspondente a um custo fixo anual (depreciação dos equipamentos + juros do capital investido) de R\$ 42,68 ha⁻¹.

3.5.2 Custo operacional da irrigação

O custo operacional da irrigação da safra de 2002/03 da usina Coruripe são compostos dos seguintes fatores: consumo de energia elétrica, mão-de-obra, despesa de tratores, despesas com motobomba, despesa com eletrobomba, transporte de apoio, técnico/oficina (salário), serviço de várzea, limpeza de canal, manutenção da casa do motobomba, materiais diversos. O custo operacional do sistema de irrigação em estudo é da ordem de R\$ 423,74 ha⁻¹, que corresponde a um custo operacional unitário (CUI) de R\$ 2,82 mm⁻¹ ha⁻¹.

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:

$$\text{COI} = \text{CUI} \cdot \text{LI} \quad (10)$$

sendo: COI – custo operacional da irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CUI – custo operacional unitário da irrigação ($\text{R\$ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$);
 LI – lâmina anual máxima de irrigação (mm ano^{-1}).

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

$$\text{COI} = \text{CUI} \cdot \text{DH} \quad (11)$$

sendo: DH – deficiência hídrica anual (mm ano^{-1}).

3.5.3 Preço do uso da água

O preço unitário da água (PUA) corresponde às tarifas governamentais referentes à utilização e captação de água, que eventualmente venham a ser cobrada dos irrigantes. Como estas tarifas 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 é maior ou igual à lâmina de irrigação:

$$\text{PAI} = \text{PUA} \cdot \text{LI} \quad (12)$$

Sendo: PAI – preço da água para irrigação ($\text{R\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$);

PUA – preço unitário da água para irrigação ($\text{R\$ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$)

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

$$\text{PAI} = \text{PUA} \cdot \text{DH} \quad (13)$$

3.6 Benefícios diretos e indiretos da irrigação

3.6.1 Benefício com o aumento de produtividade esperado (BAP)

Na estimativa do aumento de produtividade agrícola (APE) proporcionado pela irrigação suplementar, selecionaram-se funções que relacionam a produtividade com consumo de água (a equação 5 relaciona produtividade com total de graus-dia e total de radiação líquida no ciclo da cultura e não com consumo de água). Assim, foi escolhida a função de produção (Equação 5) determinada por Scardua (1985), que é a mais representativa para o ciclo de cana-soca.

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 $T_m > T_b$:

$$GD = \frac{TM + Tm}{2} - Tb \quad (14)$$

b) Para $T_m \leq T_b$:

$$GD = \frac{(TM - Tm)^2}{2 \cdot (TM - Tb)} \quad (15)$$

sendo: GD – graus-dia;

TM – temperatura máxima, em °C;

Tm – temperatura mínima, em °C;

Tb – temperatura base da cana de 18 °C.

A produtividade máxima da cana-soca resultou em 93,1 ton ha⁻¹, conforme se verificam nos valores apresentados na Tabela 1 do Apêndice B.

Mediante este método foi calculado o aumento de produtividade agrícola esperado (APE) com a irrigação suplementar, durante o 1º estágio de desenvolvimento

da cana soca, conforme detalhado nas Tabelas 2 a 9 do Apêndice B e resumido na Tabela 25.

Tabela 25 - Aumento de produtividade esperado (APE) para a cana-soca irrigada no primeiro estágio de desenvolvimento

Soca	Produtividade Esperada (t ha ⁻¹)		Irrigação (mm ano ⁻¹)	APE	
	Sequeiro	Irigado		(t ha ⁻¹)	(t mm ⁻¹ ha ⁻¹)
Setembro	60,5	75,4	110,0	15,0	0,136
Novembro	56,3	74,7	148,0	18,5	0,125
Janeiro	62,7	81,9	104,0	19,2	0,185
Março	67,5	82,7	135,0	15,2	0,112

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

$$\text{BAP} = \text{LI} \cdot \text{APE} \cdot \text{PCC} \quad (16)$$

sendo: BAP – benefício com o aumento de produtividade (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

APE – aumento de produtividade esperada (t mm⁻¹ ha⁻¹);

PCC – preço da cana no campo (R\$ t⁻¹).

Quando a deficiência hídrica é menor que a lâmina de irrigação, o benefício com o aumento de produtividade esperada anual (BAP) é determinado pela equação:

$$\text{BAP} = \text{DH} \cdot \text{APE} \cdot \text{PCC} \quad (17)$$

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 t⁻¹ para cana na esteira e um custo de colheita de aproximadamente R\$ 10,00 t⁻¹ (safra 2002/03), obtendo assim, um

preço da cana no campo de R\$ 32,00 t⁻¹ (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⁻¹ para cana no campo, visando evitar a obtenção de resultados tendenciosos que poderiam favorecer a viabilidade econômica da irrigação suplementar.

3.6.2 Benefício com o aumento da longevidade das soqueiras (BAL)

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

$$BAL = \frac{CP}{LCS} - \frac{CP}{LCS + ALE} \quad (18)$$

sendo: BAL – benefício com aumento de longevidade (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CP – custo do preparo de solo e plantio (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

LCS – longevidade da cana de sequeiro (nº de cortes);

ALE – aumento de longevidade esperado (nº de cortes, além da longevidade da cana de sequeiro).

O aumento da longevidade esperada para as soqueiras irrigadas (ALE) foi determinado 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 (60 mm), considerou-se que haverá um aumento de longevidade de um corte. Para os meses que a irrigação for inferior à lâmina mensal máxima LI (60 mm), não haverá aumento na longevidade do canavial.

3.6.3 Benefício com a redução de custos com preparo de solo e plantio (BRP)

O custo do plantio de cana-de-açúcar (CP), que também engloba as operações de preparo de solo (safra 2002/03) é da ordem de R\$ 1.659,73 ha⁻¹ ano⁻¹ (USINA CORURIFE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004). Este foi o valor considerado para a validação do modelo de análise de decisão.

$$BRP = APE \cdot LI \cdot \frac{CP}{PMS \cdot LCS} \quad (19)$$

sendo: BRP – benefício com redução de plantio(R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

PMS – produtividade média da cana de sequeiro (t ha⁻¹);

3.6.4 Benefício com a redução de custos com tratos culturais de soqueiras (BTC)

O custo com tratos culturais de soqueira (CTS) da safra 2002/03 considerado na validação do modelo foi R\$ 634,92 ha⁻¹ ano⁻¹ (USINA CORURIFE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A, 2004).

$$BTC = APE \cdot LI \cdot \frac{CTS}{PMS} \quad (20)$$

sendo: BTC – benefício com redução de custos com tratos culturais (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CTS – custo com tratos culturais de soqueiras (R\$ ha⁻¹);

3.8 Aversão ao risco

A maximização do valor esperado tem um significado particular em economia, pois, um indivíduo que se comporte como tal, seria classificado como neutro em relação ao risco (FRIEDMAN; SAVAGE, 1948). Este não é, contudo, um comportamento esperado para os agricultores, ou para qualquer tipo de empresário. Normalmente, os indivíduos são “avessos” ao risco (PERES, 1990).

A análise do risco de uma decisão pode ser estimada através da função utilidade, conforme descrito no item 2.10.2. Para exemplificar a avaliação do grau de aversão ao risco de um tomador de decisões foi utilizada a função utilidade (equação 22) definida por Matioli (1998), quando o autor entrevistou um Diretor de produção agro-industrial de 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 a 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:

$$U(R) = 0,2579 \cdot \ln (RLI + 50) - 0,594 \quad (21)$$
$$R^2 = 0,9855.$$

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

RLI – receita líquida esperada com a irrigação ($R\$.ha^{-1}$);

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 canas socas. Na análise contemplaram-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 tratamentos culturais de soqueiras.

4.1 Análise de decisão da irrigação da cana-soca de setembro

4.1.1 Valores esperados de receitas líquidas

Na Tabela 26 estão apresentados os valores das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar da cana-soca para o mês de setembro. Os valores obtidos foram determinados pela árvore de decisão apresentada na Figura 1 do Apêndice C.

Os valores obtidos com os benefícios diretos e indiretos confirmam que a irrigação suplementar da cana soca de setembro apresenta um bom potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia. A solução ótima resultou na receita líquida de R\$ 130,16 ha⁻¹, com intervalo de variação entre R\$ 46,89 ha⁻¹ e R\$ 217,23 ha⁻¹ (Figura 1 do Apêndice C), em função da intensidade e da probabilidade de ocorrência do evento natural “deficiência hídrica”. Nessa árvore de decisão menores probabilidades dos eventos estão associadas ao valor R\$ 116,64 ha⁻¹, enquanto que as maiores probabilidades referem-se ao valor R\$ 147,47 ha⁻¹. Esses resultados reafirmam o grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia para a cana-soca de setembro.

Tabela 26 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de setembro

Receita líquida (RL) (R\$ ha ⁻¹)	Intervalo de variação da RLI (R\$ ha ⁻¹)	
	Valor mínimo	Valor máximo
130,16	46,89	217,23

4.1.2 Análise de sensibilidade das variáveis

As análises de sensibilidade das receitas líquidas esperadas em relação às variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana-soca de setembro, estão apresentados nas Tabelas de 27 a 36. Os resultados demonstraram que as variações estão em intervalos representativos da realidade da maioria das usinas localizadas na microrregião de Coruripe.

Nas Tabelas 27, 28 e 29 estão apresentados os resultados das receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão das variáveis LI, CFI e CUI, demonstrando que a sensibilidade da receita líquida às variações da variável de LI, é inversamente proporcional às variações 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.

Tabela 27 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável lâmina mensal de irrigação (LI), da cana-soca de setembro

LI (mm mês ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
40	100,16
50	115,16
60	130,16
70	145,16
80	160,17

Tabela 28 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo fixo de irrigação (CFI), da cana-soca de setembro

CFI (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
30,00	142,84
40,00	132,84
42,68	130,16
50,00	122,84
60,00	112,84
70,00	102,84

Tabela 29 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo operacional unitário de irrigação (CUI), da cana-soca de setembro

CUI (R\$ mm ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
2,00	158,42
2,50	141,19
2,82	130,16
3,00	123,96
3,50	106,72

Na análise de sensibilidade da receita líquida à variável PUA (Tabela 30), verifica-se que uma eventual cobrança pelo uso da água para irrigação, acarretaria um decréscimo bastante significativo nas receitas líquidas, podendo em alguns casos, dependendo do valor da tarifa, inviabilizar a irrigação da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas.

Tabela 30 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço do uso da água (PUA), da cana-soca de setembro

PUA (R\$ mm ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
0,00	130,16
0,25	120,28
0,50	110,39
0,75	100,50
1,00	90,62

Os resultados mostrados na Tabela 31 demonstram que a variável APE apresenta uma maior oscilação nas receita líquida esperada, podendo chegar a inviabilizar a introdução desta tecnologia, se o aumento da produtividade esperada for inferior a 0,100 ton mm⁻¹ ha⁻¹. Os resultados orientam para a necessidade de desenvolvimento de novos trabalhos de pesquisas com o objetivo de obtenção de funções de produção água para as variedades de cana-de-açúcar para o Estado de Alagoas, que representem com maior precisão o comportamento da produtividade esperada da cana irrigada.

Tabela 31 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável aumento da produtividade esperado (APE), da cana-soca de setembro

APE (t mm ⁻¹ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
0,050	- 45,14
0,100	72,35
0,136	130,16
0,150	151,29
0,200	230,24
0,250	309,18

A variável PCC apresenta uma grande sensibilidade na receita líquida esperada da irrigação (Tabela 32), fato este que está associado a dois fatores de grande importância que compõe o preço da cana no campo. O 1º fator é o preço da cana na esteira que está em torno de R\$ 42,00 (safra 2003/04). O ponto de equilíbrio desse preço no mercado canavieiro é que pode viabilizar economicamente a irrigação da cana-de-açúcar. O 2º fator importante que pode interferir no preço da cana no campo é o custo da colheita (corte, carregamento e transporte). O custo considerado na validação do modelo de decisão foi o da colheita manual, tendo em vista ser o praticado nas usinas de Alagoas. A colheita mecanizada tem custos inferiores ao da colheita manual, no entanto, as regiões canavieiras do Estado de Alagoas apresentam grandes limitações topográficas, que comprometem a execução da mesma. Infere-se daí que um aumento no potencial de viabilidade econômica da irrigação no Estado de Alagoas, carece de uma redução no custo da colheita com o conseqüente aumento do preço da cana no campo (PCC).

Tabela 32 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço da cana no campo (PCC), da cana-soca de setembro

PCC (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
20,00	72,92
30,00	119,79
32,00	130,16
40,00	166,65
50,00	213,52

Na Tabela 33 estão apresentados os resultados da análise de sensibilidade para a variável custo de preparo de solo e plantio (CP), pela qual observa-se que não houve grande variação da receita líquida esperada. Matioli (1998) ressalta que tecnologias têm sido desenvolvidas para o plantio mecânico da cana em substituição ao plantio convencional (manual) visando a redução do custo desta atividade agrícola. Portanto, a perspectiva para o valor desta variável é de redução, com a conseqüente diminuição na receita líquida da irrigação.

Tabela 33 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo de preparo de solo e plantio (CP), da cana-soca de setembro

CP (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
1600,00	126,37
1659,73	130,16
1700,00	131,04
1800,00	135,71
1900,00	140,39
2000,00	145,06

A análise de sensibilidade para a variável longevidade da cana de sequeiro (LCS) apresentou interferência na receita líquida. Na Tabela 34 é demonstrado que quanto maior for à longevidade da cana de sequeiro, menor será a receita líquida da irrigação. Saliencia-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 (MATIOLI, 1998).

Tabela 34 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável longevidade da cana de sequeiro (LCS), da cana-soca de setembro

LCS (n° de cortes)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
3	226,96
4	162,38
5	130,16
6	109,65
7	97,12

A interferência da variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS) em relação à receita líquida esperada da irrigação demonstra que quanto maior for a produtividade da cana em área de sequeiro (solos de baixa fertilidade natural), menor será o potencial de viabilidade econômica para a introdução da irrigação na cana-de-açúcar (Tabela 35).

Tabela 35 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS), da cana-soca de setembro

PMS (t ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
50,0	156,05
60,0	139,95
70,0	130,16
80,0	121,07
90,0	114,78

A Tabela 36 apresenta a análise de sensibilidade para a variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS), observando-se pequena 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 ao aumento ou redução na receita líquida da irrigação.

Tabela 36 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana-soca de setembro

CTS (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
500,00	120,13
550,00	123,48
600,00	126,82
634,92	130,16
650,00	130,16
700,00	133,52
750,00	136,87

4.2 Análise de decisão da irrigação da cana soca de novembro

4.2.1 Valores esperados de receitas líquidas

A Tabela 37 apresenta os valores das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar da cana-soca do mês de novembro. Esses resultados foram calculados pela árvore de decisão apresentada na Figura 2 do Apêndice C.

Tabela 36 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de novembro

Receita líquida (RL) (R\$ ha ⁻¹)	Intervalo de variação da RLI (R\$ ha ⁻¹)	
	Valor mínimo	Valor máximo
139,92	37,85	186,66

Os benefícios diretos e indiretos observados confirmam que a irrigação suplementar da cana-soca de novembro apresenta um bom potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia. A solução ótima indicou a receita líquida de R\$ 139,92 ha⁻¹, com intervalo de variação entre R\$ 37,85 ha⁻¹ e R\$ 186,66 ha⁻¹ (Figura 2 do Apêndice C). Nessa árvore de decisão as menores probabilidades estão associadas ao valor R\$ 58,32 ha⁻¹, enquanto que o valor R\$ 166,18 ha⁻¹ corresponde aos eventos com as maiores probabilidades.

4.2.2 Análise de sensibilidade das variáveis

As análises de sensibilidade da receita líquida em relação às variáveis do problema para a cana-soca de novembro, estão apresentadas nas Tabelas 1 a 10 do Apêndice D, as quais demonstram as mesmas tendências das análises elaboradas e já discutidas para cana-soca de setembro.

4.3 Análise de decisão da irrigação da cana soca de janeiro

4.3.1 Valores esperados de receitas líquidas

Na Tabela 38 estão apresentados os valores das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar da cana-soca do mês de janeiro. Os valores obtidos foram calculados pela árvore de decisão apresentada na Figura 3 do Apêndice C.

Tabela 38 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de janeiro

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

Os resultados obtidos com os benefícios diretos e indiretos demonstram que a irrigação suplementar da cana-soca de janeiro apresenta um grande potencial de viabilidade econômica da tecnologia de irrigação. A solução ótima indicou a receita líquida de R\$ 226,61 ha⁻¹, com intervalo de variação entre R\$ 97,04 ha⁻¹ e R\$ 352,15 ha⁻¹ (Figura 3 do Apêndice C). Esses resultados reafirmam o grande potencial de viabilidade econômica dessa tecnologia para a cana-soca de janeiro a partir de um limite de R\$ 180,50 ha⁻¹. Nessa árvore de decisão as menores probabilidades dos eventos estão associados ao valor R\$ 263,96 ha⁻¹ e as maiores ao valor R\$ 185,23 ha⁻¹.

4.3.2 Análise de sensibilidade das variáveis

As análises de sensibilidade da receita líquida em relação às variáveis do problema da cana-soca de janeiro, estão apresentadas nas Tabelas 11 a 20 do Apêndice D, as quais demonstram as mesmas tendências das análises elaboradas e já discutidas para cana soca de setembro.

4.4 Análise de decisão da irrigação da cana soca de março

4.4.1 Valores esperados de receitas líquidas

A Tabela 39 apresenta 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 4 do Apêndice C.

Tabela 39 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), da cana-soca de março

Receita líquida (RL) (R\$ ha ⁻¹)	Intervalo de variação da RLI (R\$ ha ⁻¹)	
	Valor mínimo	Valor máximo
24,57	14,97	152,13

Os valores obtidos com os benefícios diretos e indiretos demonstram que a irrigação suplementar da cana soca de março não apresentou potencial significativo de viabilidade econômica da tecnologia de irrigação. A solução ótima indicou a receita líquida de R\$ 24,57 ha⁻¹, com intervalo de variação entre R\$ 14,97 ha⁻¹ e R\$ 152,13 ha⁻¹ (Figura 4 do Apêndice C). O intervalo de variação da receita líquida apresenta valores significativos no seu limite superior (R\$ 152,13 ha⁻¹), no entanto, as probabilidades associadas a esses eventos são muito menores do que aquelas associadas aos eventos com resultados menores.

4.4.2 Análise de sensibilidade das variáveis

Apesar da inviabilidade econômica para a irrigação suplementar da cana-soca de março, foram elaboradas as análises de sensibilidade da receitas líquidas para as variáveis do problema. Todos os resultados estão apresentados nas Tabelas 21 a 30 do Apêndice D, e, apesar de apresentarem reduzidos valores, demonstram as mesmas tendências das análises elaboradas e já discutidas para cana-soca de setembro.

4.5 Resumo dos resultados obtidos

A Tabela 40 apresenta o resumo dos valores das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar das canas socas dos meses de setembro, de novembro, de janeiro e de março. Os valores obtidos foram calculados pela árvore de decisão apresentadas nas Figuras 1 a 4 do Apêndice C.

Tabela 40 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), das canas socas de setembro, de novembro, de janeiro e de março

Cana Soca	Receita líquida esperada com irrigação (R\$ ha ⁻¹)	
	Decisão: irriga	Decisão: Não irriga
Setembro	130,16	0,00
Novembro	139,92	0,00
Janeiro	226,61	0,00
Março	24,57	0,00

Na análise dos resultados observa-se que a irrigação suplementar da cana-soca de janeiro foi a que apresentou a maior viabilidade técnica econômica para ser introduzida nas lavouras canavieiras das usinas do litoral Sul de Alagoas. As canas socas de setembro e novembro, também apresentaram bom potencial de viabilidade. As receitas líquidas esperadas variam de R\$ 130,16 ha⁻¹ a R\$ 226,61 ha⁻¹.

Já a cana-soca de março, que é colhida no final da safra, não apresentou potencial de viabilidade econômica para irrigação suplementar. O valor foi pouco expressivo, com receita líquida esperada de apenas R\$ 24,57 ha⁻¹.

Pelos benefícios observados nas análises de decisão, a irrigação suplementar da cana-de-açúcar garante o plantio de “cana de verão”, proporcionando mais um benefício referente à redução com as áreas de pousio.

O aumento de produtividade agrícola proporcionado pela técnica de irrigação pode ser obtido através do uso de funções de produção, tais como a obtida por Scardua (1985). 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 da cana, que representem melhor a realidade atual da lavoura canavieira.

4.6 Análise do risco

Os valores apresentados nas Figuras 5 a 8 do Apêndice C, estão resumidos na Tabela 41. A equação 21 que representa a função utilidade do tomador de decisão substituiu as equações determinantes das receitas líquidas esperadas com a irrigação suplementar nas árvores de decisão. Comparando o resultado com os da Tabela 40 verifica-se que, mesmo com introdução da aversão ao risco do tomador de decisão, as decisões “irriga” ou “não irriga” não foram alteradas.

Tabela 41 - Receitas líquidas esperadas com irrigação (RLI), das canas socas de setembro, de novembro, de janeiro e de março

Cana Soca	Receita líquida esperada com irrigação (R\$ ha ⁻¹)	
	Decisão: irriga	Decisão: Não irriga
Setembro	0,74	0,42
Novembro	0,76	0,42
Janeiro	0,85	0,42
Março	0,56	0,42

A análise de todas as canas socas (setembro, novembro, janeiro e março) apontou para a decisão de “irriga”, com as respectivas utilidades esperadas de 0,74; 0,76; 0,85; 0,56 à decisão de “não irriga”. Para a cana-soca de janeiro o resultado foi bastante significativo. Já o valor da utilidade esperada da decisão “irriga” a cana-soca de março ficou próximo do valor da utilidade da decisão “não irriga” (0,42), tornando o resultado dessa análise não evidente para o tomador de decisão. No entanto, essa indefinição identifica o ponto limite da viabilidade econômica da irrigação preconizada, ou seja, de final de safra (março a maio).

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.

5 CONCLUSÕES

Com base na análise de viabilidade da tecnologia de irrigação em cana-soca, levando-se em considerações as condições analisadas de irrigação suplementar durante o primeiro estágio de desenvolvimento da cultura, no litoral Sul do Estado de Alagoas, os resultados do estudo permitiram obter as seguintes conclusões:

(a) existe um grande potencial de viabilidade da tecnologia de 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;

(b) os valores obtidos com os benefícios diretos e indiretos da irrigação suplementar da cana-soca de março indicaram inviabilidade econômica para tecnologia de irrigação;

(c) a análise de sensibilidade dos resultados das receitas líquidas esperadas nas árvores de decisão das variáveis (lâmina de irrigação, custo fixo e custo operacional), mostrou que o efeito da variável lâmina de irrigação sobre as receitas líquidas, é inversamente proporcional aos efeitos das variáveis de custos fixo e operacional.

(d) a receita líquida esperada apresenta pequena sensibilidade às variáveis de custos com tratos culturais de soqueiras e preparo de solo e plantio;

(e) 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 $0,100 \text{ t mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. R.; DILLON, J. L.; HARDAKER, B. **Agricultural decision analysis**. Iowa: Iowa State University Press, 1977. 334p.

BARBIERI, V. **Medidas e estimativas de consumo hídricos em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1981. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**: um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 1993. 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

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

CAMBELL, R. B. The economics of supplementary irrigation in sugar cane. **International Sugar Journal**, v.70, n.830, 1968. p.43-45.

DEMÉTRIO, V. A. **Efeito da água do solo e temperatura ambiente no rendimento agrícola e industrial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1978. 98p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1978.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. Rome: FAO, 1975. 179p. (Irrigation and Drainage paper, 24).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage paper, 24)

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. Efectos del agua sobre el rendimiento los cultivos. Roma: FAO, 1979. 212p. (Riego y Drenaje, 33)

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. K. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de Gheyi, H. R.; Souza, A. A.; Damasceno, F. A. V. Campina Grande : Universidade Federal da Paraíba, 1994, p. 220-226.

FERNANDEZ, A. C. Produção e produtividade da cana-de-açúcar no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 6., Piracicaba, 1996. **Anais**. Piracicaba: STAB, 1996 p. 602-612.

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Agrianual, 2005**: Anuário da Agricultura Brasileira, São Paulo, 2005. p. 262-277

GIACOMINI, M. A. N.; APELFELIER, A.; ROSENFELD, U. A irrigação de cana-de-açúcar na usina Sapucaia. **STAB – Açúcar, álcool e Subprodutos**, v. 14, n. 3, p. 10-12, jan. / fev. 1996.

GUAZZELLI, M. A. N.; PAES, L. A. D. Irrigação de cana-de-açúcar comercial. In: SEMINÁRIO COPERSUCAR DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 7., Piracicaba, 1997. **Anais**. Piracicaba: COPERSUCAR, 1997. 11p.

HAMMOND, J. S.; KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. The hidden traps in decision marking. **Harvard Business Review**, v. 76, n. 5, p. 47-57, sept / oct. 1998.

HARDING, R. J.; HALL, R. L.; SWAMINATH, M. H.; MURTHY, S. K. V. The soil moisture regimes beneath forest and agricultural crop in Southern India-measurements and modeling. In: I. R. Calder, R. L. Hall and P. G. Adlard (Ed.). **Growth and Water use of Forest Plantations**. Chichester: J. Wiley, 1992. p. 74-99.

HEXEM, R. W.; HEADY, E. O. Water productions fuctions for irrigated agriculture. Iowa: The Iowa State University Press, 1978. 215 p.

HILLER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. Operations research. **San Francisco**: Holden-Day, 1974. 800p.

HOWELL, T. A.; CUENCA, R. H.; SOLOMON, K. H. Crop yield response. In: HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. (org.) **Management at farm irrigations systems**. St. Joseph: The American Society of Agricultural Engineers, 1990, p.93-122.

INFOENER **Perfil de produção da cana-de-açúcar do Estado de Alagoas**. Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/estado_cana.asp?uf=Alagoas>. Acesso em: 25 nov. 2003.

KORNDÔRFER, G. H.; PRIMAVESI, O.; DEUBER, R. Crescimento e distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar em solo LVA. **Boletim Técnico Copersucar**, Piracicaba, n.48. p. 32-36. 1989.

LEME, E. J. A. **Otimização da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) via coeficientes culturais, função de produção e programação dinâmica**. 1991. 399p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

MACHADO, E. C. Fisiologia de produção de cana-de-açúcar. In: **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação CARGIL. v.1, p. 56-87. 1987.

MAGALHÃES, A. C. N. Ecofisiologia da cana-de-açúcar: aspectos do metabolismo do carbono na planta. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; TSUIOSHI, Y. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 249 p.

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

NORSYS **Netica™ Application**: a complete software package to solve problems using Bayesian belief networks and influence diagrams. Disponível em: <<http://www.norsys.com/netica.html>>. Acesso em: 15 jun. 2004.

OMETTO, J. C. **Uma equação para estimativa de evapotranspiração potencial; sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba- SP**. 1974. 129p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.

PERES, F. C. **Determinação dos coeficientes de cultura (Kc) da cana-de-açúcar: ciclo de cana soca**. 1988. 94p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1988.

PERES, F. C. **Confinamento de gado de corte: um modelo de análise de decisão**. 1990. 74p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

PERES, J. G.; SCÁRDUA, R.; VILLA NOVA, N. A. Coeficiente de cultura (Kc) para cana-de-açúcar: ciclo de cana-soca. **Revista Álcool & Açúcar**, n. 62, maio / jun., 1992.

ROSENFELD, U.; LEME, F. J. A. Produtividade da cana-de-açúcar irrigada por aspersão: estudo de épocas de irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 3., 1984, São Paulo, **Anais...** São Paulo: STAB, 1984. p. 77-84.

ROSENFELD, U. **Determinação do período crítico de deficiência hídrica para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. 1989. 88p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

SAFRASNET. **A produção de açúcar no Estado de Alagoas**. Disponível em: <www.safra.net.com.br>. Acesso em: 25 nov. 2003.

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

SCARDUA, R.; SOUZA, J. A. G. C. Comportamento da cultura de cana-de-açúcar irrigação por gotejamento. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 3., 1975. Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: ABID, 1975. p. 27.

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

SOUZA, I. C. de.; LEME, E. J. A.; ROSENFELD, U.; BATISTELLS, J. R.; BARBBIERI, V. Irrigação da cana-de-açúcar na região Norte Fluminense: Viabilidade Técnico-econômica. **Boletim Técnico** Planalsucar, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 1-34, maio, 1980.

SOUZA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola Jaboticabal**, v. 19, n. 1, p. 28-42, set., 1999.

THOMPSON, G. D. Water use by sugarcane. **The South Agrican Sugar Journal**, Durban, v. 60, n. 11, p. 592-600, 1976.

TROPPEMAIR, H. **Biogeografia e Meio Ambiente**, Rio Claro – SP, 1987. 275p.

TURBAN, E. **Decision support and expert system**: management support systems. New York: Macmillan, 1993. 833 p.

USINA CORURUPE AÇÚCAR E ÁLCOOL S/A. **Demonstrativo agrícola**. 2004.

VAZQUEZ, R. Water requirements of sugarcane under irrigation in Lajas Valley, Puerto Rico. Agricultural Experiment Station of the university of Puerto Rico. **Bulletin**, n. 224, 38 p., 1970.

WALLACE, J. S. Calculating evaporation: resistance to factors. **Agriculture for Meteorology**. v.40,n.3, p. 353-366, 1995.

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.

YOON, K.P., HWANG, C. **Multiple attribute decision making**: an introduction. Thousand Oaks, CA: SAGE. 1995. 75 p. (University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences, 7-104)

APÊNDICE A

ESTÁDIOS DE DESENVOLVIMENTO E COEFICIENTES CULTURAIS (K_c) DA CANA SOCA

Tabela 1 - Estádio de desenvolvimento e coeficientes culturais (K_c) da cana-soca de setembro

Mês	Estádio de desenvolvimento		Coefficiente de cultura
	Estádio	Duração (dias)	(K_c)
Setembro	1	30	0,5
Outubro			
Novembro	2	123	Linear
Dezembro			
Janeiro			
Fevereiro			
Março	3	120	1,10
Abril			
Maio			
Junho	4	30	0,80
Julho			
Agosto	5	62	0,6

Tabela 2 - Estádio de desenvolvimento e coeficientes culturais (K_c) da cana-soca de novembro

Mês	Estádio de desenvolvimento		Coefficiente de cultura
	Estádio	Duração (dias)	(K_c)
Novembro	1	30	0,50
Dezembro			
Janeiro	2	121	Linear
Fevereiro			
Março			
Abril			
Maio	3	122	1,05
Junho			
Julho			
Agosto	4	31	0,80
Setembro			
Outubro	5	61	0,70

Tabela 3 - 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	2	120	Linear
Abril			
Maio			
Junho			
Julho	3	122	1,05
Agosto			
Setembro			
Outubro	4	31	0,95
Novembro	5	61	0,70
Dezembro			

Tabela 4 - Estádio de desenvolvimento e coeficientes culturais (K_c) da cana-soca de março

Mês	Estádio de desenvolvimento		Coeficiente de cultura
	Estádio	Duração (dias)	(K_c)
Março	1	31	0,50
Abril			
Maio	2	122	Linear
Junho			
Julho			
Agosto			
Setembro	3	122	1,20
Outubro			
Novembro			
Dezembro	4	31	0,95
Janeiro	5	59	0,70
Fevereiro			

APÊNDICE B

**PRODUÇÃO DE CANA SOCA DE SEQUEIRO E IRRIGADA, CULTIVADA NO
LITORAL SUL DO ESTADO DE ALAGOAS**

As Tabelas 2 a 9 apresentam estimativas de produção de canas socas cultivadas no litoral Sul do Estado de Alagoas, representada pela microrregião de Coruripe. As produções de cana soca foram estimadas com o emprego da função de produção determinada por Scardua (1985).

Tabela 1 - Produção máxima da cana-soca (Y_m), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	TM (°C)	Tm (°C)	UR (%)	GD	Q _o (cal cm ⁻² d ⁻¹)	N (h dia ⁻¹)	n (h dia ⁻¹)	RL (cal cm ⁻²)	Y _m (t ha ⁻¹)
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	

Tabela 2 - Produção da cana-soca de setembro de sequeiro (Y_s), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_s (t ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 575,58	1 575,58	1 186,69	1 186,69	...	60,48
Setembro	61,51		34,45			
Outubro	106,72	546,09	59,76	354,25	0,351	
Novembro	148,75		99,66			
Dezembro	229,11		160,38			
Janeiro	269,40		188,58			
Fevereiro	206,00		164,80			
Março	165,87	837,97	144,31	659,33	0,213	
Abril	118,35		91,13			
Maio	78,35		70,52			
Junho	58,93		57,75			
Julho	58,72	191,52	51,08	173,11	0,096	
Agosto	73,88		64,27			

Tabela 3 - Produção da cana-soca de setembro de irrigada (Y_i), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_i (t ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 575,58	1 575,58	1 293,98	1 293,98	...	75,44
Setembro	61,51		61,51			
Outubro	106,72	546,09	106,30	496,56	0,091	
Novembro	148,75		148,75			
Dezembro	229,11		180,00			
Janeiro	269,40		153,56			
Fevereiro	206,00		164,80			
Março	165,87	837,97	144,31	624,31	0,255	
Abril	118,35		91,13			
Maio	78,35		70,52			
Junho	58,93		57,75			
Julho	58,72	191,52	51,08	173,11	0,096	
Agosto	73,88		64,27			

Tabela 4 - Produção da cana-soca de novembro de sequeiro (Y_s), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_s (t ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 496,83	1 496,83	1 055,14	1 055,14	...	56,25
Novembro	78,29		43,06			
Dezembro	166,62	683,58	99,97	396,92	0,419	
Janeiro	232,66		130,29			
Fevereiro	206,00		123,60			
Março	165,87		116,11			
Abril	118,35		91,13			
Maio	74,62	535,26	64,92	417,87	0,219	
Junho	73,66		65,56			
Julho	102,75		80,15			
Agosto	98,50		78,80			
Setembro	86,11	278,00	77,50	240,35	0,135	
Outubro	93,38		84,04			

Tabela 5 - Produção da cana-soca de novembro irrigada (Y_i), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_i (t ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 496,83	1 496,83	1 258,15	1 258,15	...	74,73
Novembro	78,29		78,29			
Dezembro	166,62	683,58	166,62	604,91	0,115	
Janeiro	232,66		180,00			
Fevereiro	206,00		180,00			
Março	165,87		111,13			
Abril	118,35		91,13			
Maio	74,62	535,26	64,92	412,89	0,229	
Junho	73,66		65,56			
Julho	102,75		80,15			
Agosto	98,50		78,80			
Setembro	86,11	278,00	77,50	240,35	0,135	
Outubro	93,38		84,04			

Tabela 6 - Produção da cana-soca de janeiro de sequeiro (Y_s), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_s (t ha ⁻¹)
	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 7 - Produção da cana-soca de janeiro irrigada (Y_i), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_i (t ha ⁻¹)
	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			

Tabela 8 - Produção da cana-soca de março de sequeiro (Y_s), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_s (t ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 502,24	1 502,24	1 275,55	1 275,55	...	67,52
Março	75,40		52,78			
Abril	94,68	310,90	71,01	228,13	0,266	
Maio	67,16		48,36			
Junho	73,66		55,98			
Julho	97,86		83,18			
Agosto	123,13		107,12			
Setembro	135,32	690,95	108,26	592,63	0,142	
Outubro	146,74		130,60			
Novembro	187,90		163,47			
Dezembro	197,87		178,08			
Janeiro	171,44	500,39	150,86	454,79	0,091	
Fevereiro	131,09		125,85			

Tabela 9 - Produção da cana-soca de março irrigada (Y_i), cultivada no litoral Sul Alagoano

Mês	ET_m (mm)		ET_r (mm)		$\left(1 - \frac{ET_r}{ET_m}\right)$	Y_i (t ha ⁻¹)
	Mensal	Estádio	Mensal	Estádio		
Total	1 502,24	1 502,24	1 295,33	1 295,33	...	82,68
Março	75,40		75,40			
Abril	94,68	310,90	94,68	310,90	0,000	
Maio	67,16		67,16			
Junho	73,66		73,66			
Julho	97,86		73,40			
Agosto	123,13		94,81			
Setembro	135,32	690,95	108,26	555,86	0,196	
Outubro	146,74		115,92			
Novembro	187,90		163,47			
Dezembro	197,87		178,08			
Janeiro	171,44	500,39	150,86	428,57	0,144	
Fevereiro	131,09		99,63			

APÊNDICE C

ÁRVORES DE DECISÃO PARA ANÁLISE DA VARIABILIDADE ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR DE CANA SOCA

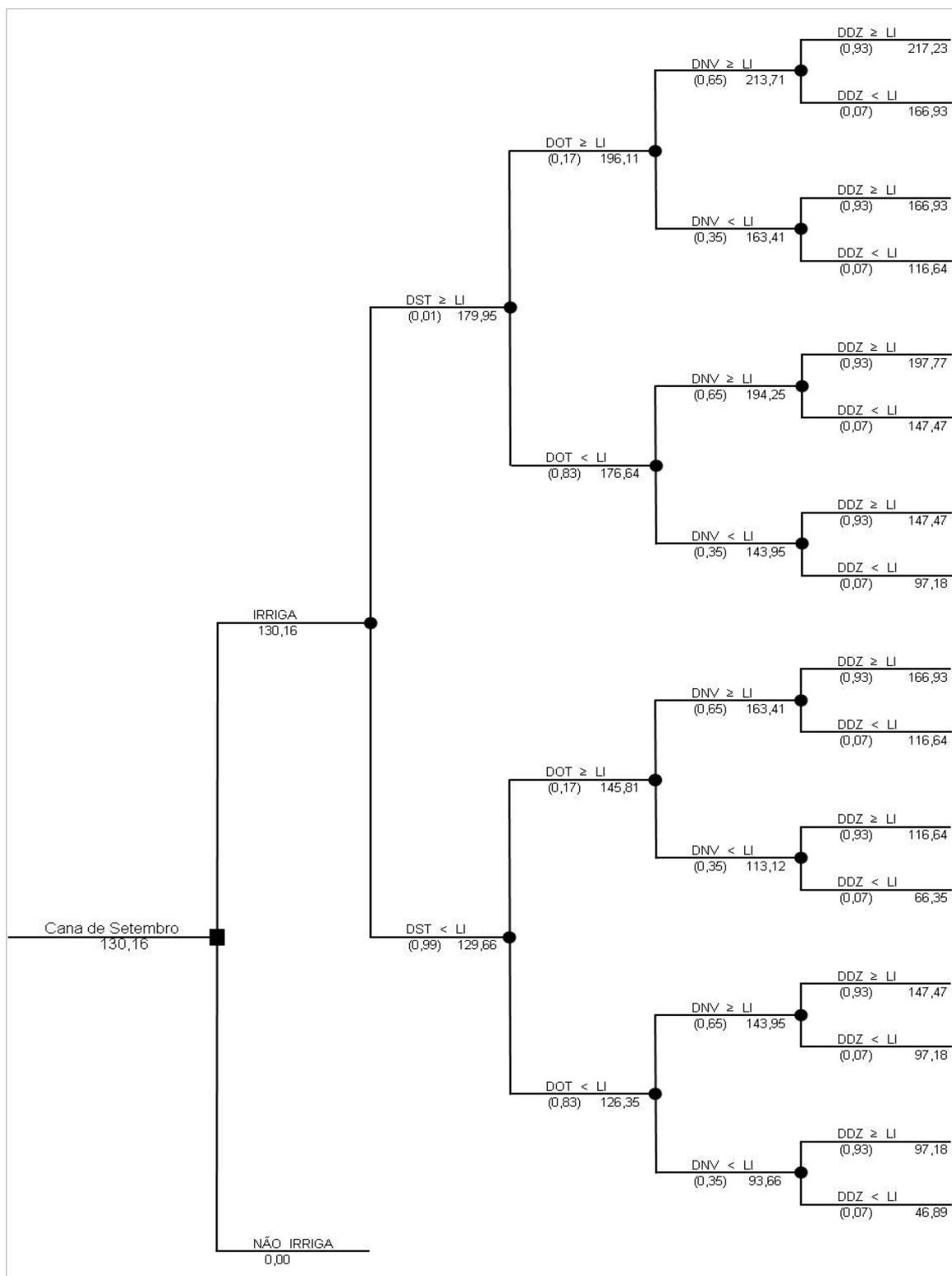


Figura 1 - Árvore de decisão para irrigação da cana soca de setembro

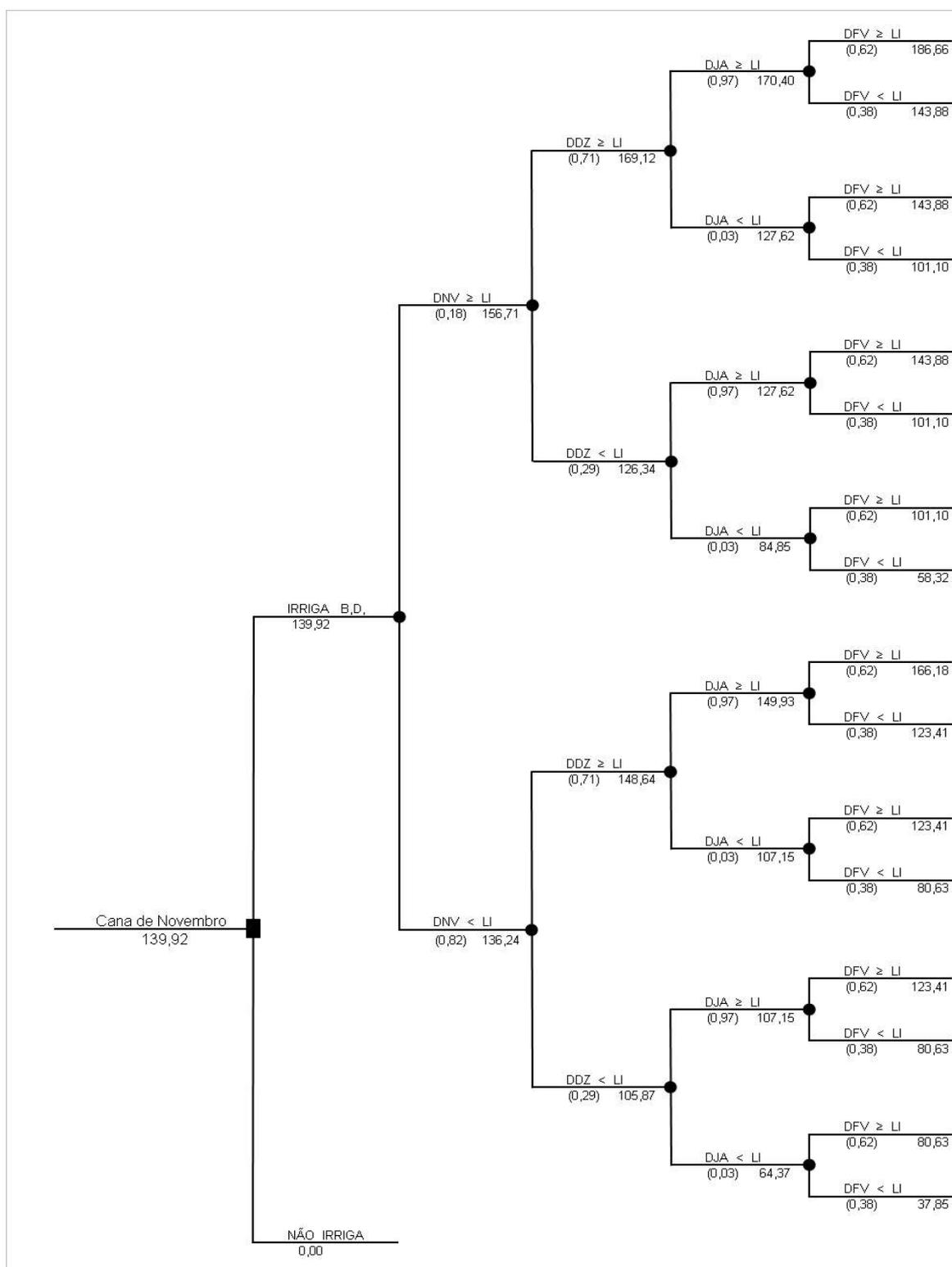


Figura 2 - Árvore de decisão para irrigação da cana soca de novembro

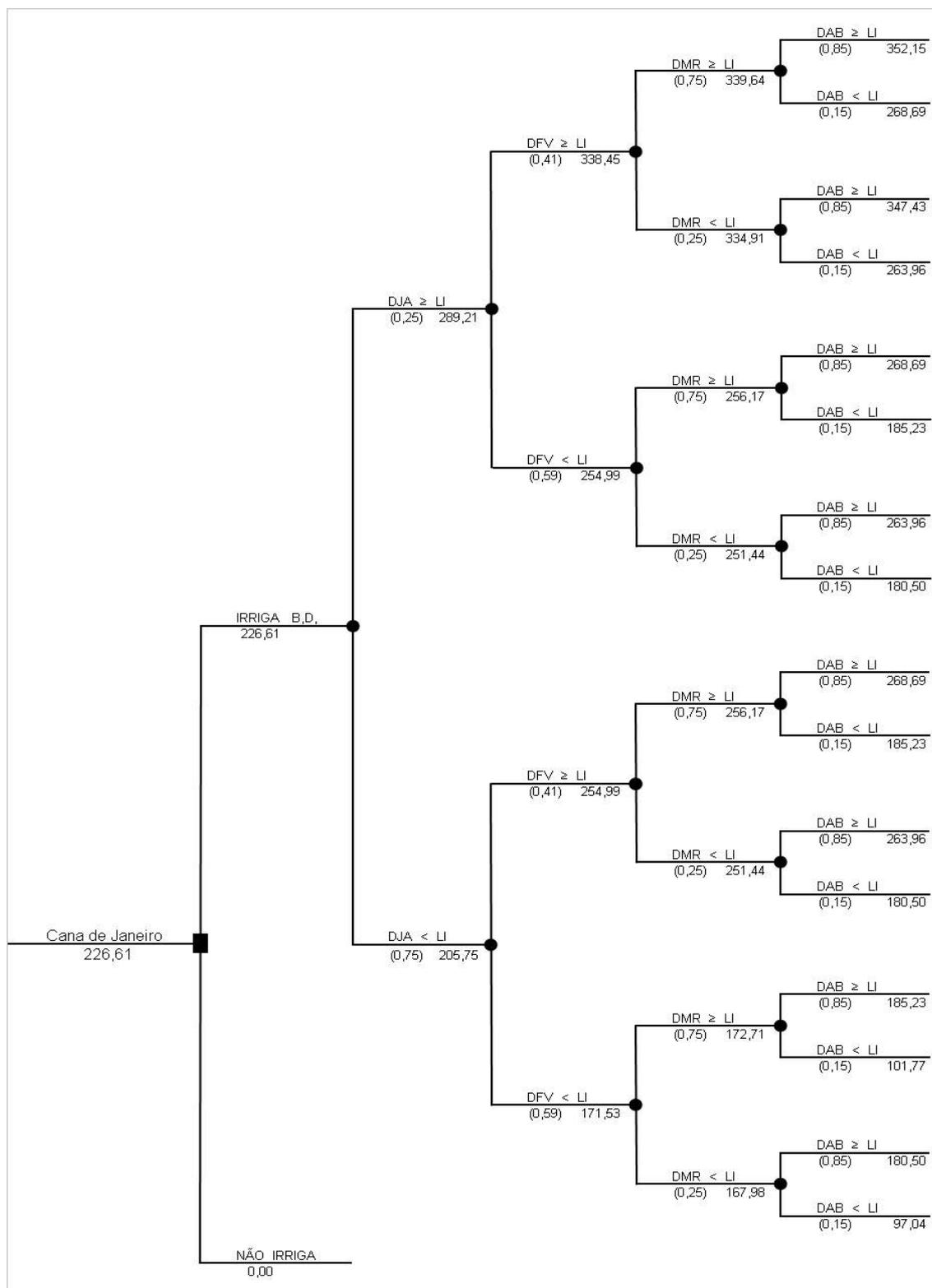


Figura 3 - Árvore de decisão para irrigação da cana soca de janeiro

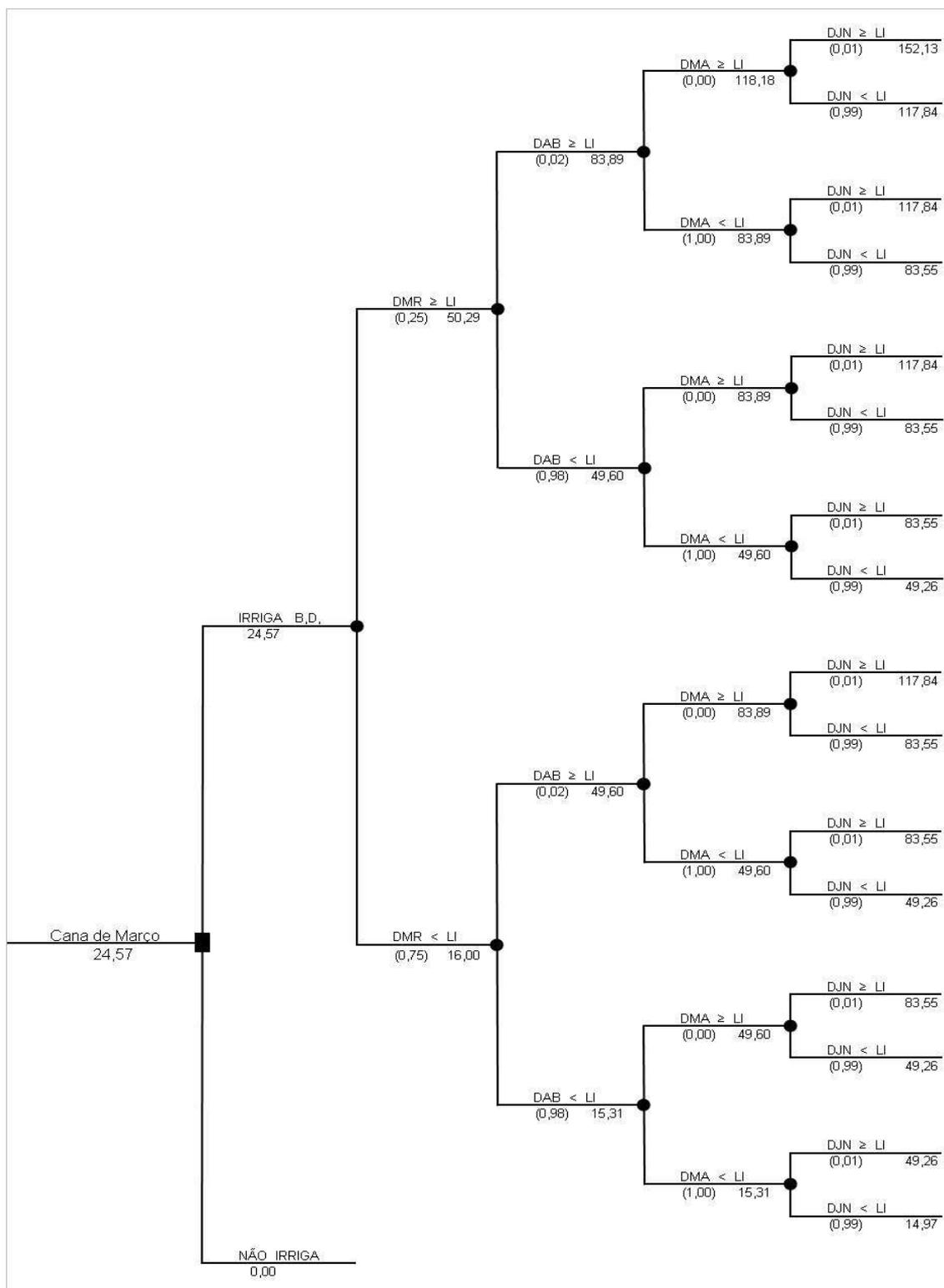


Figura 4 - Árvore de decisão para irrigação da cana soca de março

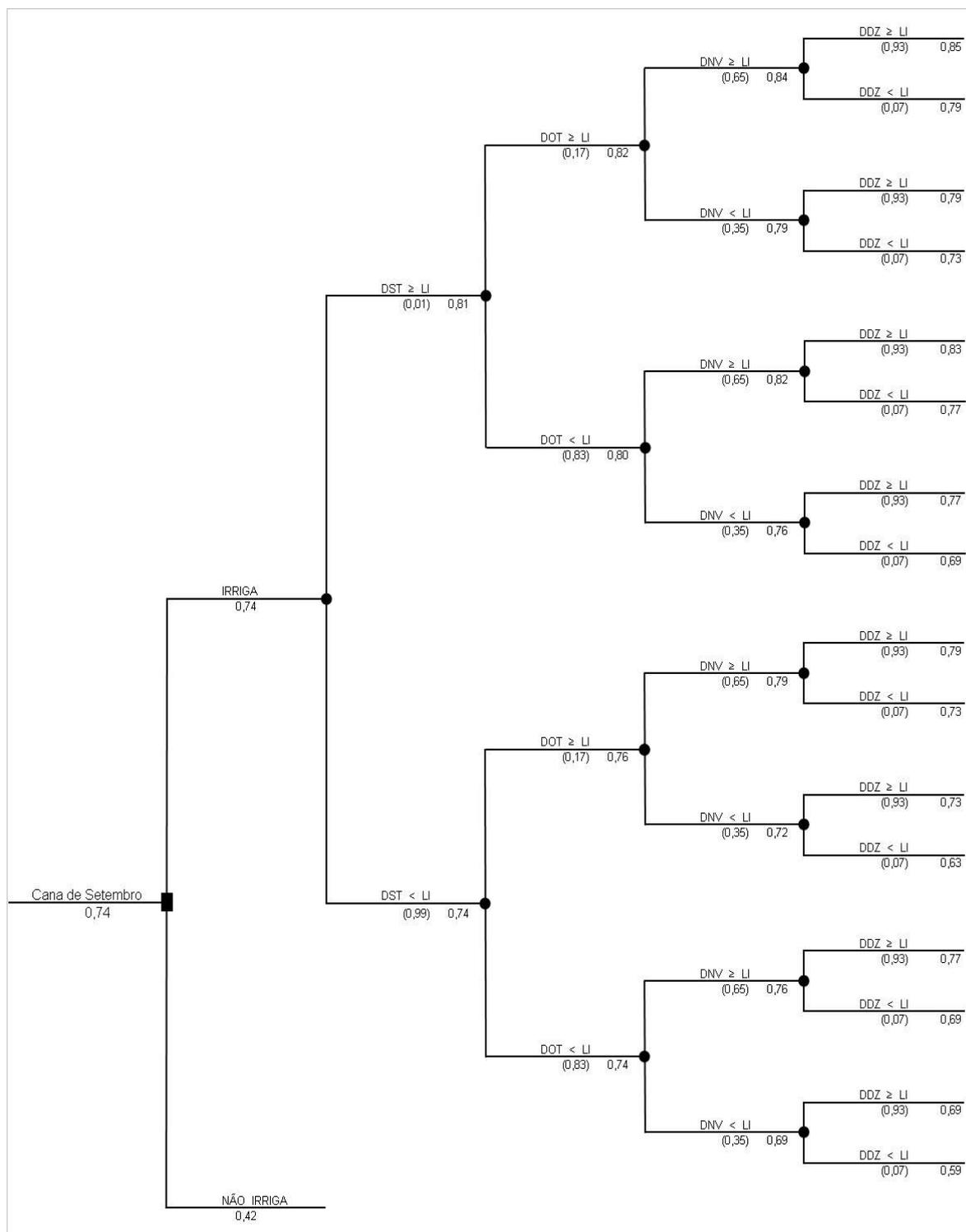


Figura 5 - Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de setembro"

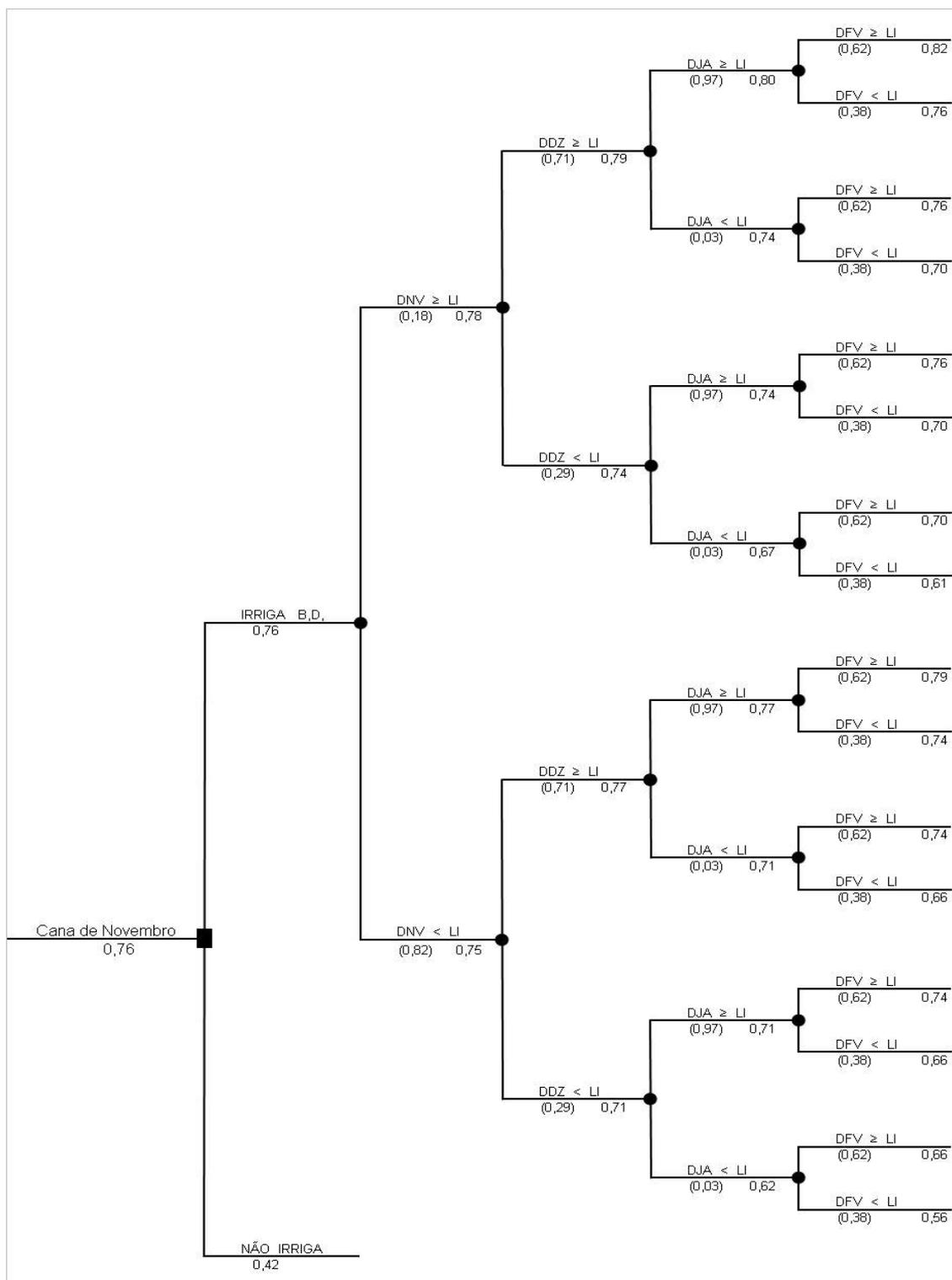


Figura 6 - Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de novembro"

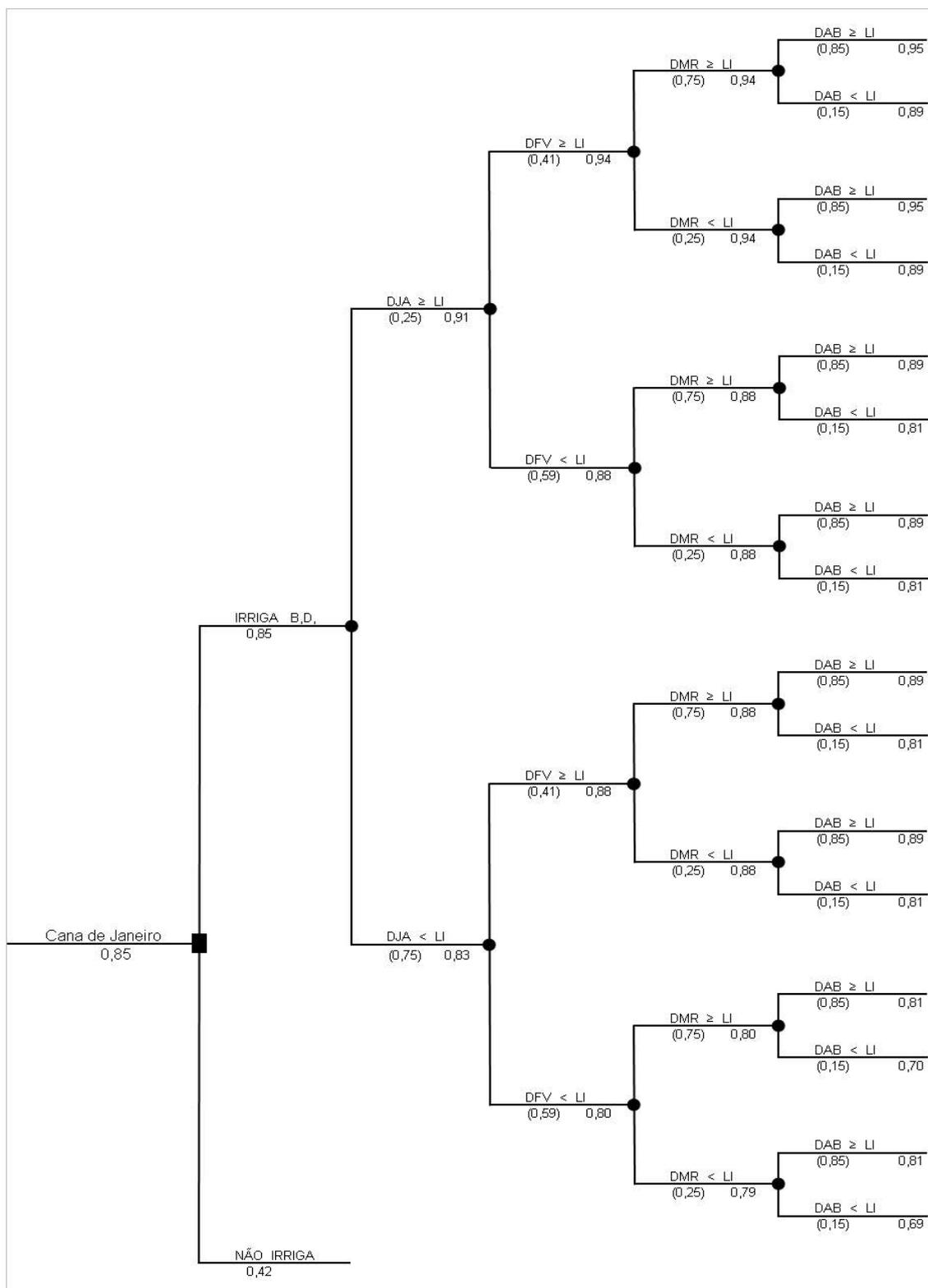


Figura 7 - Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de janeiro"

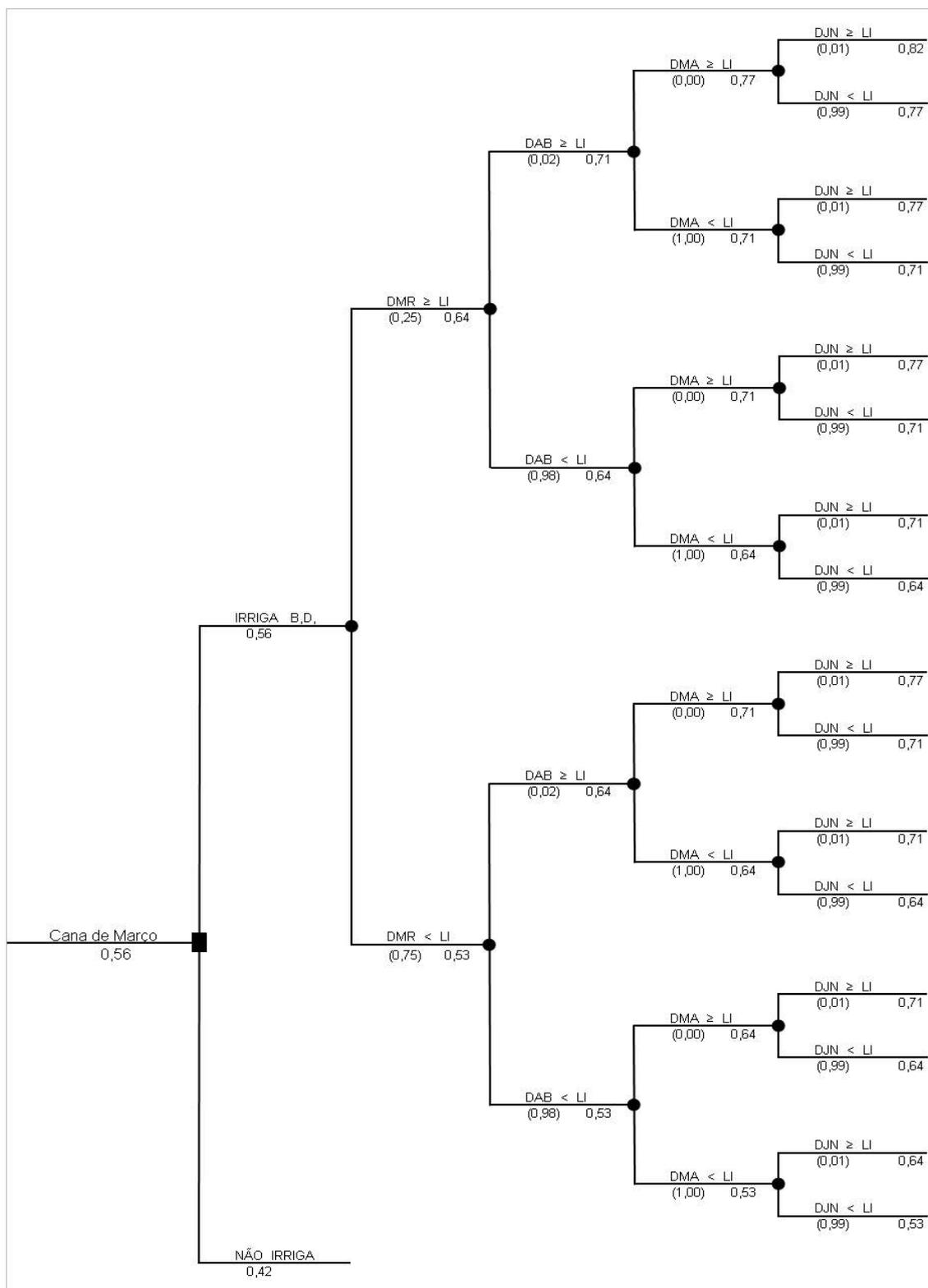


Figura 8 - Valores esperados da utilidade na árvore "irrigação da cana soca de março"

APÊNDICE D

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA RECEITAS LÍQUIDAS EM RELAÇÃO AS VARIÁVEIS DOS MODELOS DE DECISÃO

1 Cana-soca de novembro

As análises de sensibilidade das variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana-soca de novembro estão apresentados nas Tabelas de 1 a 10.

Tabela 1 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável lâmina de irrigação (LI), da cana-soca de novembro

LI (mm mês ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
40	103,96
50	121,94
60	139,92
70	157,91
80	175,89

Tabela 2 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo fixo de irrigação (CFI), da cana-soca de novembro

CFI (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
30,00	152,60
40,00	142,60
42,68	139,92
50,00	132,60
60,00	122,60
70,00	112,60

Tabela 3 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo operacional unitário de irrigação (CUI), da cana-soca de novembro

CUI (R\$ mm ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
2,00	175,91
2,50	153,97
2,82	139,92
3,00	132,02
3,50	110,08

Tabela 4 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço do uso da água (PUA), da cana-soca de novembro

PUA (R\$ mm ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
0,00	139,92
0,25	126,69
0,50	113,45
0,75	100,22
1,00	86,98

Tabela 5 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável aumento da produtividade esperado (APE), da cana-soca de novembro

APE (t mm ⁻¹ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
0,050	-10,59
0,100	89,94
0,125	139,92
0,150	190,47
0,200	290,99
0,250	391,52

Tabela 6 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço da cana no campo (PCC), da cana-soca de novembro

PCC (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
20,00	74,17
30,00	128,96
32,00	139,92
40,00	183,76
50,00	238,56

Tabela 7 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo de preparo de solo e plantio (CP), da cana-soca de novembro

CP (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
1500,00	132,10
1600,00	137,00
1659,73	139,92
1700,00	141,90
1800,00	146,80
1900,00	151,69
2000,00	156,59

Tabela 8 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável longevidade da cana de sequeiro (LCS), da cana-soca de novembro

LCS (nº de cortes)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
3	240,23
4	174,08
5	139,92
6	119,79
7	106,81

Tabela 9 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS), da cana-soca de novembro

PMS (t ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
50,0	170,20
60,0	152,54
70,0	139,92
80,0	130,46
90,0	123,10

Tabela 10 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana-soca de novembro

CTS (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
500,00	129,36
550,00	133,28
600,00	137,19
634,92	139,92
650,00	141,10
700,00	145,02
750,00	148,93

2 Cana soca de janeiro

As análises de sensibilidade das variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana soca de janeiro estão apresentados nas Tabelas de 11 a 20.

Tabela 11 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável lâmina de irrigação (LI), da cana-soca de janeiro

LI (mm mês ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ há ⁻¹)
40	142,99
50	174,96
60	226,61
70	330,62
80	362,59

Tabela 12 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo fixo de irrigação (CFI), da cana-soca de janeiro

CFI (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ há ⁻¹)
30,00	239,29
40,00	229,29
42,68	226,61
50,00	219,29
60,00	209,29
70,00	199,29

Tabela 13 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo operacional unitário de irrigação (CUI), da cana-soca de janeiro

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

Tabela 14 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço do uso da água (PUA), da cana-soca de janeiro

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

Tabela 15 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável aumento da produtividade esperado (APE), da cana-soca de janeiro

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

Tabela 16 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço da cana no campo (PCC), da cana-soca de janeiro

PCC (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
20,00	142,63
30,00	212,62
32,00	226,61
40,00	282,60
50,00	352,58

Tabela 17 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo de preparo de solo e plantio (CP), da cana-soca de janeiro

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

Tabela 18 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável longevidade da cana de sequeiro (LCS), da cana-soca de janeiro

LCS (nº de cortes)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
3	331,72
4	262,57
5	226,61
6	205,27
7	191,44

Tabela 19 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS), da cana-soca de janeiro

PMS (t ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
50,0	265,28
60,0	242,72
70,0	226,61
80,0	214,53
90,0	205,13

Tabela 20 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana-soca de janeiro

CTS (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
500,00	213,12
550,00	218,12
600,00	223,12
634,92	226,61
650,00	228,12
700,00	233,12
750,00	238,12

3 Cana-soca de março

As análises de sensibilidade das variáveis do modelo de decisão da irrigação suplementar da cana-soca de março estão apresentados nas Tabelas de 21 a 30.

Tabela 21 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável lâmina de irrigação (LI), da cana-soca de março

LI (mm mês ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ há ⁻¹)
40	21,32
50	22,94
60	24,57
70	26,20
80	27,82

Tabela 22 – Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo fixo de irrigação (CFI), da cana-soca de março

CFI (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ há ⁻¹)
30,00	37,25
40,00	27,25
42,68	24,57
50,00	17,25
60,00	7,25
70,00	-2,75

Tabela 23 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo operacional unitário de irrigação (CUI), da cana-soca de março

CUI (R\$ mm ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
2,00	28,78
2,50	26,21
2,82	24,57
3,00	23,65
3,50	21,08

Tabela 24 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço do uso da água (PUA), da cana-soca de março

PUA (R\$ mm ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
0,00	24,57
0,25	24,32
0,50	24,07
0,75	23,82
1,00	23,57

Tabela 25 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável aumento da produtividade esperado (APE), da cana-soca de março

APE (t mm ⁻¹ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
0,050	9,93
0,100	21,68
0,112	24,57
0,150	33,43
0,200	45,18
0,250	56,93

Tabela 26 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável preço da cana no campo (PCC), da cana-soca de março

PCC (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
20,00	17,66
30,00	23,42
32,00	24,57
40,00	29,18
50,00	34,94

Tabela 27 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo de preparo de solo e plantio (CP), da cana-soca de março

CP (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
1500,00	18,98
1600,00	22,48
1659,73	24,57
1700,00	25,98
1800,00	29,48
1900,00	32,97
2000,00	36,47

Tabela 28 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável longevidade da cana de sequeiro (LCS), da cana-soca de março

LCS (n° de cortes)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
3	109,37
4	52,91
5	24,57
6	8,31
7	-1,90

Tabela 29 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável produtividade média da cana de sequeiro (PMS), da cana-soca de março

PMS (t ha ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
50,0	27,75
60,0	25,89
70,0	24,57
80,0	23,57
90,0	22,80

Tabela 30 - Análise de sensibilidade da receita líquida em relação à variável custo com tratos culturais de soqueiras (CTS) da cana-soca de março

CTS (R\$ t ⁻¹)	Receita líquida esperada com a irrigação (R\$ ha ⁻¹)
500,00	23,46
550,00	23,87
600,00	24,28
634,92	24,57
650,00	24,69
700,00	25,10
750,00	25,51

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)