



# **AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DE OPÇÕES DE DIVERSIFICAÇÃO PRODUTIVA NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

**Aluno: Juan Mario Gamarra Caballero**

**Dissertação submetida à Escola Federal de Engenharia de  
Itajubá para a obtenção do título de Mestre em Ciências em  
Engenharia Mecânica.**

**Área de Concentração:**

Conversão de Energia

**Orientador:**

Prof. Electo Silva Lora, Ph.D.

**Co-orientador:**

Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira, Ph.D.

Itajubá/MG, Agosto de 2002



## SUMÁRIO

SIMBOLOGIA _____	ix
RESUMO _____	xi
ABSTRACT _____	xi
<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO _____</b>	<b>1</b>
I.1- Importância _____	1
I.2- Objetivos _____	1
I.3- Estruturação da Tese _____	2
<b>CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA _____</b>	<b>3</b>
II.1- A co-geração de energia elétrica em centrais açucareiras _____	3
II.1.1- Introdução _____	3
II.1.2- O setor sucroalcooleiro _____	3
II.1.3- O Setor Sucroalcooleiro no Brasil _____	5
Tabela II.1 Usinas de açúcar e álcool com sistemas de co-geração (Winrock International 1999) _____	8
Tabela II.1 Usinas de açúcar e álcool com sistemas de co-geração (Winrock International, 1999) (Continuação) _____	9
Tabela II.1 Usinas de açúcar e álcool com sistemas de co-geração (Winrock International, 1999) (Continuação) _____	10
Tabela II.2- Prognóstico do potencial termodinâmico de co-geração no setor de açúcar e álcool do Brasil no ano 2025 na implementação de diferentes tecnologias de co-geração _____	10
II.1.4-Incentivos de uso da biomassa _____	11
Tabela II.3 Proposta de redução de emissões no Protocolo de Kyoto (Acquatella, 2001) _____	12
II.1.5- Tecnologias de co-geração no setor sucroalcooleiro _____	14
II.1.5.a) Esquema com turbina de contrapressão _____	14
Figura II.2 Sistema de co-geração com turbina de contrapressão em uma usina de açúcar e álcool. _____	15
II.1.5.b) Turbina a vapor de extração-condensação _____	15



Figura II.3 Sistema de co-geração com turbina de extração-condensação em uma usina de açúcar e álcool. _____	16
II.1.5.c) Sistemas BIG/GT _____	16
Figura II.4 Relação entre o índice de geração excedente ( $I_{g.exc.}$ ) e o consumo específico de vapor no processo ( $C_{vapor}$ ), para diferentes tecnologias de co-geração em usinas de açúcar. _____	17
Figura II.5 Relação entre geração de eletricidade excedente, consumo específico de vapor e a relação vapor/bagaço nas caldeiras de vapor. _____	18
Tabela II.4 Dados assumidos durante a implementação do sistema BIG/GT numa usina de açúcar (Hobson e Dixon, 1998). _____	19
Figura II.6- Esquema de um sistema BIG/GT acoplado ao esquema térmico de uma usina de açúcar (Hobson e Dixon, 1998). _____	20
Figura II.7- Resultados da simulação da implementação de um sistema BIG/GT numa usina Australiana de 600 t/h de capacidade (Hobson e Dixon, 1998). _____	20
II.2- A Cana de açúcar na alimentação de gado bovino de corte em confinamento ____	21
II.2.1- A cana de açúcar como fonte de alimentação animal _____	21
II.2.2- Vantagens da cana de açúcar como reserva alimentar mais apropriada para criações no trópico: _____	22
II.2.3- Valor alimentar _____	23
a) Composição química _____	23
b) Valor nutritivo _____	24
c) Ingestão voluntária de matéria seca _____	24
II.2.4- Considerações sobre suplementação da cana para alimentação de bovinos de corte	24
II.2.5- Desempenho de bovinos alimentados com dietas à base de cana _____	25
a) Desempenho de bovinos em fase de crescimento _____	25
b) Desempenho de bovinos em fase de acabamento _____	26
Tabela II.5 Efeito da variedade de cana e do teor de concentrado no desempenho de novilhos confinados. _____	27
Tabela II.6 Efeito da proporção de cana no desempenho de novilhos confinados _____	28
II.2.6- Utilização do bagaço hidrolisado na alimentação de bovinos no Brasil _____	28



Tabela II.7- Balanço da oferta e demanda de carne bovina em carcaça entre 1985 e 1990 _____	28
Tabela II.8- Demanda de carne fresca bovina para o Nordeste _____	29
a) A Química do bagaço _____	30
Tabela II.9- Composição química do bagaço de cana “In Natura” e tratado com vapor sob pressão (hidrolisado). _____	30
a) A hidrolise: Incremento do valor nutritivo do bagaço “In Natura” _____	31
a.1) O processo de hidrolise a vapor e o equipamento _____	31
Figura II.8- Equipamento piloto para a hidrólises do bagaço de cana _____	32
a.2) O processo de hidrolise pela via química _____	33
b) Resultados com animais _____	33
c) Gado de corte _____	34
Tabela II.10- Composição percentual de dietas contendo diferentes níveis de bagaço tratado à pressão de vapor usadas no confinamento (com base na MS). (19,4 kgf/cm <sup>2</sup> /4,3 min.) _____	34
Tabela II.11- Resultados de desempenho de avaliação de carcaça de novilhos confinados com dietas contendo diferentes níveis de bagaço tratado à pressão (19,4 kgf/cm <sup>2</sup> /4,3 min.) _____	35
<b>CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE DIVERSIFICAÇÃO _____</b>	<b>36</b>
III.1- Produtos e sub-Produtos da cana numa usina diversificada _____	36
Figura III.1 – Fluxograma geral de produtos e insumos numa usina de açúcar diversificada _____	36
III.2- Cálculos financeiros _____	36
III.2.1- Sistemas financeiros para amortização de dívidas _____	36
III.2.1.a) Sistema Francês de amortização (PRICE) _____	37
Figura III.2 – Variação das curvas de juros e amortização num sistema “PRICE” _____	37
Tabela III.1 – Tabela financeira para o sistema de amortização “PRICE” _____	38
III.2.1.b) Sistema de Amortização Constante (SAC) _____	39
Figura III.3 - Variação das curvas de juros e amortização num sistema “SAC” _____	39
Tabela III.2 - Tabela financeira para o sistema de amortização “SAC” _____	40
III.2.1.c) Outros sistemas de amortização _____	40



III.3-A programação linear como método de otimização utilizado na “Pesquisa Operacional”	40
III.3.1- Fases de um estudo em pesquisa operacional:	41
III.3.2- Modelo em Programação Linear	43
III.3.3- Uma forma padrão do Modelo	44
III.3.4- A Programação Linear aplicada à usinas diversificadas	44
III.3.4.a) Determinação das variáveis de decisão	45
III.3.4.b) Determinação da função objetivo (F.O.)	45
III.3.4.c) Determinação das restrições ou vínculos do problema	46
III.4-Análise de investimentos em situação de risco – A simulação de Montecarlo	49
III.4.1- Breve descrição Matemática do Método de Montecarlo:	52
III.5- Obtenção de dados de custos e preços de venda reais para os produtos primários	54
III.5.1- A usina Monte Alegre	54
Tabela III.3- Produção de açúcar e álcool de 5 anos de safra na usina Monte Alegre	55
Tabela III.4- Custos de produção do açúcar na usina Monte Alegre em [US\$/saca de 50 kg]	55
Tabela III.5- Dados de comercialização do açúcar na usina Monte Alegre	56
Tabela III.6- Custos de produção do álcool na usina Monte Alegre em [US\$/m <sup>3</sup> ]	56
Tabela III.7- Dados da comercialização do álcool na usina Monte Alegre	57
CAPÍTULO IV: PROGRAMA DE AVALIAÇÃO DA DIVERSIFICAÇÃO	58
IV.1- Objetivos do “Programa Diversificação”	58
IV.2- Estrutura do programa “Diversificação”	58
IV.3- Telas principais	59
Figura IV.1- Tela inicial do programa de estudo da diversificação sucroalcooleira	59
Figura IV.2- Entrada do valor da cotação do dólar Americano a considerar nos cálculos	59
Figura IV.3- Janela de opções para definição das características técnicas e econômicas das usinas em estudo	60



Figura IV.5- Definição dos ingredientes e custos do tipo de ração a base de bagaço hidrolisado para bovinos em confinamento _____	61
Figura IV.6- Definição dos preços de venda vigentes no mercado para os produtos e sub-produtos de uma usina diversificada _____	61
Figura IV.7- Resultados comparativos de lucros entre usinas otimizadas pela programação linear e usinas não otimizadas _____	62
Figura IV.8- Resultados e indicadores gerenciais _____	62
<b>CAPITULO V: USINAS DIVERSIFICADAS–CENÁRIOS, RESULTADOS, RISCOS E DISCUSSÃO _____</b>	<b>63</b>
V.1- Considerações simplificadoras _____	63
Tabela V.1- Relação de indicadores de rendimento usados numa usina padrão _____	63
V.2- Cenários _____	64
V.2.1- Usinas convencionais _____	64
Figura V.1- Linha de lucros iguais e áreas de conveniência na comercialização do açúcar e do álcool em usinas TCE - 60 _____	65
V.2.2- Usinas diversificadas _____	66
Figura V.2- Indicadores de ganhos com a venda de eletricidade excedente em usinas diversificadas com turbinas de extração condensação _____	67
V.2.2.a) Qual é o impacto de um financiamento em equipamentos de co-geração de eletricidade no fluxo de caixa de uma indústria sucro-alcooleira? _____	67
Figura V.3- Influência do financiamento de equipamentos de geração de eletricidade nos lucros líquidos da venda de energia elétrica cogenerada em usinas TEC-80 _____	68
Tabela V.2- Composição da taxa de juros para a linha de financiamento para o apoio ao setor elétrico do BNDES _____	68
Tabela V.3- Dados técnicos e financeiros referentes às 3 tecnologias comparadas _____	69
Figura V.4- Custos unitários médios para a geração de eletricidade cogenerada _____	70
Figura V.5- Lucros unitários líquidos com a venda de eletricidade co-gerada _____	70
V.2.2.b- Qual é o impacto de um financiamento de equipamentos para produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado no fluxo de caixa de uma indústria sucro-alcooleira? _____	71



Tabela V.4- Dados técnicos e financeiros referentes ao investimento em equipamentos para produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado_	72
Tabela V.5- Tabela financeira do método SAC referentes ao financiamento pelo BNDES _____	73
Tabela V.6- Tabela financeira referente ao Financiamento de 20% do valor dos equipamentos por outra Entidade Financeira pelo método PRICE _____	73
Tabela V.7- Tabela financeira referente ao financiamento pelo BNDES pelo método SAC _____	74
Tabela V.8- Tabela financeira referente ao financiamento de 20% do valor dos equipamentos por outra entidade financeira pelo método PRICE _____	74
Tabela V.9- Tabela financeira consolidada referente ao financiamento total dos equipamentos para produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado_	75
V.3- Resultados _____	76
Figura V.6- Resultados e índices entre produção diversificada planejada pelo usuário e a produção otimizada pelo programa _____	77
Figura V.7- Lucros líquidos anuais por tonelada de cana para cada produto_	78
Figura V.8- Distribuição de lucros no contexto global para uma produção programada em usinas TCE - 60 _____	78
Figura V.9- Distribuição de lucros no contexto global para uma produção otimizada _____	79
Tabela V.10- Variação de preços de venda da energia elétrica excedente para o primeiro ano de financiamento dos equipamentos de geração. _____	80
Tabela V.11- Variação de ganhos e respectivas participações de cada produto no lucro anual total de uma usina TCE-60 _____	81
Figura V.10- Indicadores de desempenho para usinas diversificadas TCE-60 no primeiro ano de financiamento dos equipamentos de geração de eletricidade e de ração bovina. _____	82
Tabela V.12- Quantidades de cana e bagaço utilizados para a fabricação de produtos e subprodutos numa usina TCE-60 _____	83
V.4- Riscos envolvidos nos investimentos: O Método de Montecarlo _____	84
Tabela V.13- Valores presentes líquidos para diversas distribuições de probabilidades numa usina TCE-60 _____	84
Tabela V.14- Distribuição de frequências para valores presentes líquidos numa	



usina TCE-60 _____	85
Figura V.11- Distribuição cumulativa de probabilidades para os valores presentes líquidos numa usina TCE-60 _____	85
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES FINAIS _____	87
BIBLIOGRAFIA _____	89
ANEXO 1: FOTOS ILUSTRATIVAS _____	91
Figura 1 – Hidrolisador de Bagaço de Cana _____	92
Figura 2 – Misturador de Componentes de Ração Bovina a base de Bagaço Hidrolisado _____	93
Figura 3 – Carroceria especial para homogeneização de Ração a Base de Bagaço Hidrolisado _____	93
Figura 4 – Alimentação de Gado Bovino com ração a base de Bagaço Hidrolisado na própria Usina de Açúcar – Sistema “Boitel” _____	94
Figura 5 – Sistema “Boitel” (Hotel para Bois) na época da Entre Safra da Cana de Açúcar _____	94
ANEXO 2: BIOGRAFIA DO DR. THOMAS R. PRESTON _____	95
ANEXO 3: FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO DE LUCROS NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA DIVERSIFICADA COM TURBINAS DE EXTRAÇÃO- CONDENSAÇÃO COM DUAS EXTRAÇÕES _____	97



## SIMBOLOGIA

TEC	Turbina de Extração-condensação
BIG GT	Biomass Integrated Gasifier / Gas turbine
MtC	Milhões de toneladas equivalentes
$p_k$	Prestação no período k.
$a_k$	Amortização no período k.
$j_k$	Juros no período k.
SDk	Saldo devedor
$P$	Principal a ser financiado
$N$	Número de prestações
$I_{g.exc}$	Índice de geração excedente
$C_{vapor}$	Consumo específico de vapor no processo
$x_1$	Quantidade ótima de açúcar a ser produzida no ano em [t / ano]
$x_2$	Quantidade ótima de álcool a ser produzido no ano em [m <sup>3</sup> / ano]
$x_3$	Quantidade de melaço residual ótima a ser produzido por ano [t / ano]
$x_4$	Quantidade ótima de energia elétrica excedente em [kWh / ano]
$x_5$	Quantidade ótima de ração pronta para bovinos confinados, a base de bagaço hidrolisado produzida pela usina em [t / ano]
$x_6$	Quantidade ótima de diárias a serem vendidas no ano pela usina com confinamento de gado [Diárias / ano]
$x_7$	Quantidade ótima de bagaço “In Natura” excedente a ser vendido no ano [t / ano]
$C_1$	Lucro unitário da venda de açúcar ao ano em [US\$ / t de Açúcar]
$C_2$	Lucro unitário da venda de álcool ao ano em [US\$ / m <sup>3</sup> de Álcool]
$C_3$	Lucro unitário da venda do melaço residual ao ano em [US\$ / t de Melaço]
$C_4$	Lucro unitário da venda de eletricidade cogenerada no ano em [US\$ / kWh]
$C_5$	Lucro unitário da venda de ração pronta para bovinos ao ano em [US\$ / t de ração]
$C_6$	Lucro unitário da venda de diárias de confinamento para bovinos na própria Usina em [US\$ / diária]
$C_7$	Lucro unitário da venda de bagaço “In Natura” ao ano em [US\$ / t de bagaço]
$I_{açúcar}$	Índice padrão de formação de açúcar segundo a quantidade de cana moída em



	[t cana/t açúcar]
$I_{\text{Álcool}}$	Índice padrão de produção de álcool segundo a quantidade de cana moída em [t cana/m <sup>3</sup> de álcool]
$b_1$	Capacidade limite dos moinhos da usina em [t / ano]
$m_{\text{cana}}$	Quantidade de cana que os moinhos podem moer por hora [tc / h]
$\lambda$	Quantidade de horas que dura o período de Safra da cana de açúcar ao ano [h / ano]
$\beta$	Coefficiente de segurança para estimar a produção real
$\kappa$	Quantidade de eletricidade excedente gerada ao ano [kWh / ano]
$b_3$	Quantidade limite anual de geração de melaço residual [t melaço / ano]
$I_{\text{açúcar}}$	Índice padrão de formação de açúcar segundo a quantidade de cana moída em [t cana / t açúcar]
$I_{\text{melaço}}$	Índice padrão de formação de melaço residual com relação a quantidade de açúcar produzido em [t melaço / t açúcar]
$\xi$	Quantidade de bagaço hidrolisado consumido por dia por um boi confinado em [t bagaço / boi dia];
$\mu$	Quantidade de ração pronta consumida por dia por 1 boi confinado em fase de acabamento em [kg de ração / boi dia];
$\delta$	Quantidade máxima de bagaço excedente gerado no ano em [t bagaço / ano];
$\nu$	Quantidade de bagaço hidrolisado consumido na ração por boi num dia [kg bagaço / boi dia]
$\varepsilon$	Quantidade máxima de ração pronta produzida ao ano em [t ração / ano]
$\psi$	Quantidade máxima de diárias de bois confinados na própria usina ao ano em [diárias / ano]
$I_A$	Índice de produção do açúcar
$I_{AL}$	Índice de produção do álcool
$I_M$	Índice de formação do melaço residual



## RESUMO

Este trabalho mostra e compara as viabilidades econômicas de diversificação em usinas de açúcar no Brasil para três níveis de pressão de vapor, 42, 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup> para tecnologias com turbinas de condensação de duas extrações (TCE). Uma parte do bagaço é utilizado como combustível de baixo custo na co-geração da eletricidade. Outra parte deste bagaço é desviado e hidrolisado para a produção de ração pronta para bovinos em confinamento. Esta ração pronta é vendida à criadores durante a época da safra, que coincide com a época seca, onde há escassez de alimento para o gado, obtendo assim, lucros específicos maiores por tonelada de cana moída ao ano. Somado a estes produtos, o estudo econômico abrange também a venda do melaço residual e do próprio bagaço na forma “In Natura” como outras alternativas de diversificação. Os estudos de otimização linear aqui apresentados, através da variação das quantidades a produzir de cada produto alternativo para cenários econômicos diferentes, mostram que os lucros específicos são mais significativos em usinas diversificadas que possuem turbinas de condensação com duas extrações operando a 60 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão de vapor. Esta constatação é reforçada ainda, através da análise de risco envolvidos nos investimentos pelo Método de Montecarlo, acusando valores de risco abaixo dos 5%.

## ABSTRACT

This Work shows and compares the economical feasibility of sugar mills diversification in Brazil for 3 types of cogeneration technologies: backpressure turbines (TCP), two extractions condensation turbines (TCE) and bagasse gasification with gas turbines combined cycles (BIG GT). A fraction of the bagasse used to the electric cogeneration is by-passed and hidrolysed for confined cattle food production. This ready ration is sold to cattle breeder during the time of the crop that coincides with dry season when cattle food shortage is usual. This allowed to obtain larger specific profits for ton of milled cane per year. These specific profits are still more significant in diversified mills with two extractions condensation turbines operating with 60 kgf/cm<sup>2</sup> steam pressure as current technological alternative. Future technological perspectives of diversification using bagasse gasification and gas turbine combined cycles (BIG GT) are presented with a potential annual profit higher than for all the previous ones.



## CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

### I.1- Importância

#### *Por que diversificar...?*

O setor açucareiro atravessa uma profunda crise como consequência das políticas protecionistas de alguns países e blocos comerciais, a que se intensifica pela aparição de novos produtos de laboratório, capazes de substituir o açúcar (adoçantes). Este fato se reflete claramente na queda contínua dos preços de venda do açúcar. Tudo isto indica que existe a necessidade de diversificar a gama de produtos do setor mediante a implementação de sistemas alternativos para a produção de energia e combustíveis, a produção de alimento animal e de outros derivados. Estes mostram vantagens comerciais e estratégicas que devem ser avaliadas em diferentes contextos macro-econômicos.

A indústria açucareira diversificada é definida como um sistema flexível, capaz de reagir, variando a correlação entre o volume fabricado de cada produto, a fim de operar sempre em faixas de lucro máximo.

Uma central açucareira diversificada permite um melhor aproveitamento dos resíduos da agroindústria. Por outro lado, o bagaço se valoriza quando se utilizam tecnologias para incrementar a geração de energia elétrica a um custo ambiental baixo. Por outro, os brotes, as pontas e folhas podem ser utilizadas como alimento animal, assim como outros preparados a partir do bagaço hidrolisado.

Um antecedente importante em matéria de estudo de diversificação foi o projeto “*La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar en América Latina y el Caribe*” (GEPLACEA/PNUD/RLA/86/011), continuando válida a afirmação de que a diversificação é: “... fundamentalmente, uma estratégia de desenvolvimento do setor canavieiro...” (GEPLACEA, 1991).

As diferentes estratégias de diversificação da indústria sucroalcooleira tiveram pouco sucesso, porque exigem de uma análise técnico-econômica individual para cada caso, dependendo da sua localização geográfica e das respectivas atividades econômicas predominantes que circundam à região.

### I.2- Objetivos

Com base na importância da Diversificação apresentada no item anterior, este trabalho



apresenta os seguintes objetivos principais:

- Mostrar as vantagens de “Diversificação da Indústria Sucroalcooleira” como diferencial competitivo para os dias de hoje.
- Desenvolver uma ferramenta computacional para a análise econômica detalhada de diferentes opções de diversificação, possibilitando a tomada de decisão mais adequada ao contexto econômico existente.
- Realizar estudos de casos na aplicação de opções de diversificação em usinas de açúcar visando a obtenção de um “lucro máximo” para diferentes contextos econômicos.

### **I.3- Estruturação da Tese**

Este trabalho apresenta no capítulo dois, uma revisão bibliográfica que focaliza os aspectos mais importantes da co-geração de eletricidade nas usinas sucroalcooleiras e, o aproveitamento de produtos e sub-produtos da cana na alimentação de bovinos adultos em confinamento durante a época da estiagem.

No capítulo três é apresentado o equacionamento utilizado nos cálculos de otimização linear, assim como os dados econômicos e técnicos considerados.

Para dar um maior foco na ferramenta desenvolvida nesta Tese, o capítulo quatro, mostra as principais telas do programa, mostrando a facilidade de uso e vantagens da mesma.

No capítulo cinco, são mostrados resultados de simulações econômicas de otimização para cenários atuais. As tabelas e gráficos ilustram claramente as vantagens e desvantagens competitivas da diversificação sucroalcooleira usando tecnologias de co-geração com turbinas a vapor de condensação de duas extrações trabalhando em três níveis de pressão, 42, 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup>.

As conclusões comparativas, limitações encontradas e desenvolvimentos futuros propostos, são discutidos no capítulo seis.

Na página 89 é apresentada em detalhe a Bibliografia estudada para a elaboração deste trabalho e, no anexo 1, são mostradas fotos ilustrativas de equipamentos de hidrolise de bagaço, confinamento de bois e, principalmente, fazendo referencia especial ao pai da criação de gado confinado a base de produtos e sub-produtos da cana de açúcar, é colocada no detalhe, a biografia do Dr. Preston no Anexo 2.



## CAPÍTULO II: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### **II.1- A co-geração de energia elétrica em centrais açucareiras**

#### ***II.1.1- Introdução***

A primeira menção documentada sobre a cana de açúcar aparece no livro sagrado dos hindus, o Atharva Veda, e data de um período estimado entre os anos 5000 e 1000 antes de Cristo. Cristóvão Colombo, na segunda viagem, trouxe a cana de açúcar ao continente americano e a plantou na ilha "La Espanha". Seu aproveitamento industrial para produção de açúcar começa no final do século XVI, em Cuba, e outras ilhas do Caribe. Em 1528, foram descobertas as minas de cobre em Santiago de Cuba realizando-se as primeiras fundições em 1599, numa Empresa Estatal do Governo Espanhol. Isto possibilitou a fabricação das máquinas dos primeiros engenhos. Não é casual, portanto, que Don Francisco Sánchez de Moya, primeiro gerente desta empresa metalúrgica, tenha sido o dono de três dos primeiros engenhos de nosso continente. Em 1617, já existiam 37 engenhos entre Santiago de Cuba e Bayamo, aparecendo, nesta mesma época, os primeiros engenhos na Jamaica e no Haiti.

A indústria açucareira entra em seu quinto centenário no meio de um contexto complexo. Por um lado, a redução dos preços do açúcar parece ser uma tendência irrevogável. Por outro, a intensificação do uso da cana de açúcar como fonte de energia renovável é vital, considerando sua importância na solução dos problemas ambientais de caráter global e a extinção das reservas de combustíveis fósseis num futuro próximo. Além disso, existem outras alternativas de diversificação que se mostram atraentes economicamente, tais como a produção de ração animal para bovinos em confinamento em fase de acabamento a base de bagaço de cana hidrolisado, a venda do melaço residual, e outros sub-produtos.

O objetivo de diversificação da indústria açucareira proposto é fundamental para a possibilidade do desenvolvimento sustentável da mesma no século XXI e sua relação com aspectos de eficiência energética e gerenciamento ambiental do setor.

#### ***II.1.2- O setor sucroalcooleiro***

O uso da energia primária é mais crescente cada dia no mundo inteiro. Nas usinas de açúcar e álcool o bagaço constitui a fonte principal de energia, fazendo possível que o processo açucareiro seja energeticamente auto-suficiente e ainda mais com a possibilidade de obter excedentes significativos de energia. Estes excedentes eventualmente podem ser vendidos a centros agro-industriais vizinhos, vinculados ao setor, ou destina-se a outros



consumidores. Por outro lado, também se pode ter bagaço excedente de grande valor para outras aplicações (Leibig, 1994).

No contexto mundial, a geração elétrica a partir do bagaço tem se destacado principalmente no Havaí, nas ilhas Maurício e Reunião. Além da tradição da atividade sucroalcooleira nessas regiões, a geração elétrica em larga escala pode ser explicada pelas características locais da oferta de energia, dada a completa dependência externa no abastecimento de fontes fósseis (Nogueira e Walter, 1997).

A redução dos investimentos no setor elétrico nos anos 80 e 90, na maioria dos países da América Latina, acompanhada pelo contínuo aumento no consumo de eletricidade, está levando a sérias dificuldades no abastecimento da demanda. Por outro lado, os governos da região não dispõem dos recursos financeiros necessários para os investimentos que requer o setor. As soluções apontadas são a desregulamentação do mercado, a participação de capital privado, e o estímulo à geração independente e descentralizada de eletricidade. Neste sentido, é notável o potencial da indústria açucareira, devido à disponibilidade de grandes quantidades de resíduos lignocelulósicos, na forma de bagaço e palha de cana. Este último termo envolve além da palha propriamente dita (folhas secas), as folhas verdes e as pontas.

Recentes publicações sobre a redução da produção de petróleo já nos próximos decênios acentuam ainda mais a importância da perspectiva da biomassa como fonte de energia. Assim, são cada vez mais frequentes as notícias de grandes investimentos das multinacionais do petróleo em projetos de reflorestamento e de demonstração de tecnologias avançadas para a conversão energética da biomassa.

Segundo dados de Herrera (1999), existem no mundo 70 países produtores de cana-de-açúcar, com uma área semeada de 12,7 milhões de hectares. A geração de eletricidade com tecnologia moderna e um índice de eletricidade excedente de 50 kWh por tonelada de cana representaria, para América Latina e o Caribe, cerca de  $2,07 \cdot 10^{10}$  kWh.

A cana-de-açúcar deve ser vista de uma maneira integral, como fonte de alimento humano e animal, energia, fertilizantes e alguns outros subprodutos. Esta gramínea é uma das variedades agrônômicas de maior eficiência no processo de fotossíntese, utilizando 2-3 % da radiação solar incidente na produção de biomassa vegetal (Braun, 1994). O conteúdo global de energia nos resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha) é de 7,7 EJ (Braun, 1994), sendo o consumo total de energia comercial no mundo de aproximadamente 330 EJ. A comparação do custo da energia de outros tipos de biomassa, tais como o eucalipto, cujo valor é de US\$ 2,3 por GJ como valor médio para o Brasil (Silva e Horta, 1998) com o custo do bagaço e da



palha de cana, cujos valores oscilam entre US\$ 0,28-1,68 por GJ e US\$ 0,95-2,21 por GJ, respectivamente (Braun, 1994), permite classificar o bagaço como biomassa de baixo custo, o que faz rentável a geração de eletricidade com tecnologias de baixa eficiência durante a safra.

A energia elétrica excedente gerada nas usinas de açúcar precisa ser vendida às concessionárias e chegar ao consumidor final. Vários fatores têm incidido negativamente na compra e comercialização da eletricidade gerada nas usinas pelas concessionárias:

- Carência de políticas energéticas no passado que estimulassem a geração descentralizada de excedentes elétricos;
- Existência de um monopólio estatal no setor elétrico, a qual tende a mudar devido as privatização das empresas estatais;
- Ausência da participação privada no mercado energético, atualmente muitas destas estão investindo neste setor;
- Tarifas de venda da eletricidade excessivamente baixas, não remunerando adequadamente os auto-produtores;
- Falta de incentivos fiscais e financeiros para a geração independente da eletricidade;
- Sazonalidade da colheita da cana-de-açúcar e dificuldades para garantir a geração durante todo o ano.

Atualmente, em vários países latino-americanos, observa-se a tendência de se incentivar a co-geração na indústria açucareira. No caso de América Central, estudos feitos, em 1997, pela Central American Regional Office of Biomass Users Network (1997) (BUN-CA) em seis países de América central mostram que só 15% das usinas da região tinham excedente de eletricidade. O investimento privado na região nos últimos anos foi estimado em aproximadamente US\$300.000.000, cifra que crescerá conforme os mecanismos institucionais e financeiros sejam mais acessíveis. Os resultados mostram que, em curto ou médio prazo, as usinas da região poderão agregar até 250 MW de capacidade instalada. Em termos de produção elétrica, a cogeração por cana corresponde a 4% do total da região, sendo os maiores investimentos realizados na Guatemala.

### ***II.1.3- O Setor Sucroalcooleiro no Brasil***

A cana de açúcar é uma cultura agrícola importante para a economia do Brasil desde o período colonial. Em 1974, um ano antes da criação do Programa Nacional do Alcool - PROÁLCOOL, a produção brasileira de cana-de-açúcar representava 14,7% da produção mundial, enquanto a produção de açúcar correspondia a 12,3% da produção total. Na mesma



época, as exportações de açúcar, em função dos altos preços alcançados naquele ano, contribuíram com 17,4% das exportações totais do país (Walter, 1994).

Já a co-geração neste setor durante este período, devido ao pequeno aproveitamento do potencial de geração, baixa atratividade econômico-financeira e a confiabilidade do abastecimento, não teve grande importância do ponto de vista energético (Walter, 1994).

A partir dos anos 80, esta situação começou a ser revertida, devido à crise no setor elétrico, sob o risco de déficit no abastecimento, reorientação do PROÁLCOOL dentro da atual relação de competitividade com o preço do petróleo no mercado internacional, (Walter, 1994) e a perspectivas de tarifas competitivas para a venda de eletricidade às concessionárias privatizadas.

Atualmente, a conjuntura do setor elétrico nacional sinaliza um novo quadro para a biomassa no País, sendo o bagaço de cana de açúcar o recurso de maior potencial de geração elétrica no momento. A alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira, tem disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana de açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos estados das regiões Sul e Sudeste (ANEEL, 2002). Além disso, o período de safra da cana de açúcar coincide com o de estiagem nas principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro.

Trabalho recente, elaborado pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa, com a colaboração de outras instituições e o apoio financeiro da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANNEEL), indica um potencial técnico de co-geração de excedentes de energia elétrica de 3.852 MW no setor sucroalcooleiro do Brasil (CENBIO, 2002). Cabe ressaltar que este número foi determinado com dados de 51% das usinas sucroalcooleiras do país que efetivamente responderam o questionário utilizado para o levantamento de dados.

Contudo, apenas 132 MW estavam sendo comercializados em setembro de 2001, o que corresponde a cerca de 11% do potencial técnico dessas usinas e a somente 3,4% do referido potencial brasileiro. Os dados revelam ainda que há, porém, perspectivas de 1.578 MW em novos projetos (348 MW em curto prazo, 772 MW em médio prazo e 458 MW em longo prazo), o que corresponde a 28% do potencial técnico indicado pelo levantamento.

Segundo o Balanço Energético Nacional (2000), tomando como ano base o ano de 1999, a matriz energética brasileira é claramente dominada pela energia hidráulica e pelo petróleo, os quais respondem por cerca de 69% das fontes primárias de energia. A



participação da lenha e da cana-de-açúcar soma aproximadamente 19% das fontes primárias (Figura II.1).

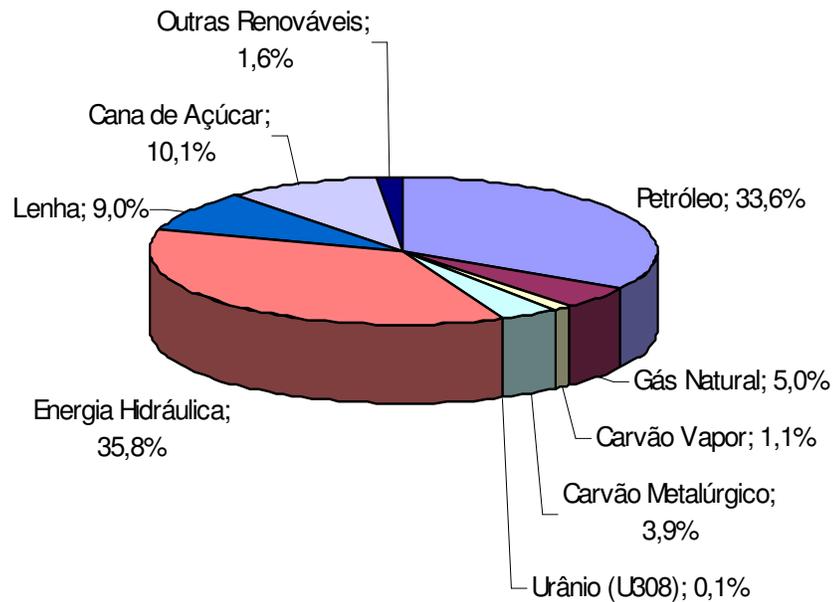


Figura II.1 Participação na matriz energética brasileira. Ano base 1999

No mundo, o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar, e a co-geração é uma prática tradicional no interior do Estado de São Paulo; em média a produção de eletricidade é de 20 a 30 kWh por tonelada de cana moída usada principalmente para os equipamentos da própria usina.

Na tabela II.1 é ilustrada a capacidade total de geração de energia elétrica, os excedentes, assim como a quantidade de cana moída para o período 95/96 (Winrock International, 1999).

Vejamos o caso específico do Brasil: Qual poderia ser a contribuição da eletricidade gerada a partir do bagaço de cana? Durante os cálculos se assumiu que o crescimento da produção de açúcar seria de 0,8 % ao ano e álcool de 4,5 %. Assim no ano 2025, a quantidade de cana colhida para atender a demanda deveria ser de 346,6 milhões de toneladas. O potencial termodinâmico de co-geração correspondente é apresentado na tabela II.2. O aumento da potência instalada no Brasil até o ano 2025 deve ser de aproximadamente 80 GW. Vemos, assim, que 23,4 % deste valor pode ser a princípio obtido a partir da biomassa canavieira.



Tabela II.1 Usinas de açúcar e álcool com sistemas de co-geração (Winrock International 1999)

Usina	Localização	Capacidade Total MW	Excedente MW	Cana Moída em 95/96 (1000 t)
Santa Elisa	Sertãozinho	29,0	5,0	6,906
Vale do Rosário	Morro Agudo	20,0	1,5	3,532
São Martinho	Pradópolis	19,0	1,5	5,376
Equipav	Promissão	16,0		2,156
Usina de Barra	Barra Bonita	15,0		6,114
Corona/ Bonfim	Guarida	14,8	0,8	3,839
Santa Adélia	Jaboticabal	12,8		135
Colombo	Ariranha	12,5	1,0	1,907
Diné Agro Industrial	Sta. Rosa do Viterbo	11,8		1,195
Ometto Pavan/ Sta. Cruz	Américo Brasil	11,4	1,5	2,567
Zanin	Araraquara	11,2		1,146
Jaboticabal	Jaboticabal	10,4		1,367
Univalem	Valparaíso	10,0		1,288
Açúcar Guarani	Olímpia	9,5		1,126
Biagi/ Usina da Pedra	Serrana	9,0		2,993
Catanduva	Ariranha	9,0		2,665
O.R.Mendonça/Colorado	Guairá	9,0		2,195
Zillo Lorenzetti/ S. José	Macatuba	8,7		3,736
Barra Grande	Lencóis Paulista	8,1		3,911
Maringá	Araraquara	8,0		992
Costa Pino	Piracicaba	8,0		3,238
Bortolo carolo	Pontal	7,9		178
Penápolis	Penápolis	7,9		1,368
Éster	Cosmópolis	7,7		1,227
Guarani	Severina	7,6		931
Sinhá Junqueira	Igarapava	6,8		1,762
Nardini	Vista Alegre Alto	6,4	0,5	1,121
União São Paulo	Rafard	6,2		1,765
Mandu	Guairá	6,0		1,036
Virgulino Oliveira	Itapira	5,8		1,092
Santa Lydia	Ribeirão Preto	5,3	0,5	1,182
Atilio Balbo/ Sto. Antônio	Sertãozinho	5,2		141



Tabela II.1 Usinas de açúcar e álcool com sistemas de co-geração (Winrock International, 1999) (Continuação)

Usina	Localização	Capacidade Total MW	Excedente MW	Cana Moída em 95/96(1000 t)
Bazan	Pontal	4,8		172
Santa Fé/ Santa Cruz	Nova Europa	4,8		107
Moreno	Luiz Antônio	4,7		1,343
Alta Mogiana	São Joaquim da Barra	4,5		1,237
Santa Helena	Rio das Pedras	4,4		1,466
Andrade	Pitangueiras	4,2		2,391
Galo Bravo	Ribeirão Preto	4,2		1,114
Nova União	Serrana	4,0		1,437
Açúcar e Álcool MB	Morro Agudo	4,0		928
Aralco	S. Antônio Aracangua	4,0		666
Jardest	Jardinópolis	4,0		664
Destivale	Araçatuba	4,0		394
São Geraldo	Sertãozinho	4,0		1,345
Guairá	Guairá	4,0		115
Corona/ Tamoio	Araraquara	3,6		912
Santa Adelaide	Dois Córregos	3,6		1,505
São Manuel	São Manuel	3,6		1,128
São Francisco	Sertãozinho	3,0	0,3	829
Alcoazul	Araçatuba	3,0		631
Água Limpia	Monte Aprazível	3,0		459
Batatais	Batatais	3,0		1,287
São Francisco	Elias Fausto	3,0		1,148
Albertina	Sertãozinho	3,0		1,048
Ipiranga	Descalvado	2,8		586
Franceschi/ Diamante	Jahu	2,8		1,557
Vale do Rio Turvo	Onda Verde	2,5		520
Santa Luiza	Jaboticabal	2,4		973
Furlan	Santa Bárbara o'Oeste	2,4		878
Bom Retiro	Capivari	2,4		827
São José	Rio das Pedras	2,4		695
Benalcool	Bento de Abreu	2,4		518



Tabela II.1 Usinas de açúcar e álcool com sistemas de co-geração (Winrock International, 1999) (Continuação)

Usina	Localização	Capacidade Total MW	Excedente MW	Cana Moída em 95/96 (1000 t)
Nova Avanhandava	Avanhandava	1,9		340
Bela Vista	Pontal	1,6		836
Guaricanga	Presidente Alves	1,6		338
Pitangueiras	Pitangueiras	1,5		633
Unialco	Guararapes	1,5		602
Clealco	Clementina	1,5		561
Viralcool	Pitangueiras	1,5		1,015
17 usinas adicionais		6,6		15,219

Tabela II.2- Prognóstico do potencial termodinâmico de co-geração no setor de açúcar e álcool do Brasil no ano 2025 na implementação de diferentes tecnologias de co-geração

Tecnologia	Potencial termodinâmico de cogeração no Brasil com bagaço de cana, GW	Potencial termodinâmico de cogeração no Brasil com recuperação do 50 % da palha, GW
TEC* 4,0 MPa	5,46	9,16
TEC* 6,0 MPa	5,90	9,91
TEC* 8,0 MPa	6,25	10,49
BIG GT*	11,14	18,7

TEC: Turbina de extração-condensação.

BIG GT: Biomass Integrated Gasifier/ Gas turbine

A modernização da base energética da indústria açucareira exigirá enormes investimentos, difíceis de imaginar no momento atual de crise dos governos dos países em desenvolvimento. As possíveis fontes dos recursos financeiros necessários poderão ter como origem:

- Fundos internacionais para o desenvolvimento;
- Incentivos fiscais para investimentos em energias renováveis;
- Recursos de empresas petroleiras e energéticas em busca de novas oportunidades de negócios;



- Recursos provenientes de taxas sobre a emissão de poluentes quando se utilizam combustíveis fósseis;
- Empréstimos de bancos internacionais;
- Iniciativa privada;
- Fundos provenientes dos compromissos impostos pelo Protocolo de Kyoto (CDM- Clean Development Mechanism);
- Sustentação financeira do setor.

#### ***II.1.4-Incentivos de uso da biomassa***

Entre os mecanismos de incentivo ao uso da biomassa para a geração de energia elétrica, destaca-se a criação do Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica –PROINFA-, instituído pela Medida Provisória nº 14, de 21 de Dezembro de 2001. Esse programa tem a finalidade de agregar ao sistema elétrico brasileiro 3.300 MW de potência instalada a partir de fontes alternativas renováveis, cujos prazos e regras estão sendo definidos e regulamentados pela Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica – CGE - e pelo Ministério de Minas e Energia – MME, com a colaboração de outras instituições, entre elas a ANNEL e a Eletrobrás (Atlas da Energia Elétrica do Brasil, 2002).

Os principais mecanismos de incentivo previstos no PROINFA são a garantia de compra, por um prazo de até 15 anos, da energia gerada, e o estabelecimento de um valor de referência compatível com as características técnico-econômicas do empreendimento. Entre outros incentivos, destaca-se a redução não inferior a 50% nos encargos de uso dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica.

No que diz respeito à biomassa particularmente, esta sendo elaborado pelo MME e pela CGE um programa de incentivo específico, com a finalidade de agregar ao sistema elétrico nacional, até dezembro de 2003, 2.000 MW de geração de energia elétrica a partir da biomassa. Além dos incentivos previstos pelo PROINFA descritos anteriormente, deverá haver um programa de financiamento com taxas de juros reduzidas e prazos de carência e amortização coerentes com a natureza dos investimentos.

#### **➤ *O mercado de créditos de Carbono e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)***

Nasce como consequência da busca de soluções para o aquecimento global e efeito estufa. Do ponto de vista teórico, não há mais dúvida de que a humanidade só sobreviverá caso consiga conciliar a produção de bens e serviços com a preservação ambiental e o bem estar



social. E a adoção do *Mecanismo de Desenvolvimento Limpo* é um passo importante nesse sentido.

O Protocolo de Kyoto realizado em dezembro de 1997, no Japão, apresenta como proposta concreta o início do processo de estabilização das emissões de gases geradores de efeito estufa. Estabeleceu ainda, que estas reduções devera ser realizada entre 2008 e 2012 (fase definida como o primeiro período de cumprimento do Protocolo).

O Protocolo dividiu os países em 2 grupos: 1) Anexo I, que são países industrializados grandes emissores de CO<sub>2</sub> e 2) Não Anexo I, que são países que para atender as necessidades básicas de desenvolvimento, precisam aumentar sua oferta energética e, potencialmente suas emissões.

A União Européia e os 38 países que compõem o Anexo I do Protocolo de Kyoto deverão ter reduções diferenciadas, tomando por base as emissões registradas em 1990. Estes países deverão atingir uma redução líquida de suas emissões de 5,2% (tabela II.3).

Tabela II.3 Proposta de redução de emissões no Protocolo de Kyoto (Acquatella, 2001)

País	Emissões em 1990 [MtC]	Meta de Kyoto
EUA	1.362	93%
Japão	298	94%
União Européia	822	92%
Outros Países OECD	318	95%
Europa Oriental	266	104%
Antiga União Soviética	891	98%
TOTAL	3.957	

MtC (Milhões de toneladas equivalentes)

Para possibilitar a implementação dos seus propósitos de redução de emissões e ao mesmo tempo assegurar uma transição economicamente viável para a adoção desse novo padrão, o Protocolo de Kyoto estabeleceu a criação de mecanismos comerciais chamados de “*Mecanismos de Flexibilização*” para facilitar que os países do Anexo I cumpram suas metas de corte nas emissões:

- Comércio de Emissões e Implementação Conjunta (Emissions Trading e Joint Implementation) – instrumentos pelos quais um país industrializado pode, inclusive através de operações de compra e venda, contabilizar reduções realizadas



em outro país do Anexo I.

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL (Clean Development Mechanism-CDM) – permite que países do Anexo I, financiem projetos de redução ou comprem volumes de redução de emissões resultantes de iniciativas desenvolvidas nos países não industrializados do Anexo I, que nesse primeiro período de cumprimento do Protocolo de Kyoto, 2008 a 2012, não têm metas definidas de redução de emissões.

Um dos destaques de interesse do Protocolo de Kyoto é que ao fazer um uso mais racional e sustentável dos recursos adquire um valor tangível, materializado na quantificação da redução de emissão de gases que geram efeito estufa.

A quantificação das emissões evitadas e/ou resgatadas da atmosfera (toneladas de CO<sub>2</sub> não emitidas) faz com que estas passem a se constituir em mercadoria, uma nova *commodity*. Essas *commodities* (toneladas de emissão de CO<sub>2</sub> evitadas ou resgatadas) deverão dar origem aos Créditos por Redução de Emissões (CERs – Certified Emissions Reductions) comercializáveis diretamente entre empresas ou como papéis colocados no mercado. Como qualquer *commodity*, o carbono não tem preço fixo. Está sujeito às variações de oferta e demanda, tanto quanto a soja, a carne ou o aço.

Estudos realizados pela Universidade do Colorado e pelo Escritório Executivo da Presidência Americana, levando em conta basicamente às condições norte-americanas, estimam um custo entre US\$ 100,00 e US\$ 200,00 para cada tonelada de CO<sub>2</sub> abatida por ações internas nos Estados Unidos. Os cálculos realizados pelo mesmo Escritório Executivo da Presidência, em 1999, mostram que esses custos podem cair pela metade ou ainda menos se as reduções previstas puderem utilizar livre e amplamente os mecanismos de flexibilização do Protocolo Kyoto.

Para os países do Anexo I, de um modo geral, as modelagens realizadas indicam que, utilizando-se uma “cesta” variada de mecanismos, é possível chegar a um custo de US\$ 10,00 a US\$ 60,00 para cada tonelada reduzida de emissões de CO<sub>2</sub>.

No caso mais específico da América Latina, os estudos da CEPAL – que voluntariamente adota uma postura conservadora para sua base de cálculos – indicam também que é possível trabalhar com essa mesma faixa de US\$ 10,00 a US\$ 60,00 para a remuneração da tonelada de CO<sub>2</sub> reduzida em projetos de MDL na região. Segundo essas mesmas estimativas, se teria entre US\$ 10,00 e US\$ 20,00 para projetos associados a resgate de



carbono em atividades do setor florestal, e entre US\$ 40,00 e US\$ 60,00 para projetos na área de energia.

O Brasil apresenta um enorme potencial para a conservação de energia, além da grande extensão territorial e abundância de recursos naturais, conta com uma base tecnológica avançada e credibilidade no mercado internacional, quadro bastante positivo para os projetos de MDL.

Cabe ressaltar aqui, que este trabalho não incluí nos cálculos de custo da energia elétrica possíveis reduções com relação a este assunto, mas, este ponto é focalizado no detalhe em trabalhos recentes de Carpio et al., 2002.

### ***II.1.5- Tecnologias de co-geração no setor sucroalcooleiro***

Nos inícios da indústria sucroalcooleira, o principal objetivo era atingir a demanda de vapor para atender as necessidades do processo industrial, durante muitos anos, nas usinas de açúcar e álcool se limitaram à auto-suficiência no abastecimento elétrico. Com o avanço tecnológico, o mercado dispôs de geradores de vapor e turbinas de maior eficiência e que podem trabalhar em maiores níveis de pressão. Sistemas mais avançados, como as turbinas a vapor de extração-condensação, são utilizados com o objetivo de que a instalação tenha excedentes de eletricidade, que viabilizam a operação ao longo do ano. Este tipo de equipamento permite que a Usina aproveite o salto térmico (energia entálpica maior gerada pelo maior diferencial de temperatura na Caldeira) durante o ano inteiro, pois é possível fechar o fluxo de vapor utilizado nos processos de troca térmica durante a época da Safra e aproveitá-lo como energia para movimentação das pás da Turbina de Condensação na época fora de Safra.

#### ***II.1.5.a) Esquema com turbina de contrapressão***

Este sistema é usado na atualidade pela maioria das usinas de açúcar e álcool no Brasil como se mostra na Figura 3.2. Consta de uma linha de vapor para as turbinas que acionam as moendas e equipamentos mecânicos, outra linha para a turbina de contrapressão; além disso, consta de uma válvula redutora de pressão que garante a operação do sistema, mantendo a demanda de vapor exigida no processo de fabricação de açúcar.

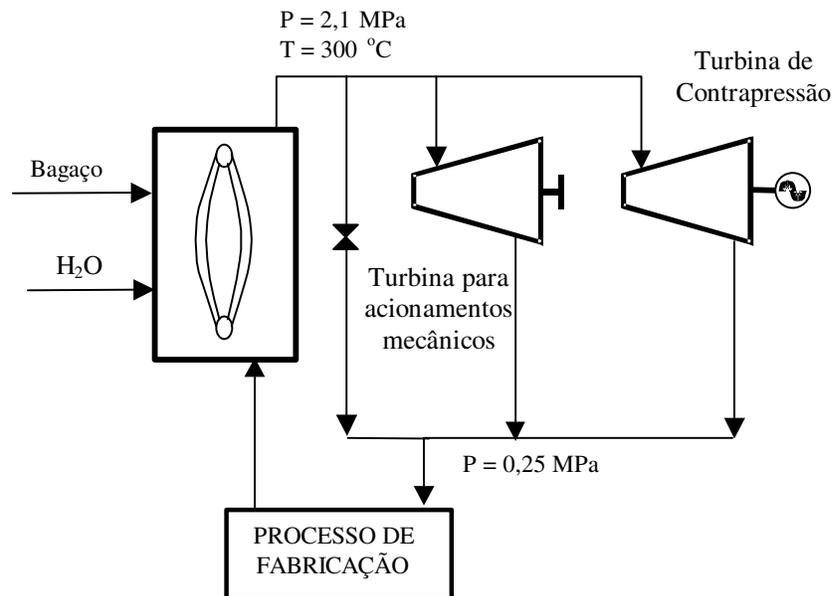


Figura II.2 Sistema de co-geração com turbina de contrapressão em uma usina de açúcar e álcool.

#### II.1.5.b) Turbina a vapor de extração-condensação

Quando se elevam os parâmetros de vapor e se substitui a turbina de contra pressão por uma turbina de dupla extração e condensação, este sistema é denominado CEST. As principais vantagens deste sistema são explicadas por um conceito termodinâmico elementar : quanto mais alta seja a temperatura e a pressão do vapor e menor a pressão de exaustão, a queda da entalpia do vapor será maior e também o trabalho desenvolvido pela turbina, estes sistemas se desenvolvem numa faixa de pressão de 4,2 MPa até 8,0 MPa, e temperatura de 400 a 500 °C, com uma pressão de condensação de 0,02 MPa, como é mostrado na figura 3.3. Por outro lado, os custos de investimento, operação e manutenção são maiores, mais a energia elétrica produzida e os excedentes obtidos são apreciáveis, o que faz rentável um investimento com estas características.

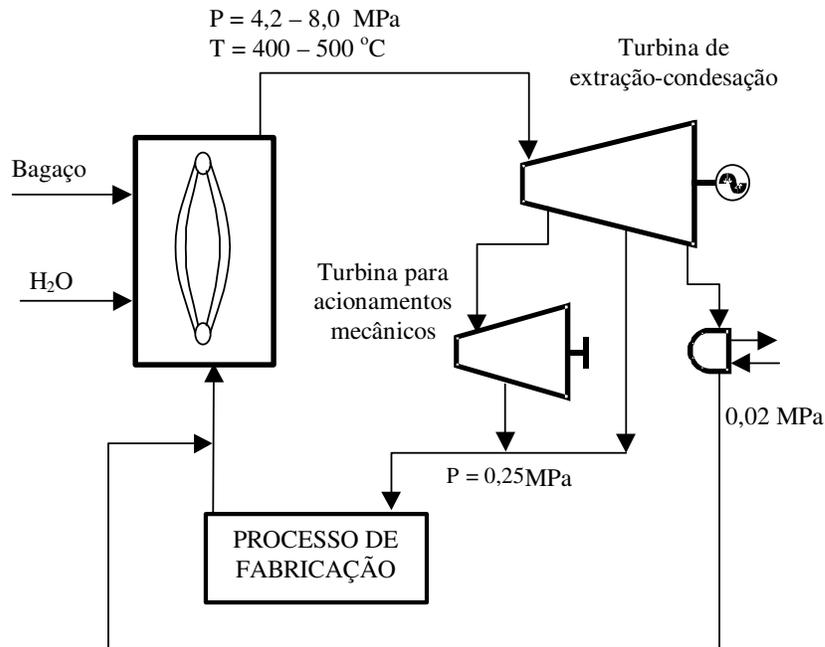


Figura II.3 Sistema de co-geração com turbina de extração-condensação em uma usina de açúcar e álcool.

Uma avaliação técnico-econômica mostrada no detalhe no capítulo V mostra que o maior ganho no que se refere a viabilidade econômica, corresponde a sistemas de co-geração com turbina de extração-condensação de 6,0 MPa de pressão.

#### II.1.5.c) Sistemas BIG/GT

Uma quantidade considerável de eletricidade poderia ser gerada utilizando tecnologias avançadas com alta eficiência de conversão. Neste sentido a tecnologia integrada de gaseificação e turbinas a gás (Biomass Integrated Gasifier / Gas Turbine, BIG/GT) é muito atrativa para sua introdução nas usinas açucareiras com baixo consumo de vapor. A tecnologia BIG GT está na fase de testes em vários projetos demonstrativos na Europa e Estados Unidos. A Figura 3.4 mostra a relação entre o índice de geração excedente ( $I_{g.exc.}$ ) e o consumo específico de vapor no processo ( $C_{vapor}$ ), para diferentes tecnologias de co-geração em usinas de açúcar.

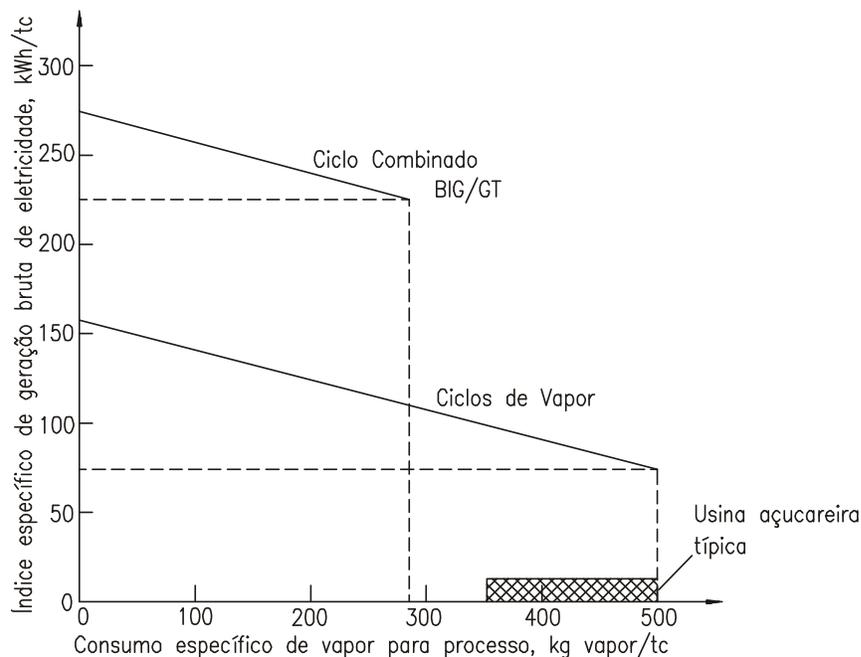


Figura II.4 Relação entre o índice de geração excedente ( $I_{g,exc.}$ ) e o consumo específico de vapor no processo ( $C_{vapor}$ ), para diferentes tecnologias de co-geração em usinas de açúcar.

➤ **Simulação da implementação de sistemas BIG/GT em usinas de açúcar**

Hobson e Dixon (1998), com relação entre geração de eletricidade excedente, consumo específico de vapor e a relação vapor/bagaço em caldeiras de vapor (Figura II.5) realizaram um estudo sobre a possibilidade de implementar sistemas BIG GT nas condições das usinas açucareiras australianas (Tabela II.3). As conclusões principais foram:

- Para um consumo específico de vapor de 520 kg/tc (52 % de vapor em cana) a energia dos gases de escape da turbina não é suficiente para gerar o vapor de processo. Para este nível de consumo de vapor 70 % do bagaço deve ser desviado do gaseificador e alimentado diretamente aos geradores de vapor;
- A redução do consumo de vapor de 520 kg/tc a 400 kg/tc aumenta a potência disponível do sistema BIG GT de 88 a 148 MW. Uma redução adicional no consumo de vapor até 320 kg/tc leva a um aumento moderado da potência até 153 MW. Na mesma faixa de valores analisados, um sistema de vapor convencional aumenta a potência disponível desde 37 até 43 MW;
- A eficiência de geração anual utilizando a tecnologia BIG GT na recuperação da palha de cana (37 %) é 4 vezes maior que com a melhor tecnologia atualmente



disponível.

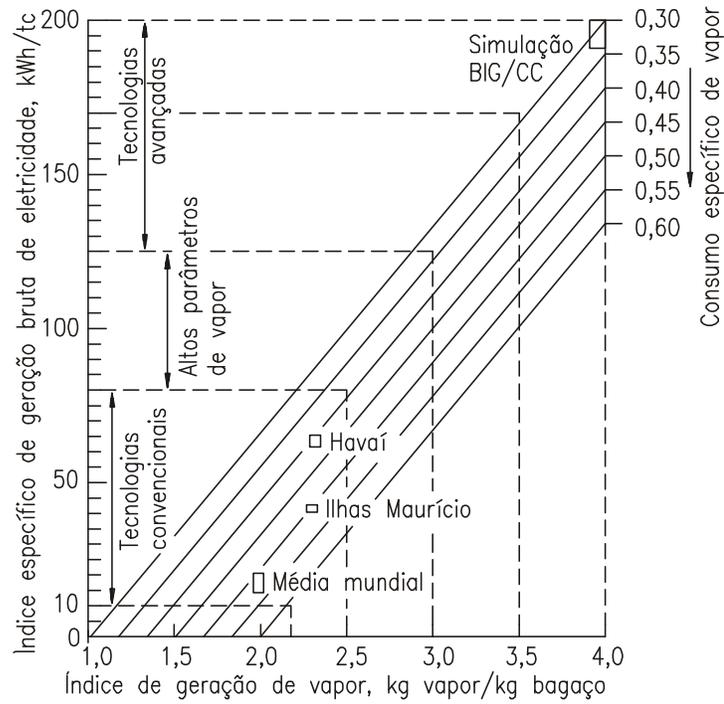


Figura II.5 Relação entre geração de eletricidade excedente, consumo específico de vapor e a relação vapor/bagaço nas caldeiras de vapor.



Tabela II.4 Dados assumidos durante a implementação do sistema BIG/GT numa usina de açúcar (Hobson e Dixon, 1998).

Parâmetro	Valor
<b>Subministro de bagaço</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moagem.</li> <li>• Fibra de cana.</li> <li>• Umidade do bagaço.</li> <li>• Cinzas (base seca)</li> </ul>	<p>600 t/h</p> <p>13,8 %</p> <p>50 %</p> <p>5 %</p>
<b>Parâmetro da fábrica comuns aos sistemas de vapor e BIG/GT</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão de vapor de baixa.</li> <li>• Temperatura de retorno do condensado</li> </ul> <b>Consumo de potência por tonelada de cana</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Moendas.</li> <li>• Picadores.</li> <li>• Equipamentos auxiliares.</li> <li>• Duração da safra.</li> <li>• Geração de potência fora de safra.</li> <li>• Tempo de operação por semana.</li> </ul> Período de operação durante o dia.	<p>1,7 bar</p> <p>98 °C</p> <p>8 kWh/tc</p> <p>10 kWh/tc</p> <p>2,7 kWh/tc</p> <p>22 semanas</p> <p>30 semanas</p> <p>5 dias</p> <p>16 horas</p>
<b>Geração de potência com turbinas a vapor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão da caldeira.</li> <li>• Temperatura do vapor.</li> <li>• Eficiência isentrópica da turbina (alta pressão/baixa pressão).</li> <li>• Pressão de condensação do vapor.</li> </ul>	<p>4,8 MPa</p> <p>380 °C</p> <p>0,84/0,7</p> <p>0,02 MPa</p>
<b>Geração de potência com sistema BIG/GT Gaseificador</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão de operação.</li> </ul> <u>Turbina a gás (GE MS-6101FA)</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relação de compressão.</li> <li>• Temperatura na câmara de combustão.</li> </ul> <b>Ciclo “bottoming” de vapor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pressão do vapor.</li> <li>• Temperatura do vapor.</li> <li>• Pressão de condensação.</li> </ul>	<p>2,3 – 4 MPa</p> <p>14,9</p> <p>1288 °C</p> <p>10,0 MPa</p> <p>538 °C</p> <p>0,02 MPa</p>





de um sistema BIG GT na usina açucareira Okelele Sugar Company, com uma capacidade de moenda de 120 tc/h e um consumo de vapor de 420 kg/tc. A potência líquida da turbina de gás é de 18,8 MWe, correspondendo 4,5 MWe ao ciclo de vapor de 41 bar de pressão. No período fora de safra, o sistema BIG GT opera como uma planta termoelétrica a 25,4 MWe e 28,5 % de eficiência utilizando um combustível auxiliar.

Outro estudo considera a utilização de turbinas a gás com injeção de vapor (tipo Steam Injected Gás Turbine, STIG) e foi realizado utilizando dados técnicos da usina açucareira Monimusk localizada na Jamaica (Larson et al., 1987). Como resultado se obteve um potencial de geração de eletricidade excedente de 220 kWh/tc, para uma redução no consumo de vapor para processo de até 300 kg/tc.

Tanto no caso de turbinas de extração/condensação, como de sistemas avançados BIG GT é importante reduzir o consumo de vapor no processo de fabricação, a fim de gerar mais eletricidade. No caso dos sistemas BIG GT esta é uma condição necessária, pois se caracterizam por uma produção pequena de vapor.

Atualmente ainda não existem instalações industriais de BIG GT em usinas de açúcar mas, na Austrália e no Brasil há uma tentativa para por em funcionamento projetos piloto cuja potência varia entre 3 e 5 MW.

## **II.2- A Cana de açúcar na alimentação de gado bovino de corte em confinamento**

### ***II.2.1- A cana de açúcar como fonte de alimentação animal***

Existe uma prática antiga na alimentação pela cana de açúcar para todas as classes de criação, especialmente para o gado durante as estações secas quando a disponibilidade de recursos convencionais de forragens é escasso.

A pesar de tudo, as técnicas usadas tem sido quase sempre rudimentares e tem tido pequena apreciação no rol crítico dos suplementos como meios de melhorar a eficiência de utilização da cana de açúcar como alimento animal.

Isto é, só nos últimos 10-20 anos essas tentativas sérias tem sido feitas para entender o contraste que limita o potencial nutricional deste alimento, especialmente para ruminantes. A maior parte do conhecimento atual nesta área de nutrição, proveniente em grande parte de pesquisas e desenvolvimentos feitos em Cuba no final dos anos 60, onde se alimentou de melaço o gado (Preston e Willis, 1974).

O potencial da cana de açúcar, e suas vantagens intrínsecas acima de outras gramíneas



tropicais, como um conversor da energia solar dentro da biomassa é a razão para o conceito de "cana energética" (Alexander, 1985).

No entanto, a cana de açúcar possui outras características, as quais a transformam em reserva alimentar para criações no trópico, sendo superior a maioria de todas os outros cultivos para forragem.

### *II.2.2- Vantagens da cana de açúcar como reserva alimentar mais apropriada para criações no trópico:*

São estas:

- Seu crescimento perene,
- A quantidade e qualidade nutricional da cana de açúcar aumenta com os intervalos de colheita, sendo enriquecido num intervalo de colheita de entre 12 e 18 meses. Este é o contraste marcante com relação a quase todos os outros cultivos tropicais para forragens, os quais deterioram em rendimento e qualidade quando o intervalo sucessivo entre cortes é aumentado. Por esta razão a cana de açúcar tem sido chamada "silagem vivo" em muitos países de Centro América.
- O conteúdo da cana de açúcar como matéria prima seca de maturidade média é de 30%, o qual excede da maioria das outras forragens de gramíneas (a média para as gramíneas é perto de 17%). Assim, colheitas, transportes e custos de processamento por unidade de matéria seca são menores para a cana de açúcar que para a maioria das outras forragens.
- É fácil separar a cana de açúcar em seus diferentes componentes (caldo e fibra), a qual pode ser explorada para permitir flexibilidade na produção final utilizada (Preston, 1986).
- Há uma longa tradição na agronomia da cana de açúcar, especialmente no controle de pestes e práticas culturais. Estes esforços e esta cultura agrônômica tem sido focalizadas principalmente para realçar a produção de sacarose e não na obtenção do açúcar total, que é o critério principal para alimento animal.
- A cana de açúcar é largamente tolerante de terra e características climáticas e por sustentar uma camada de folhas verdes através dos anos, ajuda a combater a erosão, dando uma vantagem distinguida por cima dos cultivos competitivos de forragens, tais como a mandioca e o milho.

O uso da cana na alimentação de bovinos no Brasil está bastante difundido. Ela vinha



sendo usada em pequena escala para gado de leite até o final da década de 60 no Estado de São Paulo. Em virtude de divulgação negativa sobre o seu valor alimentar, na base da experiência em projetos realizados, o seu uso diminuiu bastante na década de 70. Nos últimos anos, em função de um balanceamento mais racional de dietas à base de cana e de algumas características desejáveis da cultura, o seu uso está em expansão.

Entre as características da cana como cultura forrageira, destacam-se as seguintes: alto potencial de produção de matéria seca por unidade de área; disponibilidade com maior potencial de valor energético durante o período seco do ano; pequeno risco de produção; plantio a cada 4 a 6 anos; com a difusão do Programa do Álcool e o incentivo por parte do governo na compra de energia elétrica excedente produzida por biomassa de cana (bagaço) aumentou o número de variedades de alto potencial de produção disponíveis em nível regional. A difusão do Pró-álcool, o incentivo à geração de eletricidade para a venda e a diversificação correspondente, facilitam o planejamento da atividade produtiva em usinas de açúcar.

### ***II.2.3- Valor alimentar***

Como alimento exclusivo para ruminantes, a cana tem baixo valor alimentar, por ser um alimento desbalanceado em termos de nutrientes exigidos tanto pelos ruminantes como pelos microorganismos que vivem no rume.

Em nutrição animal, é importante avaliar o valor alimentar de um cultivo forrageiro por três indicadores principais: a composição química, a digestibilidade da matéria seca e a ingestão de matéria seca. Para a cana teremos:

#### *a) Composição química*

A cana é caracterizada por apresentar baixos teores de proteína, extrato etéreo e da maioria dos minerais essenciais. Os teores de açúcar e de fibra vão depender da variedade e da época do ano. Esses teores são mais favoráveis para alimentação animal após a cana atingir a maturidade, justamente durante a época da seca. As variedades ditas forrageiras, com maiores teores de proteína bruta, normalmente apresentam teores de açúcar e de fibra menos favoráveis à alimentação de ruminantes. O teor de lignina, apesar de não ser dos maiores quando expresso em base seca, é alto quando expresso como percentagem da parede celular.



*b) Valor nutritivo*

Em termos de digestibilidade da matéria seca, as variedades de cana em uso podem ser consideradas como de valor médio (54 a 65%). A variação na digestibilidade está relacionada com as proporções de parede celular (fibra) e conteúdo celular (basicamente açúcar). Como alimento exclusivo, a eficiência de utilização da energia digerida é baixa, provavelmente pela baixa disponibilidade de compostos glucogênicos e de aminoácidos fornecidos em nível celular.

*c) Ingestão voluntária de matéria seca*

A ingestão voluntária de matéria seca da cana quando fornecida como único alimento é baixa, apesar desta apresentar valores considerados médios para digestibilidade da matéria seca. Um dos principais fatores que limitam o uso da cana como alimento animal é o baixo teor de proteína bruta.

O baixo valor alimentar da cana como alimento exclusivo, mencionado anteriormente, é devido à baixa ingestão de matéria seca e à baixa eficiência de utilização da energia digerida. Portanto são no mínimo desaconselháveis programas de alimentação de gado de corte com cana como único alimento.

***II.2.4- Considerações sobre suplementação da cana para alimentação de bovinos de corte***

A suplementação racional da cana deve ser feita considerando 2 aspectos: o primeiro consiste em atender as exigências mínimas de microorganismos do rume (termo utilizado em Nutrição Animal para o alimento pastoso e pré-digerido pelos ruminantes como a vaca) e balancear os nutrientes disponíveis em nível celular em função da energia total disponível, tendo como principal objetivo obter ingestão de matéria seca e eficiência de utilização nutrientes compatíveis com o potencial de digestibilidade da cana. O segundo consiste em atender às exigências nutricionais dos animais a serem alimentados em função dos níveis de desempenho desejados e a principal finalidade é aumentar o desempenho animal acima daquele obtido somente com o atendimento das exigências dos microorganismos do rume e do balanceamento dos nutrientes em nível celular.

Os fracassos observados quando se tentou suplementar a cana com nitrogênio não protéico (NNP) na forma de uréia e com minerais, foi o estímulo para este estudo onde podemos obter níveis de desempenho compatíveis com a digestibilidade da matéria seca.

LENG & PRESTON (1976) e PRESTON & LENG (1978) discutiram a evolução dos



trabalhos realizados e que documentavam, segundo os autores, a hipótese da necessidade de fornecimento da proteína e de amido de baixa degradabilidade no rume para a obtenção de desempenho animal compatível com a digestibilidade da cana.

PRESTON & LENG (1978), também especificaram que o uso da cana na alimentação dos ruminantes inibe a ocorrência abundante de protozoários de grande porte no rume dos animais. Levando em conta que uma grande massa de protozoários tendem a aumentar o tempo de retenção da fração fibrosa no rume, limitando a ingestão, assim como diminui o fluxo de proteína microbiana para o trato digestivo inferior. Substâncias ou alimentos que contêm substâncias que inibem a proliferação exagerada de protozoários no rume tendem a melhorar o desempenho animal em dietas à base de cana. Ácidos graxos insaturados (LUDOVICO, 1993) e bagaço de cana tratado com vapor de alta pressão (PEREIRA, 1990) parecem reduzir a população e principalmente a massa de protozoários no rume.

#### ***II.2.5- Desempenho de bovinos alimentados com dietas à base de cana***

Os dados de desempenho animal disponíveis foram gerados em sua grande maioria com bovinos em fases de crescimento e acabamento. Os dados dos animais em crescimento referem-se principalmente a gado leiteiro.

##### *a) Desempenho de bovinos em fase de crescimento*

CORREA et. Al. (1962) obtiveram ganhos de 0,31 e 0,41 kg/dia para novilhos da raça Gir alimentados durante 476 dias com cana suplementada com 5 a 10% de farelo de algodão (base úmida) respectivamente. Trabalhando com bezerros desmamados da raça Canchim (190kg de peso vivo) alimentados durante 156 dias com cana suplementada com farelo de algodão, VIEIRA (1975) observou ganho de 0,69 kg/dia. A suplementação da cana (63% base seca) com concentrado (37% base seca) contendo 20% de feno da parte aérea da mandioca propiciou ganho de peso da ordem de 0,81 kg/dia (média de 4 tratamentos) em novilhos Nelore com 217kg de peso vivo inicial (CAIELLI, 1972). Nesse último trabalho, a forma física da cana (picada ou desfibrada) não afetou o desempenho, mas a substituição de 1/3 do farelo de algodão do concentrado por farinha de tórula melhorou o mesmo.

Com base em revisão de literatura, LENG & PRESTON,(1976) propuseram que os baixos níveis de desempenho observados em animais alimentados com cana suplementada com nitrogênio não protéico eram devidos a baixa ingestão de matéria seca. Segundo os autores, essa baixa ingestão de matéria seca, seria causada pelo baixo fornecimento pós-rume



de amido (glicose) e de proteína (aminoácidos) de origem alimentar. Essa conclusão foi baseada em trabalhos em que foram testados diferentes suplementos para bovinos alimentados com cana + uréia. Um exemplo clássico desse tipo de trabalho é o de PRESTON et al. (1976), no qual os autores forneceram níveis crescentes de farelo de polidura de arroz (0,4 a 1,2 kg/cabeça/dia) para novilhos azebuados (mestiços da raça Zebú) alimentados com dieta básica de cana, melaço e uréias. Os autores observaram um aumento linear da ingestão de matéria seca e do ganho de peso. A eficiência alimentar melhorou até o nível de suplementação de 1 kg/dia.

Uma vez que a quantidade disponível de farelo de polidura de arroz é muito pequena, outros alimentos ou combinações de alimentos foram testados como suplementos para dietas à base de cana + uréia. Em MOREIRA (1983) experimentos revisados por FLORES (1980), nos mostram que o farelo de arroz (provavelmente de polidura) propicia os melhores resultados e que suplementos exclusivos de farinhas animais foram inferiores aos suplementos de origem vegetal ou de sua mistura com suplemento de origem animal.

Experimentos realizados por pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa – Gado de Leite e sumarizados por MOREIRA (1983) mostram que o farelo de arroz e o farelo de trigo são bons suplementos para dietas à base de cana + uréia.

#### *b) Desempenho de bovinos em fase de acabamento*

Altos ganhos de peso vivo ao dia em bovinos confinados na fase de acabamento, foram publicados por PATE(1981). Em um dos ensaios o autor testou duas variedades de cana e duas proporções de cana na ração (60 e 30%, base seca) usando novilhos cruzados Brahman com raças inglesas, com peso vivo inicial de 330 kg. O autor não verificou o efeito da variedade de cana, mas o desempenho foi melhor para o maior nível de concentrado, como mostra a tabela II.5. Em outro ensaio, o autor estudou o efeito de 4 níveis crescentes de concentrado em dietas à base de cana como único volumoso, usando novilhos cruzados com 255 kg de peso vivo inicial durante 133 dias de experimento (Ver Tabela II.5). Os ganhos de peso ajustados para 55% de rendimento de carcaça foram de 0,86; 1,07; 1,42; e 1,59 kg/animal/dia, respectivamente para níveis de concentrado de 23; 42; 61; e 80% , base seca. Os teores de proteína bruta das dietas foram ajustados para 11% no primeiro ensaio e para 12% no segundo.



Tabela II.5 Efeito da variedade de cana e do teor de concentrado no desempenho de novilhos confinados.

Item	Dieta com 70% de concentrado		Dieta com 40%de concentrado	
	CP 59-73	CP 68-1026	CP 59-73	CP 68-1026
Número de novilhos	10	10	10	10
Peso vivo inicial [kg]	332	333	333	334
Peso vivo final [kg]	484	496	482	477
Ganho de peso vivo [kg/dia]	1,60	1,72	1,57	1,51
Ganho de peso vivo ajustado 55 % [kg/dia]	1,68	1,76	1,31	1,28
Ingestão de MS [kg/dia]	10,68	11,26	9,35	9,58
Ingestão de MS em % do PV médio	2,61	2,71	2,29	2,35
Conversão alimentar	6,36	6,40	7,15	7,46
Peso da Carcaça [kg]	270	274	250	250
Rendimento [%]	55,67	55,33	51,46	52,41

Fonte: PATE (1981)



Tabela II.6 Efeito da proporção de cana no desempenho de novilhos confinados

Item	% de cana de açúcar nas dietas (base seca)			
	20%	39%	58%	77%
Número de novilhos	8	8	8	8
Peso vivo inicial [kg]	253	258	255	256
Peso vivo final [kg]	442	442	411	401
Ganho de peso vivo [kg/dia]	1,42	1,38	1,17	1,10
Ganho de peso vivo ajustado 55 % [kg/dia]	1,59	1,42	1,07	0,86
Ingestão de MS [kg/dia]	8,81	8,85	7,41	7,15
Ingestão de MS em % do PV médio	2,53	2,52	2,22	2,17
Conversão alimentar	5,50	6,24	6,89	8,29
Peso da carcaça [kg]	256	246	219	204
Rendimento [%]	59,7	55,6	53,3	50,9

Fonte: PATE (1981)

### ***II.2.6- Utilização do bagaço hidrolisado na alimentação de bovinos no Brasil***

Apesar de que o Brasil possui um dos maiores rebanhos bovinos do Mundo e, ser caracterizado como um dos países de melhor condição para a produção de carne bovina, apresenta uma produção insuficiente para atender a demanda nacional, conforme estimativas do Conselho Nacional de Desenvolvimento da Pecuária (CONDEP) realizadas para os anos de 1985 até 1990, como ilustrado na tabela II.6.

Tabela II.7- Balanço da oferta e demanda de carne bovina em carcaça entre 1985 e 1990

Anos	Oferta em [kg]	Demanda em [kg]	Balanço [kg]
1985	2882206645	3735139115	-852932470
1986	2966992124	3947608768	-980616644
1987	3504112313	4173984393	-1119872080
1988	3143941109	4415282431	-1271341322
1989	3236404411	2672600675	-1436196264
1990	3331579964	4947120638	-1615540674

Fonte: CONDEP



Logo, de acordo com o balanço apresentado, o Brasil estava com déficit crescente na oferta de carne bovina.

Segundo o artigo: “Bagaço de cana de açúcar hidrolisado na alimentação de bovinos”, da série de pesquisa Nº 14 –Pernambuco/1987, no Nordeste, apesar do crescimento da bovinocultura, o déficit da oferta de carne bovina tende a se acentuar conforme estimativas apresentadas na tabela II.8. Isto evidenciava um baixo consumo per capita anual, em torno de 12,5 kg, quando comparado com o verificado em países como a França, Estados Unidos, todos acima de 65 kg.

Tabela II.8- Demanda de carne fresca bovina para o Nordeste

Carne bovina	Anos				
	1970	1975	1980	1985	1990
Produção (1000 t)	210	250	302	365	442
Consumo (1000 t)	300	380	458	550	660
Saldo (1000 t)	-90	-120	-148	-185	-218

Fonte: Estimativas realizadas com base nos dados apresentados pelo “Projeto de Defesa Sanitária Animal (bovinos) para o Nordeste”. Volume I, capítulo II – SIRAC.

A Bovinocultura se destaca por ser uma das atividades pecuárias mais importantes da região Nordeste, que enfrenta o problema econômico-zootécnico da escassez de alimentos para os rebanhos durante o período de estiagem, principalmente quando esse período tende a se prolongar.

O problema agrava-se mais quando se examina a capacidade de suporte das pastagens nativas, que segundo estimativas comumente aceitas, são necessárias de 10 a 20 hectares/ano para a manutenção de uma rês em boas condições de carne.

Diante deste problema, é de muita importância a introdução de alternativas que venham a elevar a produção de alimentos na pecuária Nordestina, dado o fato de que o custo elevado da bovinocultura é consequência da obtenção de alimentos, chegando a atingir percentuais acima de 70% dos custos totais de produção para o caso de bovinos em confinamento.

Em contra partida, o bagaço de cana é o maior resíduo ligno-celulósico da agroindústria do Nordeste, onde só o Estado de Pernambuco, detentor da maior significância econômica do setor sucroalcooleiro regional, gerou aproximadamente 7,00 milhões de toneladas de bagaço em 1987. Desse montante, subtraindo-se o consumo pelas próprias



unidades industriais, o bagaço excedente foi de aproximadamente de 800000,00 toneladas no ano.

*a) A Química do bagaço*

O bagaço de cana, obtido após a moagem, apresenta a composição da tabela II.9. Sua digestibilidade é baixa, inferior a 35%, e sua densidade não ultrapassa a 150 kg/m<sup>3</sup>, ocorrendo limitação física de consumo. Estes dois fatores lhe conferem baixo valor nutritivo e limitam sua utilização para níveis inferiores a 30% da ração (base seca).

Tabela II.9- Composição química do bagaço de cana “In Natura” e tratado com vapor sob pressão (hidrolisado).

Item	Bagaço “In Natura”	Bagaço hidrolisado
Matéria seca em g/100 g MO	48,31	40,32
Proteína bruta	1,86	1,67
Fibra bruta	45,09	34,45
Extrato etéreo	2,26	4,86
Matéria mineral	2,73	3,57
Extrato não nitrogenado	48,06	55,45
Paredes celulares	85,24	58,16
Celulose	44,69	43,99
Hemicelulose	22,91	-
Lignina	14,89	15,06
Conteúdos celulares	14,76	41,84
DIVMS	35,31	64,82
PH	5,5	3,0
Cor	clara	Escura
Densidade	0,10 – 0,15	0,30 – 0,40
Friabilidade	(-)	(+)

Fonte: Seminário apresentado no curso de Pós-Graduação em nutrição animal e Pastagens da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Quieroz” – USP, Maio de 1987.



*a) A hidrólise: Incremento do valor nutritivo do bagaço “In Natura”*

Dentre os processos utilizados para promover a hidrólise dos materiais celulósicos destacam-se, inclusive com aplicação em escala comercial, o de hidrólise a vapor e pela via química.

*a.1) O processo de hidrólise a vapor e o equipamento*

O processo de hidrólise a vapor faz parte do grupo de tratamento físico-químico que visa promover alterações na composição da fração fibrosa de materiais lignocelulósicos com o propósito de incrementar a digestibilidade destes por animais ruminantes.

Este processo utiliza vapor sob pressão para quebrar as estruturas das paredes celulares, reduzindo a incrustação da Lignina, e com isso expondo os polissacarídeos à ação enzimática da microflora do rúmen.

O equipamento piloto encontra-se representado na figura II.8 abaixo e, uma foto ilustrativa do equipamento tirada nas instalações de uma usina açucareira, é mostrada no Anexo 1 da página 97.

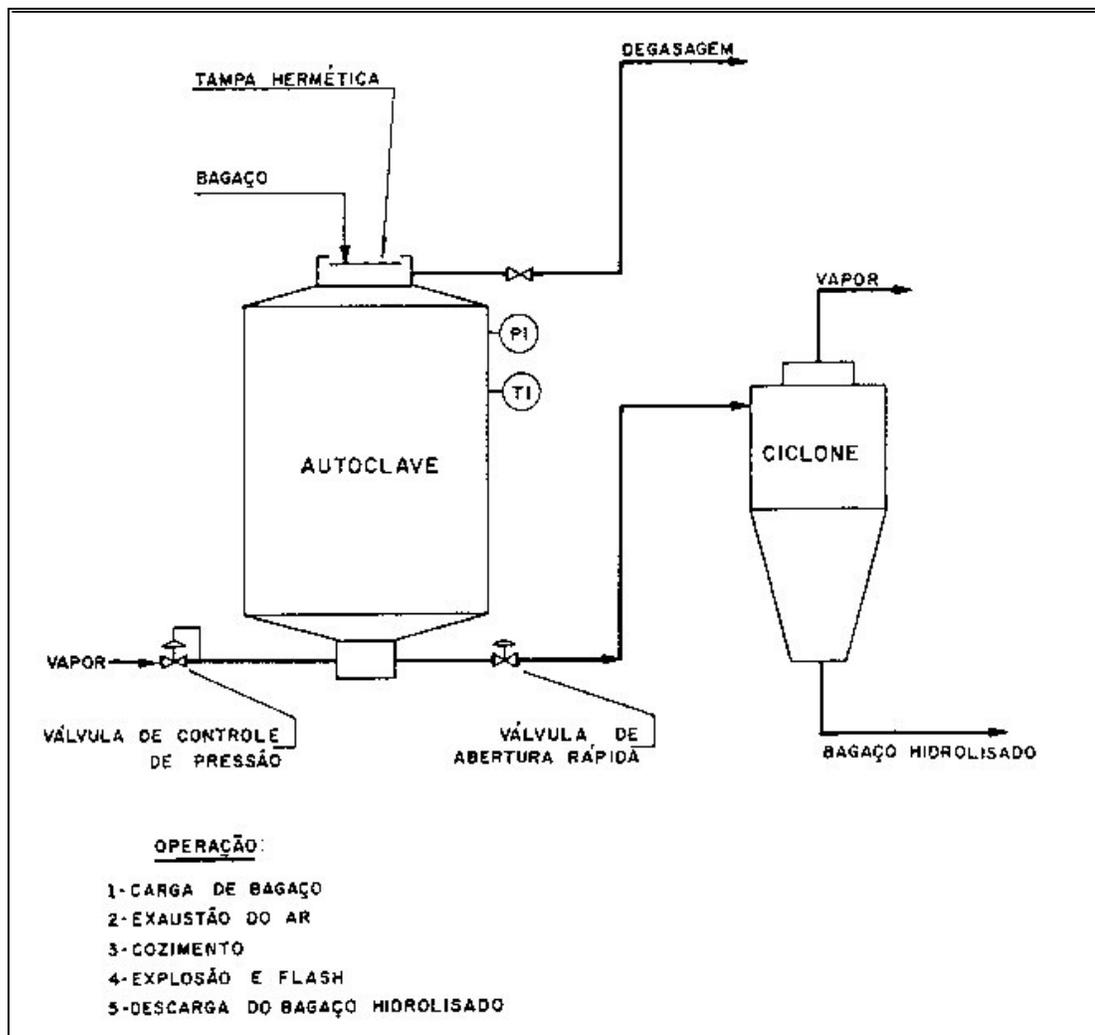


Figura II.8- Equipamento piloto para a hidrólises do bagaço de cana

A autoclave é constituída de corpo em aço carbono. A válvula de descarga responsável pela “explosão” do bagaço é de esfera em aço inoxidável, com vedação também em aço inoxidável.

As curvas são de raio longo a fim de melhor absorver os impactos da descarga e o ciclone também é construído em aço carbono.

A autoclave é carregada com bagaço por cima, logo a tampa é fechada. Abre-se o vapor com a válvula de exaustão aberta de forma a permitir a expulsão total do ar, pois caso contrário, um bolsão de ar atuaria como isolante térmico, impedindo o cozimento de parte do bagaço. Ao fechar-se a válvula de degasagem, a pressão sobe até atingir  $17 \text{ kgf/cm}^2$  e é mantida neste valor por 5 minutos.

Por meio desta injeção de vapor, o bagaço sofre a clivagem dos radicais Acetil da



hemicelulose, com formação de ácido acético, que realiza a hidrólise da própria hemicelulose, até as suas hexoses e pentoses formadoras.

A abertura da válvula de descarga propicia a explosão do bagaço que é coletado abaixo do ciclone. Esta descompressão rápida da câmara é que libera a água e, que vaporiza subitamente sofrendo violenta expansão, “amolecendo” o material.

O Consumo de vapor utilizado para este processo varia dependendo do tamanho e das capacidades do autoclave. No mercado encontram-se hidrolisadores de bagaço com consumos de vapor entre 1800 a 3800 kg de vapor/h.

#### *a.2) O processo de hidrolise pela via química*

A tecnologia de hidrolise do bagaço pela via química, tem como princípio a solubilização parcial da Lignina por um ácido ou uma base forte.

A primeira reação que ocorre quando do contato íntimo entre a substância química e o material lignocelulósico é o de intumescimento deste último, que liberta parte de seu conteúdo de Lignina, conseguindo-se assim, a expansão dos polissacarídeos e a conseqüente ação enzimática sobre eles da microflora animal.

Da mesma forma, o bagaço hidrolisado pela via química apresenta características bem diversas da do bagaço “In Natura”.

Semelhante ao bagaço hidrolisado a vapor, difere deste, pela cor amarelada e pela elevada basicidade (pH de 9 a 10) quando o tratamento é realizado pela ação de uma base.

Do ponto de vista de composição química final, com percentuais de hidrolisantes utilizados na prática, o conteúdo de pentosomas e celulose se mantém, enquanto há um decréscimo de Lignina e, evidentemente, um aumento expressivo de solúveis.

#### *b) Resultados com animais*

Antes de se analisar os resultados obtidos com bagaço hidrolisado em experimentos com animais de corte confinado, o mesmo, com gado leiteiro, se faz necessário ressaltar a grande variabilidade de parâmetros usados nestes experimentos, o que dificulta a comparação entre trabalhos, e até mesmo, do presente trabalho.

Existem variações importantes no desempenho de animais que a primeira vista não são percebidos ao detectados, com simples pesagens do animal vivo, levando muitas vezes a interpretações errôneas ou incompletas sobre o potencial das dietas analisadas.

Goodrich (1971) aborda bem este assunto no trabalho “métodos para aprimorar a



interpretação de confinamentos experimentais”, onde discute 5 pontos importantes:

- 1) Erros na determinação do teor de MS (matéria seca) em alimentos fermentados .
- 2) Correlação entre peso vivo e taxa de acabamento
- 3) Correções dos pesos finais à iguais valores iniciais
- 4) Comparações dentro dos tratamentos de fatores influenciando o ganho de peso (abcessos e distúrbios)
- 5) Correções por regressão das características da carcaça à iguais pesos da carcaça.

*c) Gado de corte*

Pate (1982) realizou uma série de experimentos para avaliar a digestibilidade, o consumo e o desempenho de bovinos recebendo dietas à base de bagaço hidrolisado (tabela II.10).

Forneceu rações contendo 0,14; 30 e 46% de bagaço na dieta e os resultados obtidos são apresentados na tabela II.11. O bagaço utilizado foi tratado a 20,4 kgf/cm<sup>2</sup> por 2 minutos. O ganho de peso diário e a eficiência alimentar foram crescentes até o nível de 30% de bagaço na dieta, ao passo que o nível de 46% de bagaço apresentou resultados substancialmente inferiores, indicando que “algum fator” causou esta alteração brusca. Talvez a baixa ingestão de MS pode estar relacionada com a presença de compostos fenólicos produzidos pelo processo de pressão e vapor.

Tabela II.10- Composição percentual de dietas contendo diferentes níveis de bagaço tratado à pressão de vapor usadas no confinamento (com base na MS). (19,4 kgf/cm<sup>2</sup>/4,3 min.)

Ingredientes	% de Bagaço Tratado com Vapor			
	0%	14%	30%	46%
Bagaço Tratado	-	14,4	29,9	46,4
Milho Rolão	47,0	43,8	20,7	14,7
Polpa Cítrica	20,7	19,2	12,9	6,1
Farelo de Algodão	11,5	15,6	19,3	23,4
Casca de Algodão	14,3	-	-	-
Melaço	5,7	6,2	6,4	6,6
Sal Comum	0,3	0,3	0,3	0,3
Mistura Mineral	0,5	0,5	0,5	0,5

Fonte: PATE (1982).



Tabela II.11- Resultados de desempenho de avaliação de carcaça de novilhos confinados com dietas contendo diferentes níveis de bagaço tratado à pressão (19,4 kgf/cm<sup>2</sup>/4,3 min.)

Item	% de bagaço tratado com vapor			
	0%	14%	30%	46%
Nº de novilhos	12	12	12	12
Peso inicial [kg]	363	363	366	366
Peso final [kg]	463	478	493	445
Ganho médio [kg/dia]	1,10	1,23	1,40	0,88
Consumo de MS [kg/dia]	10,21	10,93	11,45	10,42
Conv. alimentar [kg PV/kg MS]	9,28	8,59	8,15	11,54
Peso da carcaça [kg]	255	263	271	245
Rendimento de carcaça [%]	54,52	54,01	53,98	51,12

Fonte: PATE (1982)

Com base nas tabelas II.10 e II.11 apresentadas anteriormente e, em experiências citadas, concluí-se que a cana de açúcar precisa de suplementos ou complementos protéicos para ser utilizada com sucesso na alimentação de gado de corte.

Os melhores resultados foram obtidos por Pate em 1982 (tabela II.11) usando 30% de bagaço hidrolisado na ração e alcançando ganhos de 1,40 kg/boi dia para bovinos confinado na fase de acabamento.



## CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA DE DIVERSIFICAÇÃO

### III.1- Produtos e sub-Produtos da cana numa usina diversificada

Desde um ponto de vista “macro”, pode-se entender a diversidade de produtos que a indústria sucroalcooleira produz, através do fluxograma abaixo.

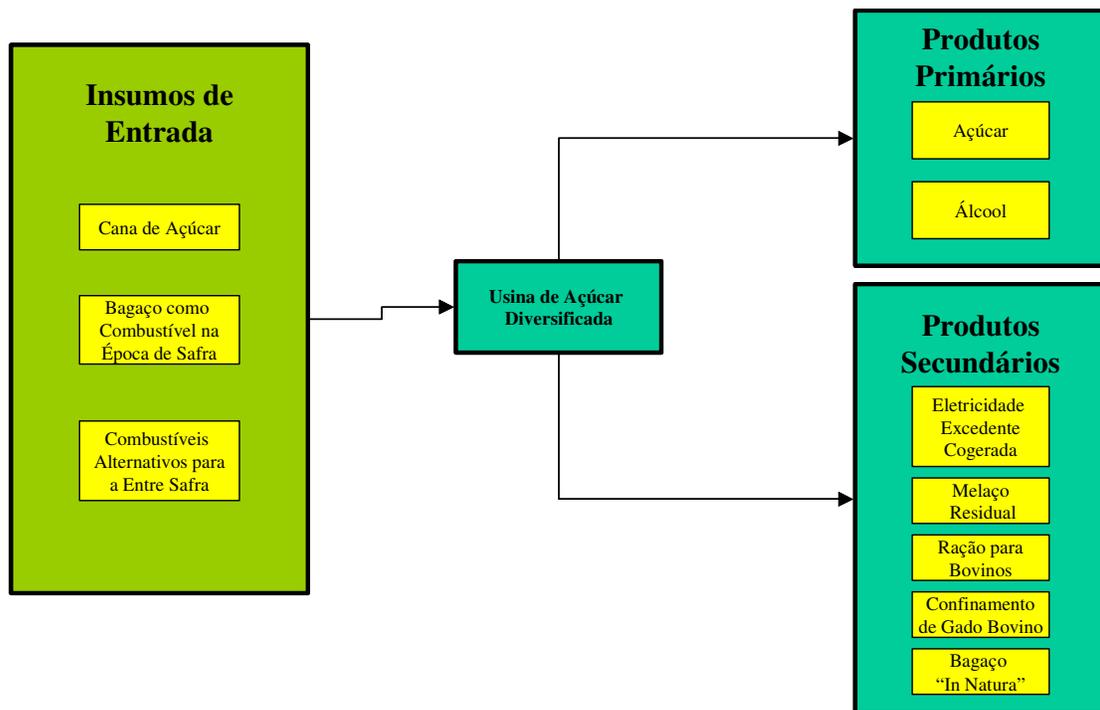


Figura III.1 – Fluxograma geral de produtos e insumos numa usina de açúcar diversificada

### III.2- Cálculos financeiros

Para obter resultados mais próximos da realidade, o Programa de Diversificação, abrange os sistemas de financiamentos mais usados no mercado quando calcula os custos reais dos produtos e sub-produtos da usina.

#### III.2.1- Sistemas financeiros para amortização de dívidas

A disponibilidade de recursos é, sem dúvida, fundamental para a concretização de um investimento. Para a construção da “tabela de financiamento” que nos mostra um custo real da geração de eletricidade e de ração para bovinos em confinamento optou-se pelo sistema



utilizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) que é o Sistema de Amortização com Amortização Constante (SAC) e o mais utilizado para financiamentos a longo prazo.

Logo, podemos dar um enfoque mais detalhado para os principais sistemas de financiamento, dos quais os mais usados são:

### III.2.1.a) Sistema Francês de amortização (PRICE)

Também conhecido como “Sistema Price” ou “Sistema de Prestação Constante” é muito utilizado nas compras com prazos menores e no crédito direto ao consumidor.

Neste sistema as prestações são constantes, ou seja, correspondem a uma série uniforme “A”. A parcela de juros decresce, ao passo que a parcela de amortização aumenta com o tempo. Graficamente pode-se apresentar este comportamento como mostra a figura 2.4 a seguir:

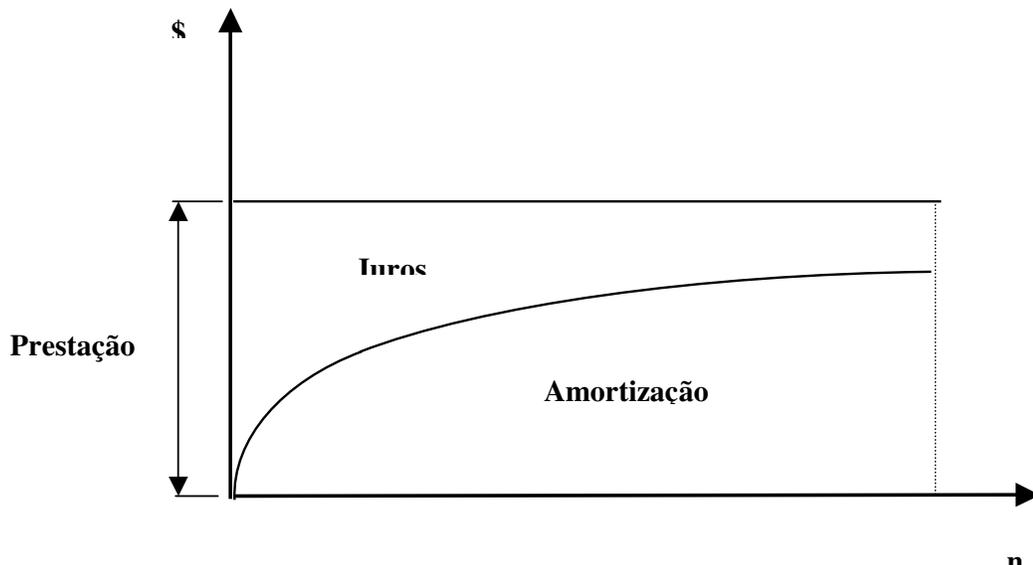


Figura III.2 – Variação das curvas de juros e amortização num sistema “PRICE”

Como em todos os sistemas corretos de amortização, no Sistema PRICE a prestação é a soma da amortização com os juros do período, ou seja:

$$p_k = a_k + j_k \quad (III.1)$$



Onde:

$p_k$  = é a prestação no período k.

$a_k$  = é a amortização no período k.

$j_k$  = são os juros no período k.

Além disso, os juros no período “k” são calculados sobre o saldo devedor anterior:

$$j_k = i(\text{Saldo devedor})_{k-1} \quad (III.2)$$

Nota-se, portanto, que quanto menor o saldo devedor menores serão os juros e, como as prestações são constantes no Sistema PRICE, a amortização crescerá com o tempo.

A prestação **p** é calculada da seguinte forma:

$$p_k = p = P (A/P; i; n) \quad (III.3)$$

Onde “P” é o principal, ou seja, o valor do empréstimo. E,

$$P (A/P, i, n) = P \left[ \frac{(1+i)^n \cdot i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (III.4)$$

A continuação são apresentadas as fórmulas do Sistema Francês de amortização.

<b>Período (k)</b>	<b>Saldo devedor (SD<sub>k</sub>)</b>	<b>Prestação (p<sub>k</sub>)</b>	<b>Amortização (a<sub>k</sub>)</b>	<b>Juros (j<sub>k</sub>)</b>
<b>0</b>	$P_0 = P$			
<b>1</b>	$P_1 = P_0 - a_1$	$p = P (A/P, i, n)$	$a_1 = p - j_1$	$j_1 = i P_0$
<b>2</b>	$P_2 = P_1 - a_2$	$p$	$a_2 = p - j_2$	$j_2 = i P_1$
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
<b>k</b>	$P_k = P_{k-1} - a_k = 0$	$p$	$a_k = p - j_k$	$j_k = i P_{k-1}$

Tabela III.1 – Tabela financeira para o sistema de amortização “PRICE”



Pode-se calcular o saldo devedor após a  $k$ -ésima prestação a partir da seguinte fórmula:

$$Sd_k = p(P/A; i; n-k) \quad (III.5)$$

Ou seja, o saldo devedor é o valor presente das prestações futuras.

### III.2.1.b) Sistema de Amortização Constante (SAC)

É o sistema normalmente utilizado para financiamentos de longo prazo. Neste sistema as amortizações são constantes e calculadas da seguinte forma:

$$a = \frac{P}{n} \quad (III.6)$$

Onde  $P$  é o principal e  $n$  é o número de prestações.

O saldo devedor após o pagamento da  $k$ -ésima prestação é dado por:

$$Sd_k = P - k a \quad (III.7)$$

Graficamente a prestação pode ser representada assim:

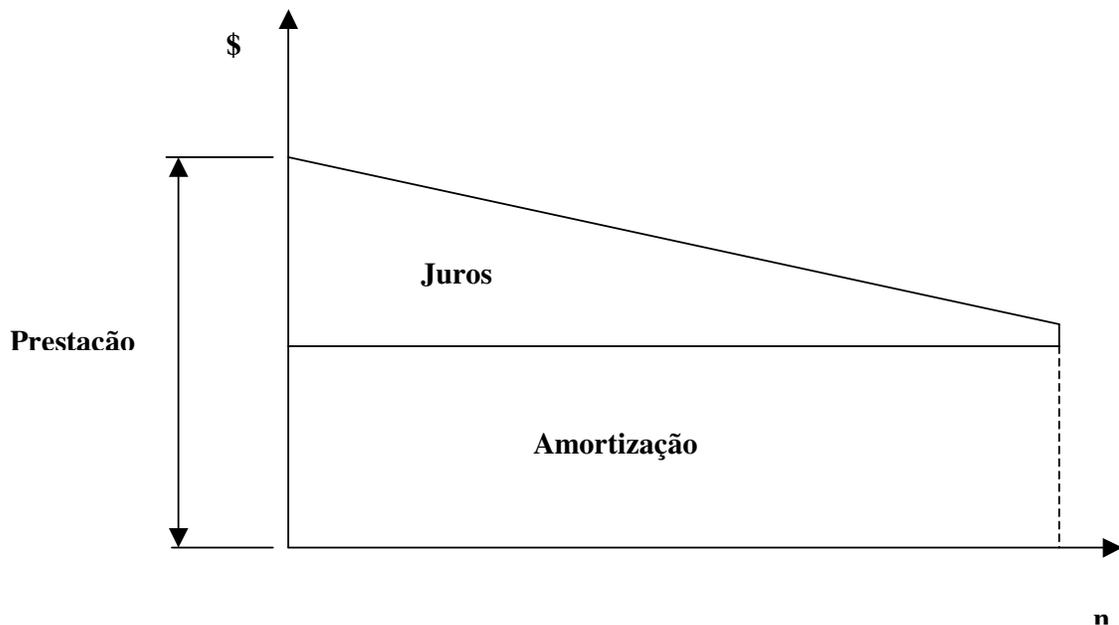


Figura III.3 - Variação das curvas de juros e amortização num sistema “SAC”



As fórmulas do SAC são apresentadas no quadro abaixo:

<b>Período (k)</b>	<b>Saldo devedor (SD<sub>k</sub>)</b>	<b>Prestação (p<sub>k</sub>)</b>	<b>Amortização (a<sub>k</sub>)</b>	<b>Juros (j<sub>k</sub>)</b>
<b>0</b>	P			
<b>1</b>	$P - P/n$	$P/n + iP$	$P/n$	$iP$
<b>2</b>	$P - 2P/n$	$P/n + iP - iP/n$	$P/n$	$iP - iP/n$
<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>
<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>
<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>	<b>.</b>
<b>k</b>	$P - kP/n$	$P/n + iP - (k-1) iP/n$	$P/n$	$iP - (k-1) iP/n$

Tabela III.2 - Tabela financeira para o sistema de amortização “SAC”

### III.2.1.c) Outros sistemas de amortização

- *O Sistema Americano:*

Neste sistema se paga apenas os juros e o principal é devolvido ao final do empréstimo.

- *O Sistema de Pagamento Único:*

É muito utilizado para financiamentos industriais de capital de giro. Se Paga, neste caso, juros e principal no final do empréstimo.

- *Pagamento Antecipado:*

Aqui os juros são cobrados antecipadamente e o principal é devolvido ao final do empréstimo. É uma forma conhecida de “aumentar” a taxa de juros efetiva cobrada por uma instituição financeira.

### III.3-A programação linear como método de otimização utilizado na “Pesquisa Operacional”

A pesquisa operacional é um método científico de tomada de decisões. Em linhas gerais, consiste na descrição de um sistema organizado com o auxílio de um modelo, e através da experimentação com o modelo, na descoberta da melhor maneira de operar o sistema.

A pesquisa operacional como conhecida atualmente surgiu durante a Segunda Guerra Mundial, resultado de estudos realizados por equipes interdisciplinares de cientistas contratados para resolver problemas militares de ordem estratégica e tática.



### **III.3.1- Fases de um estudo em pesquisa operacional:**

Um estudo em pesquisa operacional costuma envolver seis fases:

- Formulação do problema;
- Construção do modelo do sistema;
- Cálculo da solução através do modelo;
- Teste do modelo e da solução;
- Estabelecimento de controles da solução;
- Implantação e acompanhamento;

- *Formulação do problema:*

Nesta fase, o administrador do sistema e o responsável pelo estudo em pesquisa operacional deverão discutir, no sentido de colocar o problema de maneira clara e coerente, definindo os objetivos a alcançar e quais os possíveis caminhos alternativos para que isso ocorra.

Além disso, serão levantadas as limitações técnicas do sistema e as relações desse sistema com outros da empresa ou do ambiente externo, com a finalidade de criticar a validade de possíveis soluções em face destes obstáculos.

Deverá ainda ser acordada uma medida de eficiência para o sistema, que permita ao administrador ordenar as soluções encontradas, concluindo o processo decisório.

- *Construção do modelo do sistema:*

Os modelos que interessam em pesquisa operacional são os modelos matemáticos, isto é, modelos formados por um conjunto de equações e inequações.

Uma das equações do conjunto serve para medir a eficiência do sistema para cada solução proposta. É a função objetivo ou função de eficiência. As outras equações geralmente descrevem as limitações ou restrições técnicas do sistema. As variáveis que compõem as equações são de dois tipos:

- Variáveis controladas ou de decisão: são variáveis cujo valor está sob controle. Decidir, neste caso é atribuir um particular valor a cada uma dessas variáveis. Numa programação de produção, por exemplo, a variável de decisão é a quantidade a ser produzida num período.



- Variáveis não controladas: são as variáveis cujos valores são arbitrados por sistemas que estão fora de controle. Custos de produção, demanda de produtos, preço de mercado são variáveis não controladas.

Um bom modelo é aquele que tem desempenho suficientemente próximo do desempenho da realidade e é de fácil experimentação. Essa proximidade desejada é variável, dependendo do objetivo proposto. Um bom modelo para um objetivo pode ser péssimo para outro. A fidelidade de um modelo é aumentada à medida que ele incorpora características da realidade, com a adição de novas variáveis. Isso aumenta sua complexidade, dificultando a experimentação, o que nos leva a considerar o fator custo-benefício quando pensamos em melhorar o desempenho de um modelo.

- ***Cálculo da solução através do modelo:***

É feito através de técnicas matemáticas específicas. A construção do modelo deve levar em consideração a disponibilidade de uma técnica para o cálculo da solução.

- ***Teste do modelo e da solução:***

Esse teste é realizado com dados empíricos do sistema. Se houver dados históricos, eles serão aplicados no modelo, gerando um desempenho que pode ser comparado ao desempenho observado no sistema. Se o desvio verificado não for aceitável, a reformulação ou mesmo o abandono do modelo será inevitável. Caso não haja dados históricos, os dados empíricos serão anotados com o sistema funcionando sem interferência, até que o teste possa ser realizado.

- ***Estabelecimento de controle da solução:***

A construção e experimentação com o modelo identificam parâmetros fundamentais para solução do problema. Qualquer mudança nesses parâmetros deverá ser controlada para garantir a validade da solução adotada. Caso alguns desses parâmetros sofra desvio além do permitido, o cálculo de nova solução ou mesmo a reformulação do modelo poderá ser necessária.

- ***Implementação e acompanhamento:***

Nesta fase, a solução será apresentada ao responsável, evitando-se o uso da linguagem



técnica do modelo. O uso da linguagem do sistema em estudo facilita a compreensão e gera boa vontade para a implantação que está sendo sugerida. Essa implantação deve ser acompanhada para se observar o comportamento do sistema com a solução adotada. Algum ajuste pode ser requerido.

### ***III.3.2- Modelo em Programação Linear***

Uma das técnicas mais utilizadas na abordagem de problemas em Pesquisa Operacional é a programação linear. A simplicidade do modelo envolvido e a disponibilidade de uma técnica de solução programável em computador facilitam sua aplicação. As aplicações mais conhecidas são feitas em sistemas estruturados, como os de produção, finanças, controles de estoques, etc.

O modelo matemático de programação linear é composto de uma função objetivo linear; e de restrições técnicas representadas por um grupo de inequações também lineares.

Para uma melhor ilustração vejamos este exemplo:

*Exemplo:* Função objetivo linear a ser maximizada:

$$Lucro = 2 X_1 + 3 X_2$$

Sujeita as restrições seguintes:

$$\text{Restrições: } \left\{ \begin{array}{l} \text{Técnicas} \\ \text{de não negatividade} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} 4 X_1 + 3 X_2 \leq 10 \\ 6 X_1 - X_2 \geq 20 \\ X_1 \geq 0 \end{array} \right.$$

As variáveis controladas ou variáveis de decisão são  $X_1$  e  $X_2$ . A função objetivo ou função de eficiência mede o desempenho do sistema, no caso a capacidade de gerar lucro, para cada solução apresentada. O objetivo é maximizar o lucro. As restrições garantem que essas soluções estão de acordo com as limitações técnicas impostas pelo sistema. As duas últimas restrições exigem que a não negatividade das variáveis de decisão, o que deverá



acontecer sempre que a técnica de abordagem for a programação linear.

### **III.3.3- Uma forma padrão do Modelo**

Qualquer situação cuja formulação matemática se ajuste ao modelo seguinte é um problema de programação linear:

Maximizar:

$$Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n ,$$

Sujeito as restrições:

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq b_2$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq b_n$$

e

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

### **III.3.4- A Programação Linear aplicada à usinas diversificadas**

Foi tomada como base para os cálculos comparativos e para o equacionamento do modelo de programação linear, usinas diversificadas TEC de 42, 60 e 80 kgf/cm<sup>2</sup> produzindo como produtos primários, açúcar e álcool e bagaço residual para exportação e, como produtos secundários, bagaço “In Natura” como combustível para caldeiras, eletricidade excedente cogerada usando parte do bagaço gerado como combustível próprio, ração pronta para bovinos em confinamento à base de bagaço hidrolisado na própria usina, engorde de gado bovino confinado na própria usina, alimentados com ração a base de bagaço hidrolisado.

A lucratividade com bovinos em confinamento na própria usina é obtida pelo sistema de “Boitel”, ou hotel para bois. Os bois são confinados em fase de acabamento, quando possuem um peso aproximado de 350 kg e, ficam na usina-hotel por aproximadamente 150 dias. O fazendeiro dono, paga uma diária por boi confinado durante o período da estiagem,



período no qual ficaria mais caro para ele alimentar o gado por conta própria com alimento balanceado tradicional.

#### *III.3.4.a) Determinação das variáveis de decisão*

$x_1$  = Quantidade ótima de açúcar a ser produzida no ano em [t / ano]

$x_2$  = Quantidade ótima de álcool a ser produzido no ano em [m<sup>3</sup> / ano]

$x_3$  = Quantidade de melaço residual ótima a ser produzido por ano [t / ano]

$x_4$  = Quantidade ótima de energia elétrica excedente em [kWh / ano]

$x_5$  = Quantidade ótima de ração pronta para bovinos confinados, a base de bagaço hidrolisado produzida pela usina em [t / ano]

$x_6$  = Quantidade ótima de diárias a serem vendidas no ano pela usina com confinamento de gado [Diárias / ano]

$x_7$  = Quantidade ótima de bagaço “In Natura” excedente a ser vendido no ano [t / ano]

#### *III.3.4.b) Determinação da função objetivo (F.O.)*

Será a combinação linear das quantidades ótimas a serem produzidas:

$$Max(z) = C_1 x_1 + C_2 x_2 + C_3 x_3 + C_4 x_4 + C_5 x_5 + C_6 x_6 + C_7 x_7$$

Onde,

$C_1$  = Lucro unitário da venda de açúcar ao ano em [US\$ / t de Açúcar]

$C_2$  = Lucro unitário da venda de álcool ao ano em [US\$ / m<sup>3</sup> de Álcool]

$C_3$  = Lucro unitário da venda do melaço residual ao ano em [US\$ / t de Melaço]

$C_4$  = Lucro unitário da venda de eletricidade cogorada no ano em [US\$ / kWh]

$C_5$  = Lucro unitário da venda de ração pronta para bovinos ao ano em [US\$ / t de ração]

$C_6$  = Lucro unitário da venda de diárias de confinamento para bovinos na própria Usina em [US\$ / diária]

$C_7$  = Lucro unitário da venda de bagaço “In Natura” ao ano em [US\$ / t de bagaço]

Logo, a função objetivo será:

$$Max(z) = C_1 x_1 + C_2 x_2 + C_3 x_3 + C_4 x_4 + C_5 x_5 + C_6 x_6 + C_7 x_7$$



onde,

$$z = \text{Lucro máximo total obtido no ano em [US\$ / ano]}$$

### III.3.4.c) Determinação das restrições ou vínculos do problema

➤ *Restrição 1: Restrição da capacidade das moendas da usina:*

$$a_{11} x_1 + a_{13} x_3 \leq b_1$$

Sendo,

$$a_{11} = \frac{1}{I_{\text{açúcar}}} \quad ; \quad a_{13} = \frac{1}{I_{\text{álcool}}} \quad e \quad b_1 = \lambda m_{\text{cana}} \beta$$

Onde,

$I_{\text{açúcar}}$  = Índice padrão de formação de açúcar segundo a quantidade de cana moída em [t cana/t açúcar]

$I_{\text{álcool}}$  = Índice padrão de produção de álcool segundo a quantidade de cana moída em [t cana/m<sup>3</sup> de álcool]

$b_1$  = Capacidade limite dos moinhos da usina em [t / ano]

$m_{\text{cana}}$  = Quantidade de cana que os moinhos podem moer por hora [tc / h]

$\lambda$  = Quantidade de horas que dura o período de Safra da cana de açúcar ao ano [h / ano]

$\beta$  = Coeficiente de segurança para estimar a produção real = 0,80

➤ *Restrição 2: Restrição na geração de eletricidade excedente:*

$$a_{24} x_4 \leq b_2$$

Sendo,

$$a_{24} = 1 \quad ; \quad b_2 = \kappa$$

Onde,

$\kappa$  = Quantidade de eletricidade excedente gerada ao ano [kWh / ano]



➤ *Restrição 3: Restrição na produção de melação residual:*

$$a_{33} x_3 \leq b_3$$

Sendo,

$$a_{33} = 1 ; \quad b_3 = I_{açúcar} I_{melaço} \lambda \beta m_{cana}$$

Onde,

$b_3$  = Quantidade limite anual de geração de melação residual [t melação / ano]

$m_{cana}$  = Quantidade de cana que os moinhos podem moer por hora [tc / h]

$I_{açúcar}$  = Índice padrão de formação de açúcar segundo a quantidade de cana moída em [t cana / t açúcar]

$I_{melaço}$  = Índice padrão de formação de melação residual com relação a quantidade de açúcar produzido em [t melação / t açúcar]

$\lambda$  = Quantidade de horas que dura o período de Safra da cana de açúcar ao ano [h / ano]

$\beta$  = Coeficiente de segurança para estimar a produção real = 0,80

➤ *Restrição 4: Restrição de combinação de melação residual:*

$$a_{41} x_1 + a_{43} x_3 + a_{45} x_5 \leq b_4$$

Sendo,

$$a_{41} = -I_{melaço} ; \quad a_{43} = 1 ; \quad a_{45} = \frac{\xi}{\mu} ; \quad b_4 = 0$$

Onde,

$\xi$  = Quantidade de bagaço hidrolisado consumido por dia por 1 boi confinado em [t bagaço / boi dia];

$\mu$  = Quantidade de ração pronta consumida por dia por 1 boi confinado em fase de acabamento em [kg de ração / boi dia];



➤ *Restrição 5: Restrição para a combinação de bagaço excedente :*

$$a_{54} x_4 + a_{55} x_5 + a_{56} x_6 + a_{57} x_7 \leq b_5$$

Sendo,

$$a_{54} = \frac{\delta}{\kappa} ; a_{55} = \frac{\nu}{\mu} ; a_{56} = \frac{\nu}{1000} ; a_{57} = -1 ; b_5 = 0$$

Onde,

$\delta$  = Quantidade máxima de bagaço excedente gerado no ano em [t bagaço / ano];

$\kappa$  = Quantidade de eletricidade excedente gerada ao ano [kWh / ano]

$\nu$  = Quantidade de bagaço hidrolisado consumido na ração por boi num dia [kg bagaço / boi dia]

$\mu$  = Quantidade de ração pronta consumida por dia por 1 boi confinado em fase de acabamento em [kg de ração / boi dia];

➤ *Restrição 6: Restrição na produção de bagaço excedente:*

$$a_{67} x_7 \leq b_7$$

Sendo,

$$a_{67} = -1 ; b_7 = \delta$$

Onde,

$\delta$  = Quantidade máxima de bagaço excedente gerado no ano em [t bagaço / ano];

➤ *Restrição 7: Restrição na produção de ração pronta para bovinos em fase de acabamento:*

$$a_{75} x_5 \leq b_7$$

Sendo,

$$a_{75} = 1 ; b_7 = \varepsilon$$



Onde,

$\varepsilon$  = Quantidade máxima de ração pronta produzida ao ano em [t ração / ano]

*Restrição 8: Restrição de produção de ração para restringir a capacidade de confinamento de gado na própria usina*

$$a_{86} x_6 \leq b_8$$

Sendo,

$$a_{86} = 1; b_8 = \psi$$

Onde,

$\psi$  = Quantidade máxima de diárias de bois confinados na própria usina ao ano em [diárias / ano]

➤ *Restrições 9 a 15: Restrições de não negatividade:*

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7 \geq 0$$

### **III.4-Análise de investimentos em situação de risco – A simulação de Montecarlo**

Todo investimento possui um grau de risco envolvido. O risco total de um investimento é medido pela dispersão dos retornos previstos. O risco pode ser desdobrado em dois componentes distintos:

- ***Risco sistemático***

Tem origem nas flutuações a que está sujeito o sistema econômico como um todo. Mudanças no ambiente econômico, político e social são fontes de risco sistemático. Essencialmente, o risco sistemático é relacionado à taxa de juros, ao poder de compra e ao mercado.

- ***Risco não sistemático***

É a parcela do risco total que é característica de um empreendimento ou de um setor da atividade. Este tipo de risco está associado às particularidades de uma empresa ou a um grupo de empresas similares, como por exemplo, a aceitação de seus produtos pelo



mercado, greves, invenções e obsolescência. Uma importante função é desempenhada pela administração neste tipo de risco, pois, em grande parte, as perdas provocadas podem ser atribuídas a erros de previsão dos executivos responsáveis pela condução do empreendimento.

As principais fontes de risco não sistemático são o risco financeiro, o risco de administração e os riscos do setor.

Quando calculamos o fluxo de caixa de um investimento no tempo, podemos ter situações extremas, quando dito fluxo é dependente totalmente do tempo e quando ele não é. Para ambos casos, teremos uma correlação perfeita igual a “0” zero (independência) ou a “1” um (dependência). No entanto, na prática, esta hipótese de correlação perfeita não ocorre, mas pode ser utilizada como uma boa base para um estudo de análise de sensibilidade onde se testa o limite máximo da variância de um investimento.

Agora para resolver o problema tentando atingir um valor mais aproximado da realidade, pode-se usar o método da “simulação”.

O método de simulação que será utilizado aqui será o método de Monte Carlo, desenvolvido para análise de investimentos por David B. Hertz e cujo processo consta de 4 fases:

- **Fase 1:**

Para cada variável que influencia o diagrama de fluxos de caixa do investimento, deve-se estimar o seu intervalo de variação possível. Logo, deve-se estabelecer uma distribuição de probabilidades correspondente e transformá-la em uma distribuição de probabilidades acumulada.

- **Fase 2:**

Seleciona-se, ao acaso, valores para cada variável, de acordo com as suas probabilidades de ocorrência. Então, se calcula o valor presente líquido ou taxa interna de retorno ou qualquer outra medida de atratividade para o projeto, para cada combinação de valores obtida. Se houver dependência entre variáveis, esse fato deve ser considerado de forma a existir correspondência entre os valores selecionados.

- **Fase 3:**

Efetua-se esta operação repetidas vezes, até obter uma distribuição de probabilidades do retorno do investimento.



- **Fase 4:**

Acumula-se a distribuição de probabilidades do retorno, para se ter uma visão melhor do comportamento da curva. Em alguns casos pode ser interessante calcular a média e o desvio padrão da distribuição, para auxiliar a comparação entre as alternativas. Pode ser preferível, escolher uma alternativa de retorno inferior, porém, de menor variabilidade.

Se aprofundarmos o método de Montecarlo na análise de investimentos, este trabalho tomaria proporções muito maiores. Por este motivo, o tema será abordado de uma forma mais simplificada e direta.

O Método de Montecarlo ou também conhecido como Simulação de Montecarlo, nada mais é, do que uma série de procedimentos que fazem a análise de distribuições de variáveis aleatórias usando simulação de números aleatórios. A través de este método, é possível solucionar uma grande variedade de problemas matemáticos, fazendo experiências com amostras estatísticas num computador. O método é aplicado à qualquer tipo de problema, seja estocástico ou determinístico.

A simulação de Monte Carlo foi criada para resolver integrais que não possuem solução por métodos analíticos, logo, para resolver estas integrais usaram-se números aleatórios. Posteriormente, empregou-se o método para resolver qualquer esquema que utiliza números aleatórios, usando variáveis aleatórias com distribuições de probabilidade conhecidas, o qual é usado para resolver certos problemas estocásticos y determinísticos, onde o tempo no é um fator importante.

O Método foi chamado assim pelo principado de Mónaco por ser “a capital do jogo de azar”, ao pegar uma roleta como um gerador simples de números aleatórios. O nome e o desenvolvimento sistemático do método de Monte Carlo data aproximadamente de 1944 com o desenvolvimento do computador. No entanto, há várias menções (isoladas e não desenvolvidas) em muitas ocasiões anteriores a 1944.

O uso real do método de Monte Carlo como una ferramenta de investigação, vem do trabalho da bomba atômica durante a Segunda Guerra Mundial. Este trabalho utilizava a simulação direta de problemas probabilísticos de hidrodinâmica relativos à difusão de nêutrons aleatórios em material de fusão.



Ainda na primeira etapa destas investigações, John Von Neumann e Stanislaw Ulam refinaram esta curiosa “Roleta Russa” e os métodos “de divisão”. No entanto, o desenvolvimento sistemático de estas idéias, teve que esperar o trabalho de Harris e Herman Kahn em 1948. Aproximadamente no mesmo ano, Fermi, Metropolis e Ulam obtiveram estimadores para os valores característicos da equação de Schrödinger para a captura de nêutrons a nível nuclear.

O Método de Montecarlo tem muitas aplicações práticas:

- No desenho de reatores nucleares
- No Cromo-dinâmica quântica
- Na radio terapia contra o câncer
- No controle da densidade e fluxo de trânsito veicular
- Na Economia
- No prognóstico do índice das bolsas de valores
- Em prospecções para explorações de petróleo
- Na física dos materiais
- Na Criptografia
- Na Ecologia
- Em métodos quantitativos de organização industrial
- Programas de computador

#### ***III.4.1- Breve descrição Matemática do Método de Montecarlo:***

Suponhamos que existe  $M > 0$ , tal que  $0 \leq f(\theta) \leq M$  para tudo  $\theta \in [a, b]$  e, que se deseja calcular a integral:

$$I = \int_a^b f(\theta) d\theta.$$



O valor desta integral corresponde a área sob a curva  $\phi = f(\theta)$  para  $\theta \in [a, b]$ .

Seja ainda,

$$p(\theta, \phi) = \frac{1}{M(b-a)} \mathbf{I}_R(\theta, \phi).$$

Logo,  $p(\theta, \phi)$  corresponde a função densidade de uma distribuição uniforme sob a área  $R$ . Assim, a Integral  $I$  pode ser estimada simulando uma amostra  $(\theta_1, \phi_1), \dots, (\theta_N, \phi_N)$  de  $p(\theta, \phi)$  e contando quantos de estes valores ficam sob a curva  $\phi = f(\theta)$ .

Especificamente seja,

$$N_f = \sum_{i=1}^N \mathbf{I}_C(\theta_i, \phi_i),$$

Onde,

$$C = \{(\theta, \phi) \in R : a \leq \theta \leq b, 0 \leq \phi \leq f(\theta)\}$$

Assim,

$$\hat{I}_1 = M(b-a) \frac{N_f}{N}$$

É um estimador de  $I$ . Cada observação  $(\theta_i, \phi_i)$  corresponde a um ensaio de Bernoulli com probabilidade de sucesso  $I / \{M(b-a)\}$  posto que  $E(N_f) = NI / \{M(b-a)\}$ .

Tendo como variância de este estimador,

$$\text{Var}(\hat{I}_1) = \frac{I}{N} \{M(b-a) - I\}.$$

Para visualizar dados e valores de simulação de Monte Carlo utilizados neste trabalho, ver página no capítulo V.



### **III.5- Obtenção de dados de custos e preços de venda reais para os produtos primários**

Os dados de custos e preços para o açúcar e álcool considerados com programa de diversificação, foram gentilmente fornecidos pela usina Monte Alegre, localizada em Monte Belo-MG.

#### ***III.5.1- A usina Monte Alegre***

A origem da usina Monte Alegre (UMA) remonta aos anos de 1917, quando o Cel. Jorge Vieira adquiriu a fazenda Monte Alegre, no Município de Monte Belo, Sul de MG, com cerca de 3000 alqueires, onde desenvolveu atividades agropecuárias, principalmente com lavouras de café, criação e engorda de gado bovino, plantio de cereais e produção de rapadura. Em 1937 foi adquirido o primeiro conjunto de moendas, dando início à produção de açúcar (20000 sacas por safra) e aguardente. Em 1960 iniciou a produção de álcool carburante para fins combustíveis.

Em maio de 1995 ocorreu um processo de reestruturação da empresa, denominado de verticalização da produção agroindustrial. Através de um estudo econômico realizado, foi determinado o valor residual da lavoura instalada de cana de açúcar em terras das empresas agropecuárias fornecedoras. A usina adquiriu tais lavouras pelo valor residual, estruturou seu Departamento de produção agrícola através de remanejamento de funcionários das empresas agropecuárias e passou a arrendar novas áreas para expansão da lavoura de cana de açúcar.

A área total em terras das empresas agropecuárias é de 25000 há, sendo 8730 há arrendados para usina para cultivo da cana de açúcar e o restante explorada com cultura de café e pastagens, incluindo as áreas de matas nativas.

A usina Monte Alegre tem como um dos seus objetivos principais a utilização até o ano 2000 a capacidade agro-industrial instalada de 810000 toneladas de cana por safra.

A usina Monte Alegre possui uma capacidade de estocagem de açúcar para o mercado interno de 450000 sacas de 50 kg, e de 10,3 milhões de litros de álcool.

Durante a época de safra a usina conta com 1215 funcionários trabalhando a maioria deles no canavial e 880 funcionários durante a entressafra.



Tabela III.3- Produção de açúcar e álcool de 5 anos de safra na usina Monte Alegre

SAFRA	CANA Ton.	AÇÚCAR (SACAS DE 50 KG)		ÁLCOOL M <sup>3</sup>
		M. Interno	M. Externo	
92/93	507497	517515	--	18494
93/94	509754	522427	100000	18191
94/95	487538	633824	200000	17887
95/96	525255	411779	200000	17956
96/97	523393	787171	--	16613

Fonte: Usina Monte Alegre (2000)

Tabela III.4- Custos de produção do açúcar na usina Monte Alegre em [US\$/saca de 50 kg]

ANO	1995	1996	1997	1998
Custo da Cana [US\$/saca de 50 kg]	5,85	8,17	8,47	6,28
<b>Transformação industrial</b>				
Recepção da cana [US\$/saca de 50 kg]	0,36	0,29	0,25	0,18
Preparo da cana [US\$/saca de 50 kg]	0,33	0,29	0,28	0,21
Extração do caldo [US\$/saca de 50 kg]	0,84	0,72	0,63	0,51
Preparo do caldo [US\$/saca de 50 kg]	0,45	0,40	0,36	0,27
Evaporação [US\$/saca de 50 kg]	0,38	0,29	0,23	0,17
Cozimento [US\$/saca de 50 kg]	0,33	0,32	0,34	0,23
Centrifugação [US\$/saca de 50 kg]	0,34	0,34	0,29	0,16
Secado [US\$/saca de 50 kg]	0,09	0,07	0,12	0,04
Subtotal 1 [US\$/saca de 50 kg]	3,12	2,72	2,50	1,77
<b>Transformação comercial</b>				
Ensacado e empacotamento [US\$/saca de 50 kg]	0,96	1,18	0,78	0,50
Armazenagem [US\$/saca de 50 kg]	0,01	0,09	0,05	0,05
Comercialização [US\$/saca de 50 kg]	0,36	0,46	0,41	0,25
Subtotal 2 [US\$/saca de 50 kg]	1,33	1,73	1,24	0,80
Total [US\$/saca de 50 kg]	10,30	12,62	12,21	8,85
<b>Total Unitário [US\$/kg]</b>	<b>0,206</b>	<b>0,252</b>	<b>0,244</b>	<b>0,177</b>

Fonte: Usina Monte Alegre (2000)



Tabela III.5- Dados de comercialização do açúcar na usina Monte Alegre

ANO	1995	1996	1997	1998
Preço de venda [US\$/kg]	0,280	0,276	0,258	0,192
Custos totais [US\$/kg]	0,206	0,252	0,244	0,177
<b>Lucros líquidos [US\$/kg]</b>	<b>0,074</b>	<b>0,024</b>	<b>0,014</b>	<b>0,015</b>

Fonte: Usina Monte Alegre (2000)

Tabela III.6- Custos de produção do álcool na usina Monte Alegre em [US\$/m<sup>3</sup>]

ANO	1995	1996	1997	1998
Custo da cana [US\$/m <sup>3</sup> ]	159,57	252,92	271,96	206,69
<b>Transformação industrial do álcool</b>				
Recepção da cana [US\$/m <sup>3</sup> ]	9,72	9,03	7,80	5,74
Preparação da cana [US\$/m <sup>3</sup> ]	8,96	9,12	8,89	7,02
Extração do caldo [US\$/m <sup>3</sup> ]	22,89	22,47	19,65	16,57
Preparo do caldo [US\$/m <sup>3</sup> ]	12,32	12,25	9,97	8,96
Evaporação [US\$/m <sup>3</sup> ]	10,31	9,14	7,05	5,54
Preparo do mosto [US\$/m <sup>3</sup> ]	3,69	3,05	2,26	1,53
Fermentação [US\$/m <sup>3</sup> ]	20,64	20,86	22,02	15,24
Destilação [US\$/m <sup>3</sup> ]	14,44	11,93	12,80	9,82
Subtotal 1 [US\$/m <sup>3</sup> ]	102,97	97,85	90,44	70,42
<b>Transformação comercial</b>				
Estocagem [US\$/m <sup>3</sup> ]	2,87	1,26	1,07	1,00
Comercialização [US\$/m <sup>3</sup> ]	0,70	3,11	7,39	0,69
<b>Subtotal 2 [US\$/m<sup>3</sup>]</b>	<b>3,57</b>	<b>4,37</b>	<b>8,46</b>	<b>1,69</b>
Total [US\$/m <sup>3</sup> ]	266,11	355,14	370,86	278,88
<b>Total unitário [US\$/litro]</b>	<b>0,266</b>	<b>0,355</b>	<b>0,370</b>	<b>0,278</b>

Fonte: Usina Monte Alegre (2000)



Tabela III.7- Dados da comercialização do álcool na usina Monte Alegre

ANO	1995	1996	1997	1998
Preço de venda [US\$/litro]	0,420	0,415	0,388	0,289
Custos totais [US\$/litro]	0,266	0,355	0,370	0,278
<b>Lucros líquidos [US\$/litro]</b>	<b>0,154</b>	<b>0,060</b>	<b>0,018</b>	<b>0,011</b>

Fonte: Usina Monte Alegre (2000)



## **CAPÍTULO IV: PROGRAMA DE AVALIAÇÃO DA DIVERSIFICAÇÃO**

O programa de avaliação da diversificação é um aplicativo em Excel que simula, calcula e otimiza cenários reais de produção, custos e lucros em usinas de açúcar que operam com turbinas de extração-condensação em três níveis de pressão, 42,60 e 80 Mpa. Por isso o nome assinado para o aplicativo: “Programa Diversificação”.

### **IV.1- Objetivos do “Programa Diversificação”**

- Calcular as quantidades de produtos ótimos a serem produzidos por mês numa usina de açúcar diversificada para obter o lucro máximo, segundo a situação de custos e preços de venda dos produtos e subprodutos da cana no momento do cálculo.
- Analisar a viabilidade de compra de equipamentos para co-geração de eletricidade mediante as tecnologias TCE (Condensation and Extraction Turbine) nas pressões de 42, 60 e 80 kgf / cm<sup>2</sup>.
- Permitir ao usuário fazer análises comparativas entre as três tecnologias citadas no item anterior.

### **IV.2- Estrutura do programa “Diversificação”**

O “Programa Diversificação” como mencionado anteriormente, é um aplicativo desenvolvido em planilhas do Microsoft Excel com recursos de macros e subrotinas em Visual Basic. É compatível com as versões 97 e 2000 do Office.

Está composto por 30 planilhas, que se relacionam entre elas a traves de equações e subrotinas do Visual Basic.

Basicamente, são 12 planilhas para entrada de dados via terminal, sejam eles, técnicos ou econômicos, três planilhas para ilustração do fluxograma principal de uma Usina Diversificada, um para cada nível de pressão ou sistema, 3 planilhas mixtas, ou seja, que recebem dados externos via terminal e geram resultados ao mesmo tempo e, 12 planilhas que mostram os diferentes tipos de resultados em formato de tabelas e em gráficos ilustrativos.

A entrada principal de dados técnicos é realizada pelo operador, acionando os fluxogramas de Processos, que aparecem em janelas flutuantes. Os equipamentos representados no fluxograma estão relacionados com uma subrotina computacional. Logo, basta clicar encima deles para chamar formulários de entrada de dados técnicos para tal equipamento, facilitando o entendimento e manuseio para o operador (Visualizar maiores



detalhes, no Anexo 3, Manual da Ferramenta de Otimização)

### IV.3- Telas principais

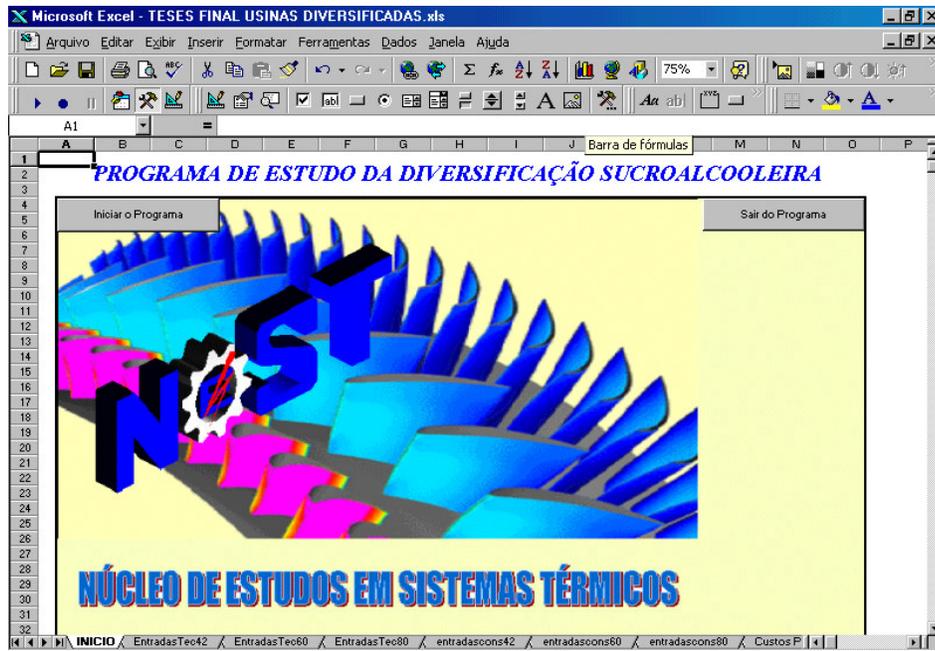


Figura IV.1- Tela inicial do programa de estudo da diversificação sucro-alcooleira

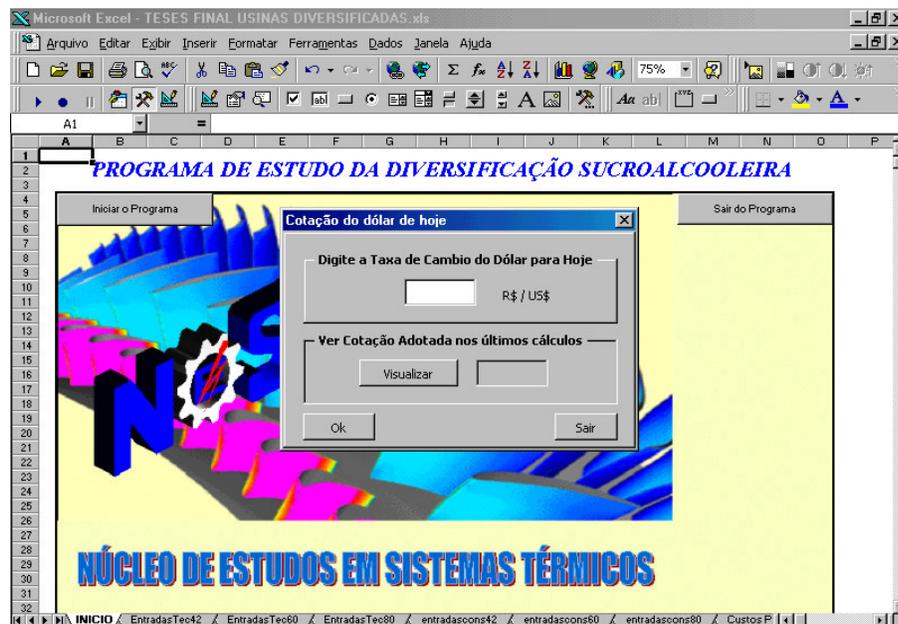


Figura IV.2- Entrada do valor da cotação do dólar Americano a considerar nos cálculos

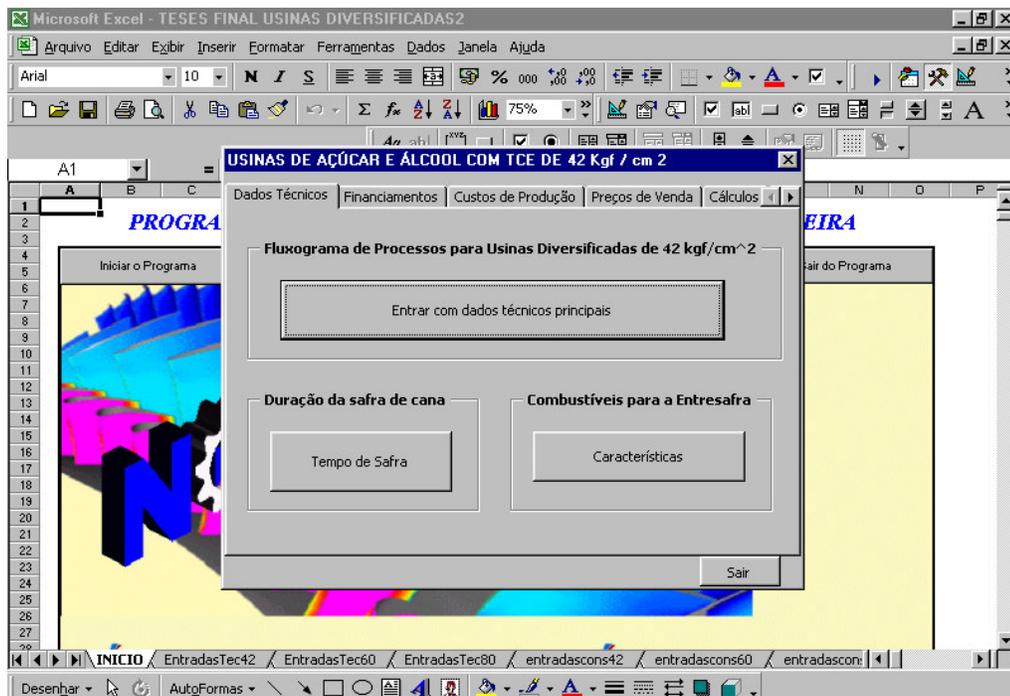


Figura IV.3- Janela de opções para definição das características técnicas e econômicas das usinas em estudo

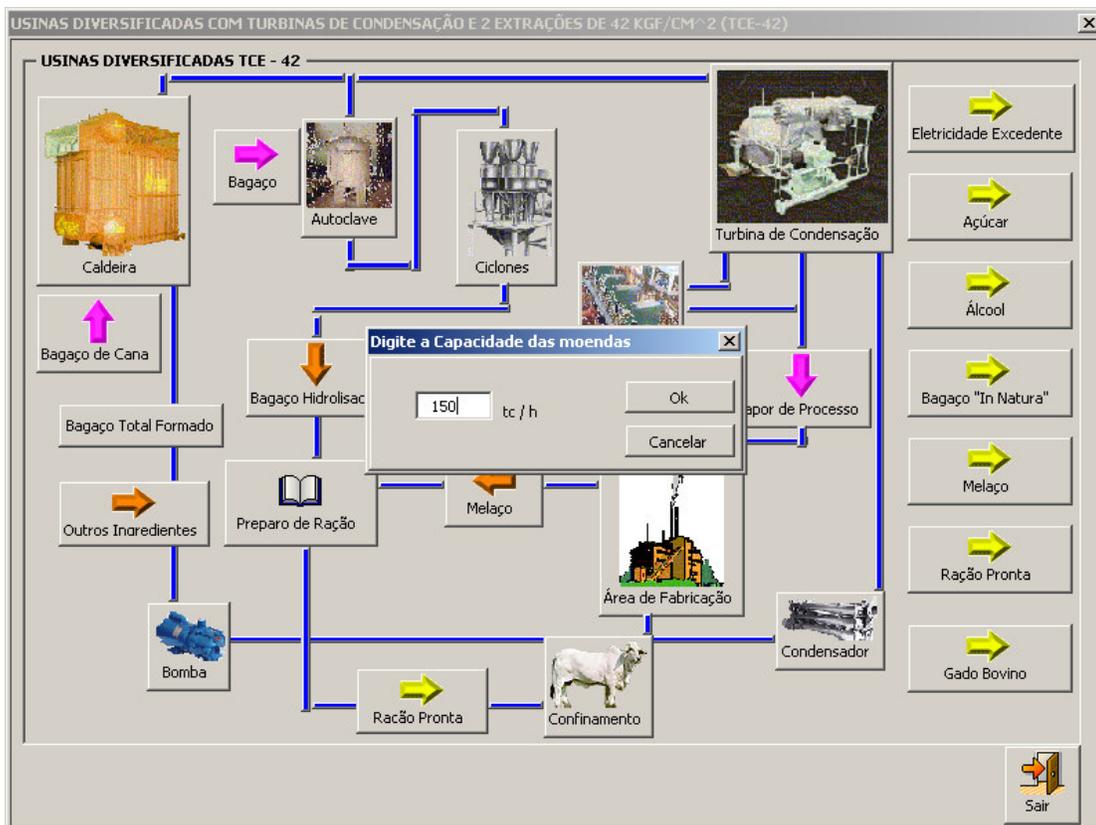


Figura IV.4- Fluxograma principal de uma usina diversificada – Entrada de dados técnicos

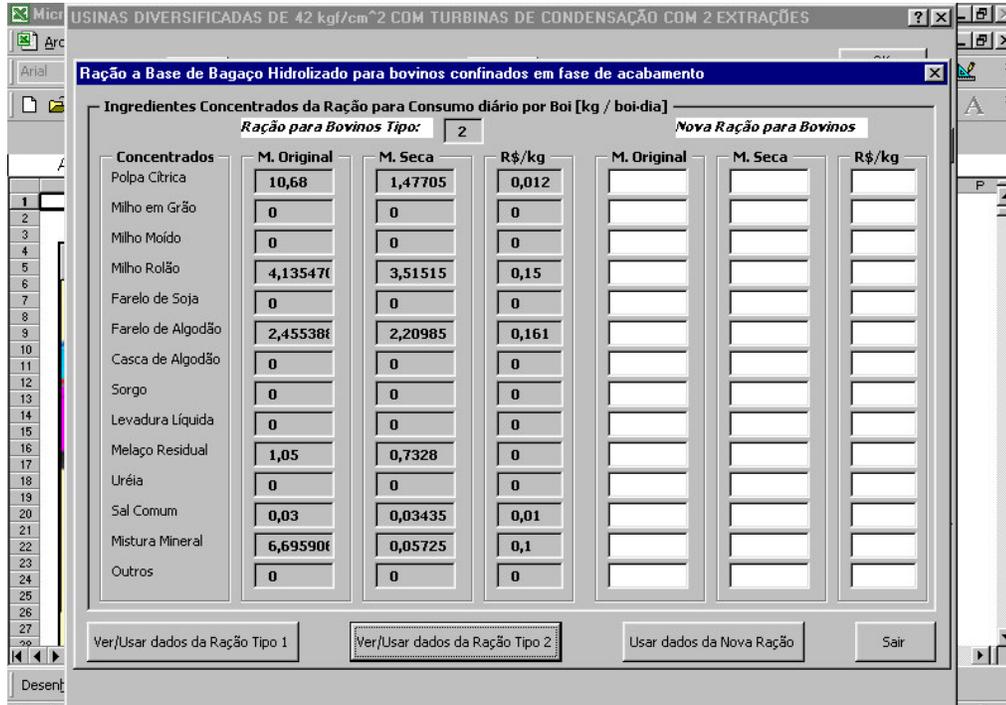


Figura IV.5- Definição dos ingredientes e custos do tipo de ração a base de bagaço hidrolizado para bovinos em confinamento

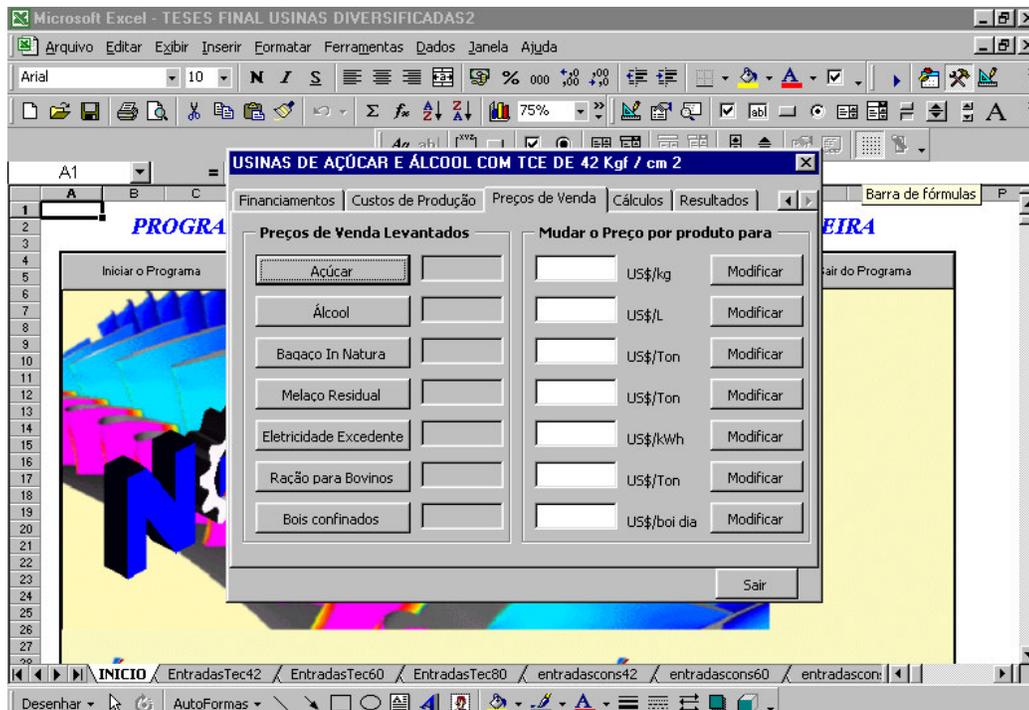


Figura IV.6- Definição dos preços de venda vigentes no mercado para os produtos e subprodutos de uma usina diversificada

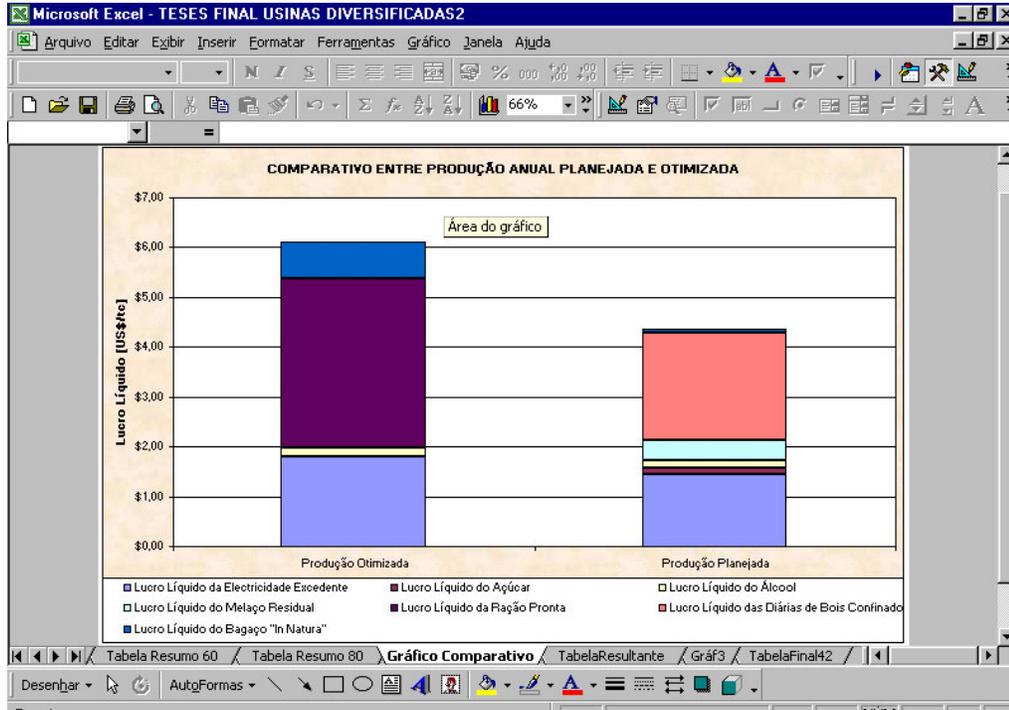


Figura IV.7- Resultados comparativos de lucros entre usinas otimizadas pela programação linear e usinas não otimizadas

USINAS DE AÇÚCAR DIVERSIFICADAS COM TCE - 60 kgf / cm <sup>2</sup>						
Lucro Total ao Ano [US\$]	\$3.616.547,70			Indicador Anual Geral [US\$/t]	\$4,48	
Lucros Líquidos Unitários por Produto						
AÇÚCAR [US\$/t]	ÁLCOOL [US\$/m <sup>3</sup> ]	MELAÇO RESIDUAL [US\$/t]	ELETRICIDADE EXC. [US\$/kWh]	RAÇÃO PARA BOVINOS [US\$/t]	BOIS CONFINADOS [US\$/diária]	BAGAÇO NATURAL [US\$/t]
\$15,00	\$10,20	\$10,00	\$0,01	\$12,87	\$1,29	\$10,00
Produção Anual por Produto						
AÇÚCAR [t]	ÁLCOOL [m <sup>3</sup> ]	MELAÇO RESIDUAL [t]	ELETRICIDADE EXC. [kWh]	RAÇÃO PARA BOVINOS [t]	BOIS CONFINADOS [Diárias]	BAGAÇO NATURAL [t]
48384,00	28224,00	0,00	97458629,87	0,00	1260000,00	14112,00
Indicadores de Participação no Lucro Total [US\$/t]						
AÇÚCAR	ÁLCOOL	MELAÇO RESIDUAL	ELETRICIDADE EXC.	RAÇÃO PARA BOVINOS	BOIS CONFINADOS	BAGAÇO NATURAL
\$0,90	\$0,36	\$0,00	\$1,03	\$0,00	\$2,02	\$0,18

Figura IV.8- Resultados e indicadores gerenciais



## CAPITULO V: USINAS DIVERSIFICADAS–CENÁRIOS, RESULTADOS, RISCOS E DISCUSSÃO

### V.1- Considerações simplificadoras

Com o objetivo de mostrar o potencial sucro-alcooleiro brasileiro, foram feitas algumas considerações importantes para as simulações de resultados:

- A pressão de saída da TCE é como mínimo 20% do valor da pressão de entrada na mesma.
- Somente são considerados a geração de 2 produtos (açúcar e álcool) e 5 sub-produtos (melaço residual, energia elétrica excedente co-gerada, ração para bovinos a base de bagaço hidrolisado, confinamento de bois na própria usina “sistema Boitel” e bagaço “In Natura” para a venda) no estudo de diversificação das usinas de açúcar.
- Os índices de geração de produção de açúcar e álcool são considerados como constantes segundo dados experimentais padrões tabelados a seguir.

Detalhe	Símbolo	Valor	Unidade
Índice de produção do açúcar	$I_A$	0,12	t de açúcar / tc
Índice de produção do álcool	$I_{AL}$	0,07	$m^3$ / tc
Índice de formação do melaço residual	$I_M$	0,23	t de melaço / t de açúcar

Tabela V.1- Relação de indicadores de rendimento usados numa usina padrão

- Não foram considerados os “custos de oportunidade” na diversificação da indústria sucro-alcooleira. Quer dizer, quanto significaria, em termos de custos, investir na produção de um produto menos rentável, sendo que esse capital poderia estar sendo usado para a produção de outro produto ou sub produto que geraria maiores ganhos econômicos para a empresa (Martins Eliseu, 1996).
- Foi considerado como usina padrão, uma usina com capacidade de 300 tc/h de moagem de cana e 350 Kg de vapor / tc como consumo médio de vapor para processo.
- Considerou-se um período de safra de 210 dias para base dos cálculos econômicos.
- Utilizou-se o eucalipto cultivado como combustível alternativo durante o período fora de safra.
- Os cálculos econômicos estão baseados na cotação do dólar americano em 2,546 R\$/US\$.



## **V.2- Cenários**

### ***V.2.1- Usinas convencionais***

No cenário das usinas convencionais, que comercializam o açúcar e o álcool como produtos e, o melaço residual como subproduto, pode-se mostrar uma relação equivalente de ganhos, variando os preços praticados na comercialização de cada produto.

Logo, é possível ilustrar estas semelhanças de ganhos entre produtos, através de gráficos, considerando o preço do melaço residual constante em 10,00 US\$/t.

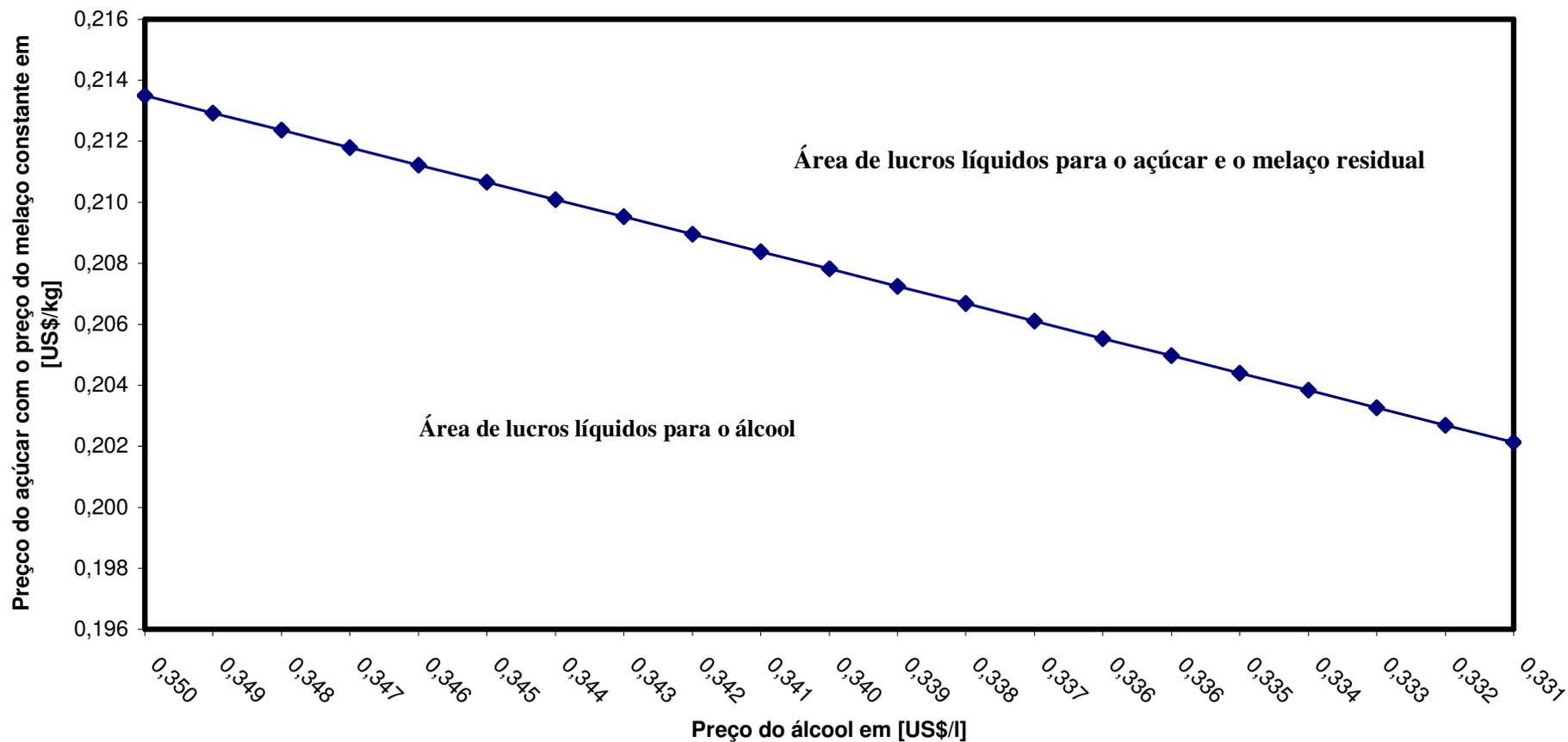


Figura V.1- Linha de lucros iguais e áreas de conveniência na comercialização do açúcar e do álcool em usinas TCE - 60



Para a construção do gráfico da figura V.1, foi necessário considerar o preço de venda do melaço residual formado a partir da fabricação do açúcar como uma constante em US\$ 5,00 por tonelada.

Como é possível observar, existe uma variação quase linear de equivalência para os preços de venda de produtos em usinas TEC-60. Aumentos nos preços do álcool em usinas TEC-60, necessariamente resultam em aumentos proporcionais nos preços do açúcar e melaço residual para poder manter a relação de igualdade.

Este gráfico define claramente as áreas de conveniência na comercialização destes 2 produtos.

### ***V.2.2- Usinas diversificadas***

No estudo de usinas diversificadas, deve ser levado em conta outros sub-produtos que podem ser comercializados, alavancando ainda mais os ganhos totais.

O principal sub-produto que alavancaria estes ganhos seria a venda de energia elétrica co-gerada aproveitando parte do bagaço natural produzido e usado como combustível nas caldeiras de biomassa, fornecendo energia para própria usina e para comercialização da energia excedente. Sabendo disto, podemos observar nos gráficos das figuras a seguir, quanto representa o financiamento na compra de equipamentos para geração de energia elétrica co-gerada no faturamento anual da usina, levando em conta, somente a venda de eletricidade excedente co-gerada para os três tipos de tecnologias que estão sendo estudadas neste trabalho.

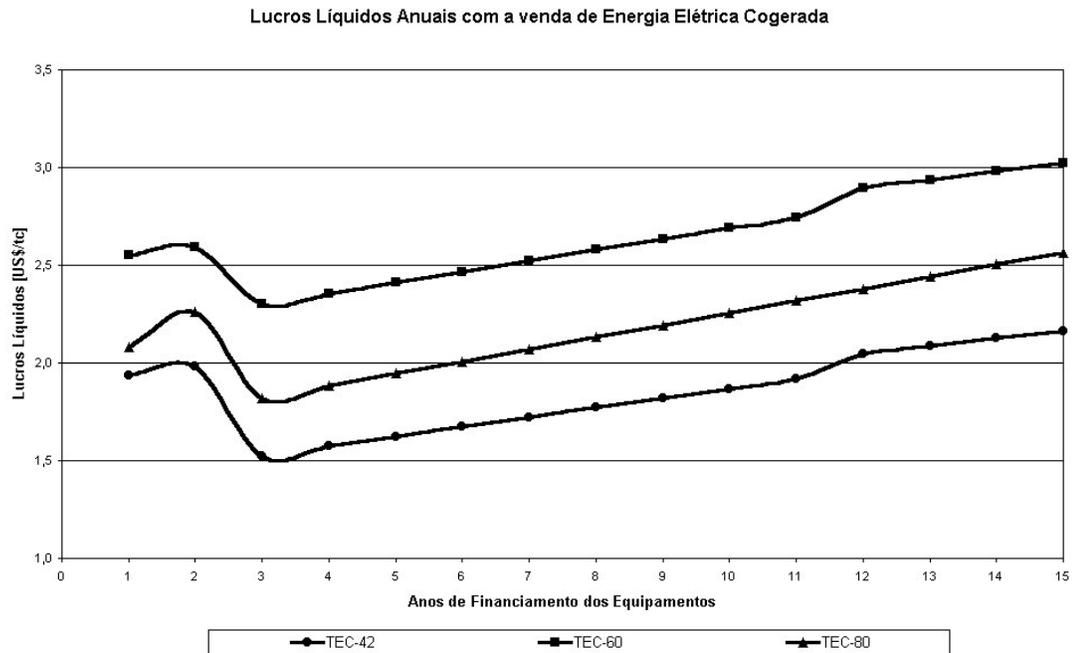


Figura V.2- Indicadores de ganhos com a venda de eletricidade excedente em usinas diversificadas com turbinas de extração condensação

Para definirmos o gráfico da figura acima, foram feitas algumas considerações de financiamento, válidas para o Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES):

- a) Considerou-se um período de financiamento de 15 anos
- b) 2 anos de carência sem capitalização do Principal
- c) Juros totais (Spread Básico + Spread de Risco) de 14% ao ano
- d) Sistema de financiamento com prestações constantes (SAC) utilizado pelo BNDES.

*V.2.2.a) Qual é o impacto de um financiamento em equipamentos de co-geração de eletricidade no fluxo de caixa de uma indústria sucro-alcooleira?*

O valor da participação de um financiamento nas despesas anuais, quando uma indústria sucro-alcooleira diversificada decide investir na compra de um sistema TEC (Turbine Extraction Condensation) é perfeitamente viável nos critérios adotados no gráfico da figura anterior chegando a valores de até 35% sobre o faturamento, para ter uma queda linear de até 17% no último ano do financiamento.

O comportamento dos lucros líquidos é inversamente proporcional a prestação, caindo a valores de até 24% sobre o faturamento anual na pior situação, mas tendo uma recuperação rápida, chegando a valores de 42% no último ano do financiamento.



Esta situação pode ser analisada com mais detalhe no gráfico da figura V.3.

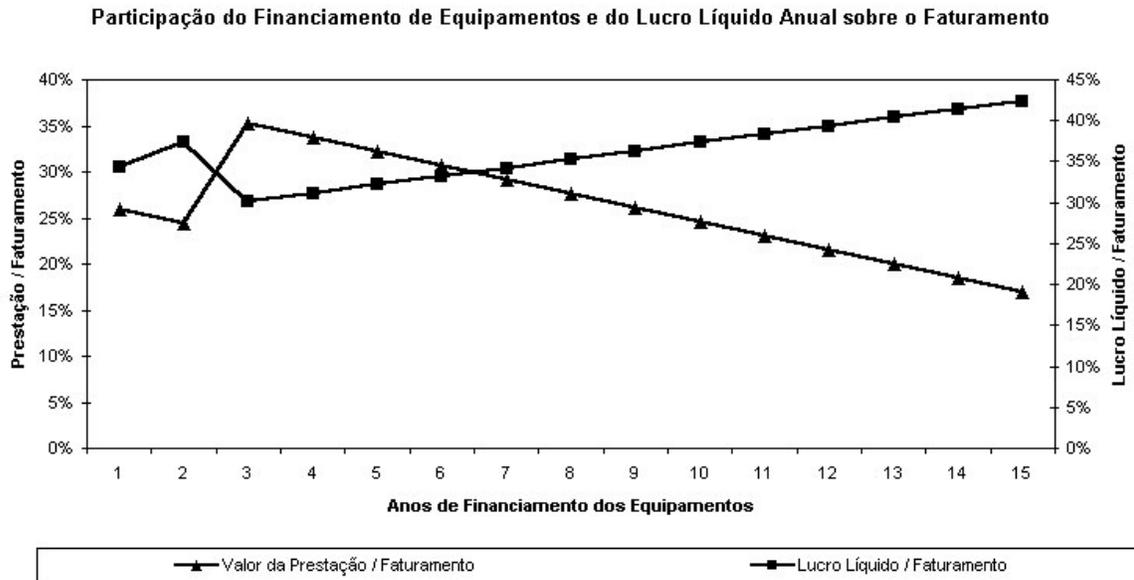


Figura V.3- Influência do financiamento de equipamentos de geração de eletricidade nos lucros líquidos da venda de energia elétrica cogenerada em usinas TEC-80

Os cálculos do financiamento de equipamentos de geração de eletricidade (caldeira + turbina de extração condensação + gerador) são baseados no sistema de amortização constante “SAC” que utiliza o BNDES para suas linhas de financiamento de apoio ao setor elétrico cujos detalhes são tabelados abaixo:

DADOS	VALOR
Taxa de juros aplicada	Custo financeiro + Spread básico + Spread de risco ~ 15,25 % a.a.
Custo Financeiro	TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo) ~ 10,25 % a.a. em Julho/2000
Spread básico	2,5 % a.a.
Spread de risco	Até 2,5% a.a.
Financiamento	Até 80% do investimento total
Prazos	Até 12 anos
Carência	Tempo de implantação + 6 meses ~ 2 anos para nosso estudo

Tabela V.2- Composição da taxa de juros para a linha de financiamento para o apoio ao setor elétrico do BNDES

Seguindo os critérios de financiamento da tabela V.1 e, adotando parâmetros definidos na



tabela abaixo, podemos calcular os custos e lucros reais para a geração de eletricidade cogerada usando bagaço de cana como combustível, simulando a compra de equipamentos de geração TCE-42, TCE-60 e TCE-80 e trabalhando com eucalipto cultivado como combustível alternativo para o período fora de safra.

Tecnologia	TEC-42	TEC-60	TEC-80
Pressão de vapor (MPa)	4,2	6,0	8,0
Temperatura do vapor (°C)	450	450	450
Capacidade das moendas (tc/h)	300	300	300
Consumo de vapor para processo (t/h)	400	400	400
Potência máxima instalada em safra (MW)	9,50	15,50	10,80
Potência máxima instalada fora de safra (MW)	13,90	21,20	15,40
Potência máxima excedente em safra (MW)	7,90	13,40	9,10
Duração da safra (dias / ano)	210	210	210
Combustível usado durante a safra	Bagaço	Bagaço	Bagaço
Combustível usado no período fora de safra	Eucalip. cul.	Eucalip. cul.	Eucalip. cul.
Investimento com 1 caldeira aquotubular (US\$)	1.517.226,00	1.849.173,00	2.322.773,00
Investimento com turbina + gerador (US\$)	2.672.640,00	4.490.240,00	6.097.066,00
Investimento total (US\$)	4.189.866,00	6.339.413,00	8.419.839,00
Financiamento pelo BNDES (80% do total) (US\$)	3.351.892,00	5.071.530,00	6.735.871,00
Financiamento, outra entidade (20%) (US\$)	837.937,00	1.267.882,00	1.683.967,00
Tempo de financiamento pelo BNDES (Anos)	12	12	12
Tempo de financiamento de um banco (Anos)	8	8	8
Juros do financiamento pelo BNDES (% a.a.)	15,25%	15,25%	15,25%
Juros padrões de uma entidade bancaria (% a.a.)	18,00%	18,00%	18,00%
Sistema de financiamento do BNDES	SAC	SAC	SAC
Sistema de financiamento de um banco	PRICE	PRICE	PRICE
Tempo de carência pelo BNDES (Anos)	2	2	2
Tempo de carência de um banco (Anos)	1	1	1
Capitalização do Principal pelo BNDES	Não	Não	Não
Capitalização do Principal pela entidade bancária	Sim	Sim	Sim

Tabela V.3- Dados técnicos e financeiros referentes às 3 tecnologias comparadas

Assim, como mostrado a seguir, teremos claramente um custo menor a ser considerado para



usinas diversificadas com tecnologia de turbina extração condensação de 60 kgf/cm<sup>2</sup> que para as outras duas comparadas.

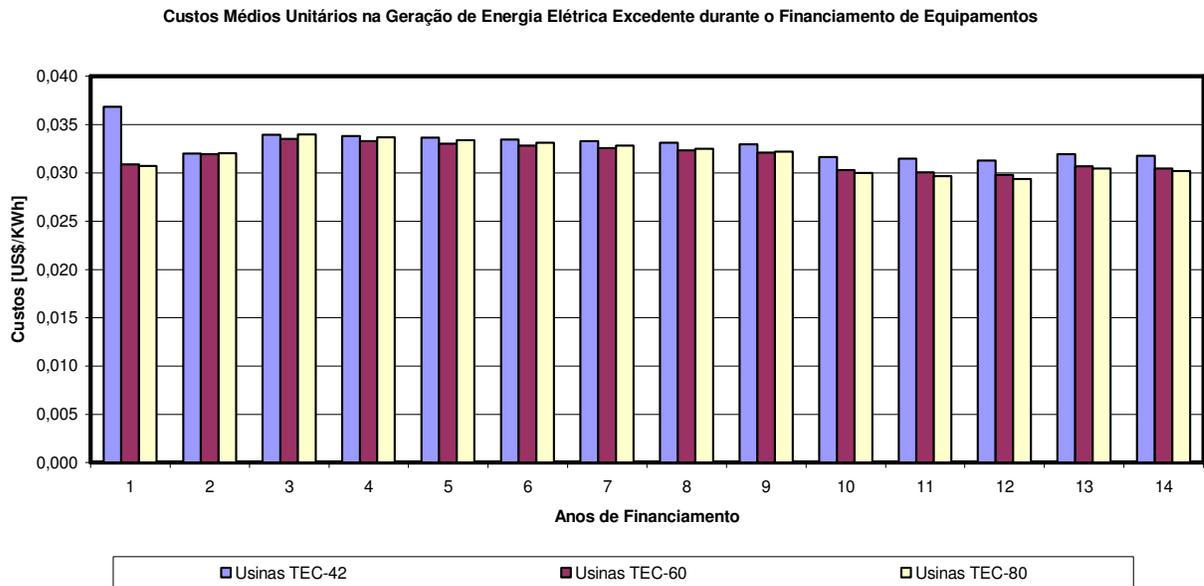


Figura V.4- Custos unitários médios para a geração de eletricidade cogeraada

Conseqüentemente, esta relação de custos de geração menor para as usinas TEC-60, resultará em ganhos maiores se comparado com as outras duas tecnologias. Esta relação é ilustrada abaixo, no gráfico da figura V.5.

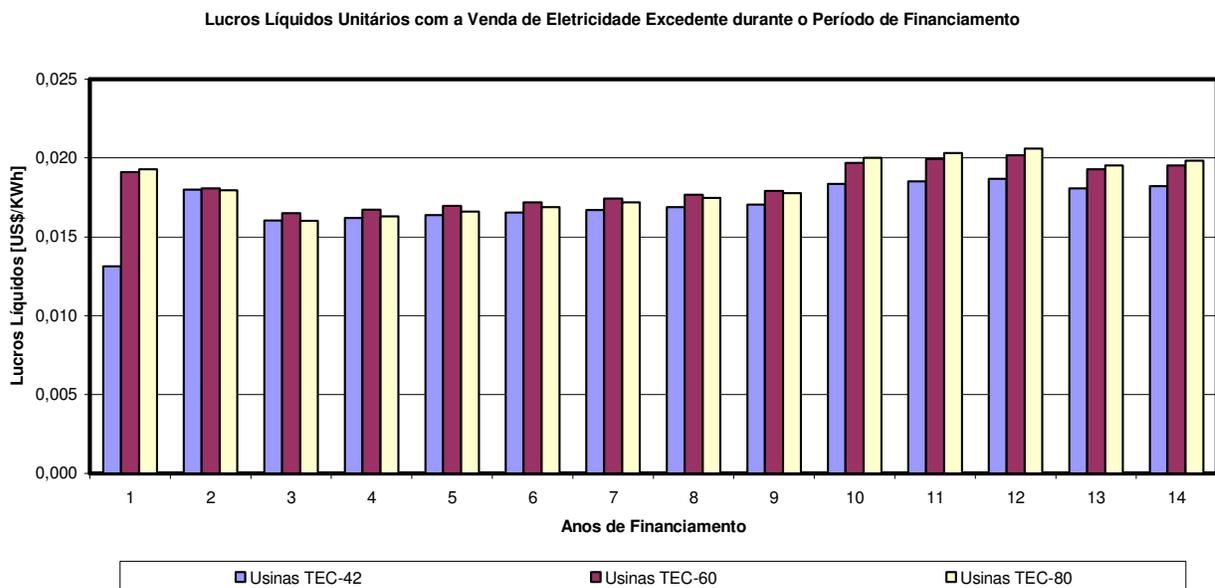


Figura V.5- Lucros unitários líquidos com a venda de eletricidade co-gerada



Os gráficos mostrados anteriormente são uma prova clara dos ganhos que podem ser obtidos da produção e comercialização de energia elétrica co-gerada em usinas de açúcar diversificadas, inclusive, durante o período de financiamento dos equipamentos de geração.

*V.2.2.b- Qual é o impacto de um financiamento de equipamentos para produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado no fluxo de caixa de uma indústria sucro-alcooleira?*

Da mesma forma, graças ao programa de estudo da diversificação sucro-alcooleira podemos fazer simulações bastante realistas do comportamento dos ganhos com a produção e comercialização de ração pronta para bovinos em confinamento na fase de acabamento a base de bagaço hidrolisado.

Igualmente, vamos partir do princípio que precisaremos comprar os equipamentos para hidrolisar o bagaço excedente a través de uma linha de financiamento favorável (Sistema SAC do BNDES) que cubra pelo menos 80% do investimento total e de um prazo de não menos de 12 anos para pagar.

Os 20% restantes podem ser obtidos na banca privada, completando nosso orçamento necessário para a compra dos hidrolisadores, ciclones e misturadores que produzirão a ração bovina (maiores detalhes do sistema para hidrólise do bagaço, vide Capítulo , página ).

Na tabela V.4 a seguir, são apresentadas as características técnicas e financeiras para os diversos equipamentos utilizados para a produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado e, que foram adotadas com base em bibliografia e pesquisas com empresas do ramo, no Estado de São Paulo. Cabe ressaltar que foram considerados a compra dos mesmos equipamentos, em capacidade de hidrólise e valor financeiro, porque as 3 tecnologias em estudo possuem as mesmas capacidades de moagem de 300 tc/h, o que gerará aproximadamente quantidades similares de bagaço excedente.

A maneira de ilustração, são tabelados nas tabelas V.6, V.7 e V.8 os cálculos financeiros relativos a compra de equipamentos para a produção de Ração Pronta para bovinos a base de bagaço hidrolisado em usinas TEC-60. Já na tabela V.9 se apresenta o resultado consolidado do financiamento destes equipamentos junto com os lucros líquidos que se obteriam se “todo” o bagaço excedente fosse hidrolisado para a produção deste sub-produto.



DETALHE	VALOR	UNIDADE
Pressão de vapor dos hidrolisadores (Autoclaves)	21	Kgf/cm <sup>2</sup>
Tempo médio de operação dos hidrolisadores	20	H/dia
Taxa do consumo de vapor para hidrólise	0,35	t de vapor / t de bagaço
Umidade inicial do bagaço	50	%
Umidade final do bagaço	58	%
Capacidade nominal dos hidrolisadores <sup>(a)</sup>	3400	Kg bagaço / h
Tempo de cozimento do bagaço	6	Min
Tempo médio de degasagem	5	Min
Tempo médio de pressurização	4	Min
Número de ciclos por hora	3	Ciclos / h
Número de hidrolisadores em operação	6	Unidades
Investimento total em hidrolisadores e ciclones <sup>(a)</sup>	283.385,00	US\$
Investimento total em misturadores de ração	24.000,00	US\$
Parcela do investimento financiada pelo BNDES <sup>(b)</sup>	80	%
Financiamento por outras entidades financeiras	20	%
Taxa de juros anual aplicada pelo BNDES <sup>(b)</sup>	15,25	% a.a
Taxa de juros média aplicada por entidades bancárias	18,00	% a.a
Tempo de financiamento fornecido pelo BNDES <sup>(b)</sup>	12	Anos
Tempo de financiamento médio por outras entidades	8	Anos
Sistema financeiro utilizado pelo BNDES <sup>(b)</sup>	SAC	-
Sistema financeiro utilizado por entidades bancárias	PRICE	-

Tabela V.4- Dados técnicos e financeiros referentes ao investimento em equipamentos para produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado

(a) Dados técnicos e de custos reais fornecidos graças a gentileza de Caldema Equipamentos Industriais Ltda. – Sertãozinho – SP – Brasil.

(b) Linhas de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES em Julho de 2000.



Ano	Hidrolisadores de Bagaço, Ciclones e Acessórios			
	Saldo Devedor [US\$]	Amortização [US\$]	Juros [US\$]	Prestação Anual [US\$]
0	226708,00	-	-	-
1	226708,00	0,00	34572,97	34572,97
2	226708,00	0,00	32103,47	32103,47
3	207815,67	18892,33	29633,98	48526,31
4	188923,34	18892,33	27164,48	46056,81
5	170031,00	18892,33	24694,98	43587,31
6	151138,67	18892,33	22225,48	41117,82
7	132246,34	18892,33	19755,98	38648,32
8	113354,00	18892,33	17286,49	36178,82
9	94461,67	18892,33	14816,99	33709,32
10	75569,33	18892,33	12347,49	31239,82
11	56677,00	18892,33	9877,99	28770,33
12	37784,67	18892,33	7408,49	26300,83
13	18892,33	18892,33	4939,00	23831,33
14	0,00	18892,33	2469,50	21361,83

Tabela V.5- Tabela financeira do método SAC referentes ao financiamento pelo BNDES

Ano	Hidrolisadores de Bagaço e Ciclones			
	Saldo Devedor [US\$]	Amortização [US\$]	Juros [US\$]	Prestação Anual [US\$]
0	56677,00	-	-	-
1	56677,00	0,00	10201,86	10201,86
2	52979,14	3697,85	10201,86	13899,71
3	48615,67	4363,47	9536,25	13899,71
4	43466,78	5148,89	8750,82	13899,71
5	37391,09	6075,69	7824,02	13899,71
6	30221,77	7169,32	6730,40	13899,71
7	21761,98	8459,79	5439,92	13899,71
8	11779,42	9982,56	3917,16	13899,71
9	0,00	11779,42	2120,30	13899,71

Tabela V.6- Tabela financeira referente ao Financiamento de 20% do valor dos equipamentos por outra Entidade Financeira pelo método PRICE



Ano	Misturadores de Ingredientes da Ração			
	Saldo Devedor [US\$]	Amortização [US\$]	Juros [US\$]	Prestação Anual [US\$]
0	19200,00	-	-	-
1	19200,00	0,00	2928,00	2928,00
2	19200,00	0,00	2718,86	2718,86
3	17600,00	1600,00	2509,71	4109,71
4	16000,00	1600,00	2300,57	3900,57
5	14400,00	1600,00	2091,43	3691,43
6	12800,00	1600,00	1882,29	3482,29
7	11200,00	1600,00	1673,14	3273,14
8	9600,00	1600,00	1464,00	3064,00
9	8000,00	1600,00	1254,86	2854,86
10	6400,00	1600,00	1045,71	2645,71
11	4800,00	1600,00	836,57	2436,57
12	3200,00	1600,00	627,43	2227,43
13	1600,00	1600,00	418,29	2018,29
14	0,00	1600,00	209,14	1809,14

Tabela V.7- Tabela financeira referente ao financiamento pelo BNDES pelo método SAC

Ano	Misturadores de Ingredientes da Ração			
	Saldo Devedor [US\$]	Amortização [US\$]	Juros [US\$]	Prestação Anual [US\$]
0	4800,00	-	-	-
1	5664,00	0,00	864,00	0,00
2	5294,46	369,54	1019,52	1389,06
3	4858,39	436,06	953,00	1389,06
4	4343,84	514,55	874,51	1389,06
5	3736,67	607,17	781,89	1389,06
6	3020,20	716,46	672,60	1389,06
7	2174,78	845,43	543,64	1389,06
8	1177,17	997,60	391,46	1389,06
9	0,00	1177,17	211,89	1389,06

Tabela V.8- Tabela financeira referente ao financiamento de 20% do valor dos equipamentos por outra entidade financeira pelo método PRICE



Ano	Financiamento total de Equipamentos para a Produção de Ração para Bovinos em Confinamento														
	Saldo Devedor [US\$]	Amortização [US\$]	Juros [US\$]	Prestação Anual [US\$/ano]	Lucro antes do IR [US\$/ano]	Depreciação Anual [US\$/ano]	Valor Contábil [US\$]	Lucro Tributável [US\$/ano]	IR [US\$/ano]	CS [US\$/ano]	Lucro Bruto pela Venda de Ração Pronta [US\$/ano]	Acc. e Montagem [US\$]	Manutenção [US\$/ano]	Custos com Mão de Obra [US\$/ano]	Lucro Líquido [US\$/ano]
0	307.385,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	308.249,00	0,00	48.566,83	47.702,83	6.551.843,63	25.615,42	281.769,58	6.526.228,21	1.622.130,54	522.098,25	4.407.614,84	5.907,70	3.073,85	2.800,00	4.395.833,29
2	304.181,60	4.067,40	46.043,71	50.111,11	6.549.435,35	25.615,42	256.154,17	6.523.819,93	1.621.528,47	521.905,58	4.406.001,30	0,00	3.073,85	2.800,00	4.400.127,45
3	278.889,74	25.291,86	42.632,94	67.924,80	6.531.621,66	25.615,42	230.538,75	6.506.006,24	1.617.075,05	520.480,49	4.394.066,12	0,00	3.073,85	2.800,00	4.388.192,27
4	252.733,96	26.155,78	39.090,38	65.246,16	6.534.300,30	25.615,42	204.923,33	6.508.684,88	1.617.744,71	520.694,78	4.395.860,81	0,00	3.073,85	2.800,00	4.389.986,96
5	225.558,76	27.175,20	35.392,32	62.567,52	6.536.978,94	25.615,42	179.307,92	6.511.363,52	1.618.414,37	520.909,07	4.397.655,50	0,00	3.073,85	2.800,00	4.391.781,65
6	197.180,64	28.378,12	31.510,76	59.888,88	6.539.657,58	25.615,42	153.692,50	6.514.042,16	1.619.084,03	521.123,36	4.399.450,19	0,00	3.073,85	2.800,00	4.393.576,34
7	167.383,09	29.797,56	27.412,68	57.210,24	6.542.336,22	25.615,42	128.077,08	6.516.720,80	1.619.753,69	521.337,65	4.401.244,88	0,00	3.073,85	2.800,00	4.395.371,03
8	135.910,59	31.472,50	23.059,10	54.531,60	6.545.014,86	25.615,42	102.461,67	6.519.399,45	1.620.423,35	521.551,94	4.403.039,57	0,00	3.073,85	2.800,00	4.397.165,72
9	102.461,67	33.448,93	18.404,03	51.852,96	6.547.693,50	25.615,42	76.846,25	6.522.078,09	1.621.093,01	521.766,24	4.404.834,26	0,00	3.073,85	2.800,00	4.398.960,41
10	81.969,33	20.492,33	13.393,20	33.885,54	6.565.660,92	25.615,42	51.230,83	6.540.045,51	1.625.584,86	523.203,63	4.416.872,43	0,00	3.073,85	2.800,00	4.410.998,58
11	61.477,00	20.492,33	10.714,56	31.206,90	6.568.339,56	25.615,42	25.615,42	6.542.724,15	1.626.254,52	523.417,92	4.418.667,12	0,00	3.073,85	2.800,00	4.412.793,27
12	40.984,67	20.492,33	8.035,92	28.528,26	6.571.018,20	25.615,42	0,00	6.545.402,79	1.626.924,18	523.632,21	4.420.461,81	0,00	3.073,85	2.800,00	4.414.587,96
13	20.492,33	20.492,33	5.357,28	25.849,62	6.573.696,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.573.696,84	0,00	3.073,85	2.800,00	6.567.822,99
14	0,00	20.492,33	2.678,64	23.170,97	6.576.375,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.576.375,48	0,00	3.073,85	2.800,00	6.570.501,64
15	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	3.073,85	2.800,00	6.593.672,61
16	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	3.073,85	2.800,00	6.593.672,61
17	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	3.073,85	2.800,00	6.593.672,61
18	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	3.073,85	2.800,00	6.593.672,61
19	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	3.073,85	2.800,00	6.593.672,61
20	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6.599.546,46	0,00	3.073,85	2.800,00	6.593.672,61

Tabela V.9- Tabela financeira consolidada referente ao financiamento total dos equipamentos para produção de ração bovina a base de bagaço hidrolisado



Estes valores de lucros líquidos por produto terão uma variação em função dos preços de venda, das quantidades a serem produzidas e segundo as restrições reais do processo como:

- ✓ Quantidade máxima de bagaço excedente após geração de energia elétrica necessária pela própria Usina,
- ✓ Formação máxima de melaço residual segundo as quantidades de açúcar produzidas,
- ✓ Capacidade das moendas,
- ✓ Consumos de vapor para processo térmico,
- ✓ Vazão de vapor mínima requerida na saída da turbina de extração-condensação (TCE – 60),
- ✓ Duração do período de safra da cana de açúcar,
- ✓ Rendimentos das máquinas,
- ✓ Índices padrões de produção de açúcar e álcool,
- ✓ e outros.

Mas, todos estes parâmetros podem ser simulados numa simples planilha de cálculos em Excel. O desafio deste trabalho é ir além desta simulação programada que inclusive é feita habitualmente nas Usinas de Açúcar.

Logo, surge uma pergunta muito discutida:

***Qual a combinação correta das quantidades a serem produzidas por cada produto para atingir o lucro líquido máximo num determinado momento e num panorama econômico de preços de mercado?...***

### **V.3- Resultados**

Visualizar ganhos “individuais” por produto é perfeitamente viável; agora, ver a relação entre estes produtos numa combinação “Ótima” para atender o lucro máximo é outra questão que requer estudos de otimização da produção.

Neste trabalho apresentamos, através de um programa em Visual Basic com Excel e resoluções de programação Linear, uma ferramenta simples que leva em conta a produção diversificada de dois produtos e 5 subprodutos da indústria sucroalcooleira.

A maneira de ilustração é apresentada na figura V.6, uma das telas de resultados que o programa gera, aonde pode se observar, as vantagens em lucros totais que podem ser alcançados se levamos em conta a inter-relação entre as quantidades e ganhos dos produtos.



USINAS DE AÇÚCAR DIVERSIFICADAS COM TCE - 60 kgf / cm <sup>2</sup>							
Indicadores Anuais Totais							
	Ano do Financiamento	Cap. das Moendas [tc/h]	Cons. Vapor de Processo [kg/tc]	Custos Totais [US\$/ano]	Faturamento Anual [US\$/ano]	Lucro Líquido [US\$/ano]	Lucro Líquido [US\$/tc]
<b>Programado</b>	1	300	350	\$36.768.524,45	\$39.551.420,71	\$2.782.896,25	\$2,30
<b>Otimizado</b>	1	300	350	\$30.257.947,97	\$37.473.285,67	\$7.162.955,68	\$5,92
Custos Unitários por Produto							
	Açúcar [US\$/t]	Álcool [US\$/m <sup>3</sup> ]	Melaço Residual [US\$/t]	Eletricidade Exc. [US\$/MWh]	Ração para Bovinos [US\$/t]	Bois Confinados [US\$/Diária]	Bagaço Natural [US\$/t]
<b>Programado</b>	\$177,00	\$279,00	\$0,00	\$93,00	\$16,00	\$0,21	\$0,00
<b>Otimizado</b>	\$177,00	\$279,00	\$0,00	\$93,00	\$16,00	\$0,36	\$0,00
Preços Unitários por Produto							
	Açúcar [US\$/t]	Álcool [US\$/m <sup>3</sup> ]	Melaço Residual [US\$/t]	Eletricidade Exc. [US\$/MWh]	Ração para Bovinos [US\$/t]	Bois Confinados [US\$/Diária]	Bagaço Natural [US\$/t]
<b>Programado</b>	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$95,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
<b>Otimizado</b>	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$95,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
Lucros Líquidos Unitários por Produto							
	Açúcar [US\$/t]	Álcool [US\$/m <sup>3</sup> ]	Melaço Residual [US\$/t]	Eletricidade Exc. [US\$/MWh]	Ração para Bovinos [US\$/t]	Bois Confinados [US\$/Diária]	Bagaço Natural [US\$/t]
<b>Programado</b>	\$15,00	\$10,00	\$5,00	\$2,00	\$24,00	\$0,19	\$5,00
<b>Otimizado</b>	\$15,00	\$10,00	\$5,00	\$2,00	\$24,00	\$0,04	\$5,00
Produção Anual por Produto							
	Açúcar [t/ano]	Álcool [m <sup>3</sup> /ano]	Melaço Residual [t/ano]	Eletricidade Exc. [MWh/ano]	Ração para Bovinos [t/ano]	Bois Confinados [Diárias/ano]	Bagaço Natural [t/ano]
<b>Programado</b>	72.576,00	42.336,00	15.817,20	122.600,74	25.200,00	1.470.000,00	11.913,76
<b>Otimizado</b>	145.152,00	0,00	25.160,11	0,00	164.988,66	5.291.829,56	152.404,69
Indicadores de Participação no Lucro Total [US\$/tc]							
	Açúcar	Álcool	Melaço Residual	Eletricidade Exc.	Ração para Bovinos	Bois Confinados	Bagaço Natural
<b>Programado</b>	\$0,90	\$0,35	\$0,07	\$0,20	\$0,50	\$0,23	\$0,05
<b>Otimizado</b>	\$1,80	\$0,00	\$0,10	\$0,00	\$3,23	\$0,16	\$0,63
Percentuais de Matéria Prima desviadas para a produção de cada Produto							
	Açúcar (Cana)	Álcool (Cana)	Melaço Residual (-)	Eletricidade Exc. (Bagaço)	Ração para Bovinos (Bagaço)	Bois Confinados (Bagaço)	Bagaço Natural (Bagaço)
<b>Programado</b>	50,00%	50,00%	-	88,70%	3,56%	4,62%	3,12%
<b>Otimizado</b>	100,00%	0,00%	-	0,00%	29,17%	20,83%	50,00%

Figura V.6- Resultados e índices entre produção diversificada planejada pelo usuário e a produção otimizada pelo programa



Com base nos custos, preços e quantidades tabeladas na figura anterior, podemos visualizar os lucros líquidos por tonelada de cana moída [US\$/tc] para cada produto no decorrer do primeiro ano de financiamento, em gráficos de colunas e pizzas comparando os resultados como mostram as figuras V.7, V.8 e V.9 a seguir:

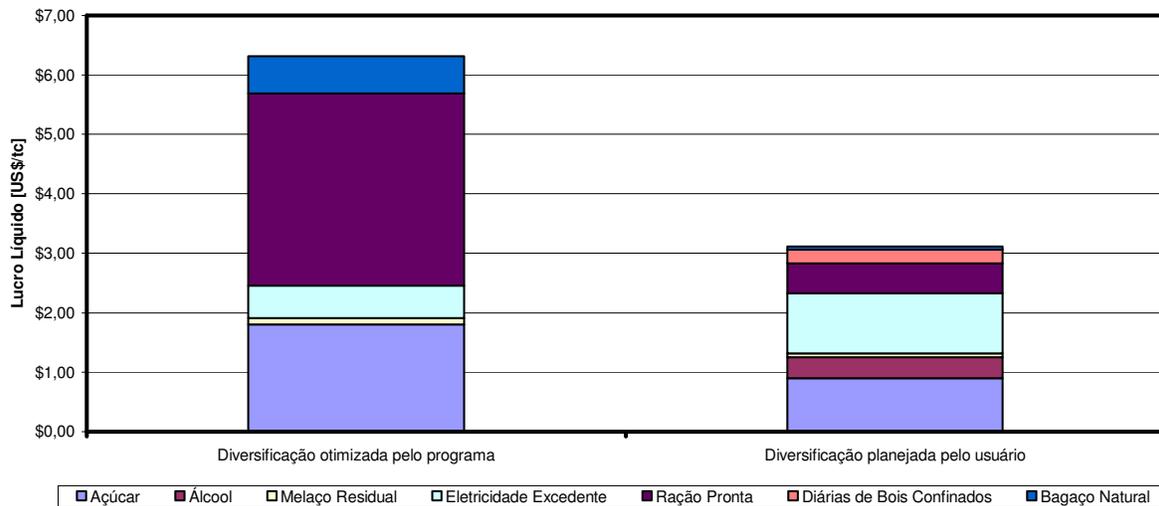


Figura V.7- Lucros líquidos anuais por tonelada de cana para cada produto

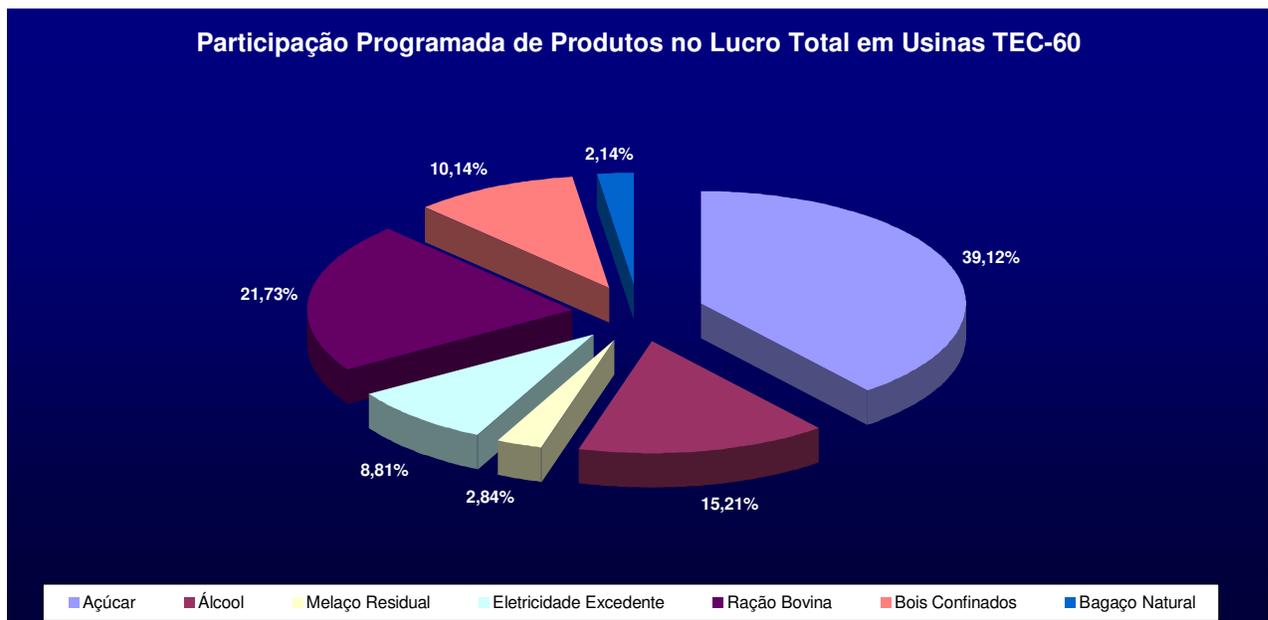


Figura V.8- Distribuição de lucros no contexto global para uma produção programada em usinas TCE - 60

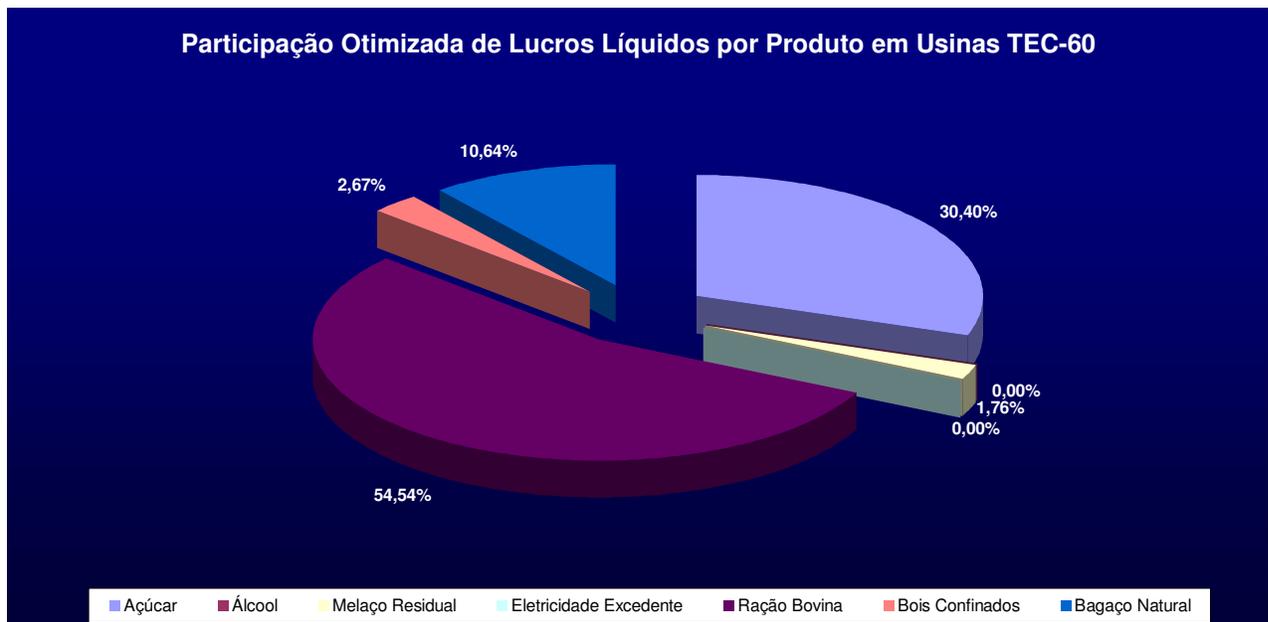


Figura V.9- Distribuição de lucros no contexto global para uma produção otimizada

Os resultados e gráficos mostram que é mais rentável para a situação tabelada na figura V.6, investir na produção de Ração para Bovinos em confinamento que na geração de Energia Elétrica Excedente.

Que aconteceria se temos variações de preços dos produtos?. Para visualizar esta situação tão típica e real do mercado variamos o preço de venda de um produto ou subproduto de cada vez e analisamos o impacto que este produz nos outros e no lucro total. O Programa de Diversificação nos fornecerá automaticamente a solução de produção ótima para qualquer variância de preço.

Consideremos então, a variação de preços de venda da energia elétrica excedente para uma usina TCE-60 e, a influência nos outros seis produtos estudados como ilustrados nas tabelas V.10 e V.11 apresentadas a seguir.



PREÇOS UNITÁRIOS POR PRODUTO							
ALT. N°	AÇÚCAR [US\$/t]	ÁLCOOL [US\$/m <sup>3</sup> ]	MELAÇO RESIDUAL [US\$/t]	ELETRICIDADE EXCEDENTE [US\$/MWh]	RAÇÃO PARA BOVINOS [US\$/t]	BOIS CONFINADOS [US\$/Diária]	BAGAÇO NATURAL [US\$/t]
	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO=PP
1	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$94,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
2	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$95,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
3	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$96,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
4	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$97,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
5	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$98,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
6	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$99,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
7	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$100,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
8	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$101,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
9	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$102,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00
10	\$192,00	\$289,00	\$5,00	\$103,00	\$40,00	\$0,40	\$5,00

Tabela V.10- Variação de preços de venda da energia elétrica excedente para o primeiro ano de financiamento dos equipamentos de geração.

PO: Produção diversificada otimizada pelo programa

PP: Produção diversificada planejada pelo usuário

Estes preços tabelados acima, foram multiplicados pelas quantidades definidas na Figura V.6 para o cálculo programado (Cálculo que leva em conta somente ganhos individuais por produto) e foram utilizados também nos cálculos otimizados (leva em conta a inter-relação de ganhos entre produtos).

Cabe ressaltar, que o preço mínimo estimado acima para a venda da energia elétrica excedente foi dado nesse patamar porque o custo do MWh no primeiro ano de financiamento dos equipamentos de geração de eletricidade (caldeira, turbina de extração-condensação de 60 kgf/cm<sup>2</sup> e gerador) está na casa dos 0,92 US\$/MWh produzido.

A seguir visualizamos o preço mínimo após o qual se torna interessante à produção e comercialização da eletricidade co-gerada para o panorama econômico adotado.



INDICADORES DE PARTICIPAÇÃO NO LUCRO TOTAL POR PRODUTO [US\$/tc]																
ALT. Nº	AÇÚCAR		ÁLCOOL		MELAÇO RESIDUAL		ELETRICIDADE EXC.		RAÇÃO PARA BOVINOS		BOIS CONFINADOS		BAGAÇO NATURAL		TOTAL	
	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP
1	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,10	\$0,07	\$0,00	\$0,10	\$3,23	\$0,50	\$0,16	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$5,92</b>	<b>\$2,20</b>
2	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,10	\$0,07	\$0,00	\$0,20	\$3,23	\$0,50	\$0,16	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$5,92</b>	<b>\$2,30</b>
3	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,18	\$0,30	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$5,95</b>	<b>\$2,40</b>
4	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,23	\$0,41	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,00</b>	<b>\$2,50</b>
5	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,29	\$0,51	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,06</b>	<b>\$2,60</b>
6	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,34	\$0,61	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,11</b>	<b>\$2,71</b>
7	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,39	\$0,71	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,16</b>	<b>\$2,81</b>
8	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,44	\$0,81	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,21</b>	<b>\$2,91</b>
9	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,50	\$0,91	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,27</b>	<b>\$3,01</b>
10	\$1,80	\$0,90	\$0,00	\$0,35	\$0,11	\$0,07	\$0,55	\$1,01	\$3,23	\$0,50	\$0,00	\$0,23	\$0,63	\$0,05	<b>\$6,32</b>	<b>\$3,11</b>

Tabela V.11- Variação de ganhos e respectivas participações de cada produto no lucro anual total de uma usina TCE-60



Resulta bastante evidente ao observarmos a tabela anterior que, o maior lucro individual de um produto, como é o caso da eletricidade excedente com relação aos lucros do melão residual e da venda de bagaço “In Natura”, não necessariamente implicarão em maiores ganhos globais para a usina como um todo. Portanto, a produção de energia elétrica excedente para venda, se faz atraente, somente a partir da alternativa número 3 (Tabela V.11). Ainda, esta situação, pode ser mais bem compreendida se analisamos os custos envolvidos, representados em forma de indicadores de desempenho e mostrados na figura V.10 abaixo.

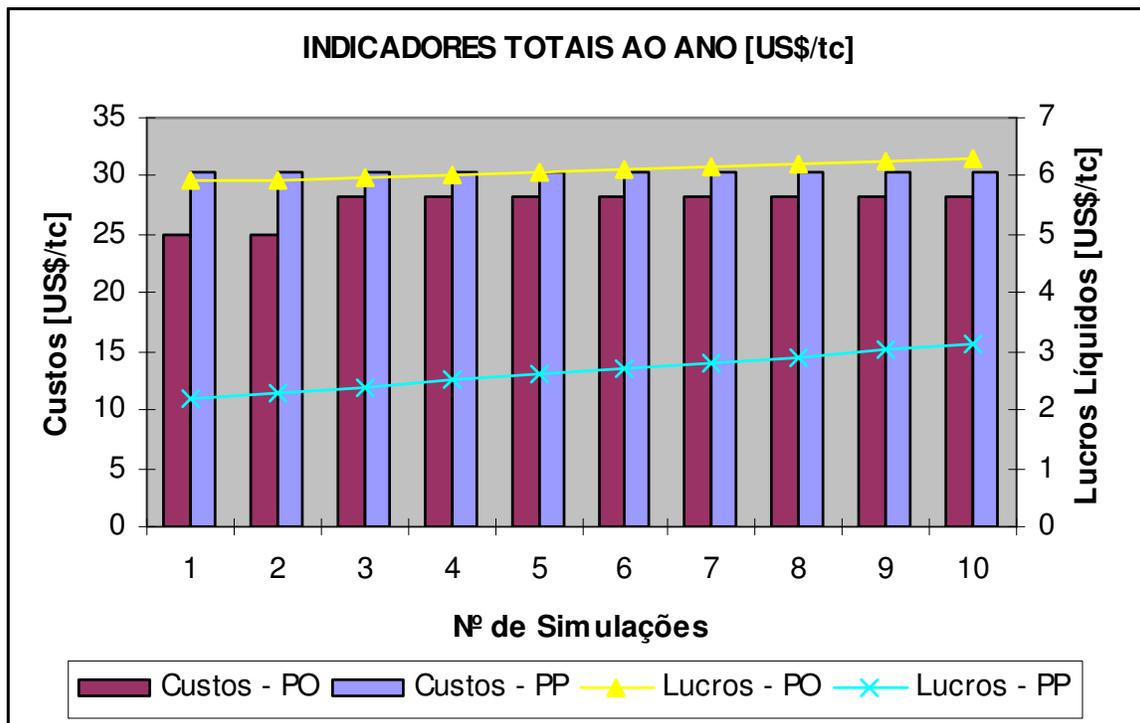


Figura V.10- Indicadores de desempenho para usinas diversificadas TCE-60 no primeiro ano de financiamento dos equipamentos de geração de eletricidade e de ração bovina.

PO: Produção diversificada otimizada pelo programa

PP: Produção diversificada programada pelo usuário

Se levarmos em conta as quantidades utilizadas das duas matérias primas envolvidas na produção dos dois produtos e cinco subprodutos aqui estudados, podemos calcular as quantidades percentuais demandadas na usina, como ilustrado na tabela V.12.



PERCENTUAIS ANUAIS DE MATÉRIA PRIMA USADAS PARA FABRICAÇÃO E OBTENÇÃO DE PRODUTOS E SUBPRODUTOS														
ALT. Nº	CANA MOÍDA						BAGAÇO DE CANA							
	AÇÚCAR		ÁLCOOL		MELAÇO RESIDUAL		ELETRICIDADE EXC.		RAÇÃO PARA BOVINOS		BOIS CONFINADOS		BAGAÇO NATURAL	
	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP	PO	PP
1	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	0,00%	88,70%	29,17%	3,56%	20,83%	4,62%	50,00%	3,12%
2	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	0,00%	88,70%	29,17%	3,56%	20,83%	4,62%	50,00%	3,12%
3	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
4	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
5	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
6	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
7	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
8	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
9	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%
10	100,00%	50,00%	0,00%	50,00%	-	-	20,83%	88,70%	29,17%	3,56%	0,00%	4,62%	50,00%	3,12%

Tabela V.12- Quantidades de cana e bagaço utilizados para a fabricação de produtos e subprodutos numa usina TCE-60



**V.4- Riscos envolvidos nos investimentos: O Método de Montecarlo**

Através da simulação de Montecarlo podemos calcular os riscos envolvidos na compra de equipamentos de geração de eletricidade e ração pronta para bovinos a base de bagaço hidrolisado para usinas diversificadas TCE – 60, tomando como referência os dados das tabelas V.3 e V.4 mostradas anteriormente. Para isto, foram calculados 200 alternativas de valor presente líquido tabelados como ilustra a figura V.13 abaixo.

SIMULAÇÃO DE MONTECARLO PARA USINAS TCE-60											
Nº	Investimentos [US\$]		Benefícios Anuais [US\$]			Valor Residual [US\$]		Vida Econômica [anos]		Valor Presente Líquido [US\$]	
	N. aleat.	Valor	N. aleat.	Valor		N. aleat.	Valor	N. aleat.	Anos	Valor	
	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO	PP	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO=PP	PO	PP
1	72%	7.736.385	97%	6.658.546	3.680.506	42%	38.682	9%	6	17.479.490	6.209.149
2	14%	6.962.747	10%	2.774.394	1.533.544	53%	38.682	77%	13	8.533.391	1.605.543
3	89%	9.670.481	55%	5.548.788	3.067.088	69%	38.682	50%	12	20.414.616	6.962.265
4	48%	7.736.385	29%	4.161.591	2.300.316	23%	29.011	38%	12	14.827.438	4.738.175
5	15%	6.962.747	79%	6.103.667	3.373.797	13%	29.011	7%	6	16.149.019	5.817.872
6	92%	11.604.578	1%	2.774.394	1.533.544	20%	29.011	67%	12	3.439.779	(3.286.397)
7	65%	7.736.385	22%	4.161.591	2.300.316	67%	38.682	24%	9	12.131.993	3.250.762
8	94%	11.604.578	67%	5.548.788	3.067.088	51%	38.682	39%	12	18.480.520	5.028.169
9	50%	7.736.385	20%	4.161.591	2.300.316	6%	19.341	28%	9	12.126.495	3.245.265
10	8%	6.189.108	37%	5.548.788	3.067.088	92%	46.418	82%	13	24.798.137	10.942.441
11	41%	7.736.385	7%	2.774.394	1.533.544	99%	46.418	68%	12	7.311.225	585.049
12	20%	6.962.747	26%	4.161.591	2.300.316	23%	29.011	89%	13	16.276.744	5.884.972
13	19%	6.962.747	16%	4.161.591	2.300.316	78%	42.550	51%	12	15.603.607	5.514.344
14	91%	11.604.578	58%	5.548.788	3.067.088	89%	42.550	41%	12	18.481.243	5.028.892
15	13%	6.962.747	21%	4.161.591	2.300.316	46%	38.682	77%	13	16.278.316	5.886.544
16	24%	6.962.747	72%	6.103.667	3.373.797	53%	38.682	29%	9	22.172.409	9.146.605
17	19%	6.962.747	37%	5.548.788	3.067.088	78%	42.550	19%	9	19.525.858	7.684.218
18	59%	7.736.385	37%	5.548.788	3.067.088	51%	38.682	99%	14	24.032.985	9.826.554
19	32%	7.736.385	8%	2.774.394	1.533.544	53%	38.682	9%	6	2.779.985	(1.915.991)
20	4%	6.189.108	39%	5.548.788	3.067.088	89%	42.550	35%	12	23.896.712	10.444.362
21	15%	6.962.747	99%	6.658.546	3.680.506	19%	29.011	91%	14	31.158.038	14.110.320
22	16%	6.962.747	5%	2.774.394	1.533.544	3%	19.341	14%	9	6.281.006	360.186
23	18%	6.962.747	63%	5.548.788	3.067.088	66%	38.682	86%	13	24.023.241	10.167.545
24	65%	7.736.385	14%	4.161.591	2.300.316	67%	38.682	27%	9	12.131.993	3.250.762
25	59%	7.736.385	80%	6.103.667	3.373.797	59%	38.682	41%	12	25.356.499	10.558.913
26	59%	7.736.385	69%	5.548.788	3.067.088	32%	29.011	99%	14	24.031.618	9.825.187
27	1%	6.189.108	26%	4.161.591	2.300.316	52%	38.682	95%	14	17.639.286	6.984.463
28	49%	7.736.385	67%	5.548.788	3.067.088	24%	29.011	6%	6	13.275.451	3.883.500

Tabela V.13- Valores presentes líquidos para diversas distribuições de probabilidades numa usina TCE-60

A distribuição de valores presentes líquidos acima, esta constantemente variando porque o “Programa Diversificação” gera automaticamente novos números aleatórios para cada variável do fluxo de caixa. Assim, é perfeitamente possível agrupar estes valores presentes em intervalos de classes segundo suas respectivas freqüências acumuladas. Para maiores detalhes, vide tabela V.14 a seguir.



USINAS TEC-60						
Intervalo N°	Intervalo de Classe		Frequência Simples		Frequência Acumulada	
	PO=PP		PO	PP	PO	PP
1	(5.782.511)	(2.751.844)	0%	3%	0%	3%
2	(2.751.844)	278.823	1%	4%	1%	7%
3	278.823	3.309.489	2%	21%	2%	27%
4	3.309.489	6.340.156	5%	16%	7%	43%
5	6.340.156	9.370.823	12%	26%	18%	69%
6	9.370.823	12.401.490	8%	29%	26%	97%
7	12.401.490	15.432.156	7%	3%	33%	100%
8	15.432.156	18.462.823	10%	0%	42%	100%
9	18.462.823	21.493.490	13%	0%	55%	100%
10	21.493.490	31.158.038	45%	0%	100%	100%

Tabela V.14- Distribuição de frequências para valores presentes líquidos numa usina TCE-60

PO: Produção Otimizada (produção diversificada ótima sugerida pelo programa)

PP: Produção Planejada (produção diversificada programada pelo usuário)

Estas frequências oferecem uma aproximação da distribuição de probabilidades para o valor presente líquido do projeto. Tal aproximação será tanto melhor quanto maior for o número de dados simulados.

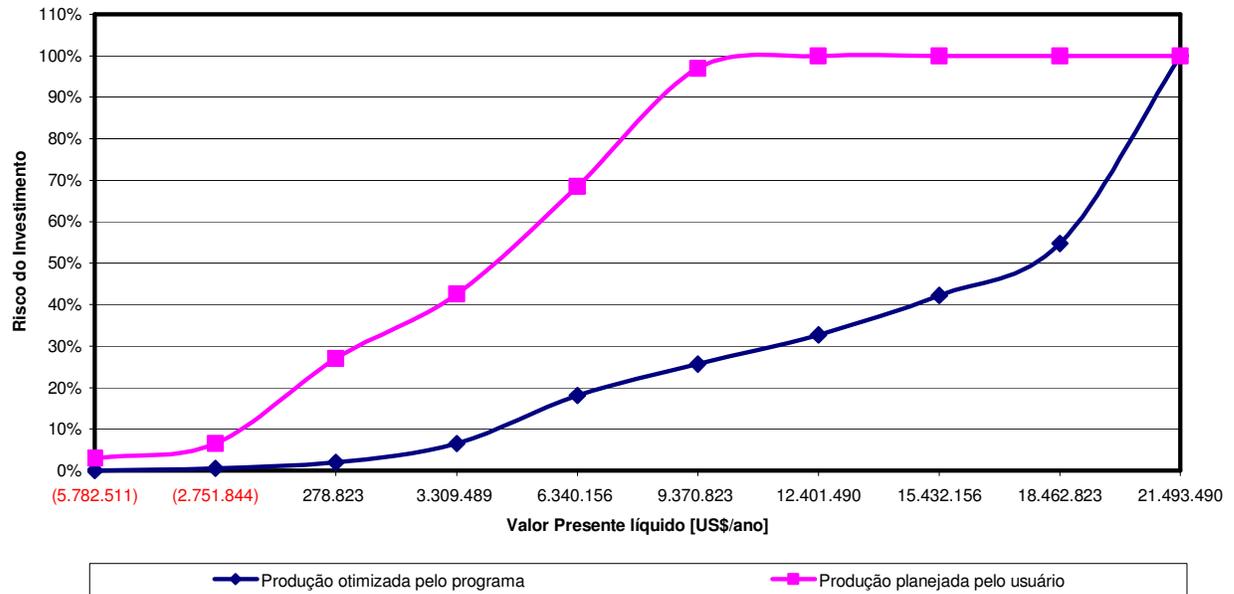


Figura V.11- Distribuição cumulativa de probabilidades para os valores presentes líquidos numa usina TCE-60



Obtendo a média e desvio padrão, teremos:

	PO	PP
VPL [US\$]	18.293.806	6.523.845

	PO	PP
D. PADRÃO	7.330.231	4.224.645

	PO	PP
P(VP<0)	0,63%	6,13%

O que significa que o projeto de diversificação de uma usina TCE – 60 apresenta chances de falha (Risco) da ordem de 0,63% se produzimos as quantidades anuais para cada produto calculadas pelo “Programa Diversificação” e, 6,13% de falha para uma produção planejada definida pelo usuário. Esta diferença mostra mais uma vez, a função do Programa Diversificação em otimizar as produções anuais por produto para atingir os maiores lucros líquidos e conseqüentemente, reduzir os riscos envolvidos nos investimentos.

Igualmente podemos obter o valor presente líquido médio, que representa o valor presente líquido da simulação de ganhos considerando os investimento. A dispersão medida pelo desvio padrão nos dá uma idéia da variabilidade envolvida no estudo de simulação.

O risco é uma medida muito subjetiva que varia de pessoa para pessoa. Como referência pode-se considerar um risco como “baixo”, quando este é inferior a 5%.



## CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES FINAIS

Finalmente, podemos tirar conclusões importantes com relação ao contexto econômico brasileiro para o cenário sucro-alcooleiro:

- A diversificação se justifica economicamente e poderia, em princípio, aumentar consideravelmente os lucros líquidos específicos de uma usina de açúcar convencional. Mas, para poder materializar este objetivo deverão ser alcançados novos paradigmas tecnológicos relacionados com a disponibilidade comercial das tecnologias BIG GT. No momento, se mostra mais atrativo a geração de eletricidade com tecnologias de turbinas extração-condensação com 60 Mpa de pressão devido aos menores riscos e maiores lucros alcançados.
- O uso da cana de açúcar como único alimento animal para o período de estiagem, seja ela pura ou na forma de bagaço “in Natura” ou hidrolisado, não se mostra como perspectiva viável, devido aos baixos ganhos de peso por animal dia e a baixa digestibilidade alcançada nas diversas experiências apresentadas neste trabalho. Mas, se torna uma alternativa muito atraente, a medida que se faz uma suplementação animal com outros ingredientes e usando a cana, na forma de bagaço hidrolisado, como volumoso mais importante da ração, especialmente para gado bovino confinado em fase de acabamento (a partir dos 300 kg de peso vivo).
- Fica de igual maneira em evidência, o grande potencial da co-geração no Brasil, sendo o bagaço de cana de açúcar o recurso de maior potencial de geração elétrica no momento. A alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucro-alcooleira, tem disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana de açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos estados das regiões Sul e Sudeste (ANEEL, 2002). Além disso, o período de safra da cana de açúcar coincide com o de estiagem nas principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro.
- Igualmente, o álcool aparece com perspectivas muito promissórias devido ao aumento do petróleo no mercado internacional e a conseqüente alta de preços da gasolina.
- É importante também, fazer análises econômicas que incluam a participação dos ganhos que



podem ser alcançados com a redução na emissão de carbonos pela co-geração de eletricidade e que representarão sem dúvida, um incentivo a mais para a “Diversificação Sucro-alcooleira”.



## BIBLIOGRAFIA

- CELSO BOIN e LUIS ORLINDO TEDESCHI, “Cana de Açúcar na Alimentação de Gado de Corte”, Anais do 5º Simpósio sobre Nutrição de Bovinos, FEALQ-Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1993.
- CASTRO, FERNANDO BASILE DE, “Avaliação do Processo de Digestão do Bagaço de Cana-de-Açúcar Auto-hidrolisado em Bovinos”. Diss. De Mestrado da ESALQ/USP, Piracicaba, 1989.
- ALVAREZ BALSALOBRE, MARCO ANTONIO; FERNANDES THOMAZ, RICARDO ALVES; SANTOS, PATRICIA MENEZES; “Corte e Transporte de Cana-de-Açúcar para Consumo Animal”, Anais do 7º Simpósio sobre Nutrição de Bovinos, FEALQ-Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1999.
- PRESTON, T. R., SANSOUCY, R., AARTS, G.; “La Caña de Azúcar como Pienso”, Estudio de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) sobre Producción y Sanidad Animal, Roma, 1988.
- FIGUEROA, V., “La Melaza como Recurso Alimenticio para Producción Animal”, Colección GEPLACEA (Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar), Serie: Diversificación, 1989.
- MUÑOZ, F., MORCIEGO, F., PRESTON, T. R., “Commercial fattening of bulls on molasses/urea, fish meal and restricted forage under feedlot conditions”, Ver cubana Ciencia Agrícola – Instituto de Ciencia Animal, 1970.
- ZAPATA CADAVID, A., “La caña de Azúcar para la Alimentación Animal de Rumiantes”, CIPAV (Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria), Cali-Colombia, 1990.
- BÜRGI, R., “Cana-de-açúcar”, Anais do 6º Simpósio sobre Nutrição de Bovinos, FEALQ-Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Outubro de 1995.
- NUSSIO, L. G., ALVARES BALSALOBRE, M. A., “Utilização de Resíduos Fibrosos da Industrialização da Cana-de-Açúcar na Alimentação de Bovinos”, Anais do 6º Simpósio sobre Nutrição de Bovinos, FEALQ-Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Outubro de 1995.
- RODRIGUEZ, L., “Utilização da Cana-de-Açúcar e de Subprodutos da Agroindústria Canavieira na Nutrição Animal”, Anais do 6º Simpósio sobre Nutrição de Bovinos, FEALQ-Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Outubro de 1995.



- COPERSUCAR – Informativos Técnicos, “Bagaço de Cana Hidrolizado, enriquecido com Levadura de Cana e Melaço – BALEME”, Piracicaba-SP, ano 1999.
- COPERSUCAR – Boletim Técnico, Auto-Hidrólise do Bagaço (BPH) visando preparo de rações para bovinos. Parte 1 – O Processo, Piracicaba-SP. Outubro de 1985.
- DAINA GUTMANIS, “Utilização do Bagaço Auto-Hidrolizado na Alimentação de Bovinos”, Seminário apresentado no curso de Pós-Graduação em Nutrição Animal e Pastagens, Piracicaba-SP, Maio de 1987.
- CAZAROTTO FILHO, Nelson e KOPITTKKE, Bruno H. *Análise de Investimentos*, 5º ed. Vértice, São Paulo, 1992.
- NEVES, César das. *Análise de Investimentos: Projetos Industriais e Engenharia Econômica*. Rio de Janeiro, Zahar, 1982.
- OLIVEIRA PAMPLONA, Edson e BARRA MONTEVECHI, José Arnaldo *Engenharia Econômica Avançada*, Apostila de Curso de Especialização em Qualidade e Produtividade, EFEI - 1998.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Linhas de Financiamento, <http://www.bndes.gov.br/>, Julho de 2000.
- Carpio, Ricardo C. , *Avaliação Técnico-econômica de Sistemas Avançados de Cogeração com Altos Parâmetros de Vapor no Setor Sucroalcooleiro Brasileiro*, Tese de Mestrado em Conversão de Energia – EFEI, 2000.
- Martins Eliseu. *Contabilidade de Custos*, 5º ed. Atlas, São Paulo, 1996.
- Carpio, R.C., Flavio N. T., Electo S. L. *Geração de energia elétrica em pequena escala utilizando ciclos a vapor e lenha como combustível – 4º Encontro de Energia no Meio Rural – Agrener 2002 – Campus da UNICAMP*.
- O campo, José Antonio, *Oportunidades para América Latina y el Caribe dentro Del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) – Seminario Regional CEPAL-Banco Mundial NSS. 20 – 21 de marzo 2001, Rio, Brasil*.
- Jean Acquatella, *Oportunidades para América Latina y el Caribe dentro del Mercado del Carbono – División Medio Ambiente, CEPAL UNCTAD Policy Fórum 30 – 31 agosto 2001, Rio, Brasil*.
- Conselho Empresarial Brasileiro para o desenvolvimento sustentável. [www.cebds.com](http://www.cebds.com)



## **ANEXO 1: FOTOS ILUSTRATIVAS**



**Figura 1 – Hidrolisador de Bagaço de Cana**



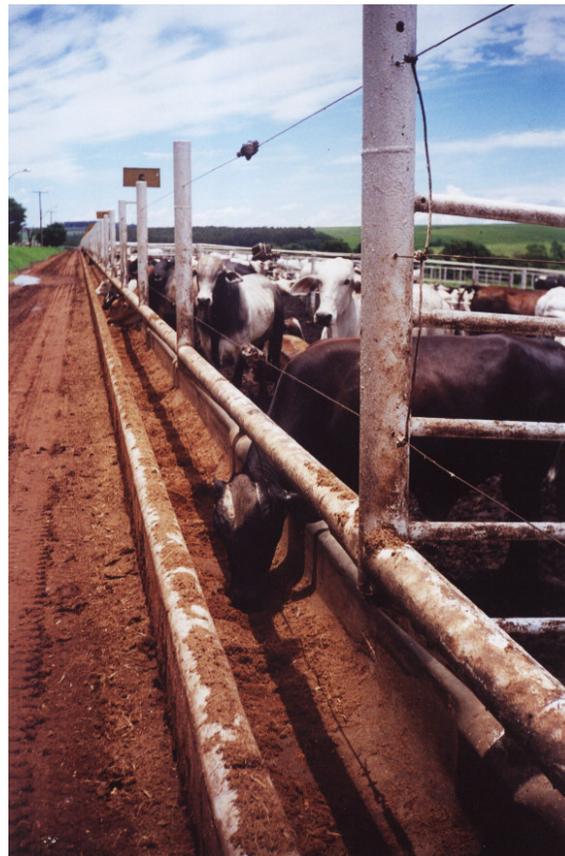
**Figura 2 – Misturador de Componentes de Ração Bovina a base de Bagaço Hidrolisado**



**Figura 3 – Carroceria especial para homogeneização de Ração a Base de Bagaço Hidrolisado**



**Figura 4 – Alimentação de Gado Bovino com ração a base de Bagaço Hidrolisado na própria Usina de Açúcar – Sistema “Boitel”**



**Figura 5 – Sistema “Boitel” (Hotel para Bois) na época da Entre Safra da Cana de Açúcar**



**ANEXO 2: BIOGRAFIA DO DR. THOMAS R. PRESTON**



## **Dr. Thomas R. Preston**



O Dr. Thomas Preston nasceu em Cumbria, ao Noroeste da Inglaterra, e foi criado numa família de fazendeiros. Estudou na Universidade de Newcastle e obteve o Doutorado com o trabalho realizado no Instituto Rowett Research em Aberdeen.

Ele viveu e trabalhou os últimos 38 anos em países tropicais desenvolvidos. Iniciou seus trabalhos em Cuba e depois em países como México, República Dominicana, Etiópia, Colômbia e mais recentemente no Vietnã.

Ele é conhecido na Inglaterra como o inventor da Cevada Intensiva – sistema de produção de carne nos anos 60. No entanto, durante sua estadia em Cuba, na época do bloqueio econômico americano, realizou uma produção intensiva de carne baseada em cereais que não eram viáveis economicamente, embora que, desde o ponto de vista ecológico, o trópico oferecia maiores potenciais de produção baseada em plantas indígenas, tais como a cana de açúcar. Ele tem consagrado seu tempo desenvolvendo Sistemas de Nutrição Animal utilizando recursos locais disponíveis não competitivos com as necessidades humanas.

A Fazenda Ecológica é a mais recente amostra do seu trabalho contínuo em desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis.



**ANEXO 3: FERRAMENTA DE OTIMIZAÇÃO DE LUCROS NA INDÚSTRIA  
SUCROALCOOLEIRA DIVERSIFICADA COM TURBINAS DE EXTRAÇÃO-  
CONDENSAÇÃO COM DUAS EXTRAÇÕES  
(Ver Manual da Ferramenta)**