# AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO VAPOR EM USINA DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE SUAS PRINCIPAIS UTILIDADES


BARSANULFO JACINTO XAVIER FILHO

YOLANDA VIEIRA DE ABREU

NÚCLEO EM INTERUNIDADES EM DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E ENERGÉTICO.UFT-TO-BR

MESTRADO EM AGROENERGIA DA UFT - TO - BRASIL


Digitized by Google

**Conselho Editorial Life Editora**

Prof. Dr. Amilcar Araujo Pereira
UFRJ/ Faculdade de Educação

Prof. Dr. Edgar César Nolasco
UFMS/ Campo Grande-MS

Prof. Dr. Gilberto José de Arruda
UEMS/ Unidade de Dourados

Prof. Dr. Matheus Wemerson G. Pereira
UFMS/Campo Grande-MS

Prof. Dr. Giovani José da Silva
UFMS/Campus de Nova Andradina

Profª. Dra. Helena H. Nagamine Brandão
Universidade de São Paulo - USP-SP

Profª. Dra. Joana Aparecida Fernandes Silva
UFG/Goiás

Prof. Dr. João Wanderley Geraldi
Universidade do Porto, Portugal/ INEDD/Universidade Siegen/Alemanha e Unicamp

Profª. Dra. Léia Teixeira Lacerda
UEMS/ Unidade de Campo Grande

Profª. Dra. Maria Cecília Christiano Cortez de Souza
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo

Profª. Dra. Maria Leda Pinto
UEMS/ Unidade de Campo Grande

Prof. Dr. Marlon Leal Rodrigues
UEMS/ Unidade de Campo Grande

O papel utilizado em nossos livros são biodegradáveis e renováveis. Provém de florestas plantadas que dão emprego a milhares de brasileiros e combatem o efeito estufa, pois absorvem gás carbônico durante o seu crescimento! A tinta utilizada na impressão das páginas é à base de soja, cujo componente é renovável e atóxico que não degrada o meio ambiente.

Digitized by Google

1ª Edição - Campo Grande - MS - Brasil - 2020

# AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DO VAPOR EM USINA DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA PRODUÇÃO DE SUAS PRINCIPAIS UTILIDADES

BARSANULFO JACINTO XAVIER FILHO
YOLANDA VIEIRA DE ABREU

NÚCLEO EM INTERUNIDADES EM DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E ENERGÉTICO.UFT-TO-BR

MESTRADO EM AGROENERGIA DA UFT - TO - BRASIL

Digitized by Google

Copyright © by **Barsanulfo Jacinto Xavier Filho**
**Yolanda Vieira de Abreu**

Direitos Autorais reservados de acordo com a Lei 9.610/98

**Coordenação Editorial**
Valter Jeronymo

**Revisão**
Os próprios autores

**Assistente de Coordenação**
Raquel de Souza

**Formatação**
Life Digital

**Projeto Gráfico**
Life Editora

**Associado**

**Life Editora**
Rua Américo Vespúcio, 255 - Santo Antonio
CEP: 79.100-470 - Campo Grande - MS
Fones: (11) 3508 1941 - Cel.: (67) 99297-4890
contato@lifeeditora.com.br • **www.lifeeditora.com.br**

lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora
lifeeditora

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Xavier Filho, Barsanulfo Jacinto
Abreu, Yolanda Vieira de

Avaliação Técnica e Econômica do uso do vapor em Usina de Cana-de-açúcar para Produção de suas principais utilidades / Barsanulfo Jacinto Xavier Filho e Yolanda Vieira de Abreu– Campo Grande, MS: Life Editora, 2020.

108p. : il. : 23 cm

ISBN 978-65-5887-027-2

1. Cana-de-açucar 2. Avaliação Econômica 3. Avaliação Técnica I. Título

CDD - 360

Proibida a reprodução total ou parcial, sejam quais forem os meios
ou sistemas, sem prévia autorização dos autores.

Digitized by Google

*Senhor, fortalecei meu conhecimento!*

Digitized by Google

*Dedicamos este trabalho a nossa família*
*e ao nossos queridos pais (in memoriam)*
*e a Deise, Francys e Stephanie.*

Digitized by Google

*Agradecemos a Deus todo poderoso que*
*nos ajudou e nos sustentou em tudo.*

*A CAPES pela bolsa de Mestrado.*
*Aos professores do Mestrado em Agroenergia (UFT)*

*Ao Peter Jais por disponibilizar*
*seus valiosos conhecimentos e*

*à Sugarsoft pelo uso gratuito dos softwares.*

*Os nossos amigos e família que nos*
*acompanhou nesse processo de aprendizagem.*

Digitized by Google

# Lista de Símbolos e Abreviações

| | |
|---|---|
| ANEEL | Agencia Nacional de Energia Elétrica |
| bar | unidade pressão |
| J: | Joule – unidade de calor |
| kcal: | Quilocaloria |
| kg/L: | Quilograma por litro |
| kg: | Quilograma |
| $kgf/cm^2$ | Unidade de pressão no Sistema Internacional |
| kgV/h | Quilo de vapor por hora |
| kj/kg: | Quilo joule por Quilograma |
| kJ: | Quilo joule |
| kW: | Quilo Watt – potência ativa |
| kWh: | Quilowatt-hora – unidade energia elétrica multiplicado por $10^3$ |
| L/ton | litro por tonelada |
| $m^2$: | Metro quadrado |
| $m^3/d$: | Metro cúbico por dia- unidade de volume por dia |
| $m^3$: | Metro cúbico – unidade volume |
| MW: | Mega Watt – unidade de potência ativa multiplicado por $10^6$. |
| MWh: | Mega Watt hora – unidade de energia elétrica multiplicado por $10^6$. |
| MWmédios | Mega Watt médios – unidade de potência ativa calculada pela média mensal de 730 horas. |
| ONS | Operador Nacional do Sistema |
| PCI: | Poder calorífico inferior. |
| PCS: | Poder calorífico superior |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| ton | tonelada |
| UTE | Usina Termo Elétrica |

Digitized by Google

# Nota dos Autores

A geração de energia elétrica, por meio de biomassa, vem evoluindo e aumentando a sua eficiência gradativamente, atingindo um nível de saturação, onde, se faz necessário um estudo atualizado do uso e distribuição do vapor na indústria sucroalcooleira, no sentido de se obter ainda mais eficiência e eficácia dos processos, considerando que os produtos finais ou utilidades dessa indústria são o etanol, o açúcar e a energia elétrica. Esta dissertação tem como meta realizar uma avaliação técnica e econômica do uso do vapor em usina de cana-de-açúcar, que utiliza o processo de cogeração de energia, tanto para atender suas necessidades industriais, como para produção de suas principais utilidades. Os métodos utilizados na pesquisa foram: exploratório, descritivo, explicativo, bibliográfico e quantitativo. Construiu-se uma Usina de Referência, por meio de valores médios de mercado da utilização do vapor e outras matérias primas. Realizou-se a análise de sensibilidade por meio das Usinas Hipóteses, utilizando-se o *software* BALANCE, para as simulações. Dentre as simulações inclui-se uma Usina Hipótese considerando o uso da palha para queima. Dentre as usinas simuladas escolheram-se as com melhor rendimento que passaram chamadas de Usinas Alpha 1, Alpha 2, Alpha Equilíbrio e de Alpha Equilíbrio + energia elétrica. Após a distribuição do vapor entre a produção de açúcar, etanol e energia elétrica encontraram-se o ponto de equilíbrio econômico e técnico operacional da usina de açúcar e etanol. A Alpha Equilíbrio + energia elétrica foi a que apresentou melhores resultados técnicos e econômicos, porque sem a necessidade de instalar ou adquirir equipamentos a mais para os processos, o resultado final obtido, foi de um rendimento a mais de 14%, garantindo uma maior produtividade e sustentabilidade na situação financeira das usinas de cana-de-açúcar.

**Observação:** Esse estudo foi defendido como dissertação no Mestrado em Agroenergia (UFT). Ao transformarmos em livro tomamos a liberdade de alterar a disposição de alguns itens ou capítulos.

Digitized by Google

# Sumário

12 - **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**
16 - **CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEÓRICO**
16 - 2.1. Usinas de produção de açúcar, etanol e energia elétrica: Produção de vapor e tecnologias termodinâmicas
16 - 2.1.1. Produção de vapor na usina.
17 - 2.1.2. Tecnologias termodinâmicas para produção de vapor: caldeira, turbinas e ciclos de cogeração
25 - 2.2. Softwares para cálculo do balanço térmico de massa e energia elétrica de usinas de cana de açúcar disponíveis no mercado
30 - 2.2.1. Definições dos principais parâmetros para simular o Software BALANCE
31 - 2.3. A importância dos produtos de cana de açúcar: energia elétrica, etanol e açúcar
34 2.4. A utilidade da energia elétrica da usina de cana de açúcar
36 - 2.5. A utilidade do etanol da usina de cana de açúcar

40 - **CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS**

45 - **CAPÍTULO 4. CONSTRUÇÃO DA USINA DE REFERÊNCIA E ELABORAÇÃO E SIMULAÇÕES DAS USINAS HIPÓTESES, PARA DETERMINAÇÃO DOS VALORES A SEREM UTILIZADOS PARA AS SIMULAÇÕES DEFINITIVAS DAS USINAS: ALPHA1, ALPHA2, ALPHA EQUILÍBRIO E ALPHA EQUILÍBRIO + ENERGIA ELÉTRICA**
62 - 4.1 Simulações das hipóteses de possíveis valores a serem utilizados para as simulações definitivas das Usina Alpha1, Usina Alpha2, Usina Alpha equilíbrio e Usina Alpha Equilíbrio mais energia elétrica
63 - 4.1.1. Simulações das Usinas Alphas
65 - 4.1.2. Simulações das Usinas Alphas, Equilíbrio e Equilíbrio + Bioeletridade e os cálculos técnicos e econômicos de cada.

84 - **CAPÍTULO 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**
84 - 5.1. Análise e Resultados
84 - 5.1.1. Análise da Usina Alpha1 em relação à Usina de Referência
86 - 5.1.2. Análise da Usina Alpha2 em relação à Usina de Referência
87 - 5.1.3. Análise da Usina Alpha Equilíbrio em relação à Usina de Referência
89 - 5.1.4. Análise da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica em relação à Usina de Referência

Digitized by Google

93 - **CAPÍTULO 6. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES**

95 - **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

99 - **ANEXO I**

Digitized by Google

# Introdução

As fontes renováveis de energia tem sido o centro de discussões da sociedade moderna, que está exigindo, cada vez mais, a substituição dos combustíveis fósseis por renováveis. Essa almejada troca e independência energética de combustíveis não renováveis, demanda uma análise detalhada do parque gerador de energia renovável, sendo a mais expressiva na Matriz Energética Nacional a energia elétrica, de origem das plantas industriais das usinas de açúcar e etanol.

A crise pela qual foi acometida a geração de energia no último biênio provocou desafios para os pesquisadores e técnicos, no intuito de buscar alternativas para o suprimento energético nacional. Essa conjuntura de problemas favorece a expansão da utilização de diversas fontes alternativas para a geração de energia, dentre elas a energia elétrica, utilizando a tecnologia dos processos de cogeração de energia elétrica.

Conforme a ANEEL (2008), para a obtenção de energia a partir da biomassa de cana de açúcar, são aplicadas várias rotas tecnológicas, sendo que todas têm como base a conversão de matéria prima, por meio de queima direta, obtendo-se o vapor vivo que é utilizado para produzir força motriz. A força mecânica aciona o gerador de energia que produz energia elétrica para o consumo próprio e, também, para a venda ao mercado.

O problema de ordem maior consiste em otimizar a usina de açúcar e etanol, no uso de suas rotas tecnológicas, uma vez que, as mesmas se encontram em nível de saturação elevado, fazendo-se necessário obter a máxima eficiência do uso da energia térmica, considerando-se os produtos finais da indústria sucroalcooleira: etanol, açúcar e a energia elétrica (PEREA,2005).

Notadamente as rotas tecnológicas de geração dessa energia elétrica, de uma maneira geral, também, são aplicadas em processos de cogeração que segundo ANEEL (2008) consiste na produção de dois



Digitized by Google

ou mais energéticos a partir de um único combustível para geração de energia elétrica utilizada por diversos setores. Na última década tornou-se um dos principais estímulos aos investimentos na geração de energia elétrica, a partir da cana-de-açúcar, por parte das usinas de açúcar e etanol. Segundo Oddone (2001, pág. 9) "Cogeração é definida como o processo de transformação de uma forma de energia em mais de uma forma de energia útil". O conceito amplo de cogeração é a geração simultânea, e combinada, de energia térmica ou mecânica, a partir de uma mesma fonte (BALESTIERI,1994; VELÁZQUEZ,2000; SANCHES,2003; LAMONICA,2007). A cogeração pode otimizar o aproveitamento de resíduos industriais, para a geração de energia elétrica, sendo as mais frequentes: a térmica para geração de vapor, frio ou calor atendendo os processos industriais e a energia mecânica para movimentação de máquinas, equipamentos e turbinas para geração de energia elétrica. Os seguimentos que mais utilizam os processos de cogeração são o de açúcar e etanol, papel e celulose, química e petroquímica e siderurgia e outros. No Brasil o seguimento que mais prosperou no uso da cogeração foi o das usinas de açúcar e etanol, onde o bagaço da cana-de-açúcar é subproduto do processo industrial (VELAZQUEZ,2000). O crescimento do volume dessa energia elétrica deveu-se muito a implantação de um instrumento básico à efetiva competição nos segmentos de geração e comercialização de energia elétrica que é o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição (ONS, 2015), que tem propiciado o ingresso de agentes produtores em regiões geoelétricas complexas.

Os produtores de energia elétrica, utilizando-se dos processos de cogeração beneficiaram-se da desverticalização do setor de energia, via reestruturação do setor na década de 1990, uma vez que se abriu a possibilidade de compra e venda de excedentes desta energia, bem como do vapor e outros derivados de processos oriundos de cogeração.

Esta dissertação tem como meta realizar a avaliação técnica e econômica do uso do vapor em usina de cana-de-açúcar para produção de suas principais utilidades.

Este tema se justifica porque conforme Bressan Filho (2009), desde a crise instaurada no setor sucroalcooleiro em meados de 2008,


Digitized by Google

tem-se discutido suas causas e uma delas está associada à conduta, possivelmente, inadequada do planejamento da central termoelétrica nas usinas, por meio da alocação indevida do vapor fornecido pela cogeração de energia, afetando sua ótima utilização e a produção dos seus principais portfólios de produtos: açúcar, etanol e energia elétrica.

O problema que foi pesquisado neste estudo com o fim de ser apresentado as possíveis soluções na conclusão deste. Esse problema foi o seguinte: Qual o ponto de equilíbrio técnico e econômico da utilização do vapor gerado no processo de cogeração no setor sucroalcooleiro, considerando a produção de açúcar e etanol e a geração de energia elétrica?

Os objetivos que norteiam esse estudo é o de identificar o ponto de equilíbrio técnico e econômico, da destinação e utilização do vapor gerado no processo de cogeração, para a destilação do etanol (hidratado e anidro), fabricação de açúcar e geração de energia elétrica.

Foi decidido construir os objetivos específicos de forma a sistematizar o caminho escolhido para resolver o problema proposto. Assim sendo o 1) Construir uma Usina de Referência, de açúcar, etanol e energia elétrica, a partir de dados coletados do Banco de Informações da Geração (BIG). Calcular a média dos dados das usinas do Estado de São Paulo e usar os mesmos como parâmetros técnicos para simular no *software* BALANCE; 2) Elaborar simulações com as Usinas Hipóteses, considerando os mesmos dados técnicos da Usina de Referência, oscilando somente as porcentagens entre as utilidades açúcar, etanol. Essas simulações são para determinar os parâmetros de destinação do caldo e do vapor entre as utilidades que serão utilizadas nas simulações das Usinas Alphas que identificarão o ponto de equilíbrio técnico e econômico e 3) Analisar os dados das simulações das Usinas Alphas e propor a operacionalização ótima do processo e comparar os resultados com a Usina de Referência.

A estrutura deste estudo foi dividida em seis capítulos, sendo este o primeiro. O segundo versa sobre o referencial teórico, abordando vapor utilizado nos processos de cogeração de energia elétrica em Usinas de açúcar e etanol, geradores de vapor, turbinas a vapor, processos de



Digitized by Google

cogeração e softwares aplicados. O terceiro capítulo contempla o material e métodos utilizados na dissertação. O quarto capítulo refere-se à construção da Usina Referência e a elaboração e simulações das Usinas Hipóteses, O quinto capítulo refere-se à resultados e discussão. O quinto contém a conclusão e as recomendações.


Digitized by Google

# Capítulo 2

# Referencial Teórico

## 2.1 Usinas de produção de açúcar, etanol e energia elétrica: produção de vapor e tecnologias termodinâmicas.

### *2.1.1 Produções de vapor na Usina*

Pode-se considerar que a geração de vapor é a realização da transferência dos gases quentes, de uma caldeira ou gerador de vapor para água (Nogueira *et al* 2005). Conforme Higa (2005), nas usinas de cana-de-açúcar, a matéria prima passa pelo processo de moagem, extraindo-se o caldo para produção de açúcar e etanol, sendo que o bagaço da cana ao ser queimado na caldeira produz o vapor. Tal vapor produzido é direcionado às turbinas que fornecerão potência para o funcionamento dos demais equipamentos como: gerador de energia elétrica, turbo-bombas, moendas. O vapor de escape destas turbinas, já com pressões e temperaturas reduzidas, servirá como fonte de calor nos processos industriais. Esses processos de geração de vapor e de energia elétrica em conjunto, podem-se considerar como processos de cogeração.

Segundo a ANEEL (2015), a definição de Cogeração é:

> Processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária. Resolução Normativa ANEEL n. 235, de 14 de novembro de 2006 (Diário Oficial, de 22 nov. 2006, seção 1, p. 78)

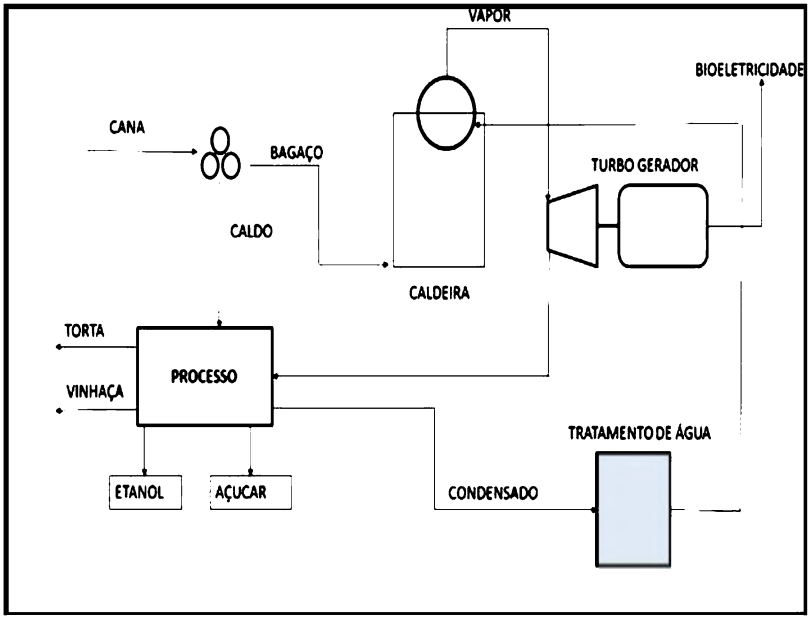
A instalação específica da produção das utilidades é denominada de central termelétrica cogeradora, cujo ambiente não se confunde com o processo ao qual está conectada, sendo que, excepcionalmente a cogeração poderá alcançar a fonte e as utilidades no processo. A energia



Digitized by Google

eletromecânica ocorre entre a fonte de calor e a transformação para obtenção de energia mecânica. Obtém-se como resultado a interdependência entre geração de potência e integração térmica. Esse processo de geração de vapor pode ser direcionado para o consumo de vapor para as utilidades, podendo-se maximizar a geração de energia ou a demanda térmica no processamento do caldo que servirá de base para a produção de etanol e açúcar. Essa distribuição do vapor de escape da turbina entre as utilidades é otimizada em função da escolha da tecnologia de geração de potência (ANEEL,2015).

Figura 2.1: Diagrama de geração de potência e consumo de vapor.




Fonte: elaboração própria.

Observa-se que na Figura 2.1, o vapor primeiro é direcionado à turbina produzindo energia elétrica e logo após o vapor de escape, já com temperatura e pressão menor, é destinado aos processos industriais para produção de açúcar e etanol e processos complementares.

### 2.1.2 Tecnologias termodinâmicas para produção do vapor: Caldeiras, Turbinas e Ciclos de Cogeração.



Digitized by Google

Conforme Neto e Ramon (2002), a transformação de energia mecânica ou, por meio da energia química contida nos combustíveis, somente é aproveitado utilizando equipamentos e processos específicos. A transformação de energia térmica em energia mecânica, processo fundamental de um termo, é realizada por diferentes equipamentos cuja construção é baseada em alguns dos diversos ciclos termodinâmicos. Portanto, a seguir serão descritos os seguintes equipamentos e processos: a) Gerador de vapor: caldeira; b) Turbina; c) Ciclos de cogeração.

**a) Gerador de vapor: Caldeiras**

Segundo Martinelli Jr (2003), gerador de vapor é um aparelho térmico capaz de produzir vapor a partir do aquecimento de um fluido vaporizante, na prática conhecido como Caldeira, podendo ser aquotubulares ou flamotubulares.

Segundo Nogueira e Lora (2003, p.82),

> Nas caldeiras aquotubulares a água a ser vaporizada circula pelo interior dos tubos, que recebem calor externamente dos gases resultantes da combustão da biomassa. Nesta concepção é possível obter grandes volumes de vapor, inclusive superaquecido e a pressões elevadas....
> ..... Com o desenvolvimento da tecnologia de construção de caldeiras, existem hoje diferentes tipos de caldeiras para biomassa..... a) tubos retos, b) tubos curvos com vários tambores, c) convectiva de dois tambores e d) radiante.

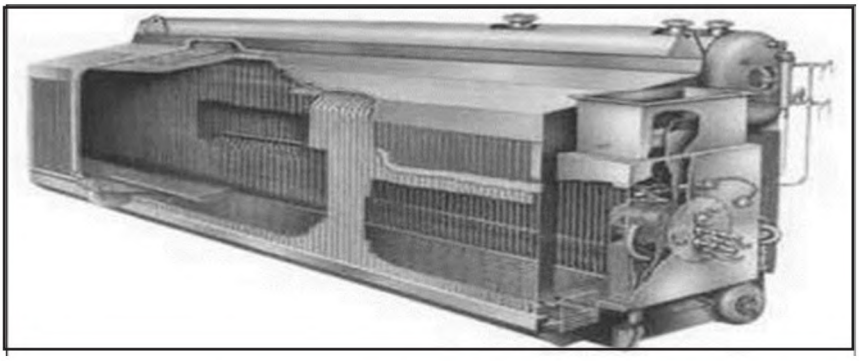
Conforme Martinelli Jr (2003), as caldeiras conhecidas como Caldeiras Tubos de Água ou Aquotubulares se caracterizam pelo fato dos tubos situarem-se fora dos tubulões da caldeira (tambor) constituindo com estes um feixe tubular. Diferenciam-se das flamotubulares pelo fato da água circular no interior dos tubos e os gases quentes se entram em contato com sua superfície externa. São empregadas quando interessa obter pressões e rendimentos elevados, pois os esforços desenvolvidos nos tubos pelas altas pressões são de tração em vez de compressão, como ocorre nas pirotubulares, e também pelo fato dos tubos estarem fora do corpo da caldeira obtem-se superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas.



Digitized by Google

As Caldeiras de Tubos Retos possuem tambor transversal ou longitudinal, estas caldeiras são utilizadas devido a facilidade de acesso aos tubos para fins de limpeza ou troca, causarem pequena perda de carga, exigirem chaminés pequenas, e porque também todos os tubos principais são iguais necessitando de poucas formas especiais.

Figura 2.2: Caldeira de tubo reto com tambor longitudinal.



Fonte: Martinelli Jr (2003).

A Figura 2.2, mostra um exemplo de caldeira aquotubular com tubos retos de tambor longitudinal. Os tubos de água, são inclinados de aproximadamente 22º, sendo ligados nas extremidades aos coletores também chamados câmaras onduladas, formando com o tubulão um circuito fechado por onde circula a água que entra pela parte inferior do tambor, desce pelo interior do coletor posterior e sobe pelos tubos inclinados onde se forma o vapor. A mistura de vapor e água ascende rapidamente pelo coletor frontal, retornando ao tambor onde tem lugar a separação entre o vapor e a água. Esta caldeira pode ser adaptada à geração de energia elétrica e possui um apreciável volume de água, fator importante para várias aplicações. Seu inconveniente se restringe no fato de que os tubos terminam em coletores cujas paredes devem estar em esquadro com a linha central dos tubos para que as juntas de vapor possam se encaixar aos extremos dos tubos contra as paredes dos coletores, e por possuírem baixa vaporização específica.

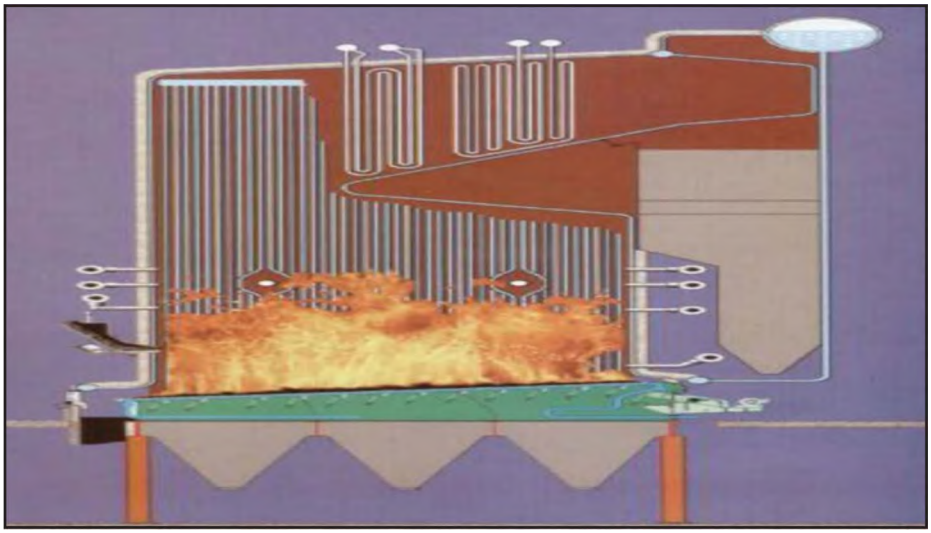
As Caldeiras Aquotubular são compostas por tubos curvos ligados aos tambores e suas concepções iniciais possuíam quatro e até cinco



Digitized by Google

tambores. A utilização de vapor em centrais térmicas exigia geradores de grande capacidade de produção e com isto as caldeiras de tubos curvos, devido à sua ilimitada capacidade de produzir vapor, tomaram uma posição de grande importância para casos desta natureza. Com o maior proveito do calor gerado, além de reduzir o tamanho da caldeira, promove-se uma vaporização mais rápida e aumenta-se a vida do revestimento das câmaras de combustão (MARTINELLI JR, 2003).

Figura 2.3: Caldeira Aquotubular com Tambor transversal.



Fonte: Martinelli Jr (2003)

Para a caldeira da Figura 2.3, a diferença de pesos específicos da água de alimentação fria, com a água aquecida e misturada com bolhas de vapor promove uma circulação natural da água no interior dos tubos (MARTINELLI JR, 2003).

As caldeiras de vapor são os geradores de vapor mais simples, queimando os combustíveis e atuando como fonte geradora de calor. As Caldeiras de Recuperação são aqueles geradores que não precisam utilizar os combustíveis como fonte geradora de calor, aproveitando o calor residual de processos industriais (gás de escape de motores, gás de alto forno, de turbinas, etc.). As Caldeiras de Água Quente são aqueles em que o fluido não vaporiza, sendo o mesmo aproveitado em fase líquida

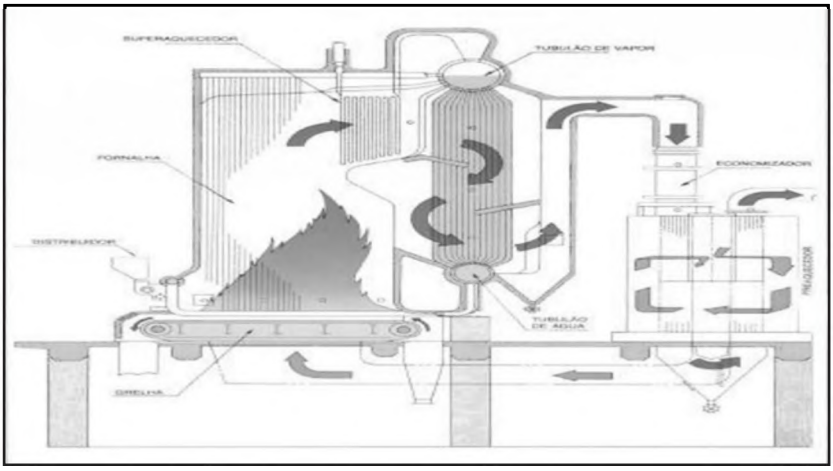


Digitized by Google

(calefação, processos químicos) (NOGUEIRA e LORA, 2003).

A Figura 2.4, mostra o tipo de caldeira aquotubular fixa, vertical que é a mais utilizada nas usinas sucroalcooleiras

Figura 2.4: Caldeira Aquotubular, Fixa, Vertical.




Fonte: Martinelli Jr (2003).

As vantagens deste tipo de caldeira em relação às outras, é que não necessita de amplo espaço para sua instalação, não necessita de altas quantidades de vapor, é de fácil manutenção e operação, sendo aplicada principalmente quando se usa um combustível de baixo poder calorifico inferior, como é o caso do bagaço de cana.

Em resumo, as caldeiras aquotubulares são empregadas quase exclusivamente quando interessa obter elevadas pressões, grandes capacidades e altos rendimentos.

**b) Turbinas a vapor**

Segundo Perea (2005) as turbinas a vapor são equipamentos que convertem energia térmica em energia motriz e são classificadas em turbinas de ação, turbinas de reação e turbinas mistas, conforme o modo de ação do vapor sobre as palhetas, com referência ao vapor de escape em: contrapressão e condensação, com relação ao número de estágios em: simples estágio e multiestágios. Conforme Sanches (2003) a utili-



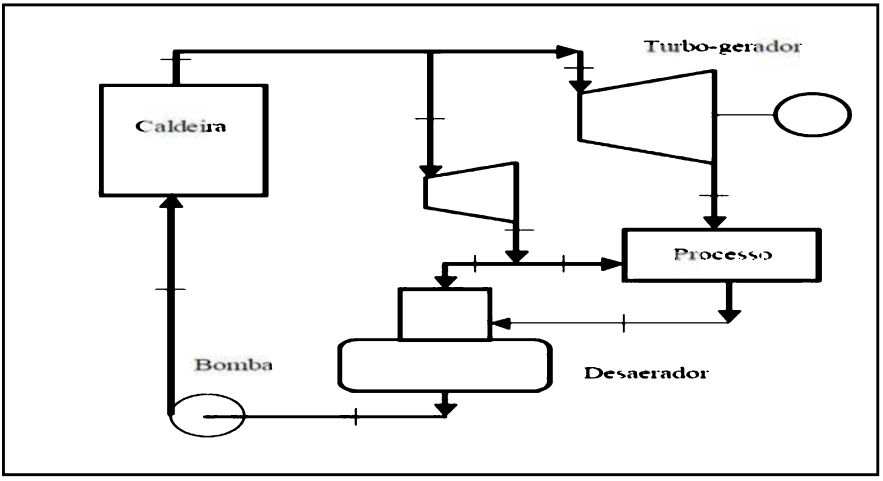
Digitized by Google

zação das turbinas a vapor como máquinas térmicas, são vinculados a três configurações fundamentais, o aspecto comum de todas, consiste no aproveitamento do conteúdo energético do vapor gerado na estação geradora para o acionamento da turbina e consequente geração de potência. A condensação de uma parte do vapor de escape, ou de uma extração de vapor de uma turbina de extração-condensação, garante as necessidades de energia em forma de calor do sistema. As configurações são três:

- Turbinas de contrapressão.
- Combinação de turbinas a vapor de contrapressão com turbinas de condensação que
- empregam fluxo excedente.
- Turbinas de extração-condensação dotadas de sistemas de regulação automáticos.

Como pode-se observar na Figura 2.5, a representação gráfica de um esquema de geração de calor e energia elétrica, em um processo trabalhando em regime de cogeração, empregando uma turbina de contrapressão. Este é o esquema, típico da Indústria Sucro-alcooleira Brasileira, sendo que a característica da geração de energia é determinada pelas variações da demanda da energia em forma de calor de processo.

Figura 2.5: Diagrama de um sistema de cogeração com turbina de vapor de contrapressão




Fonte: Sanches (2003).

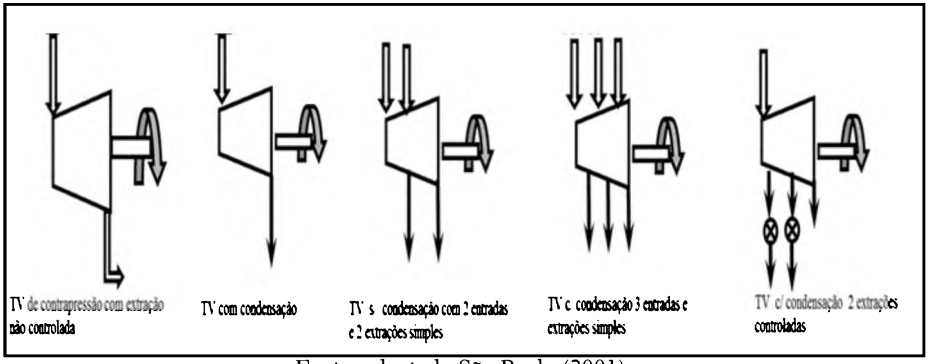


Digitized by Google

A vantagem da aplicação desta configuração é contribuir para se obter excedentes de eletricidade para comercialização. Este sistema tem melhores resultados, quando o consumo de calor, na planta industrial, necessita de vapor de baixa pressão. Este aspecto constitui o critério mais apropriado para determinar o uso de turbinas a vapor numa instalação de cogeração. Outra vantagem é que a indústria necessita de diversos níveis de pressão e realizando a combinação de turbinas a vapor de contrapressão, com turbinas de condensação tem-se uma maior flexibilidade para obter excedentes de energia elétrica para a venda, assim como calor para o processo. A desvantagem são os custos aliados à complexibilidade operativa (SANCHES, 2003).

A Figura 2.6 mostra alguns dos tipos de turbinas a vapor usualmente utilizadas em instalações de cogeração.

Figura 2.6: Tipos de turbinas a vapor.




Fonte: adaptado São Paulo (2001).

De acordo com a fabricante de turbinas TGM (2015) as turbinas a vapor, são elaboradas com tecnologia de reação e multiestágios, sendo disponíveis com extração controlada ou não, podendo operar com até 140 bar de pressão, 540°C máxima de temperatura e 150 MW de potência máxima.

**c) Ciclos de cogeração de energia elétrica.**

De acordo com Neto e Ramon (2002) a utilização sequencial do vapor em sistemas de cogeração, seja ela proveniente de um combustível utilizado em uma máquina térmica ou de um processo industrial, permite a classificação das configurações dos ciclos de cogeração em "*topping*" (em português, denominado montante) quando a geração de eletricidade antecede o fornecimento de calor útil e "*botoming*" (jusante) quando a



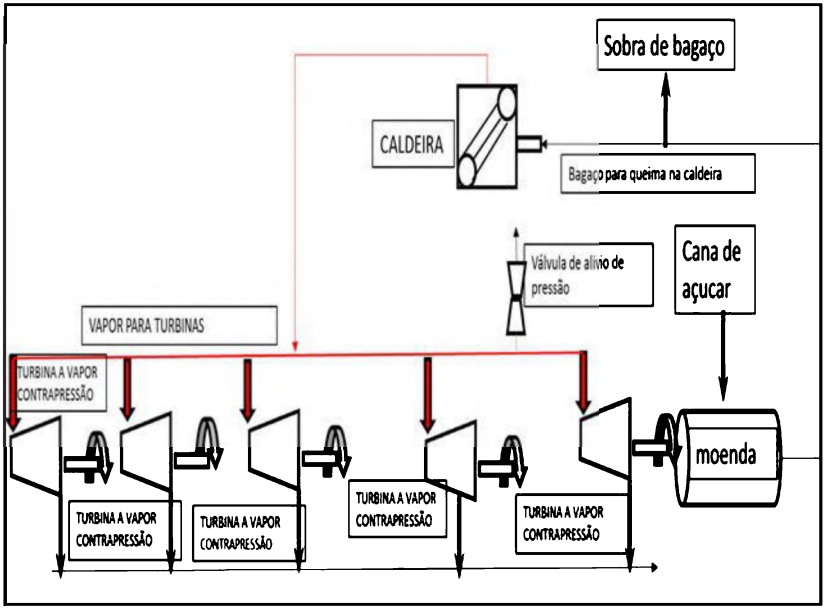
Digitized by Google

geração está situada após a demanda térmica, definindo os ciclos como:

> i. Configuração Topping
> Nesta configuração o combustível é queimado primeiramente em uma máquina térmica para produção de energia mecânica ou e o calor rejeitado e utilizado sob a forma de calor útil em um processo. O calor fornecido pode ser usado em processos variados para aquecimento e refrigeração;
> ii. Configuração Bottoming
> Aqui a energia térmica rejeitada de processos industriais, normalmente através de gases de exaustão provenientes de reações químicas, fornos, fornalhas ou mesmo de uma máquina térmica, é aproveitada em caldeiras recuperadoras para gerar vapor. Este vapor será utilizado como fluido de acionamento em um turbogerador para produzir energia mecânica. (Neto; Ramon, 2002, pag. 68).

Conforme Perea (2005), o ciclo de cogeração aplicado no setor sucroalcooleiro é do tipo "*topping*" e sua principal vantagem é que não utiliza o calor rejeitado de processos industriais, sendo que o ciclo "*bottoming*" apenas faz sentido quando se dispuser de volume significativo de calor residual. Conforme pode ser observado na figura 2.7.

Figura 2.7: Ciclo de cogeração "topping" do setor sucroalcooleiro.




Fonte: Neto e Ramon (2002).



Digitized by Google

O vapor ao ser gerado na caldeira é direcionado as turbinas a vapor de contrapressão para o acionamento de equipamentos e principalmente para a geração de energia elétrica.

## 2.2 *Softwares* para cálculo do balanço térmico de massa e energia elétrica de usinas de cana-de-açúcar disponíveis no mercado.

A empresa Sugarsoft é detentora dos *softwares* BALANCE, BIOCOGEN e SUCROL, que estão disponíveis no mercado, cuja modelagem computacional destina-se ao cálculo de um balanço interativo de massa e vapor de uma planta de açúcar, etanol e energia elétrica. Estes foram construídos a partir de modelos termodinâmicos específicos para os equipamentos e processos das Usinas, contendo métodos de resolução de balanço de massa, energia elétrica e exergia. Estes são destinados a consultores para análise de *performance* de usina no presente e para futuras melhorias e otimização dos equipamentos e utilidades.

Tais produtos foram elaborados pela empresa Sugarsoft, que é empresa brasileira de consultoria, projeto e *software* dedicado a tecnologia de açúcar e etanol, fundada por Peter Charles Jais (SUGARSOFT, 2015). A escolha destes produtos foi realizada tendo como base sua eficiência e interface com o objetivo analisado e o agente utilizador. Outra situação é a quantidade de empresas e países que já o utilizaram e obtiveram sucesso em suas analises, como pode ser visto na tabela 2.1.

O *software* Sucrol evolui-se e hoje está incorporado no BALANCE, a seguir serão descritos os *softwares* da empresa Sugarsoft que podem ser utilizados para as simulações de vapor e energia elétrica: I) BALANCE; II) BIOCOGEN.

### I) BALANCE

O *Software* Interativo BALANCE tem como principal função facilitar o processo de tomada de decisões em mudanças técnicas de uma indústria sucroalcooleira. Este, também, tem a capacidade de realizar cálculos que levam em consideração o impacto no balanço geral, como produção e lucratividade. Por se tratar de um *software* 100% dedicado, aceita variáveis de acordo com os objetivos ou realidade da usina,


Digitized by Google

podendo assim ser utilizado em operações ou projetos. Uma vez que tem a capacidade de identificar possíveis melhorias e investimentos com maior precisão, visualizando do impacto do balanço global da Usina (SUGARSOFT, 2015). Os parâmetros utilizados para os cálculos de produção dos principais produtos de uma Usina que são açúcar e etanol, dentro do BALANCE, conforme tabela 2.2.

Tabela 2.1: Relação de clientes que utilizaram ou adquiriram os softwares da Sugarsoft

| Empresa | País | Ano |
|---|---|---|
| Banco Morgan Stanley | USA | 2009 |
| Accenture | Nigéria | 2008 |
| ECS / WA Gov. | Austrália | 2008 |
| Global Energy Ventures | Jamaica | 2008 |
| Maple Ethanol | Peru | 2008 |
| Usina Alur (Ancape - Gov) | Uruguay | 2008 |
| Liberian Ethanol Corp | Libéria | 2008 |
| Corseragro | Venezuela | 2008 |
| Grupo Vicini | Dominicana República | 2008 |
| Usina Branco Peres | Brasil | 2008 |
| Dedini | Brasil | 2008 |
| CSJ | Brasil | 2008 |
| Gombe State Gov. | Nigéria | 2008 |
| Maple Ethanol | Peru | 2007 |
| Global Energy Ventures | Jamaica | 2007 |
| Liberian Ethanol Corp | Libéria | 2007 |
| Ingenio Caie | Dominicana República | 2007 |
| Ingenio Cristobal Colon | Dominicana República | 2007 |
| Boca Chica | Dominicana República | 2006 |
| Usina Alur (Ancape Gov) | Uruguay | 2006 |
| ECS Western | Austrália | 2006 |
| Accenture | Nigéria | 2006 |
| Usina Ferrari | Brasil | 2005 |
| Usina Planeta Verde | Brasil | 2003 |
| State government of Taraba | Nigéria | 2003 |
| State government of Gombe | Nigéria | 2003 |
| Usina Bom Retiro | Brasil | 2003 |
| Central Cumanacoa | Venezuela | 2003 |
| Ingenio San Aurélio | Bolívia | 2002 |
| Central Venezuela | Venezuela | 2001 |
| Yousaf Sugar Mill | Paquistão | 2001 |
| Usina Branco Peres | Brasil | 2000 |
| Usina São João | Brasil | 2000 |
| Central San Jacinto | Peru | 2000 |
| Ingenio Cristobal Colon | Dominicana República | 1998 |
| Ingenio Caie | Dominicana República | 1998 |
| Dedini | Brasil | 1998 |
| Usina Aralco | Brasil | 1998 |

Fonte: Sugarsoft (2015)



Digitized by Google

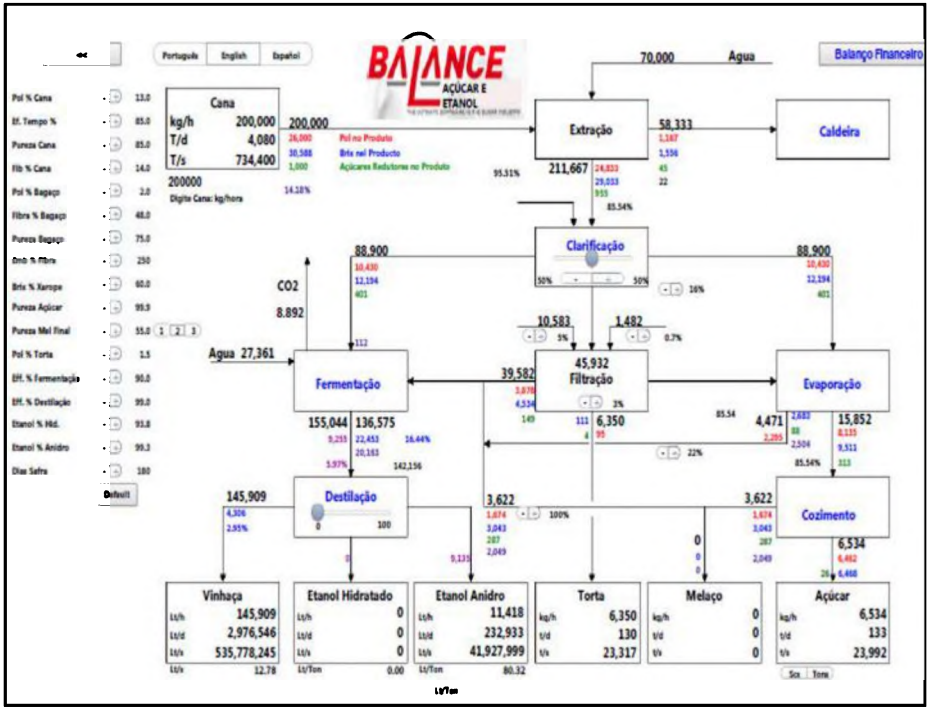
Tabela 2.2: Parâmetros de cálculos de produção do *software* BALANCE.

| | | |
|---|---|---|
| cana: kg/hora | Fibra % bagaço | Pol % torta |
| Pol % cana | Pureza bagaço | Eficiência % fermentação |
| Eficiência Tempo % | Embebição % Fibra | Eficiência % Destilação |
| Pureza da cana | Brix % xarope | etanol % hidratado |
| Fibra % cana | Pureza açúcar | etanol % anidro |
| Pol % bagaço | Pureza Mel Final | Dias de Safra |

Fonte: Sugarsoft (2015)

Os produtos finais apresentados no *software* são as quantidades de produção e cálculos de valores físicos e econômicos, dependentes de inserção de dados pelo pesquisador, são: Vinhaça, etanol hidratado, etanol anidro, Torta, Melaço, açúcar. Este *software* somente mostra o mapa de resultados do fluxo das simulações sendo necessário o pesquisador ou consultar inserir dados chaves, como por exemplo: Fibra da cana, Fibra do bagaço, Dias de Safra e os outros dados serão automaticamente atualizados. Figura 2.8 mostra o *lay out* do *software* BALANCE, seus parâmetros e interface.

Figura 2.8: Lay out do software BALANCE




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

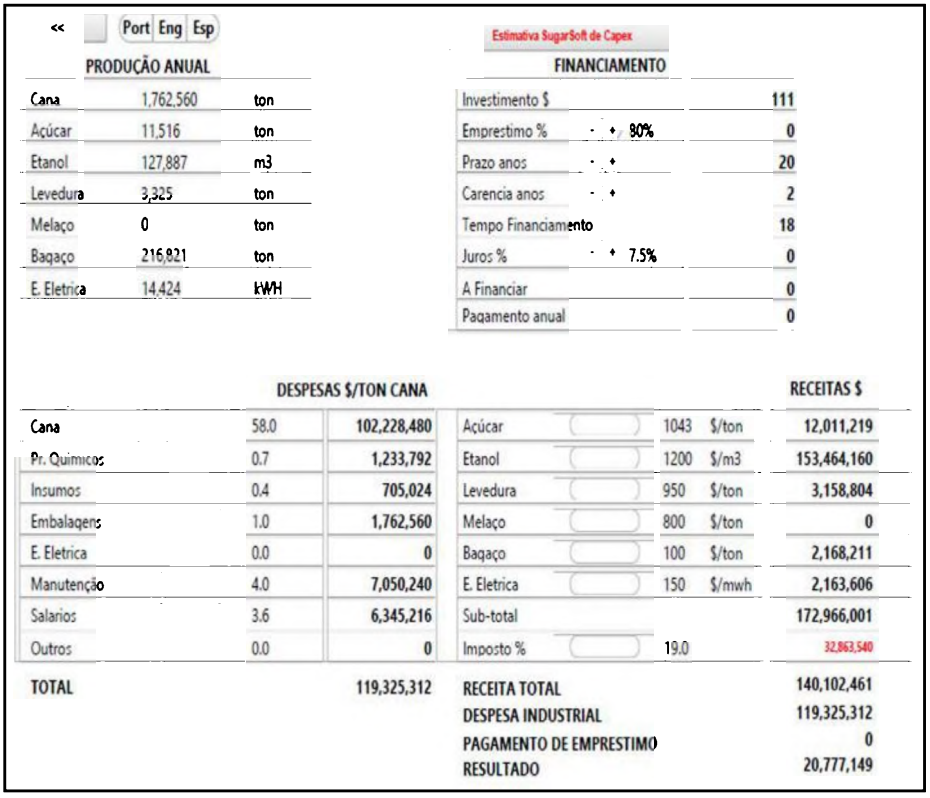


Digitized by Google

Processo na indústria começa com moagem da cana em (kg/h) ou seja, a extração do caldo que passa por uma clarificação, sendo então direcionado para a transformação em etanol e para a fabricação de açúcar. No processo de transformação de etanol é feito a fermentação que em seguida passa-se para a destilação e obtêm-se os produtos: etanol hidratado, etanol anidro e a Vinhaça. No processo de transformação do açúcar, passa-se pelo processo de evaporação e seguida o cozimento da massa e finalmente a fabricação dos cristais de açúcar.

Os cálculos financeiros de receita e Despesas podem ser calculados pelo *software* BALANCE desde que o pesquisador insira os dados necessários. A Tabela 2.3, mostra o fluxograma de receitas e Despesas de uma usina a partir da quantidade de cana que entra no processo, em função da moagem da cana por safra são determinadas as quantidades de açúcar, etanol, levedura, bagaço e energia elétrica.

Tabela 2.3: Modelo de fluxo de receitas e Despesas do software BALANCE.



| << | Port Eng Esp | | Estimativa SugarSoft de Capex | | |
|---|---|---|---|---|---|
| PRODUÇÃO ANUAL | | | FINANCIAMENTO | | |
| Cana | 1,762,560 | ton | Investimento $ | | 111 |
| Açúcar | 11,516 | ton | Emprestimo % | 80% | 0 |
| Etanol | 127,887 | m3 | Prazo anos | | 20 |
| Levedura | 3,325 | ton | Carencia anos | | 2 |
| Melaço | 0 | ton | Tempo Financiamento | | 18 |
| Bagaço | 216,821 | ton | Juros % | 7.5% | 0 |
| E. Eletrica | 14,424 | kWH | A Financiar | | 0 |
| | | | Pagamento anual | | 0 |

| DESPESAS $/TON CANA | | | | | | | RECEITAS $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cana | 58.0 | 102,228,480 | Açúcar | 1043 | $/ton | | 12,011,219 |
| Pr. Quimicos | 0.7 | 1,233,792 | Etanol | 1200 | $/m3 | | 153,464,160 |
| Insumos | 0.4 | 705,024 | Levedura | 950 | $/ton | | 3,158,804 |
| Embalagens | 1.0 | 1,762,560 | Melaço | 800 | $/ton | | 0 |
| E. Eletrica | 0.0 | 0 | Bagaço | 100 | $/ton | | 2,168,211 |
| Manutenção | 4.0 | 7,050,240 | E. Eletrica | 150 | $/mwh | | 2,163,606 |
| Salarios | 3.6 | 6,345,216 | Sub-total | | | | 172,966,001 |
| Outros | 0.0 | 0 | Imposto % | 19.0 | | | 32,863,540 |
| TOTAL | | 119,325,312 | RECEITA TOTAL | | | | 140,102,461 |
| | | | DESPESA INDUSTRIAL | | | | 119,325,312 |
| | | | PAGAMENTO DE EMPRESTIMO | | | | 0 |
| | | | RESULTADO | | | | 20,777,149 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

De acordo com a Tabela 2.3, os parâmetros considerados para as Despesas são: cana com 58%, produtos químicos com 0,7%; insumos 0,4%; embalagens 1,0%; manutenção 4,0%; salários 3,6%. Os parâmetros contemplados na receita são: açúcar, etanol, levedura, melaço, bagaço e energia elétrica.

## II. BIOCOGEN

O *software* Interativo BIOCOGEN, desenvolvido pela empresa Sugarsoft, consiste em um produto que faz a simulação de um balanço de massa e energia elétrica de uma usina de açúcar e/ou etanol com excedentes de geração de energia elétrica para venda. Nas simulações a prioridade são os dados de oferta e demanda de vapor e energia elétrica.

Considera-se que todo o bagaço é queimado e parte da palha pode ser também, porém a quantidade de palha que poderá ser queimada em conjunto com o bagaço, dependerá de sua quantidade e da sua umidade. O programa considera que a palha tem propriedades semelhantes ao bagaço.

A geração de energia elétrica, principal foco do BIOCOGEN, está dividida em duas partes A e B. A primeira parte é a cogeração que é devido ao vapor necessário para a planta industrial. A parte B é dividida em duas etapas, uma é a geração de energia elétrica destinada a uso própria da Usina e a outra é parte é o excedente que é vendido para a Concessionária de Energia local.

O vapor é dividido em duas partes:

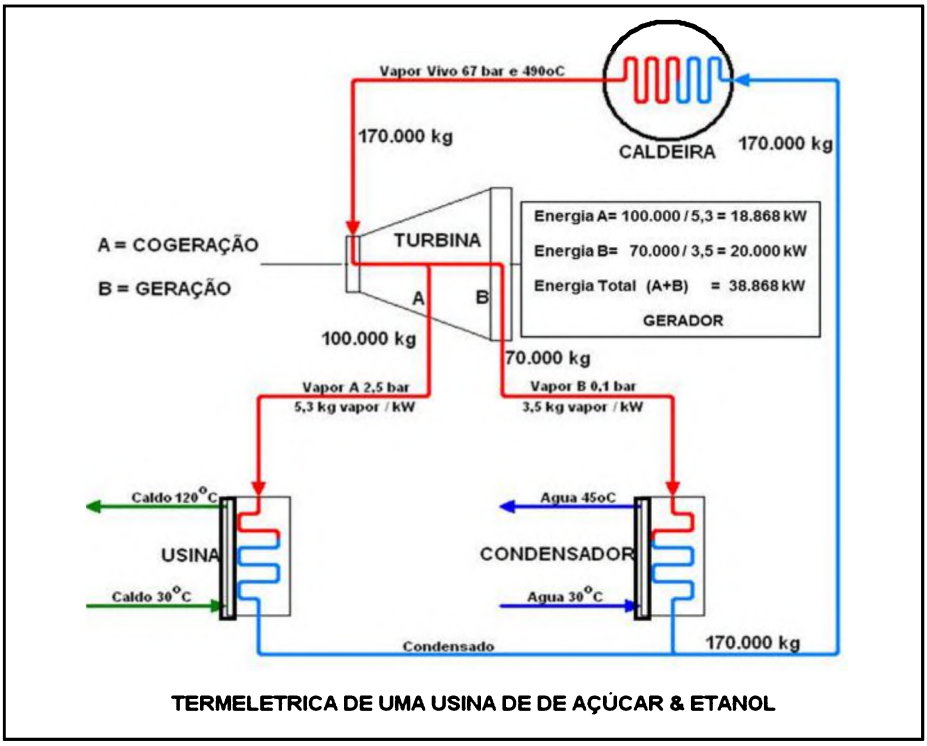
- Vapor A (contrapressão) que cogera energia elétrica e fornece o escape a planta da usina, parte desta energia elétrica é usada na usina é o restante é exportada ao sistema elétrico.
- Vapor B (Extração) que gera energia elétrica e é condensado com água, toda esta energia elétrica é exportada.

A Figura 2.9 demonstra o direcionamento do vapor a partir da sua geração na Caldeira até a turbina (contrapressão e extração), bem como a forma de utilização para o processo e a para a geração de energia elétrica.

A energia elétrica é gerada por meio de um turbogerador, sendo direcionada para carga própria e para venda de excedentes.


Digitized by Google

Figura 2.9: Fluxo do vapor da Caldeira, turbina, processo e geração de energia elétrica.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

## 2.2.1. Definições dos principais parâmetros para simular o Software BALANCE:

Os principais parâmetros iguais nos dois *softwares* têm os seguintes conceitos: I) Pol % cana, II) Pureza da cana, III) Fibra % cana, IV) Fibra % bagaço, V) Brix % xarope.

I. Fibra % cana: Matéria seca e insolúvel em água contida na cana-de-açúcar. NOTA: Para fins de controle industrial a fibra inclui a matéria estranha citada.
II. Pol % cana: é a porcentagem, contida na cana, em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada de peso normal determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada.
III. Eficiência do Tempo: considerado a operação continua da usina sem interrupções.



Digitized by Google

IV. Pureza da cana: Relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada.
V. Fibra da cana: matéria seca insolúvel em água contida na cana.
VI. Pol do bagaço: é a porcentagem, em massa de sacarose aparente contida em uma solução açucarada contida no bagaço.
VII. Fibra % bagaço: Matéria seca e insolúvel em água contida no bagaço, após a moagem.
VIII. Embebição da fibra: Processo no qual a água ou caldo é aplicado ao bagaço em benefício da extração.
IX. Brix: Porcentagem em massa de sólidos solúveis contida em uma solução de sacarose quimicamente pura.
X. Dias de safra: duração da safra anualmente.

## 2.3 A importância dos produtos da cana de açúcar: energia elétrica, etanol e açúcar.

A implantação do ciclo evolutivo da cultura da indústria da cana-de-açúcar antecede-se à chegada da coroa portuguesa em solo brasileiro, concomitantemente à fase de colonização do Brasil, cuja rentabilidade da exploração colonial concentrava-se em riquezas naturais para a comercialização internacional (ARAÚJO; SANTOS, 2013).

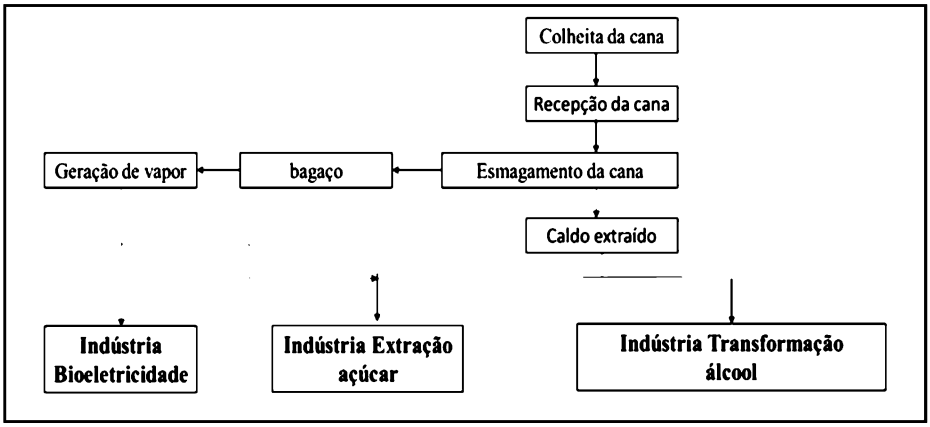
Como se pode observar a Figura 2.10, a indústria sucroalcooleira pode produzir três principais utilidades o etanol, o açúcar e a energia elétrica.

As etapas que envolvem a agroindústria da cana são: produção e abastecimento da indústria com matéria-prima; gerenciamento dos insumos, resíduos, subprodutos e da versatilidade da produção (de açúcar ou etanol); armazenamento e comercialização dos produtos finais. Para um desempenho industrial satisfatório as operações de colheita, carregamento, transporte, pesagem, pagamento da cana pela qualidade, descarregamento e lavagem; devem ser realizadas em sincronia com as operações industriais para que não ocorra sobre abastecimento, o que


Digitized by Google

demanda armazenamento, com consequente queda na qualidade ou falta de cana para a moagem, ocasionando atrasos na produção (ALCARDE (2015); SOUZA (2015)).

Figura 2.10 - Principais utilidades da cana de açúcar.




Fonte: adaptado Ballestieri (1994).

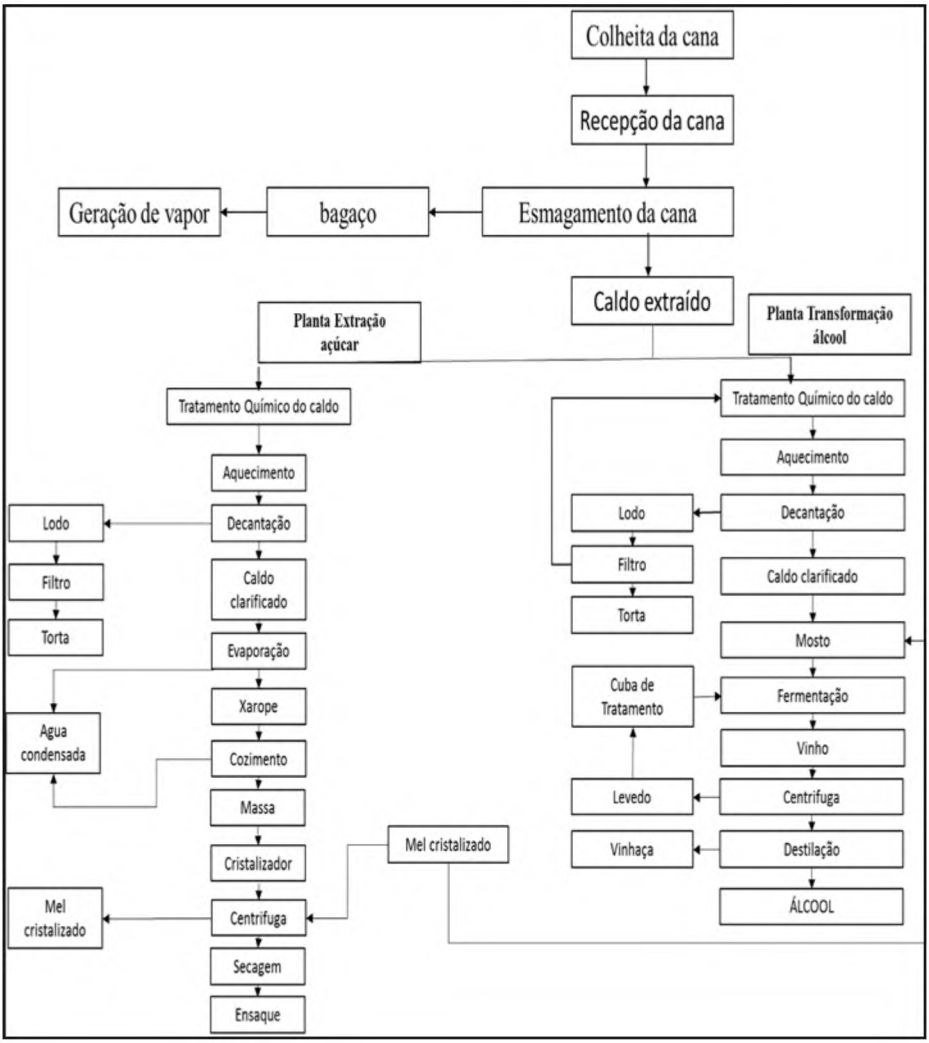
Para DAL BEM; KOIKE; PASSARINI (2003), o processo de fabricação de açúcar e etanol visa à extração do caldo contido na cana, resultando em vários tipos de açúcares conhecidos, como: demerara, mascavo, cristal, refinado, líquido, VHP; o mesmo caldo, através da fermentação microbiológica, resulta na destilação do etanol etílico, fornecido nas opções: anidro ou hidratado. Dentro desse processo de fabricação, podemos classificar uma usina de açúcar como uma indústria de extração; sendo que a indústria do etanol pode ser classificada como uma indústria de transformação, cabendo esse papel à fermentação biológica alcoólica. O fluxograma da Figura 2.11, mostra as fases de fabricação do açúcar e do etanol.

Como se pode observar na Figura 2.11, a cana é colhida no campo e logo após é recebida na indústria, passando pelo esmagamento que resulta no bagaço e este vai para produção de vapor. Pela linha da indústria de transformação seguem os processos de tratamento químico do caldo, este é aquecido e vai para decantação resultando obtendo-se o lodo que filtrado vira uma torta.



Digitized by Google

Figura 2.11: Fluxograma geral do processo de fabricação de açúcar e etanol dentro da usina.




Fonte: DAL BEM; KOIKE; PASSARINI (2003)

O processo segue com a clarificação do caldo, produzindo o mosto que vai para a fermentação. Da fermentação produz-se o vinho que centrifugado gera o levedo e as impurezas seguem para uma cuba de tratamento e voltam para a fermentação. Após a centrifugação o vinho vai para coluna de destilação de onde se extrai o etanol, sendo o resíduo deste processo a vinhaça que é utilizada para a férti-irrigação.

Ainda segundo a Figura 2.11, no fluxograma da indústria sucroal-



Digitized by Google

cooleira, diferencia-se da planta de transformação do de extração a partir do processo de destilação, onde o caldo clarificado vai para evaporação de onde se retira a água que será condensada, resultando no xarope. Este passa pelo processo de cozimento e produz uma massa isenta de água, logo a seguir entra no processo de cristalização, do Cristalizador faz-se a centrifugação, passa pelo secador e o produto final, o açúcar, é ensacado.

## 2.4 A utilidade da energia elétrica da usina de cana-de-açúcar.

A energia elétrica é uma energia limpa e renovável, feita a partir da biomassa: resíduos da cana-de-açúcar (bagaço e palha), restos de madeira, carvão vegetal, casca de arroz, capim-elefante e outras. No Brasil, 80% da energia elétrica vem dos resíduos da cana-de-açúcar. Cada tonelada de cana moída na fabricação de açúcar e etanol gera, em média, 250kg de bagaço e 200kg de palha e pontas. Com alto teor de fibras, o bagaço de cana, desde a revolução industrial, tem sido empregado na geração de vapor e energia elétrica para a fabricação de açúcar e etanol, garantindo a autossuficiência energética das usinas durante o período da safra (UNICA,2015).

Conforme Ferreira (2011) o bagaço recém-moído possui cerca de 50% de umidade, 45% de fibras lignocelulósicas, de 2 a 3% de sólidos insolúveis e de 2 a 3% de sólidos solúveis. É um material complexo, constituído principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, que são responsáveis pelo seu elevado conteúdo energéticos. A Tabela 2.4 mostra a composição em fibras do bagaço seco e o respectivo teor energético.

Tabela 2.4: Composição das fibras lignocelulósicas do bagaço de cana e seus respectivos teores energéticos.

| COMPONENTE | % EM MASSA NO BAGAÇO INTEGRAL SECO | PODER CALORÍFICO (MJ/KG) |
|---|---|---|
| Celulose | 41 | 17,0 |
| Hemicelulose | 25 | 17,5 |
| Lignina | 20 | 20,1 |
| Bagaço | - | 18,5 |

Fonte: Ferreira (2011).

A comercialização da energia elétrica é feita por meio de 231



Digitized by Google

plantas movidas à bagaço de cana cadastradas na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica –CCEE, atingiram a marca de 10,6 GW de capacidade e registraram 2,2 GW médios de energia elétrica gerada em abril/2015, mês que marca o início da safra de cana-de-açúcar. A maior geração das plantas movidas à biomassa por estado, em 2015, foi em São Paulo com registro de 941,4 MW médios. Na sequência, aparecem Mato Grosso do Sul (322 MW médios), Goiás (288 MW médios) e Minas Gerais (189 MW médios). Em capacidade instalada, o *ranking* também é liderado por São Paulo (4.942 MW), seguido por Mato Grosso do Sul (1.670 MW), Minas Gerais (1.110 MW) e Goiás (1.015 MW) (CCEE,2015).

A energia elétrica sucroenergética é uma fonte de energia que contribui para a segurança da oferta brasileira de energia, por diversificar a matriz e, sobretudo, por ser complementar à geração hídrica. Por utilizar um resíduo como insumo energético, a energia elétrica é, por definição, uma fonte de energia renovável, eficiente e sustentável. Trata-se de uma energia que é produzida a partir da cogeração, um processo que garante índices significativos de eficiência na geração de energia elétrica. Além disso, ela é produzida próximo ao centro de carga. Ao contrário de outras fontes de geração térmica, a energia elétrica é neutra em carbono, característica que, embora altamente desejável, não tem sido devidamente valorizada nos leilões de energia elétrica (CASTRO,2008).

Para Goldemberg (2000), a energia elétrica por meio da cogeração de energia é uma prática corrente da produção industrial do etanol no Brasil, reduz os danos ao meio ambiente e poderia ser aumentada significantemente se o desenvolvimento tecnológico acarretasse o uso dos resíduos da cana-de-açúcar, além do bagaço, para a geração de energia elétrica. A quantidade de resíduos estimada é de quase 40 x$10^6$ toneladas de matéria seca, sendo que uma porção significativa poderia ser usada. Em média, 280 kg de bagaço (que contém 50% de mistura) são produzidos por toneladas de cana, o que equivale a 2.1 giga joules de energia por tonelada; 90% do bagaço é queimado para produzir vapor (450 a 500 kg de vapor podem ser gerados de 1 tonelada de cana) que,


Digitized by Google

por sua vez, pode ser utilizado para cogerar eletricidade e potência mecânica para os motores da usina.

Conforme a EPE (2014), os produtos da cana-de-açúcar possuem expressivos índices de participação na matriz energética brasileira, a consolidação do uso da cana de açúcar como matéria prima energética em escala industrial, deve-se aos significativos volumes de etanol, açúcar e energia elétrica, produzidos para atender o mercado interno e externo. O Brasil produziu 163.141,92 milhões de toneladas de bagaço, sendo que foram aproveitados pelas Centrais Elétricas Autoprodutoras a quantia de 24.722 milhões de toneladas. O Setor Energético consumiu 57.479 milhões de toneladas para a geração de energia elétrica.

Apesar de sua crescente importância, a cana-de-açúcar tem potencial energético ainda bastante superior àquele que vem sendo efetivamente explorado. De acordo com Kitayama (2008), uma tonelada de cana tem energia equivalente a 1,2 barril de petróleo. Essa energia encontra-se distribuída entre a sacarose, o bagaço e a palha na proporção de um terço para cada uma dessas partes. Desse potencial, a fração relativa à sacarose é efetivamente utilizada para a produção de etanol e açúcar, enquanto a energia contida no bagaço é utilizada, em geral, de forma pouco eficiente para a cogeração de energia térmica e eletricidade. No que se refere à palha, a colheita da safra da cana associada à prática da queimada impedia, até recentemente, a utilização de sua energia. Contudo, com a crescente mecanização e colheita da cana sem queima, estão sendo criadas as condições necessárias para seu aproveitamento, que ainda é muito incipiente.

## 2.5 A utilidade do etanol da usina de cana-de-açúcar.

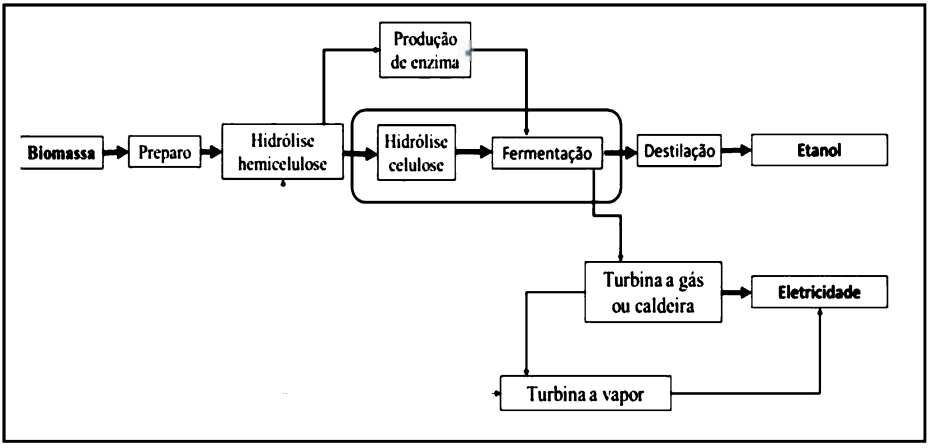
O setor de etanol brasileiro pode ser considerado o mais importante hoje em dia no mundo, não exatamente pela quantidade da produção, onde o Brasil perdeu o primeiro lugar em volume produzido para os Estados Unidos, mas basicamente pelas vantagens comparativas que o país oferece no cultivo em relação aos seus concorrentes, e pela tecnologia desenvolvida no país (GOLDEMBERG, 2000).



Digitized by Google

Para Seabra (2008) as tecnologias para a obtenção de etanol com base em materiais lignocelulósicos envolvem a hidrólise dos polissacarídeos da biomassa em açúcares fermentescíveis e sua posterior fermentação para a produção do etanol. Na Figura 2.12 pode se observar o processo utilizado nas usinas de açúcar e etanol para obtenção do etanol.

Figura 2.12: Esquema do processo de produção etanol por meio da hidrolise da biomassa.




Fonte: Seabra (2008).

Para executar a hidrólise são utilizadas tecnologias complexas e multifásicas, com base no uso de rotas ácidas e/ou enzimáticas para a separação dos açúcares e remoção da lignina (SEABRA, 2008).

A rota tecnológica para a obtenção do etanol, considerando a fase industrial, é empregado um processo de conversão bioquímica: a fermentação, seguida de destilação, para produzir etanol anidro, utilizado em mistura com a gasolina em motores convencionais do ciclo Otto e etanol hidratado utilizado como combustível em motores flexíveis. A matéria-prima pode ser o caldo da cana, ou, no caso de usinas que produzem tanto etanol como açúcar, o melaço, ou ainda misturas de caldo e melaço, em função das disponibilidades e condicionantes econômicos. O caldo da cana é extraído através de moendas ou difusores e pré-concentrado em diversos estágios e esterilizado antes de ser encaminhado para a fermentação em batelada ou contínua, em vários estágios, sendo efetuada a reciclagem de levedura. A destilação ocorre com múltiplos efeitos. A obtenção de etanol anidro requer, ainda, uma etapa



Digitized by Google

de desidratação. Atinge-se atualmente, nas melhores usinas, uma produtividade industrial de 85 l/t (MACEDO, 2010).

O setor sucroalcooleiro é o maior autoprodutor de energia elétrica de biomassa do país e, também, o maior gerador de excedentes de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (MACEDO, 2010). Segundo a Agência Nacional de Petróleo-ANP (2015) existem 365 plantas produtoras de etanol para operação no País (em 2015), correspondendo a uma capacidade total autorizada de 192.327 m3 /dia de produção de etanol hidratado é de 100.743 m3 /dia de produção de etanol anidro. Adicionalmente, 17 plantas de etanol já receberam a autorização para operação definitiva, totalizando uma capacidade de 13.355 m3 /dia de produção de etanol hidratado e 7.918 m3 /dia de produção de etanol anidro. A capacidade total das 382 plantas produtoras de etanol autorizadas é de 205.682 m3 /dia de produção de etanol hidratado e 108.661 m3 /dia de produção de etanol anidro. A cana-de-açúcar é a matéria prima utilizada em 97,1% das plantas de etanol autorizadas.

A Tabela 2.5 representa uma série histórica da evolução da produção de etanol, ressaltando que as principais regiões produtoras são a Região Centro-Sul e Região Norte-Nordeste.

Tabela 2.5: Evolução da produção de etanol no Brasil.

| Estado/Safra | Região Centro-Sul | Região Norte-Nordeste | Brasil |
|---|---|---|---|
| **2004/2005** | 13.563 | 1.826 | 15.389 |
| **2005/2006** | 14.311 | 1.509 | 15.821 |
| **2006/2007** | 16.066 | 1.779 | 17.844 |
| **2007/2008** | 20.333 | 2.193 | 22.527 |
| **2008/2009** | 25.115 | 2.411 | 27.526 |
| **2009/2010** | 23.686 | 2.005 | 25.691 |
| **2010/2011** | 25.385 | 1.992 | 27.376 |
| **2011/2012** | 20.542 | 2.139 | 22.682 |
| **2012/2013** | 21.362 | 1.864 | 23.226 |
| **2013/2014** | 25.575 | 1.968 | 27.543 |

Fonte: UNICA (2015).



Digitized by Google

A produção do etanol evoluiu significativamente nos últimos dez anos, produzindo o volume de 15.388,56x$10^3$m$^3$ na safra 2003/2004 e passando para 27.542,55 x$10^3$m$^3$ na safra 2013/2014 (ÚNICA,2015).

De acordo com dados da Agencia Nacional do Petróleo (ANP) a Tabela 2.6 demonstra a distribuição e quantidade das plantas produtoras de etanol por Estado, assim como sua capacidade de produção (m$^3$/d) de etanol anidro e etanol hidratado.

As usinas brasileiras trabalham, em média, com 80% da cana proveniente de terras próprias e arrendadas ou de acionistas e companhias agrícolas com alguma vinculação às usinas. Os 20% restantes são fornecidos por cerca de 60 mil produtores independentes, a maioria utilizando menos de dois módulos agrícolas (CGEE,2009).

Tabela 2.6: Número de plantas de etanol e capacidade de produção por Estado (2015).

| UF | etanol anidro (m$^3$/d) | etanol hidratado (m$^3$/d) | Número de |
|---|---|---|---|
| AC | 0 | 140 | 1 |
| AM | 0 | 100 | 1 |
| PA | 260 | 340 | 1 |
| RO | 300 | 300 | 1 |
| TO | 750 | 1500 | 1 |
| PR | 6313 | 12630 | 30 |
| RS | 0 | 62 | 3 |
| AL | 3958 | 5115 | 19 |
| BA | 1132 | 1714 | 6 |
| CE | 0 | 233 | 1 |
| MA | 1360 | 1550 | 4 |
| PB | 1400 | 2720 | 7 |
| PE | 2490 | 3470 | 15 |
| PI | 240 | 264 | 1 |
| RN | 480 | 893 | 3 |
| SE | 790 | 1455 | 6 |
| GO | 11550 | 29155 | 36 |
| MS | 8450 | 17554 | 23 |
| MT | 5456 | 7258 | 10 |
| ES | 1570 | 2217 | 6 |
| MG | 11281 | 18978 | 38 |
| RJ | 0 | 1080 | 4 |
| SP | 50701 | 96954 | 165 |
| **TOTAL** | **108.661** | **205682** | **382** |

Fonte: ANP (2015).



Digitized by Google

# Capítulo 3

# Material e Métodos

O Objetivo geral deste trabalho é identificar o ponto de equilíbrio, técnico e econômico, do vapor gerado no processo de cogeração, em relação à produção de açúcar, etanol e geração de energia elétrica, de uma usina de cana-de-açúcar. Utilizando-se da construção de uma Usina de Referência com valores médios de matéria-prima, vapor e outros dados de usinas localizadas no Estado de São Paulo. Justifica-se a escolha das usinas do Estado de São Paulo, por representarem em 2015, mais da metade (52%) das usinas brasileiras, com um total de 203 unidades registradas no ANEEL (2015).

Por meio desta Usina de Referência foram determinados os parâmetros iniciais, para que fossem simuladas e analisadas outras configurações, com o objetivo de encontrar o ponto de equilíbrio de funcionamento para uma usina de açúcar, etanol e energia elétrica.

Este estudo utilizou-se da investigação exploratória por realizar levantamentos das rotas tecnológicas mais utilizadas para a geração de vapor em centrais termoelétricas, com a combustão direta do bagaço de cana em caldeiras aquotubulares. Assim pode-se analisar o ciclo termodinâmico que melhor se adequa ao setor sucro alcooleiro bem como seus rendimentos e formas de utilização. Utilizou-se da pesquisa descritiva para expor as características dos processos de cogeração de energia elétrica das usinas de açúcar e etanol; estabelecendo as correlações entre variáveis técnicas e econômicas, definindo funções e aplicações. A investigação explicativa teve como principal objetivo tornar os processos inteligíveis e justificar-lhe os motivos. Visando, portanto, esclarecer quais fatos contribuíram, de alguma forma, para a ocorrência da ineficiência ou eficiência das plantas de cogeração.

O método quantitativo foi utilizado no momento em que se propôs a Usina de Referência para se realizar as simulações das usinas Alphas.



Digitized by Google

Tal procedimento levantou os dados numéricos de vários parâmetros de usinas que estão disponíveis no Banco de Informações de Geração (BIG/ ANEEL) das térmicas registradas, com combustível exclusivamente a bagaço de cana de açúcar na ANEEL, para o Estado de São Paulo.

Na sequência foi realizado o cálculo da média de cada um dos parâmetros, tais como, quantidade de dias de safra, moagem de cana, pressão operativa da caldeira, produção de etanol anidro e hidratado, produção de açúcar e geração de energia elétrica, para que se possa especificar a Usina de Referência, sua distribuição de uso de vapor e que podem interferir na produção das utilidades: açúcar, etanol e energia elétrica.

A Usina de Referência foi definida com a moagem de 2,073 milhões de toneladas, sendo a eficiência média do tempo de 85%, então se considera para os cálculos os valores de 480.000 kg horários, resultando em 9.792 toneladas diárias e 1.762.560 toneladas na safra, sendo a média de potência instalada de 29.000 kW, com pressão de 42,0 kgf/cm$^2$ na caldeira e temperatura do vapor de 400 °C.

A partir destes dados admitiu-se a construção de várias hipóteses para as simulações, perfazendo o total de 19 simulações com o *software* BALANCE, sendo a primeira para a Usina de Referência em seguida as Usina H1a, Usina H1b, Usina H1c, Usina H1d, Usina H1e, Usina H1f, Usina H1g, Usina H1h, Usina H1i, Usina H2a, Usina H2b, Usina H2c, Usina H2d, Usina H2e, Usina H2f, Usina H2g, Usina H2h, Usina H2i e a posteriori a Usina H3equilibrio.

Para as estas simulações foram consideradas as variações de porcentuais no processo de Clarificação do caldo entre o açúcar e o etanol, com variações dos porcentuais para o etanol hidratado e etanol anidro e para consolidar a decisão de qual a melhor hipótese, considerou-se a geração de energia elétrica em MWh, conjuntamente com o Resultado financeiro.

Os porcentuais aplicados nas hipóteses foram:

- Usina H1a (90%etanol,10%Açucar, 0%E.hidratado, 100%E.anidro),
- Usina H1b (99%etanol,1%Açucar, 0%E.hidratado, 100%E.anidro),
- Usina H1c (99%etanol,1%Açucar, 50%E.hidratado, 50%E.anidro),
- Usina H1d (99%etanol,1%Açucar,60%E.hidratado, 40%E.anidro),


Digitized by Google

- Usina H1e (99%etanol,1%Açucar,20%E.hidratado,80%E.anidro),
- Usina H1f (99%etanol,1%Açucar, 30%E.hidratado, 70%E.anidro),
- Usina H1g (99%etanol,1%Açucar, 70%E.hidratado, 30%E.anidro),
- Usina H1h (50%etanol,50%Açucar,70%E.hidratado,30%E.anidro),
- Usina H1i (50%etanol,50%Açucar, 60%E.hidratado, 40%E.anidro),
- Usina H2a (10%etanol,90%Açucar, 0%E.hidratado, 100%E.anidro),
- Usina H2b (1%etanol,99%Açucar, 0%E.hidratado, 100%E.anidro),
- Usina H2c (1%etanol,99%Açucar, 50%E.hidratado, 50%E.anidro),
- Usina H2d (1%etanol,99%Açucar, 60%E.hidratado, 40%E.anidro),
- Usina H2e (1%etanol,99%Açucar, 20%E.hidratado, 80%E.anidro),
- Usina H2f (1%etanol,99%Açucar, 30%E.hidratado, 70%E.anidro),
- Usina H2g (1%etanol,99%Açucar, 70%E.hidratado, 30%E.anidro),
- Usina H2h (50%etanol,50%Açucar, 30%E.hidratado, 70%E.anidro),
- Usina H2i (1%etanol,99%Açucar, 20%E. hidratado, 80%E. anidro).

A partir das simulações determinaram-se os porcentuais para as Usinas Alphas, as quais serão utilizadas para todas as outras análises em relação à Usina de Referência. Em seguida foram realizadas simulações utilizando o *software* BALANCE para determinar a produção destas mesmas utilidades, nas usinas simuladas denominadas Usina Alpha1, Alpha2, Alpha Equilíbrio e de Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica, com a meta de otimizar economicamente a utilização do vapor gerado na indústria sucroalcooleira entre a produção de açúcar, etanol e energia elétrica.

O uso do *software* BALANCE foi cedido a título gratuito pela empresa Sugarsoft, durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

A integração energética da planta industrial, proporcionada pelo bagaço da cana como combustível, depende do adequado gerenciamento de vapores de processo, que são responsáveis pelo fornecimento de energia térmica e mecânica necessária aos processos de fabricação de açúcar, destilação do etanol e geração de energia elétrica. Os rendimentos técnicos e financeiros de uma planta industrial sucroalcooleira são influenciados por mudanças no balanço energético, que serão observados nas simulações.

A demonstração de resultados econômicos baseou-se na trans-



Digitized by Google

formação da quantidade de produção encontrados multiplicados pelos valores monetários. Esse valor monetário foi baseado nos índices do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), cuja metodologia busca expressar os preços efetivamente negociados no mercado à vista do estado de São Paulo, sendo consultados vendedores e compradores, obtendo-se os valores médios para o ano de 2015. Os principais parâmetros considerados para analise serão o açúcar, o etanol e a energia elétrica, nas diversas configurações adotadas e comparadas entre si. A Tabela 3.1, demonstra esses valores e suas respectivas unidades.

Tabela 3.1: Valores em unidade monetária por unidade.

| UTILIDADES | R$ /unidade | Unidade |
|---|---|---|
| açúcar * | 1.043 | ton |
| etanol * | 1.200 | m3 |
| levedura *** | 950 | ton |
| bagaço *** | 100 | ton |
| energia elétrica ** | 150 | MWh |

Fonte: *CEPEA (2015); **EPE (2015);*** Pesquisa não estruturada diretamente nas usinas (2015).

Conforme a Tabela 3.1 os preços da energia elétrica são valores médios obtidos nos leilões para fontes alternativas para 2015, realizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). No caso da levedura e do bagaço os valores foram obtidos em contato direto com as usinas em 2015.

Os valores utilizados para os cálculos de Despesas foram obtidos diretamente nas usinas e representam um valor médio, são calculados em função da quantidade de toneladas de cana processadas, esses valores estão descritos na Tabela 3.2 e são consideradas como Despesas fixas.

Tabela 3.2: Despesas em R$ por tonelada de cana.

| DESPESAS | R$/ton |
|---|---|
| cana | 58,00 |
| prod. químicos | 0,70 |
| insumos | 0,40 |
| embalagens | 1,00 |
| energia elétrica | 0,00 |
| manutenção | 4,00 |
| salários | 3,60 |
| Outros | 0,00 |

Fonte: Elaboração própria a partir de pesquisa de preços médios em usinas em 2015.



Digitized by Google

A energia elétrica é autoproduzida e consumida nos processos industriais, não sendo computadas como Despesas devido ao fato de que, durante a safra a usina não está comprando energia da concessionária local.

Os produtos que serão apresentados ao término desta dissertação serão:

- Construção de uma Usina de Referência do setor sucroalcooleiro, utilizando dados médios das indústrias sucroalcooleiras do Estado de São Paulo a partir do Banco de Informação da Geração (BIG) da ANEEL (2015).
- Simulação de uma usina, utilizando os mesmos dados técnicos básicos da Usina de Referência, porém priorizando a destilação do etanol, mostrando qual o resultado econômico e físico, esta usina foi denominada de **Usina Alpha1**.
- Simulação de uma usina, utilizando os mesmos dados técnicos básicos da Usina de Referência, porém priorizando a produção de açúcar, demonstrando o resultado econômico e físico para a usina como um todo, esta usina foi chamada de **Usina Alpha2.**
- Demonstração e simulação de uma usina, utilizando os mesmos dados técnicos básicos da Usina de Referência, porém buscando o ponto de equilíbrio entre as utilidades açúcar e etanol, foi denominada como **Usina Alpha Equilíbrio**.
- Simulação de uma usina após o ponto de equilíbrio, onde se acrescenta palha para aumentar a energia elétrica, mostrando qual o resultado econômico e físico, sendo chamada de **Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica**.



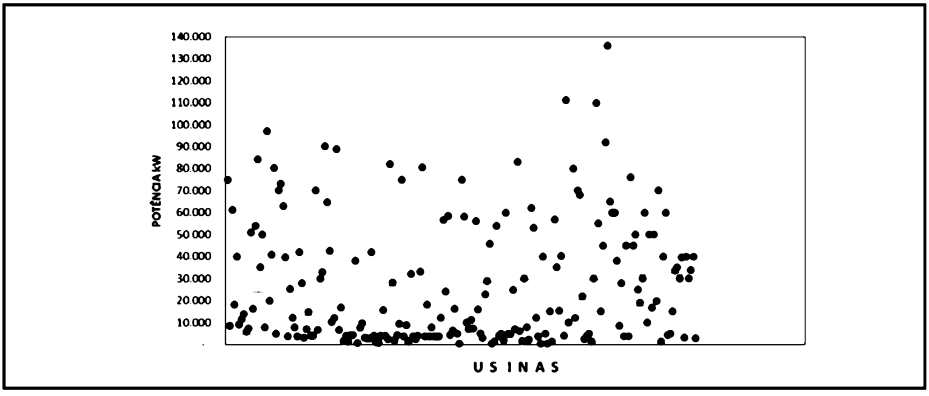
Digitized by Google

# Capítulo 4

# Construção da Usina de Referência e elaboração e simulações das Usinas Hipóteses, para determinação dos valores a serem utilizados para as simulações definitivas das Usinas: Alpha1, Alpha2, Alpha equilíbrio e Alpha Equilíbrio + Energia Elétrica.

No Banco de Informações de Geração (BIG) da ANEEL (2015) pode-se acessar os dados de todas as usinas cuja fonte de energia elétrica é a biomassa. Tal informação possibilita a definição de sua potência (kW) a partir do registro de operação na ANEEL. No BIG pode-se estratificar dentre as usinas que são movidas exclusivamente com bagaço de cana, estas somam o total de 394 usinas em operação no Brasil. A seguir foram escolhidas as Usinas do Estado de São Paulo e verificou-se que sua potência é de 29.000 kW, A partir desta informação definiu-se os parâmetros de operação médios como, por exemplo a pressão da caldeira e a temperatura de operação. O Gráfico 4.1 demonstra a média geral da dispersão em função da potência das Usinas, com sua respectiva linha de tendência.

Gráfico 4.1: Usinas do tipo UTE, com bagaço de cana-de-açúcar em operação em São Paulo




Fonte: adaptado ANEEL (2015)



Digitized by Google

No Gráfico 4.1 pode-se observar a dispersão em função da potência (kW) das usinas de cana-de- açúcar do Estado de São Paulo, com a linha de tendência, cuja média é de 29.000 kW. Para esta faixa de potência utiliza-se uma caldeira cuja característica de pressão, é de 42,0 kgf/cm$^2$ e temperatura do vapor de 400 °C, com uma moagem diária de 11.520 ton/dia e 2,073 milhões de toneladas no período da safra. As usinas do Gráfico 4.1 que estão abaixo de 20.000 kW não estão tecnologicamente adequadas para a exportação de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional-SIN, por serem compostas de caldeiras de 22 kgf/cm$^2$ e a uma temperatura de 310°C, ou seja, baixa pressão e baixa temperatura, resultando em uma eficiência não significativa (NOGUEIRA e LORA, 2003).

Os demais parâmetros, comumente utilizados no mercado, que influenciam diretamente nos cálculos das utilidades e que definem a Usina de Referência são apresentados a seguir, bem como os seus valores médios (VALSECHI, 2015).

- Pol da cana: Porcentagem em massa de sacarose aparente, contida em uma solução açucarada de peso normal, determinada pelo desvio provocado pela solução no plano de vibração da luz polarizada, valor médio 13%.
- Eficiência do tempo: Valor médio 85%.
- Pureza da cana: Relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada, valor médio 85%.
- Pol do bagaço: Porcentagem residual contida no bagaço de massa de sacarose, valor médio 2%.
- Fibra da cana: Matéria seca e insolúvel em água contida na cana-de-açúcar, para fins de controle industrial a fibra inclui a matéria estranha citada. O valor médio utilizado é de 14%.
- Fibra do bagaço: Matéria seca insolúvel em água contido no bagaço, valor médio 48%.
- Pureza do bagaço: Valor médio 75%.



Digitized by Google

- Embebição da fibra: Processo no qual a água ou caldo é aplicado ao bagaço em benefício da Extração, valor médio 25%.
- Brix do Xarope: Material resultante da evaporação parcial do caldo de cana clarificado de consistência média de 60°%.
- Pureza do açúcar: Relação entre a porcentagem em massa de sacarose e a de sólidos solúveis contidos em uma solução açucarada, valor utilizado 99,9%.
- Pureza do mel final: Mel retirado da massa cozida final e do qual não se retira mais açúcar economicamente, valor médio 55%.
- Pol da torta: Porcentagem residual contida na torta de massa de sacarose, valor médio 1,5%.
- Eficiência na fermentação: Valor médio 90%.
- Eficiência na Destilação: Valor médio 99%.
- Eficiência na Destilação do etanol hidratado: Valor médio 93,8%.
- Eficiência na Destilação do etanol anidro: Valor médio 99,3%.
- Dias de safra: 180 dias.
- Cinzas: Resíduo mineral remanescente após incineração da amostra, valor médio 3,5%.
- Eficiência da Caldeira: Valor médio 85%.
- Poder calorifico Superior-PCS= 8.777 kJ/Kg.
- Poder Calorifico Inferior- PCI= 6.917 kJ/Kg.

Utilizando-se os valores médios pode-se compor a Usina de Referência, subdivididas em duas partes a primeira apresentando as quantidades de etanol e fabricação do açúcar. Sendo indissociáveis os rejeitos do processo, tais como a vinhaça e a torta, que não são objeto deste estudo. A segunda parte refere-se especificamente a geração de energia elétrica, utilizada tanto para consumo interno como para venda de excedentes à concessionaria de energia elétrica. Os valores médios são os apresentados na Tabela 5.1.


Digitized by Google

Tabela 5.1: Valores médios dos parâmetros da Usina de Referência.

| PARÂMETROS | VALORES MÉDIOS |
|---|---|
| Pol % cana | 13 |
| Eff. %Tempo | 85 |
| Pureza cana | 85 |
| Fibra % cana | 14 |
| Pol % bagaço | 2 |
| Fibra % bagaço | 48 |
| Pureza bagaço | 75 |
| Emb % Fibra | 250 |
| Brix % Xarope | 60 |
| Pureza Açúcar | 99,9 |
| Pureza Mel Final | 55 |
| Pol % Torta | 1,5 |
| Eff. % Fermentação | 90 |
| Eff. % Destilação | 99 |
| Etanol % hidratado | 93,8 |
| Etanol % anidro | 99,3 |
| Dias Safra | 180 |

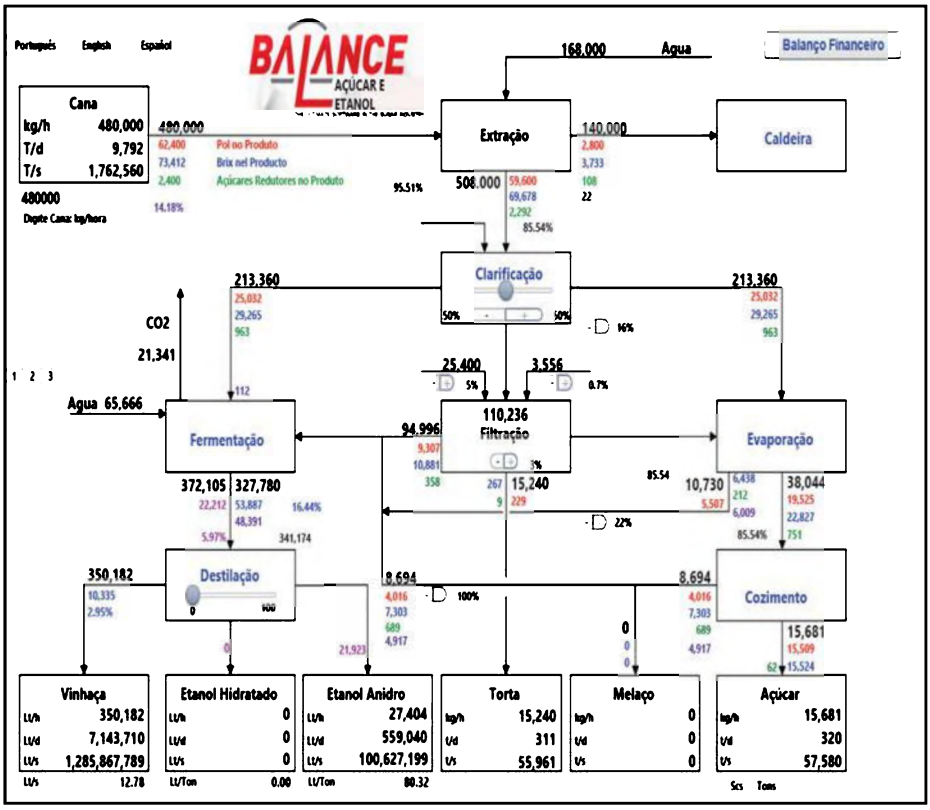
Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os valores médios apresentados na Tabela 5.1, são considerados para situações de operação normal da Usina. Esta Usina de Referência tem como base dinâmica de operação o fluxograma representado na Figura 4.1. Este demonstra os dados iniciais da cana, que é o insumo principal, da extração e da quantidade de bagaço enviado à caldeira. Após a extração do caldo, o mesmo é enviado para clarificação, neste processo é que se faz a divisão para a produção de etanol e para a do açúcar. Na produção do etanol o caldo clarificado passa pelo processo de fermentação seguindo para destilação final, sendo apurados o etanol e a vinhaça. Na produção do açúcar, o caldo clarificado é direcionado para a evaporação onde se apura o xarope para o açúcar e para o etanol que é direcionado para a fermentação. Em seguida o xarope do açúcar é direcionado ao cozimento de onde se pode obter o açúcar e o mel final, sendo parte do mesmo direcionado à fermentação, conforme a Figura 4.1.



Digitized by Google

Figura 4.1: Fluxograma do processo geral da Usina de Referência




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

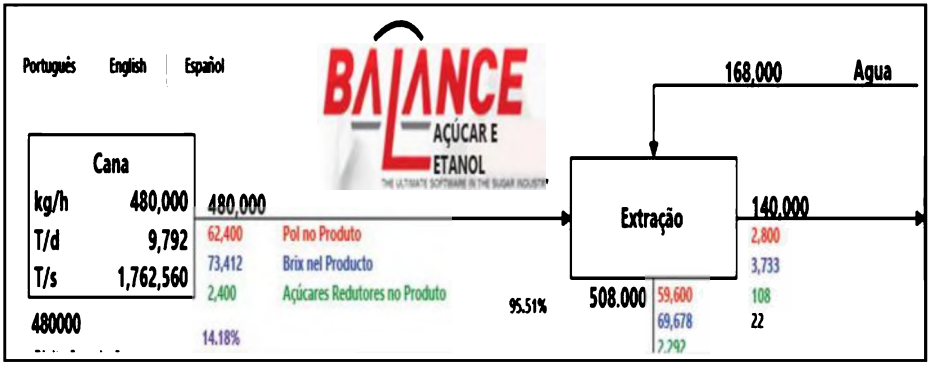
Tomando-se como base o fluxograma da Figura 4.1, nota-se que para iniciar o funcionamento da usina é necessária a definição da quantidade de cana que deverá ser moída, levando em consideração os parâmetros médios. A Usina de Referência faz a moagem de 2,073 milhões de toneladas de cana, sendo a eficiência média do tempo de 85%, considerando-se para os cálculos os valores de 480.00kg horários, resultando em 9.792 toneladas diárias e 1.762.560 toneladas moídas durante toda a safra. A cana ao chegar à usina, passa por uma verificação de sua qualidade por meio dos parâmetros como o Pol, o Brix e os Açucares Redutores totais contidos. Após a lavagem em meio aquoso, a cana é direcionada à Extração, que define a proporção de um componente da cana, em porcentagem, que foi removido durante o processo de moagem. Na extração é importante destacar a embebição, que é o espargimento de água sobre



Digitized by Google

a fibra da cana moída. Genericamente o termo extração significa extração de pol % pol na cana (VALSECHI,2015), deste processo obtêm-se o caldo misto na ordem 508.000 kg/h que é dirigido a clarificação e o bagaço dirigido à caldeira na quantidade de 140.000 kg/h, esses valores são observados na Figura 4.2.

Figura 4.2: Dados da extração da cana da Usina de Referência.



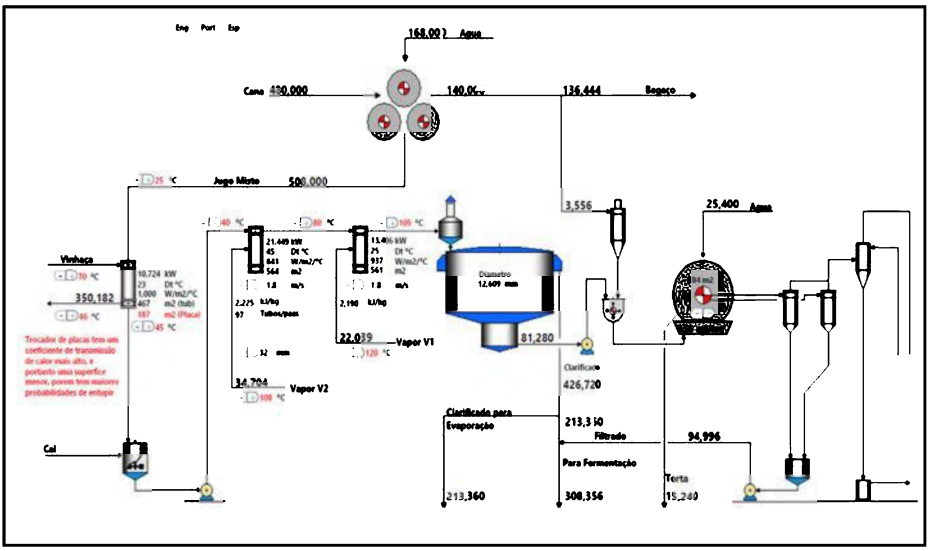

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

A etapa subsequente é a clarificação que visa à obtenção de um caldo livre de impurezas, envolvendo as etapas de peneiramento, tratamento químico, aquecimento, decantação e filtragem do caldo (DAL BEM; KOIKE; PASSARINI, 2003), onde se adiciona SO2 ao caldo, sendo este o primeiro tratamento químico pelo qual o caldo passa. O processo inibe reações que desenvolvam cor, coagula coloides solúveis, forma um precipitado com Cálcio (CaSO3) e diminui a viscosidade do caldo (PASTELLI, 2014). A figura 3 mostra o fluxograma do processo de clarificação e seus respectivos valores.



Digitized by Google

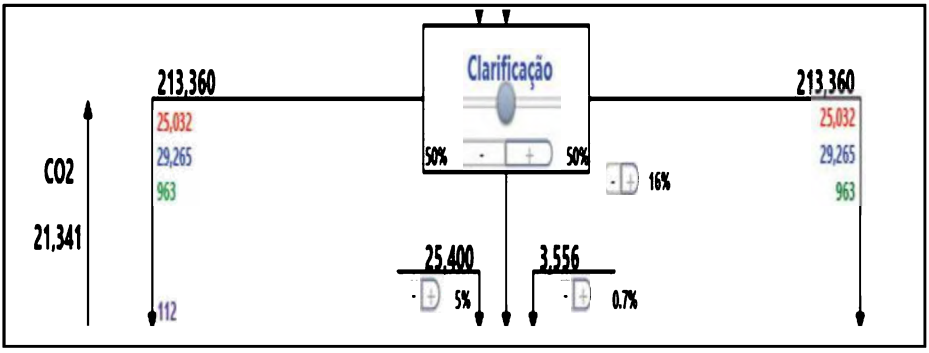
Figura 4.3: Fluxograma do processo de clarificação do caldo da cana Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados deste processo são apresentados na Figura 4.4, sendo que parte deste caldo clarificado é direcionado na produção do etanol para a fermentação e na produção de açúcar para a Evaporação, restando o lodo que vai para a filtração.

Figura 4.4: Dados do processo de Clarificação da Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados da clarificação podem ser alterados conforme a necessidade de operação da usina, neste caso está direcionada em 50% para produção de etanol e mais 50% de açúcar ou seja, em 213.360 kg/h

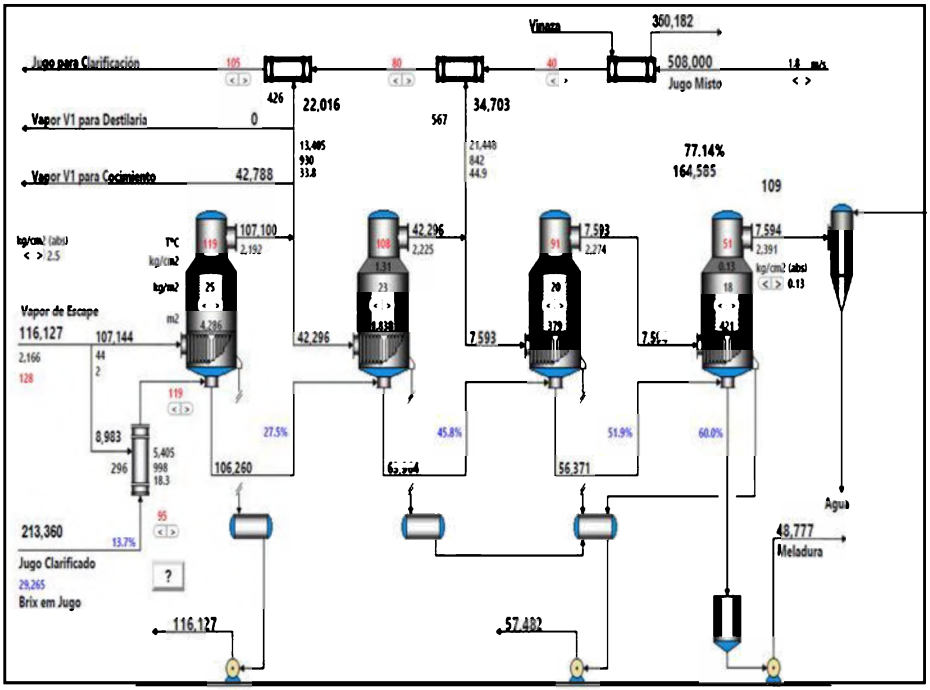


Digitized by Google

para cada um. Consequentemente, o vapor tem consumo maior ou menor em função do processo de destilação e do processo de evaporação, o excedente de vapor é direcionado para a geração de energia elétrica.

As etapas da produção do açúcar são caracterizadas pela Evaporação, Cozimento (que ao final resulta no açúcar produzido). A Evaporação consiste na retirada de água do processo, sendo que o caldo parte da condição de clarificado para a condição de xarope, onde sofre a maior variação de massa de todo o processo industrial (DAL BEM; KOIKE; PASSARINI, 2003). Deste processo resultam dois xaropes, o xarope para o açúcar produzido em maior quantidade e uma parte de xarope para o etanol que é direcionado ao processo de fermentação. A Figura 4.5 demonstra o fluxograma do processo de evaporação e seus valores, onde se retira a água que será condensada resultando no xarope para a produção de açúcar na Usina de Referência.

Figura 4.5: Fluxograma do processo de evaporação da produção de açúcar na Usina de Referência e seus valores.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

A Figura 4.6 demonstra os dados do processo da Evaporação da Usina de Referência.

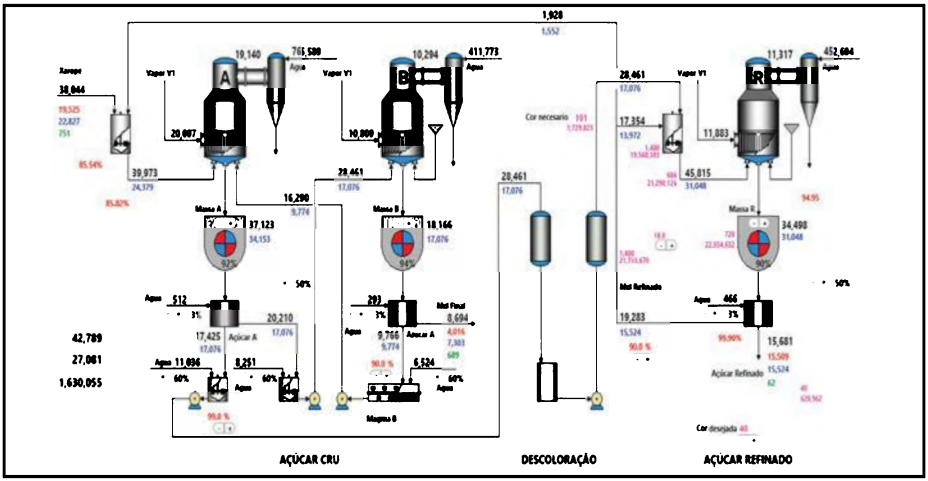
Figura 4.6: Dados do processo de Evaporação da Usina de Referência.

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados para o xarope para etanol são de 10.730 kg/h e para o xarope de açúcar de 38.044 kg/h, este processo apresenta uma pureza de 85,54%. Este xarope vai para o processo de Cozimento, Cristalização, Centrifugação e Secagem, durante o processo há perdas por decomposição da sacarose em decorrência das altas temperaturas e uma perda significativa na operação de secagem, devido a umidade contida no açúcar, essa secagem é processada através de um fluxo de ar seco e quente sobre ele antes da armazenagem, a perda se dá pelo arraste do açúcar pelo fluxo de ar (DAL BEM; KOIKE; PASSARINI, 2003).

A Figura 4.7 mostra o fluxograma do processo de Cozimento, abrangendo a entrada do xarope até a produção do açúcar refinado.

Figura 4.7: Fluxograma do processo de Cozimento até a produção do açúcar na Usina.



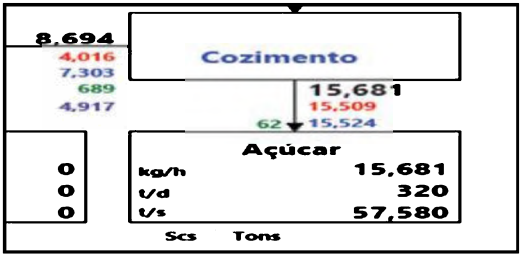

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

O Fluxograma da Figura 4.7 apresenta as fases do açúcar cru com o processamento de duas massas que são concatenadas, a fase da descoloração para atender as cores do açúcar que o mercado exige e a produção do açúcar refinado. Os valores deste processo são resumidos na Figura 4.8.

Figura 4.8: Dados do processo de Cozimento da Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados finais obtidos da produção de açúcar, para a Usina de Referência, consolidam em 15.681 kg horários, 320 toneladas diárias e 57.580 toneladas durante a safra.

As etapas da produção do etanol passam pela Fermentação e Destilação, obtendo-se o etanol e a vinhaça decorrente dos processos.

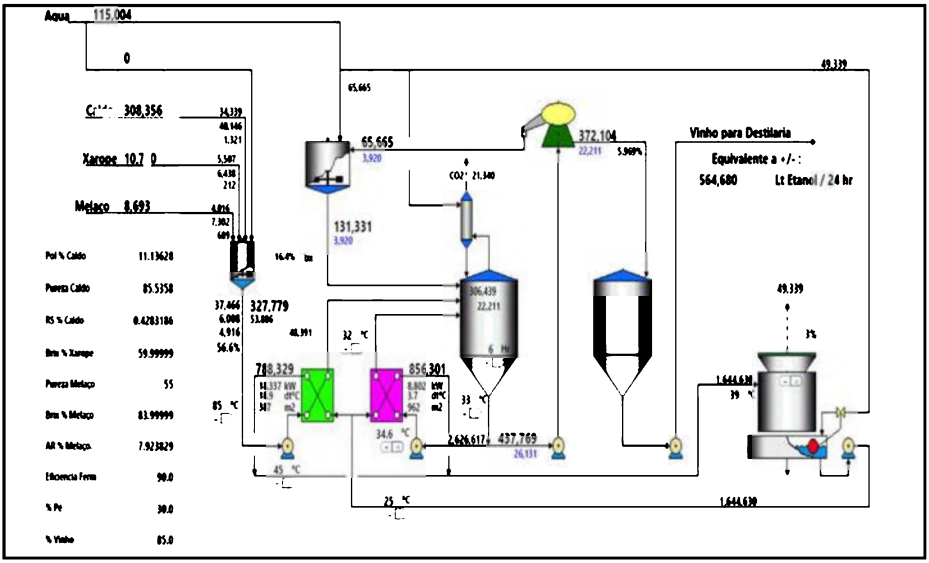
Conforme Neto e Ramon (2002), Seabra (2008) e Pellegrini (2009), o processo de Fermentação Melle-Boinot é o mais utilizado nas usinas brasileiras, onde parte do caldo clarificado é misturado com o mel final formando o mosto, que é um liquido açucarado que pode ser fermentado, cuja característica principal é a recuperação de leveduras através da centrifugação. O preparo do mosto de melaço é feito por uma correção dos açúcares totais por meio de diluição. As leveduras, responsáveis pela fermentação alcoólica, são utilizadas para inoculação dos mostos preparados industrialmente. Para que as fermentações tenham uma condução satisfatória, é necessária que se adicione aos mostos uma quantidade compatível de microrganismos capazes de transformar rapidamente os açúcares em etanol e gás carbônico. Uma vez preparados o fermento e o mosto, ambos serão misturados nas dornas de fermentação, momento em que as leveduras transformarão os açúcares em gás carbônico e etanol, sendo este último o objetivo desse processo industrial. A adição do mosto ao fermento deverá ser realizada de modo contínuo,



Digitized by Google

sendo que a quantidade será controlada através da concentração da mistura. A Figura 4.9 mostra o fluxograma do processo de fermentação para a Usina de Referência.

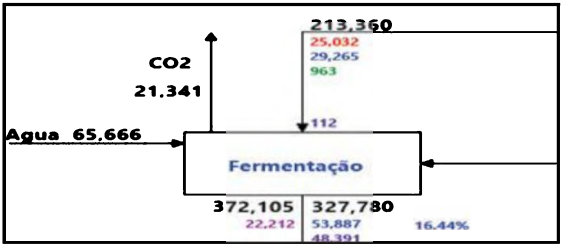
Figura 4.9: Fluxograma do Processo de Fermentação da Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Observa-se no fluxograma da Figura 4.9 os insumos para o processo de fermentação o caldo, o xarope, o melaço que tem sua origem no processo de clarificação e a água é adicionada. Nesta fase os principais parâmetros são o Pol do caldo está em 11,13628%, a Pureza do caldo em 85,5358%, o Brix do Xarope, a pureza do melaço, Brix do melaço e a Eficiência da Fermentação que está em 90%.

Figura 4.10: Dados do processo de fermentação para Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

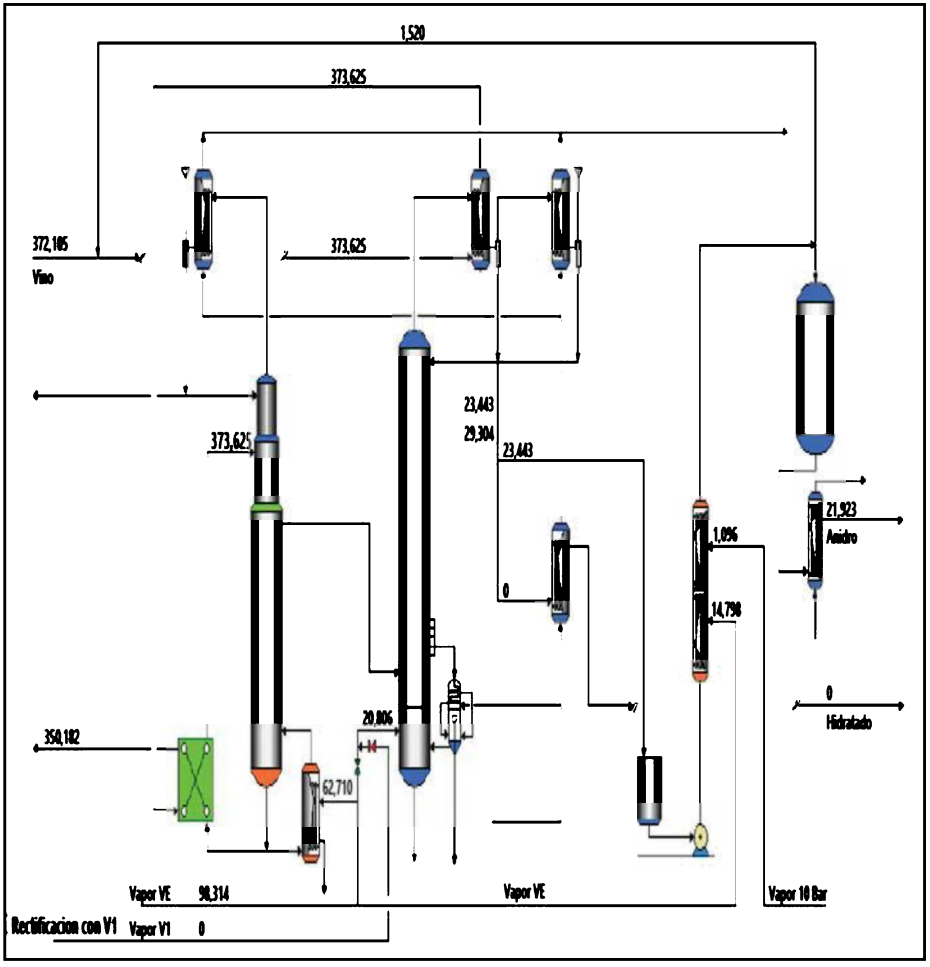


Digitized by Google

Como pode se observar na Figura 4.10 o processo de fermentação consome água da ordem de 65.666 kg/h e emite 21.341kg/h de gás carbônico ($CO_2$), estes seguirão para a etapa final que é a Destilação, sendo os valores de 327.780 kg/h de mosto e 372.105 kg/h de vinho.

Na etapa de Destilação os produtos são o etanol anidro e o hidratado, sendo a vinhaça um resíduo do processo. Os volumes destes álcoois podem variar muito em função do vapor do processo. O fluxograma da Figura 4.11 representa o Processo de Destilação, sendo seus insumos o vinho e o vapor.

Figura 4.11: Fluxograma do Processo de Destilação da Usina de Referência.



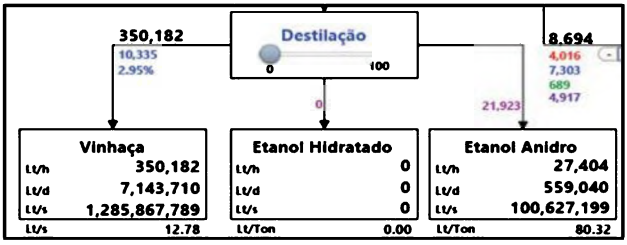

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

No Fluxograma da Figura 4.11 a destilação do etanol anidro é de 559.040 litros ao dia, totalizando 100.627.199 litros por safra. A Figura 4.12 revela os dados deste processo.

Figura 4.12: Dados do processo de Destilação para a Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Na Figura 4.12 nota-se que a vinhaça tem representatividade significativa com 1.285.867.789 litros por safra, ou seja, um resíduo com volume da ordem de bilhões de litros, ressaltando que sua função é fazer parte de uma fertirrigação supervisionada no canavial. A característica da cana permite neste caso produzir 80,32 litros por tonelada.

A etapa de geração de vapor e energia elétrica da Usina de Referência tem seu início com a queima do bagaço na caldeira, a quantidade de bagaço obtida é de 98.771 kg/h. A caldeira considerada é do tipo aquotubular com pressão de operação de 42 kgf/cm2 e temperatura do vapor de 400 °C, a quantidade de vapor vivo gerado é de 215.537 kg/h, sendo que para o processo de desidratação é destinado 1.096 kg/h antes de ser direcionado para a turbina a vapor.

O processo industrial consome simultaneamente o vapor vivo e energia elétrica, vapor para os processos e energia elétrica para os equipamentos agregados nos mesmos. O vapor vivo chega à turbina de contrapressão e extração tem o valor de 214.441 kg/h para realizar o processo de cogeração de energia elétrica e ser distribuído para o processo industrial, para os aquecedores são destinados 8.983 kg/h, para o evaporador 107.144 kg/h, para o processo de destilação 77.508 kg/h e 20.806kg/h para a retificação, ao passar por estes processos o vapor é novamente condensado e recomposto ao sistema, que é de circuito fechado.

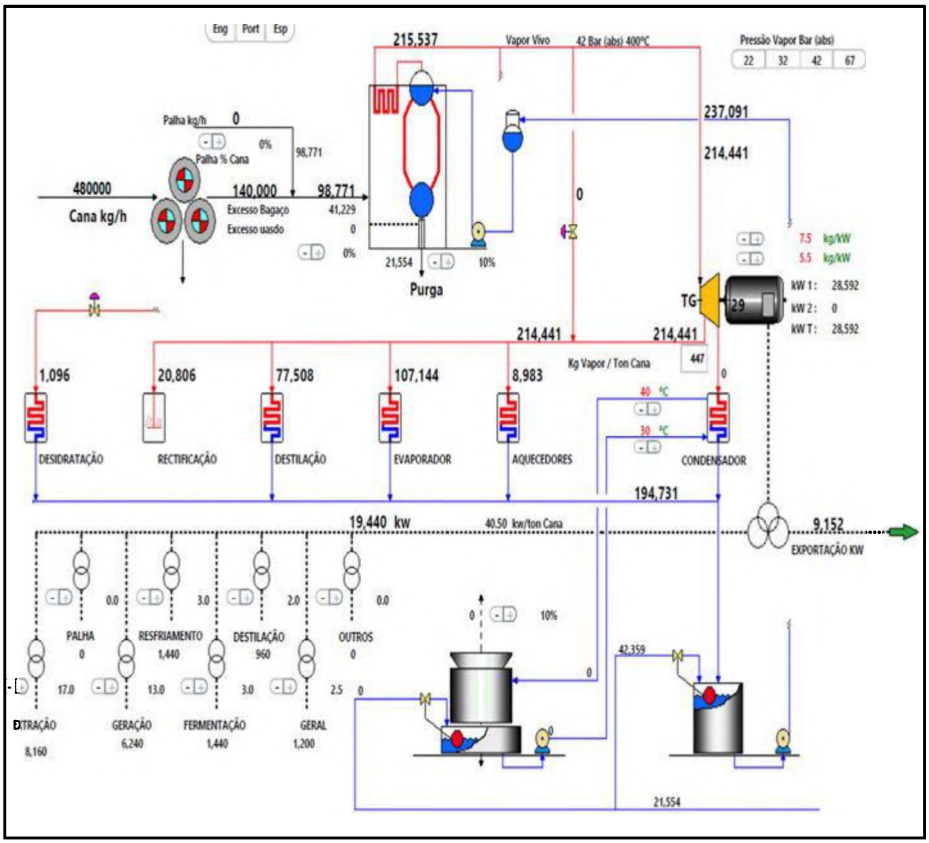
A energia elétrica gerada tem dois destinos, o primeiro para o aten-



Digitized by Google

dimento aos equipamentos industriais dos processos de extração, equipamentos do setor de geração de energia elétrica, resfriamento, fermentação, destilação, equipamentos gerais e outros, sendo o restante para a venda à concessionaria local. O fluxograma da Figura 4.13 demonstra as linhas de vapor e energia elétrica para a Usina de Referência.

Figura 4.13: Fluxograma do processo de geração de vapor e energia elétrica na Usina de Referência.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Para a geração de vapor e energia elétrica que alimenta os processos, são admitidos os valores médios utilizados dos insumos para que se possa atingir o nível de pressão e temperatura desejada para o vapor. A Tabela 5.2 demonstra os valores médios do bagaço, eficiência da caldeira, fibra da cana, brix do bagaço, fibra do bagaço, poder calorifico infe-



Digitized by Google

rior do bagaço, o calor disponível, o calor transferido a água e a relação do quilograma de Vapor produzido por quilograma de bagaço queimado

Tabela 5.2: valores médios da geração de vapor e energia elétrica da Usina de Referência em porcentagens

| PARÂMETROS | VALORES MÉDIOS |
|---|---|
| Umidade % bagaço | 50 |
| Cinza % bagaço | 3 |
| Eficiência Caldeira % | 85 |
| Temperatura Água ºC | 90 |
| Fibra % cana | 14 |
| Brix % bagaço | 2,666667 |
| Fibra % bagaço | 48 |
| PCI bagaço kJ/kg | 7279 |
| Entalpia kJ/kg | 3212 |
| Calor disponível kJ/kg | 6187 |
| Calor em Água kJ/kg | 377 |
| kg Vapor/ Kg bagaço | 2,18 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O processo industrial consome o total de 19.440 kW, sendo distribuídos nos processos da seguinte forma: 8.166 kW no processo de extração, 1.440 kW no processo de resfriamento, 1.440 kW no processo de fermentação, para os equipamentos destinados ao setor de geração de energia elétrica (Caldeiras e casa de Força) 6.240 kW, 960 kW no processo de destilação e nos demais processos 1.200 kW. Salienta-se que o setor de Geração de energia elétrica abrange os equipamentos da Caldeira (Transportadores de bagaço, Alimentadores de bagaço, Retirada e tratamento de cinzas, Bombas de água para caldeira, Ventiladores, Bombas produtos químicos e Iluminação) e da Casa de Força (Bombas de água aos condensadores, Ar condicionado e Iluminação). A Tabela 5.3 demonstra a relação do consumo pelos processos de vapor vivo produzido, assim como o consumo de energia elétrica.



Digitized by Google

Tabela 5.3: Valores médios do consumo de vapor vivo e demanda de energia elétrica- Usina de Referência.

| PROCESSOS | DEMANDA DE VAPOR VIVO (kgV/h) |
|---|---|
| *Desidratação | - |
| Retificação | 20.806 |
| Destilação | 77.508 |
| Evaporação | 107.144 |
| Aquecimento | 8.983 |
| TOTAL | 214.441 |
| | |
| **PROCESSOS** | **DEMANDA DE ENERGIA ELÉTRICA (kW)** |
| Extração | 8.160 |
| Equip. Setor Geração | 6.240 |
| Resfriamento | 1.440 |
| Fermentação | 1.440 |
| Destilação | 960 |
| Geral | 1.200 |
| **TOTAL** | **19.440** |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014. *Desidratação consome vapor diretamente da caldeira, antes da turbina.

Os processos da Tabela 5.3 que consomem vapor são: o de Retificação com 20.806 kgV/h com consumo de 9,7%, a Destilação com 77.508 kgV/h com 36% de consumo, para o Evaporador que é processo de o maior consumo com 107.144 kgV/h com 50% do consumo total e para os aquecedores 8.893 kgV/h com 4,1% consumidos, para atendimento a estes processos foram produzidos 447 kg de Vapor por tonelada de cana. A demanda de energia elétrica feito pelos equipamentos auxiliares dos processos totaliza 19.440 kW com uma relação especifica de 40,50 kW por tonelada de cana, distribuídos conforme segue: o processo de Extração demanda 8.160 kW, o processo de Geração de Vapor 6.240 kW, o Resfriamento 1.440 kW, a Fermentação 1.440 kW, a Destilação 960 kW e para uso geral na indústria 1.220 kW.

A etapa final de análise da Usina de Referência concentra-se no Balanço Financeiro, contemplando a Produção anual, Despesas e Receitas. A produção da safra é demonstrada na Tabela 5.4, com valores da cana moída com 85% de rendimento, produção de açúcar, etanol, levedura, Melaço, bagaço e Energia Elétrica.



Digitized by Google

Tabela 5.4: Valores da produção da safra da Usina de Referência em Reais (R$).

| Produtos | Produção Total | un. | Valor em Real por Unidade | Total em Reais (2015) |
|---|---|---|---|---|
| açúcar | 57.580 | ton. | 1043 | 60.055.940,00 |
| etanol | 100.627 | m3 | 1200 | 120.752.400 |
| levedura | 2.616 | ton. | 950 | 2.485.200 |
| melaço | - | ton. | 800 | - |
| bagaço | 151.392 | ton. | 100 | 15.139.200 |
| energia elétrica | 33.607 | MWh | 150 | 5.041.050 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os valores da Tabela 5.5 são os insumos básicos para os cálculos das Despesas e receitas, uma vez que se procura estabelecer uma unidade adimensional. Um dos principais indicadores das usinas são as Despesas, em função da tonelada de cana moída, os quais são apresentados na Tabela 5, contemplando a compra da cana, dos produtos químicos, insumos gerais, embalagens, manutenção incluindo a operação geral da indústria e Despesas com salários.

Conforme descrito na metodologia o valor em unidade monetária utilizada é referente à Tabela 3.2. Os valores para os cálculos das Despesas são os da Tabela 5.5, que o pesquisador insere para que o *software* BALANCE processe os valores finais em função do total das toneladas de cana moída, especificando para cada despesa o seu valor, conforme descrito na metodologia deste livro.

Tabela 5.5: Valores das Despesas da Usina de Referência em Reais (R$) e suas porcentagens equivalente a cana moída.

| DESPESAS | R$ | ton | R$/ton | % sobre Total |
|---|---|---|---|---|
| Cana | 58,00 | 1.762.560 | 102.228.480,00 | 85,67 |
| Prod. Químicos | 0,70 | 1.762.560 | 1.233.792,00 | 1,03 |
| Insumos | 0,40 | 1.762.560 | 705.024,00 | 0,59 |
| Embalagens | 1,00 | 1.762.560 | 1.762.560,00 | 1,48 |
| E. Elétrica | 0,00 | 1.762.560 | - | - |
| Manutenção | 4,00 | 1.762.560 | 7.050.240,00 | 5,91 |
| Salários | 3,60 | 1.762.560 | 6.345.216,00 | 5,32 |
| Outros | 0,00 | 1.762.560 | - | - |
| TOTAL | | | 119.325.312,00 | 100,00 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

Ressalta-se que a cana, sendo o principal produto para o funcionamento da Usina, tem sua representatividade significativa nas Despesas com 85,7%, seguida da manutenção com 5,9% e salários 5,3%.

As Receitas levam em conta os rendimentos auferidos com a venda de açúcar, etanol, levedura, bagaço e energia elétrica. O resultado final faz a correlação da Despesas Industriais com a Receita Total, estes valores estão apresentados na Tabela4. 6.

Tabela 5.6: Receitas e resultado final da Usina de Referência em Reais (R$) e as porcentagens.

| | | |
|---|---|---|
| açúcar (a) | 60.056.076,00 | 31,6% |
| etanol (b) | 120.752.640,00 | 63,6% |
| levedura (c) | 2.485.492,00 | 1,3% |
| Melaço (d) | - | 0,0% |
| bagaço (e) | 1.513.917,00 | 0,8% |
| energia elétrica (f) | 5.040.992,00 | 2,7% |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 189.849.117,00 | 100,0% |
| Imposto % | (36.071.322,00) | 19,0% |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 153.777.785,00 | 81,0% |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | ( 119.325.312,00) | 62,9% |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 34.452.473,00 | 18,1% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Para a Usina de Referência, o produto que tem o maior valor significativo, em valores médios do ano de 2015, é o etanol representando 63,6% da receita auferida, em seguida o açúcar com participação de 31,6% e a energia elétrica com 2,7%. Os impostos representam em média 19%, diferindo em 0,9% a maior em relação ao Resultado Líquido.

## 4.1 Simulações das hipóteses de possíveis valores a serem utilizados para as simulações definitivas das Usina Alpha1, Usina Alpha2, Usina Alpha equilíbrio e Usina Alpha Equilíbrio mais energia elétrica.

Para as simulações das Usinas Hipóteses, levaram-se em consideração os mesmos parâmetros técnicos e econômicos realizados para a



Digitized by Google

Usina de Referência, somente lançando como variáveis a distribuição do caldo entre as utilidades etanol e açúcar em diferentes porcentagens, tendo como consequência o consumo maior ou menor do vapor em relação ao processo. Tal situação irá afetar a disponibilidade para geração de energia elétrica no processo. No *software* BALANCE se tem a liberdade de distribuir o caldo de diferentes formas entre as utilidades etanol e açúcar, porém a energia elétrica irá depender da capacidade da caldeira e da turbina, porque irá depender da quantidade do vapor evitado no processo de produção das utilidades. Na Tabela 7 pode-se observar os resultados das simulações realizadas a partir das diferentes hipóteses de porcentagens atribuídas a produção do etanol e do açúcar, no total de 20 simulações.

Estes resultados foram comparados com o desempenho da Usina de Referência, construída por este pesquisador, e a partir destes dados foram apontados os valores que servirão para as simulações das usinas Alphas.

### 4.1.1 Simulações das Usinas Alphas

Para as quatro simulações denominadas como: (A) Usina Alpha1, (B) Alpha2 e de (C) Alpha Equilíbrio e (D) Alpha Equilíbrio + energia elétrica, os parâmetros técnicos utilizados para todas foram iguais aos da Usina de Referência e, também para as Usinas de Hipóteses : moagem da cana de 2,073 milhões de toneladas, sendo a eficiência média do tempo em 85%, considerando-se para os cálculos os valores de 480.000 kg horários, resultando em 9.792 toneladas diárias e 1.762.560 toneladas durante toda a safra, que são os dados da Usina de Referência. A caldeira considerada é do tipo aquotubular com pressão de operação de 42 kgf/cm2 e a temperatura do vapor de 400 °C.


Digitized by Google

Tabela 5.7: Resultados das simulações das Hipóteses.

| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1a | | H1a/REFERÊNCIA (%) | USINA H2a | | H2a/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 90%ETANOL | 10%AÇUCAR | | 10%ETANOL | 90%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 0% | | | 0% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 100% | | | 100% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 14.424 | | -57% | 52.790 | | 57% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 20.777.149 | | -40% | 48.127.817 | | 40% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1b | | H1b/REFERÊNCIA (%) | USINA H2b | | H2b/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 99%ETANOL | 1%AÇUCAR | | 1%ETANOL | 99%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 0% | | | 0% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 100% | | | 100% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 10.108 | | -70% | 57.106 | | 70% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 17.700.187 | | -49% | 51.204.842 | | 49% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1c | | H1c/REFERÊNCIA (%) | USINA H2c | | H2c/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 99%ETANOL | 1%AÇUCAR | | 1%ETANOL | 99%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 50% | | | 50% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 50% | | | 50% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 5.283 | | -84% | 54.685 | | 63% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 21.866.813 | | -37% | 53.295.134 | | 55% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1d | | H1d/REFERÊNCIA (%) | USINA H2d | | H2d/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 99%ETANOL | 1%AÇUCAR | | 1%ETANOL | 99%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 60% | | | 60% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 40% | | | 40% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 4.318 | | -87% | 54.201 | | 61% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 22.700.198 | | -34% | 53.713.188 | | 56% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1e | | H1e/REFERÊNCIA (%) | USINA H2e | | H2e/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 99%ETANOL | 1%AÇUCAR | | 1%ETANOL | 99%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 20% | | | 20% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 80% | | | 80% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 8.178 | | -76% | 56.138 | | 67% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 19.366.856 | | -44% | 52.040.959 | | 51% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1f | | H1f/REFERÊNCIA (%) | USINA H2f | | H2f/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 99%ETANOL | 1%AÇUCAR | | 1%ETANOL | 99%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 30% | | | 30% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 70% | | | 70% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 7.213 | | -79% | 55.654 | | 66% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 20.200.142 | | -41% | 52.459.012 | | 52% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1g | | H1g/REFERÊNCIA (%) | USINA H2g | | H2g/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 99%ETANOL | 1%AÇUCAR | | 1%ETANOL | 99%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 70% | | | 70% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 30% | | | 30% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 3.353 | | -90% | 53.717 | | 60% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 23.533.484 | | -32% | 54.131.251 | | 57% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1h | | H1h/REFERÊNCIA (%) | USINA H2h | | H2h/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 70% | | | 30% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 30% | | | 70% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 28.535 | | -15% | 31.433 | | -6% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 38.832.286 | | 13% | 36.229.550 | | 5% | 37.580.968 | |
| | | | | | | | | | | |
| CLARIFICAÇÃO/ UTILIDADES | USINA DE REFERÊNCIA | | USINA H1i | | H1i/REFERÊNCIA (%) | USINA H2i | | H2i/REFERÊNCIA (%) | USINA H3 Equilibrio | |
| | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR | | 50%ETANOL | 50%AÇUCAR |
| ETANOL HIDRATADO | 0% | | 60% | | | 20% | | | 50% | |
| ETANOL ANIDRO | 100% | | 40% | | | 80% | | | 50% | |
| ENERGIA MWh | 33.607 | | 29.260 | | | 32.158 | | -4% | 29.984 | |
| RESULTADO R$ | 34.452.473 | | 38.206.627 | | | 35.703.890 | | 4% | 37.580.968 | |

Fonte: elaboração própria.

As usinas Hipóteses que foram utilizadas como referência para simulações para as Usinas Alphas, foram as seguintes:



Digitized by Google

- Alpha 1 utilizou-se os parâmetros utilizados na Usina H1a.
- Alpha 2 utilizou-se dos parâmetros utilizados na Usina H2a.
- Alpha Equilíbrio utilizou-se dos parâmetros da Usina H3 Equilíbrio.

A partir das simulações da Tabela 5.7, determinou-se que, além destes dados servirem como base para escolher os valores e porcentagens finais que deveriam ser simulados para as Usinas Alpha1 e Usina Alpha2 e Usina Alpha Equilíbrio, ainda se verificou a possibilidade de criar outra versão de usina, adotando um acréscimo compensatório para a energia elétrica, por meio do uso de 2% de palha para queima no processo, que se denominou Usina de Equilíbrio + Energia elétrica.

### 4.1.2 Simulações das Usinas Alphas, Equilíbrio e Equilíbrio + Bioeletridade e os cálculos técnicos e econômicos de cada.

Para as simulações destas quatro usinas Alphas o parâmetro que fara o diferencial será os valores do caldo clarificado, que serão alterados de acordo com a finalidade da escolha da utilidade a ser priorizada. Sendo assim Alpha1 foi priorizada a produção etanol; a Alpha2 a produção de açúcar; Alpha Equilíbrio foi priorizado 50% do caldo para açúcar e 50% para o etanol, não priorizou a energia elétrica; Alpha Equilíbrio + energia elétrica utilizou 50% do caldo para o etanol e 50% para o açúcar e um acréscimo de 2% da palha para a queima, para maior geração da energia elétrica.

Os valores monetários utilizados para as simulações das usinas Alphas são os mesmos da Usina de Referência conforme Tabelas 3.1 e 3.2 citadas na metodologia.

A partir deste ponto, passa-se a simulação das 4 usinas, segundo os parâmetros descritos acima.

**a)Simulação da Alpha1**

O objetivo desta simulação é priorizar a produção do etanol em relação a produção de açúcar e geração de energia elétrica, para efetuar essa premissa direcionou-se 90% do caldo Clarificado para a destilação


Digitized by Google

do etanol e os 10% restantes para a fabricação do açúcar. Os parâmetros de moagem, eficiência de tempo da usina, utilizados para a simulação desta Usina são iguais aos da Usina de Referência. A caldeira utilizada permanece com os parâmetros iguais ao da Usina de Referência, ou seja, é do tipo aquotubular com pressão de operação de 42 kgf/cm2 e a temperatura de 400 °C, a quantidade de vapor vivo gerado neste caso é de 207.590 kg/h, observando que para o processo de desidratação são destinados 548 kg/h antes de ser direcionado para a turbina a vapor, sendo a quantidade de bagaço para queima na caldeira de 95.129 kg/h. Os valores médios de entrada da Usina são os apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Valores médios dos parâmetros da Usina Alpha1em porcentagem

| PARÂMETROS | VALORES MÉDIOS |
|---|---|
| Pol % cana | 13 |
| Eff. %Tempo | 85 |
| Pureza cana | 85 |
| Fibra % cana | 14 |
| Pol % bagaço | 2 |
| Fibra % bagaço | 48 |
| Pureza bagaço | 75 |
| Emb % Fibra | 250 |
| Brix % Xarope | 60 |
| Pureza açúcar | 99,9 |
| Pureza Mel Final | 55 |
| Pol % Torta | 1,5 |
| Eff. % Fermentação | 90 |
| Eff. % Destilação | 99 |
| etanol % hidratado | 93,8 |
| etanol % anidro | 99,3 |
| Dias Safra | 180 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Dentre os valores médios, ressalta-se que a eficiência do tempo está diretamente relacionada à eficiência da moagem da cana, que impacta na disponibilidade da quantidade de bagaço. Na Figura 4.14 pode-se verificar o processo geral de funcionamento da Usina Alpha1.

Os dados do Fluxograma da Figura 4.14 demonstram que são extraídos 508.000 kg/h de caldo que são direcionados ao processo de Clarificação. Para a Caldeira são disponibilizados 140.000 kg/h de bagaço



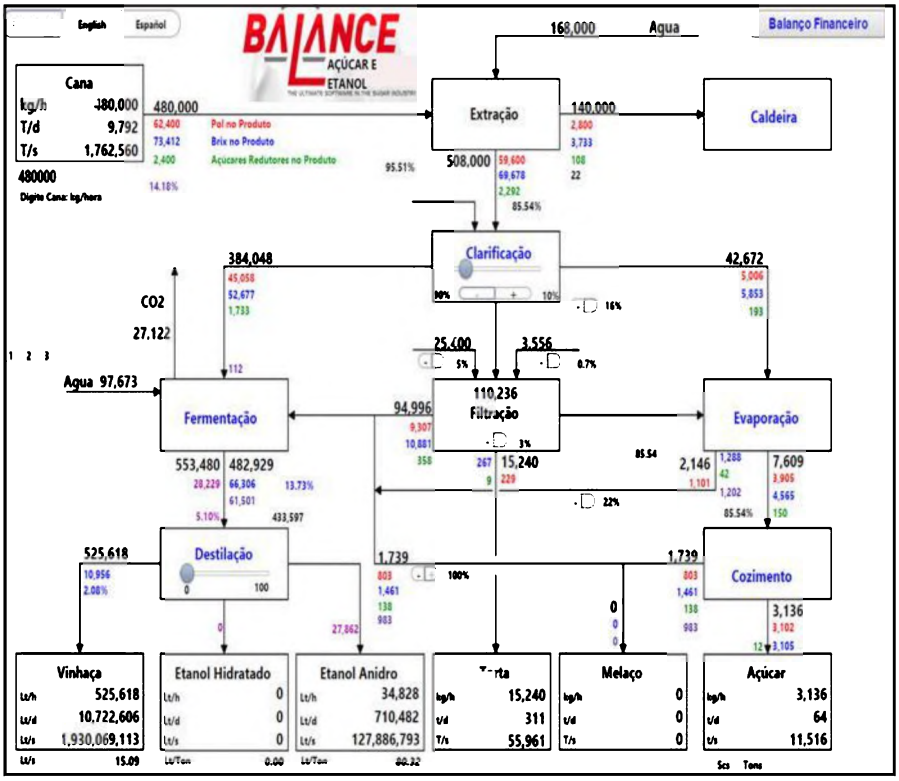
Digitized by Google

para a combustão direta.

Nota-se que no processo de Clarificação são direcionados 90% do caldo, ou seja 384.048 kg/h para o processo de Fermentação, e consequente Destilação do etanol anidro. Para o processo de Evaporação são destinados 42.672 kg/h do caldo, ou seja, 10% do total.

Do processo de Fermentação originam 553.480 kg/h de vinho e 482.929 kg/h de mosto que vão para o processo de Destilação, que produziu 127.886.793 litros por safra. Do processo de Cozimento, forma centrifugados 3.136 kg/h de açúcar, sendo 11.516 toneladas por safra. O Fluxograma da Figura 4.15 apresenta o Processo de Geração de Vapor e sua distribuição nos processos.

Figura 14: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha1




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Observa-se que a maior quantidade de vapor é direcionada ao processo de Destilação com 95.505 kgV/h priorizando a produção de eta-

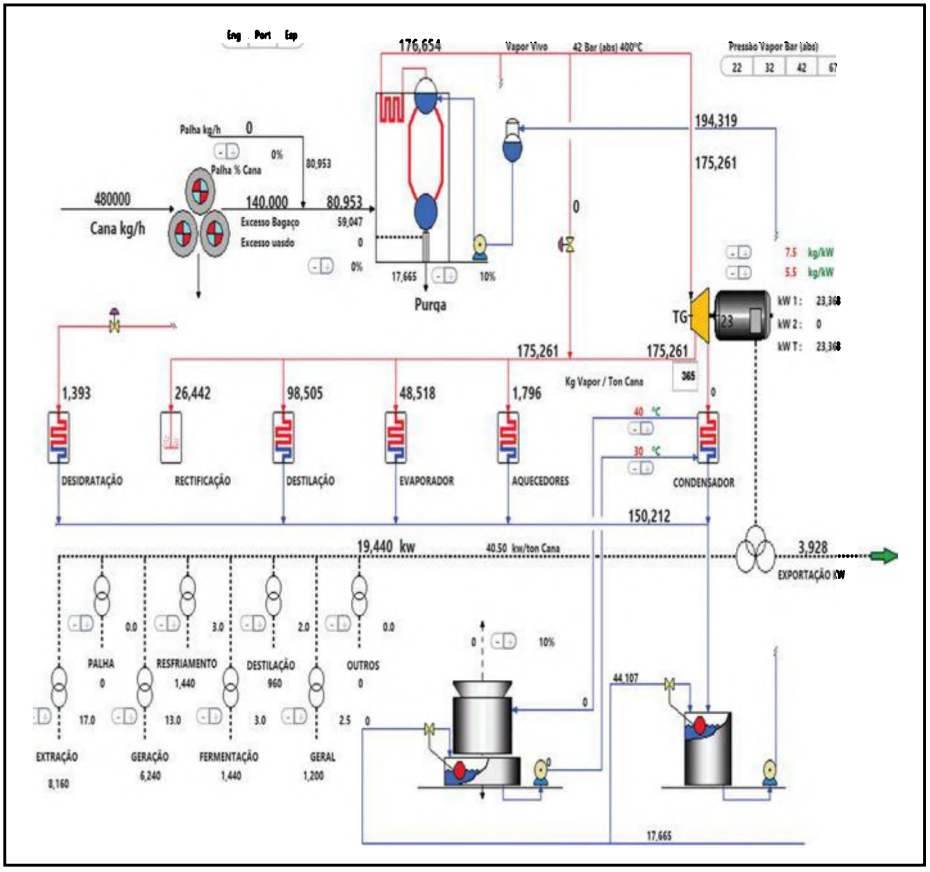


Digitized by Google

nol, para o açúcar é direcionado 48.518 kgV/h. A demanda de energia elétrica dos equipamentos auxiliares da indústria é distribuídos com se segue: Extração 8.160 kW, Geração de Vapor 6.240 kW, Resfriamento 1.440 kW, Fermentação 1.440 kW, Destilação 960 kW e a demanda de uso geral de 1.200 kW.

A produção da safra é demonstrada na Tabela 5.9 com valores da cana moída com 85% de rendimento, produção de açúcar, etanol, levedura, Melaço, bagaço e Energia Elétrica.

Figura 4.15: Fluxograma do processo de geração de vapor e energia elétrica da Usina Alpha1.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

Tabela 5.9: Valores da Produção Safra da Usina Alpha1 em Reais (R$).

| Produtos | Produção Total | un. | Valor em Real por Unidade | Total em Reais (2015) |
|---|---|---|---|---|
| açúcar | 57.580 | ton. | 1043 | 60.055.940,00 |
| etanol | 127.887 | m3 | 1200 | 153.464.400 |
| levedura | 3.325 | ton. | 950 | 3.158.750 |
| Melaço | - | ton. | 800 | - |
| bagaço | 216.821 | ton. | 100 | 21.682.100 |
| energia elétrica | 14.424 | MWh | 150 | 2.163.600 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

A produção de etanol é a mais significativa com 127.887 $m^3$, sendo a quantidade de açúcar produzido minimizado em função do direcionamento do caldo (10%) e consequente redução no consumo de vapor. As Despesas da indústria são apresentadas na Tabela 5.10, que faz correlação entre as Despesas com a tonelada de cana moída, conforme citado na metodologia.

Tabela 5.10: Valores das Despesas da Usina Alpha1 em Reais (R$) e suas porcentagens equivalente a cana moída.

| | | |
|---|---|---|
| cana | 102.228.480,00 | 85,7% |
| prod. químicos | 1.233.792,00 | 1,0% |
| insumos | 705.024,00 | 0,6% |
| embalagens | 1.762.560,00 | 1,5% |
| energia elétrica | - | 0,0% |
| manutenção | 7.050.240,00 | 5,9% |
| salários | 6.345.216,00 | 5,3% |
| Outros | - | 0,0% |
| TOTAL | 119.325.312,00 | 100,0% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados da Tabela 5.10 contempla as principais Despesas da Usina Alpha1, sendo a compra da cana a principal delas com 85% de participação, seguida da manutenção (5,9%), salários (5,3%), embalagens (1,5%), produtos químicos (1,0%) e insumos gerais (0,6).

O Balanço Financeiro indica os valores e auferidos com cada utili-



Digitized by Google

dade, sendo as mais significativas o etanol, o açúcar e a energia elétrica; a levedura e o bagaço são utilidades que tem disponibilidades variadas e dependentes das condições da cana no caso do bagaço e da destilação de etanol no caso da levedura, estes valores são apresentados na Tabela 11.

Para a Usina Alpha1, onde foi simulado com 90% para a Destilação do etanol, o mesmo apresentou uma significância de 88,7% sendo o mais significativo, em seguida o açúcar com participação de 6,9% e a Energia Elétrica com 1,3%. Os impostos representam em média 19,0%, diferindo em 7,0% a maior em relação ao Resultado líquido, ou seja a Usina neste caso paga mais imposto em relação ao resultado obtido.

Tabela 5.11: Receitas e resultado final da Usina Alpha1 em Reais (R$).e suas porcentagens

| | | |
|---|---|---|
| açúcar (a) | 12.011.219,00 | 6,9% |
| etanol (b) | 153.464.160,00 | 88,7% |
| levedura (c) | 3.518.804,00 | 2,0% |
| Melaço (d) | - | 0,0% |
| bagaço (e) | 2.168.211,00 | 1,3% |
| energia elétrica (f) | 2.163.606,00 | 1,3% |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 172.966.001,00 | 100,2% |
| Imposto % | (32.863.540) | -19,0% |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 140.102.461,00 | 81,0% |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | -69,0% |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 20.777.149,00 | 12,0% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

**b) Simulação Usina Alpha2.**

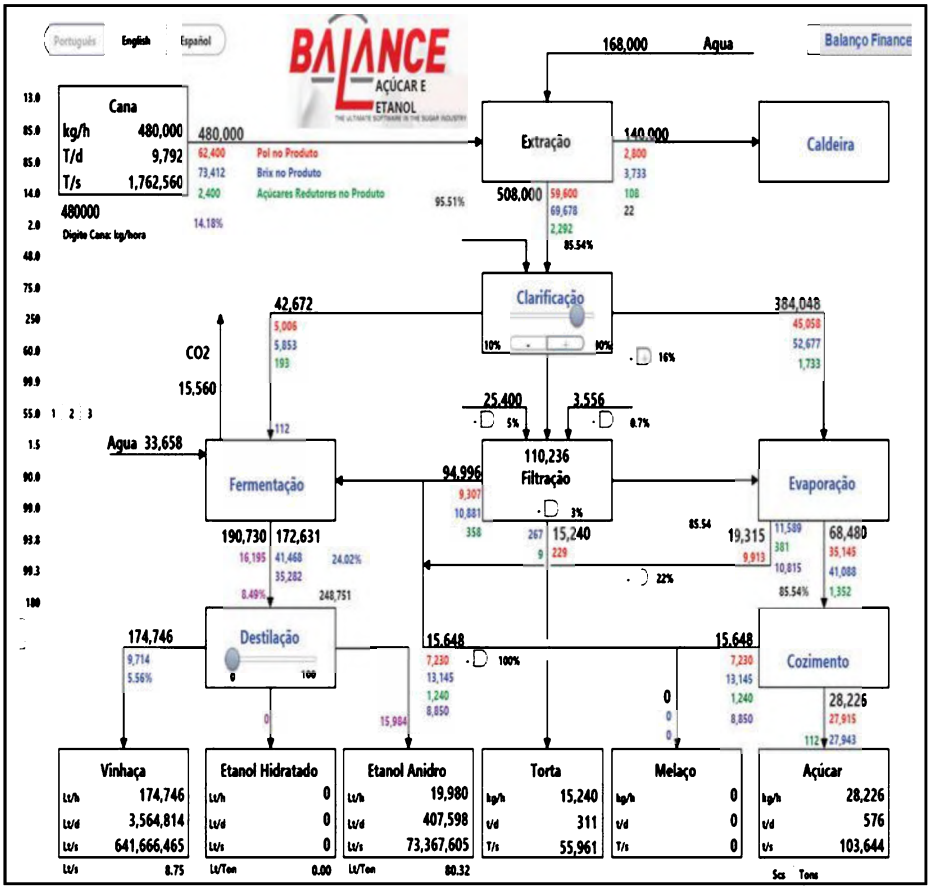
A Usina Alpha2, mantém iguais os dados de insumos da Usina de Referência, com moagem de 2,073 milhões de toneladas, eficiência média do tempo de 85%, considerando para os cálculos os valores de 480.000 kg horários, resultando em 9.792 toneladas diárias e 1.762.560 toneladas durante toda a safra. Nesta simulação 90% do caldo foi priori-



Digitized by Google

tariamente direcionado à fabricação do açúcar, sendo os 10% restantes para o etanol. O Fluxograma apresentado na Figura 4.16 apresenta o processo geral da Usina Alpha2.

Figura 16: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha2.



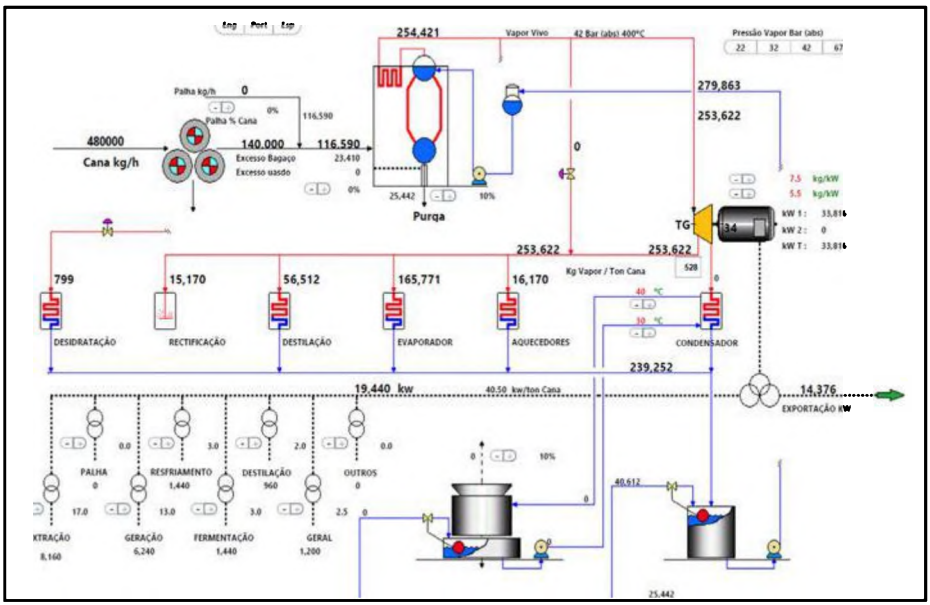

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O direcionamento do caldo em 90% para a fabricação de açúcar é feito no processo de Clarificação. A partir do processo de Clarificação pode-se observar que foi destinado a quantidade de 384.048 kg/h do caldo para a evaporação e o cozimento, ou seja para a produção do açúcar. O Fluxograma da Figura 4.17 apresenta o processo de Geração de Vapor e sua distribuição nos processos.



Digitized by Google

Figura 4.17: Fluxograma do processo de geração de vapor e energia elétrica da Usina Alpha2




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Nota-se que a maior quantidade de vapor, nesta configuração, é direcionada ao processo de Evaporação com 165.771 kgV/h priorizando a produção de açúcar, para o etanol é direcionado 56.512 kgV/h. Na indústria não foram alterados os equipamentos auxiliares o consumo permanece o mesmo das configurações anteriores, sendo as demandas distribuídas como segue: Extração 8.I60 kW, Geração de Vapor 6.240 kW, Resfriamento 1.440 kW, Fermentação 1.440 kW, Destilação 960 kW e demanda de uso geral de I.200 kW, perfazendo o total de 19.440 kW.

A energia elétrica gerada obteve um acréscimo devido ao excesso de vapor, podendo produzir até 33.8I6 kW, sobrando para a venda de energia elétrica para a concessionaria a potência de 14.376 kW, observando que a venda de energia elétrica é considerada como sendo a potência multiplicada pelas horas de safra em função dos dias de funcionamento da usina.

A produção da safra é demonstrada na Tabela 5.12, com valores da cana moída com 85% de rendimento perfazendo o total de 1.762.560 ton, a produção de açúcar com 103.644 ton, o etanol com 73.368 m$^3$, a levedura 1.908 ton, Melaço, bagaço 85.961 ton e Energia Elétrica com 33.607 MWh



Digitized by Google

para a venda concessionaria, a Tabela 5.12 define a produção por safra.

Tabela 5.12: Valores da produção por safra da Usina Alpha2 em Reais (R$).

| Produtos | Produção Total | un. | Valor em Real por Unidade | Total em Reais (2015) |
|---|---|---|---|---|
| açúcar | 103.644 | ton | 1043 | 108.100.692,00 |
| etanol | 73.368 | m3 | 1200 | 88.041.600 |
| levedura | 1.908 | ton | 950 | 1.812.600 |
| melaço | - | ton | 800 | - |
| bagaço | 85.961 | ton | 100 | 8.596.100 |
| energia elétrica | 52.790 | MWh | 150 | 7.918.500 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados da Tabela 5.12 indicam que a produção do açúcar é majoritária, confirmando a hipótese da simulação, a seguir o etanol como o segundo valor mais expressivo. As Despesas são apresentados na Tabela 13, em função da tonelada de cana moída contemplando a compra cana, dos produtos químicos, insumos gerais, embalagens, manutenção, salários.

Tabela 5.13: Valores das Despesas da Usina Alpha2 em Reais (R$) e suas porcentagens equivalente a cana moída.

| | | |
|---|---|---|
| cana | 102.228.480,00 | 85,7% |
| prod. químicos | 1.233.792,00 | 1,0% |
| insumos | 705.024,00 | 0,6% |
| embalagens | 1.762.560,00 | 1,5% |
| energia elétrica | - | 0,0% |
| manutenção | 7.050.240,00 | 5,9% |
| salários | 6.345.216,00 | 5,3% |
| Outros | - | 0,0% |
| TOTAL | 119.325.312,00 | 100,0% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

O Balanço Financeiro indica os valores e auferidos com cada utilidade, o açúcar é o mais representativo devido à priorização que foi destinada ao mesmo, em seguida o etanol e a energia elétrica; a levedura e o bagaço são utilidades que tem disponibilidades variadas, estes valores são apresentados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14: Receitas e resultado final da Usina Alpha2 em Reais (R$).e em porcentagem

| | | |
|---|---|---|
| açúcar (a) | 108.100.901,00 | 52,3% |
| etanol (b) | 88.041.120,00 | 42,6% |
| levedura (c) | 1.812.180,00 | 0,9% |
| melaço (d) | - | 0,0% |
| bagaço (e) | 859.608,00 | 0,4% |
| energia elétrica (f) | 7.918.450,00 | 3,8% |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 206.732.258,00 | 100,0% |
| Imposto % | (39.279.129) | -19,0% |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 167.453.129,00 | 81,0% |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | -57,7% |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 48.127.817,00 | 23,3% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O resultado financeiro da Tabela 5.14 foi obtido em função da alta produção de açúcar com 52,3% e do etanol com 42,6% das Receitas auferidas. Ressalta-se que houve um resultado positivo em 23,3%.

**C) Simulação Usina Alpha Equilíbrio:**
**ponto de equilíbrio entre o etanol e o açúcar.**

A Usina Alpha Equilíbrio busca o ponto de equilíbrio entre a produção do etanol e a produção de açúcar, esse equilíbrio começa na distribuição do caldo no processo de Clarificação destinando uniformemente para os processos de destilação e de evaporação. A moagem da cana permanece em 2,073 milhões de toneladas com eficiência média de 85%, então considera-se para os cálculos os valores de 480.000 kg horários, resultando em 9.792 toneladas diárias e 1.762.560 toneladas durante toda a safra. O Fluxograma da Figura 4.18 define o processo geral da Usina Alpha Equilíbrio.

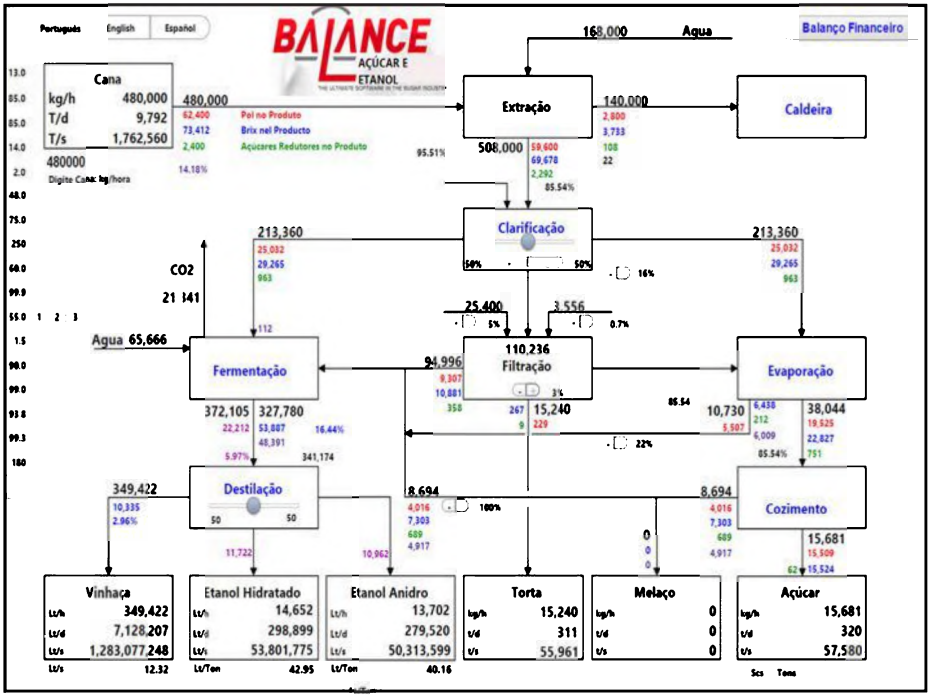
Para a Usina de Alpha Equilíbrio foi direcionado 213.360 kg/h de caldo clarificado para o processo de Fermentação, neste processo é produzido 372.105 kg/h de vinho e 327.780 kg/h de mosto, produ-



Digitized by Google

tos estes destinados ao processo de Destilação, na destilação atribui-se o equilíbrio entre o etanol hidratado e o etanol anidro, sendo a proporção de destilação em 50% para cada. O resultado foi de 58.801.775 litros por safra para o hidratado e de 50.313.599 litros por safra do anidro. A vinhaça é um resíduo de alta significância com 1.283.077.248 litros por safra e a torta para ração animal de 55.961 toneladas/safra.

Figura 4.18: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha Equilíbrio.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Para o processo de evaporação foi destinado a mesma quantidade de caldo (213.360 kg/h), sendo dirigido para o cozimento 38.044 kg/h de xarope, o açúcar produzido neste contexto foi de 57.580 toneladas/safra.

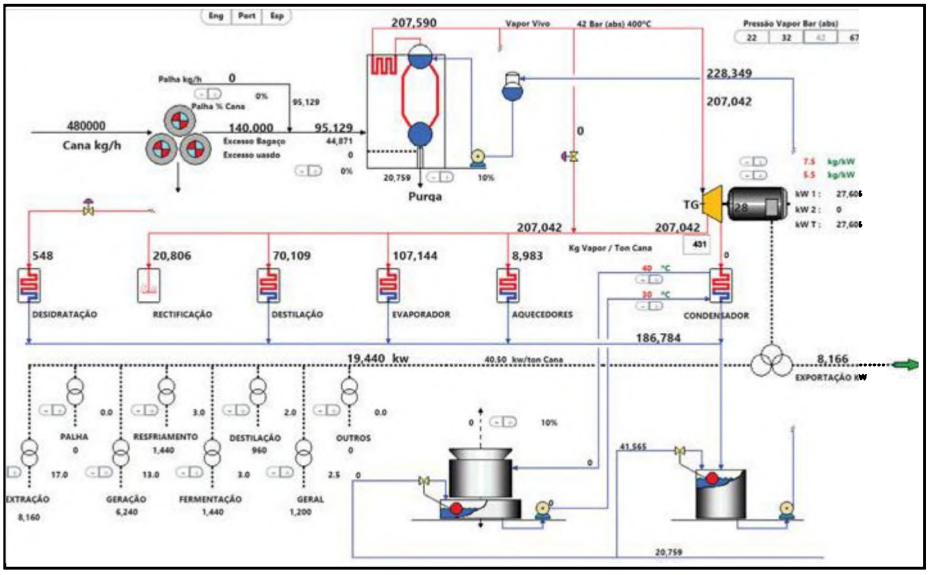
O Fluxograma da Figura 4.19 apresenta o processo de geração de vapor e energia elétrica da planta. No mesmo, pode-se observa-se que mesmo havendo equilíbrio no direcionamento do caldo o vapor necessário aos processos não permanecem iguais, sendo que a maior quan-



Digitized by Google

tidade de vapor é absorvida pelo processo de Evaporação com 107.144 kgV/h que faz parte da fabricação do açúcar , para a destilação do etanol é consumido 70.109 kgV/h. Na indústria não houve alteração dos equipamentos auxiliares o consumo total permanece em 19.440 kW, sendo o restante consumidos nos processos com demandas de: Extração 8.160 kW, Geração de Vapor 6.240 kW, Resfriamento 1.440 kW, Fermentação 1.440 kW, Destilação 960 kW e demanda de uso geral de 1.200 kW.

Figura 4.19: Fluxograma do processo de geração de vapor e energia elétrica da Usina Alpha Equilíbrio.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

A energia elétrica gerada obteve um acréscimo devido a sobras de vapor, podendo produzir até 27.606 kW, sobrando para a venda de energia elétrica para a concessionaria a potência de 8.166 kW, observando que a venda de energia elétrica é considerada como sendo a potência multiplicada pelas horas de safra em função dos dias de funcionamento da usina.

Nesta configuração a produção da safra contemplando os valores da cana moída com 85% de rendimento perfazendo o total de 1.762.560 ton., a produção de açúcar com 57.580 ton, o etanol com 104.115 m$^3$,



Digitized by Google

a levedura 2.707 ton., Melaço, bagaço 164.765 ton e energia elétrica com 29.984 MWh para a venda concessionaria é demonstrada na Tabela 5.15.

Tabela 5.15: Valores da produção da safra da Usina Alpha Equilíbrio em Reais (R$).

| Produtos | Produção Total | un. | Valor em Real por Unidade | Total em Reais (2015) |
|---|---|---|---|---|
| açúcar | 57.580 | ton. | 1043 | 60.055.940,00 |
| etanol | 104.115 | m3 | 1200 | 124.938.000 |
| levedura | 2.707 | ton. | 950 | 2.571.650 |
| Melaço | - | ton. | 800 | - |
| bagaço | 164.765 | ton. | 100 | 16.476.500 |
| energia elétrica | 29.984 | MWh | 150 | 4.497.600 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados da Tabela 5.15 apontam que mesmo direcionando quantidade de caldo iguais para os processos de destilação e fabricação de açúcar, o etanol é beneficiado com uma parte de xarope em excesso no processo de evaporação que se junta com o caldo filtrado que vão para o processo de Fermentação.

Ressalta-se que não houve alteração na operação e nos equipamentos utilizados na indústria, permanecendo inalterados os valores das Despesas, uma vez que a quantidade de cana moída permanece a mesma, alterando somente os valores das demais utilidades. A Tabela 16 demonstra estes valores.

Tabela 5.16: Valores das Despesas da Usina Alpha Equilíbrio em Reais (R$) e em porcentagem equivalente de cana moída

| | | |
|---|---|---|
| cana | 102.228.480,00 | 85,7% |
| prod. químicos | 1.233.792,00 | 1,0% |
| insumos | 705.024,00 | 0,6% |
| embalagens | 1.762.560,00 | 1,5% |
| energia elétrica | - | 0,0% |
| manutenção | 7.050.240,00 | 5,9% |
| salários | 6.345.216,00 | 5,3% |
| Outros | - | 0,0% |
| TOTAL | 119.325.312,00 | 100,0% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

Neste contexto o Balanço Financeiro indica que os valores auferidos para o etanol, o açúcar e a energia elétrica são os mais significativos sendo os menos significativos: a levedura e o bagaço, estes valores são apresentados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17: Receitas e resultado final da Usina Alpha Equilíbrio em Reais (R$) e em porcentagens.

| | | |
|---|---|---|
| açúcar (a) | 60.056.076,00 | 31,0% |
| etanol (b) | 124.938.480,00 | 64,5% |
| levedura (c) | 2.571.650,00 | 1,3% |
| Melaço (d) | - | 0,0% |
| bagaço (e) | 1.647.645,00 | 0,9% |
| energia elétrica (f) | 4.497.605,00 | 2,3% |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 193.711.457,00 | 100,0% |
| Imposto % | (36.805.177) | -19,0% |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 156.906.280,00 | 81,0% |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119325312) | -61,6% |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 37.580.968,00 | 19,4% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Considerando-se que houve um equilíbrio na distribuição do insumo principal dos processos, que é o caldo, o resultado financeiro obtido é diverso dessa equidade, permanecendo o etanol como líder de receita com 64,5%, em seguida o açúcar com 31,0 % e a energia elétrica com 2,3%.

## d) Simulação Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica.

Para Palácio (2008), a maximização da quantidade de eletricidade excedente numa indústria sucroalcooleria depende dos seguintes fatores: configuração do sistema de cogeração, eficiência na utilização da eletricidade e vapor consumido nos diferentes processos, além das condições de operação do vapor. Portanto, a otimização energética dos diferentes processos que compõem a planta é de grande importância na melhoria do rendimento térmico e econômico das plantas de produção de açúcar e etanol. Para esta configuração, incorporou-se à Usina Alpha Equilíbrio um incremento da energia elétrica, com objetivo de se ter maiores eficiência tanto sob o aspecto técnico como no econômico.

A Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica mantém dados de insumos da Usina de Referência, com moagem de 2,073 milhões de toneladas, eficiência média do tempo de 85%, considerando para os cál-



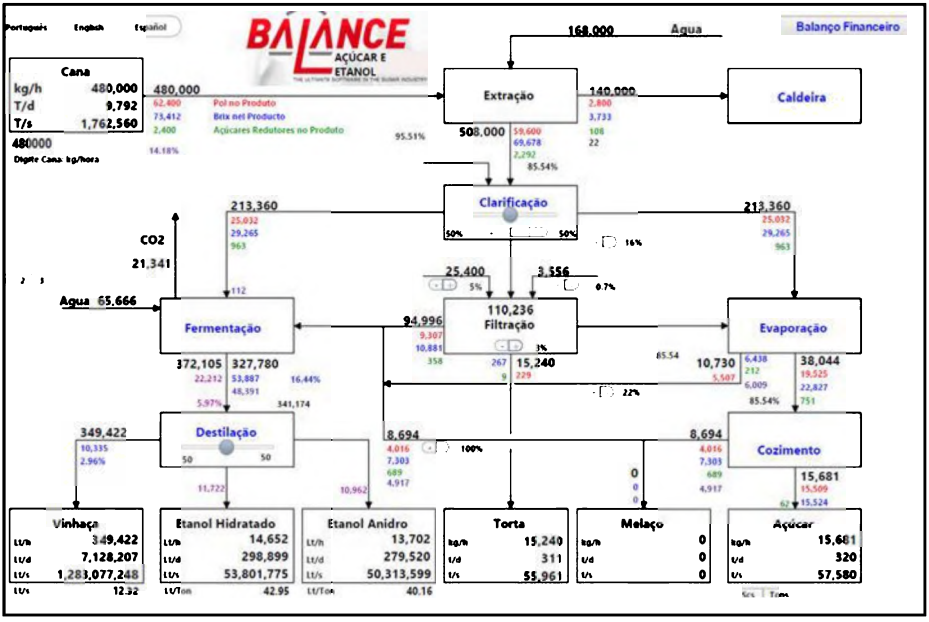
Digitized by Google

culos os valores de 480.000 kg horários, resultando em 9.792 toneladas diárias e 1.762.560 toneladas durante toda a safra.

Neste contexto mantiveram-se os cálculos da Usina Alpha Equilíbrio, com a simulação 50% do caldo foi prioritariamente direcionado à fabricação do açúcar e 50% para o etanol. Os valores mantidos foram: 213.360 kg/h de caldo clarificado para o processo de Fermentação, neste processo é produzido 372.105 kg/h de vinho e 327.780 kg/h de mosto, produtos estes destinados ao processo de Destilação, na destilação atribui-se o equilíbrio entre o etanol hidratado e o etanol anidro, sendo a proporção de destilação em 50% para cada. O resultado foi de 58.801.775 litros por safra para o hidratado e de 50.313.599 litros por safra do anidro. A vinhaça é um resíduo de alta significância com 1.283.077.248 litros por safra e a torta para ração animal de 55.961 toneladas/safra.

Para o processo de evaporação foi destinado a mesma quantidade de caldo (213.360 kg/h), sendo dirigido para o cozimento 38.044 kg/h de xarope, o açúcar produzido neste contexto foi de 57.580 toneladas/safra. O Fluxograma da Figura 20 apresenta o processo de geração de vapor e energia elétrica da planta.

Figura 4.20: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

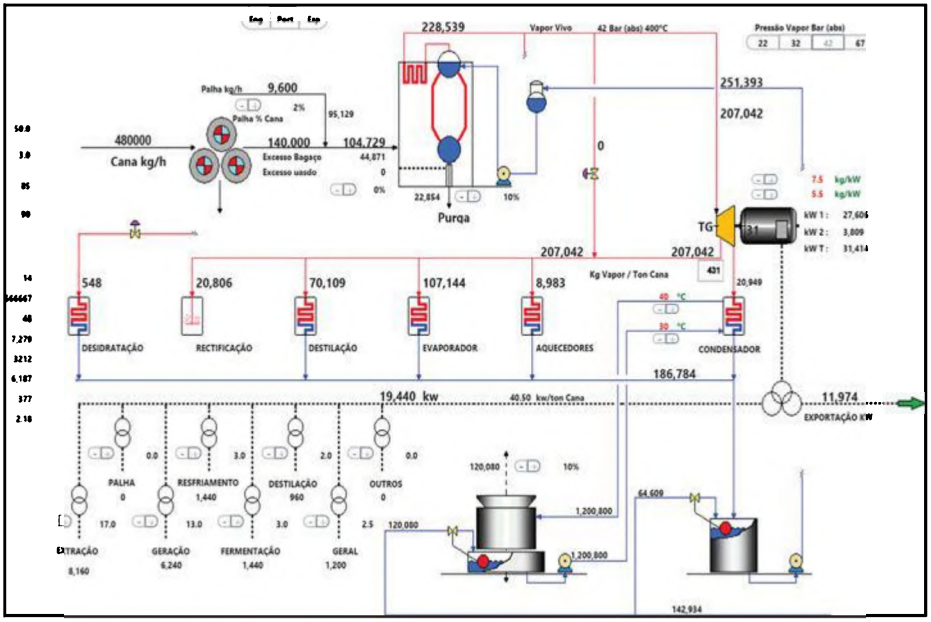


Digitized by Google

Na etapa de geração de vapor o incremento foi adicionar 2% de palha da cana na queima conjunta com o bagaço. Portanto a caldeira passou a gerar 228.539 kgV/h, ou seja 9,1% a mais de vapor que proporcionou o aumento na geração de energia elétrica, uma vez que nada foi alterado nos processos industriais que consomem vapor. O vapor vivo que chega à turbina de contrapressão e extração tem o valor de 207.042 kg/h para realizar o processo de cogeração de energia elétrica e ser distribuído para o processo industrial, para os aquecedores são destinados 8.983 kg/h, para o evaporador 107.144 kg/h, para o processo de destilação 70.109 kg/h e 20.806kg/h para a retificação, ao passar por estes processos o vapor é novamente condensado e recomposto ao sistema, que é de circuito fechado.

A Energia gerada tem dois destinos, o primeiro para o atendimento aos equipamentos industriais dos processos de extração, equipamentos do setor de geração de energia elétrica, resfriamento, fermentação, destilação, equipamentos gerais e outros, sendo o restante para a venda à concessionaria local. O Fluxograma da Figura 4.21 demonstra as linhas de vapor e energia elétrica.

Figura 4.21: Fluxograma do processo de geração de vapor e energia elétrica da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica.




Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

De acordo com o Fluxograma da Figura 4.21 a geração de energia elétrica era de 27.606 kW passando para 31.414 kW, havendo um incremento de 3.809 kW, sendo a disponibilidade para venda à concessionaria de energia elétrica a quantidade de 11.974 kW com o aumento de 32%. Observa-se que mesmo havendo aumento da disponibilidade de energia elétrica o vapor necessário aos processos permanece os mesmos, sendo que a maior quantidade de vapor é absorvida pelo processo de Evaporação com 107.144 kgV/h que faz parte da fabricação do açúcar, para a destilação do etanol é consumido 70.109 kgV/h. Na indústria não houve alteração dos equipamentos auxiliares a demanda total permanece em 19.440 kW, sendo o restante consumidos nos processos com demanda de: Extração 8.160 kW, Geração de Vapor 6.240 kW, Resfriamento 1.440 kW, Fermentação 1.440 kW, Destilação 960 kW e demanda de uso geral de 1.200 kW. A Tabela 5.18 demonstra os valores da produção da safra com o incremento de energia elétrica.

Tabela 5.18: Valores da produção da safra Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica em Reais (R$).

| Produtos | Produção Total | un. | Valor em Real por Unidade | Total em Reais (2015) |
|---|---|---|---|---|
| açúcar | 57.580 | ton. | 1043 | 60.055.940,00 |
| etanol | 104.115 | m3 | 1200 | 124.938.000 |
| levedura | 2.707 | ton. | 950 | 2.571.650 |
| melaço | - | ton. | 800 | - |
| bagaço | 164.765 | ton. | 100 | 16.476.500 |
| energia elétrica | 43.790 | MWh | 150 | 6.568.500 |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Considerando os dados da Tabela 5.18 nota-se que houve um aumento na geração de energia elétrica de 68,4%, passando de 29.984 MWh para 43.790 MWh.

Segundo a ÚNICA (2015), o Centro de Tecnologia canavieira (CTC) está sendo desenvolvendo um novo método para fazer o chamado enfardamento da palha de cana-de-açúcar, que é um resíduo volumoso da colheita mecanizada ainda pouco utilizado pelas usinas, sendo grande importância para a energia elétrica e o desenvolvimento do etanol celulósico, de segunda geração. A metodologia para enfardamento em es-



Digitized by Google

tudo pelo Centro de Tecnologia canavieira (CTC), em Piracicaba (SP), permite recolher grandes quantidades de palha em pontos distantes com eficiência e mobilidade. Considerando que haverá uma adaptação nas maquinas e equipamentos existentes que serão utilizadas, sendo que a mão de obra utilizada já está contemplada nos salários havendo apenas um remanejamento de pessoal, este novo método aponta um custo baixo de recolhimento desta palha, porém não existe nos estudos um valor especificado, para efeito desta simulação considera-se como não significativo.

A Tabela 5.19 demonstra os valores das Despesas que permanecem os mesmos, pois não houve alteração na indústria.

Tabela 5.19: Valores das Despesas da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica em Reais (R$) e suas porcentagens equivalente a cana moída.

| | | |
|---|---|---|
| cana | 102.228.480,00 | 85,7% |
| prod. químicos | 1.233.792,00 | 1,0% |
| insumos | 705.024,00 | 0,6% |
| embalagens | 1.762.560,00 | 1,5% |
| energia elétrica | - | 0,0% |
| manutenção | 7.050.240,00 | 5,9% |
| salários | 6.345.216,00 | 5,3% |
| Outros | - | 0,0% |
| TOTAL | 119.325.312,00 | 100,0% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O Balanço financeiro demonstrado na Tabela 5.20 indica que o etanol tem maior influência sobre as receitas auferidas com 63,8%, seguido do açúcar com 30,7% e a energia elétrica com 3,4%.

Tabela 5.20: Receitas e Resultado final da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica em Reais (R$) e em porcentagem.

| | | |
|---|---|---|
| açúcar (a) | 60.056.076,00 | 30,7% |
| etanol (b) | 124.938.480,00 | 63,8% |
| levedura (c) | 2.571.650,00 | 1,3% |
| melaço (d) | - | 0,0% |
| bagaço (e) | 1.647.645,00 | 0,8% |
| energia elétrica (f) | 6.595.549,00 | 3,4% |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 195.809.401,00 | 100,0% |
| Imposto % | (37.203.786) | -19,0% |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 158.605.614,00 | 81,0% |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | -60,9% |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 39.280.302,00 | 20,1% |

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.



Digitized by Google

Os dados da Tabela 5.20 indicam os valores obtidos das principais utilidades da usina, esses valores foram calculados em função da distribuição do caldo em 50% para cada utilidade e consequente consumo de vapor, ou seja, buscou-se um equilíbrio. No entanto, o etanol preponderou sobre os demais, sendo o mais significativo economicamente. A energia elétrica obteve um acréscimo significativo passando de 2,3% (Usina Alpha Equilíbrio) para 3,4% (Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica) representando o porcentual de 1,1% na Receita.


Digitized by Google

# Capítulo 5

# Análise dos Resultados e Discussão

A abordagem sobre as etapas de construção da Usina de Referência, bem como o delineamento de simulações das Usinas Hipóteses, para a utilização de possíveis valores a serem utilizados para as simulações efetivas das Usinas: Alpha1, Alpha2, Alpha equilíbrio e Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica, foram desenvolvimento no Capítulo 4 deste estudo.

Este capítulo aborda exclusivamente a comparação e a análise dos resultados da Usina de Referência em relação aos das Usinas Alpha1, Alpha2, Alpha equilíbrio e Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica.

## 5.1 Análises dos Resultados das Usinas Alphas em Relação à Usina de Referência.

### 5.1.1 Análise da Usina Alpha1 em relação à Usina de Referência.

Partindo da premissa que todas as Usinas simuladas têm os mesmos parâmetros técnicos e os mesmos valores unitários monetário das matérias primas e dos produtos finais, diferindo somente nas porcentagens destinada do caldo para a produção do etanol ou do açúcar, realizaram-se as comparações com a Usina de Referencia. Percebeu-se que a Usina Alpha 1, que prioriza a produção de etanol, em relação a Usina de Referência, apresentou um acréscimo de 27,1% a maior, para a produção de etanol e, também, esta mesma porcentagem para a levedura e deixou de ser utilizado aproximadamente 43,2% do bagaço. A Tabela 5.1 indica a comparação dos resultados técnicos e financeiros entre a Usina Alpha1 e a de Referência.

Os dados da Tabela 5.1 indicam um decréscimo de 80% da produ-



Digitized by Google

ção do açúcar, para analise desta porcentagem, observa-se que no processo de Clarificação é destinado 384.00 kg/h para a produção de etanol e 42.672 kg/h para a produção de açúcar, este direcionamento faz com que a demanda do vapor no processo de Evaporação seja menor em torno de 48.518 kgV/h, que representa 28% do total, e aumentando no processo de Destilação com 98.505 kgV/h, que representa o consumo de 56% do total.

Tabela 5.1: Análise da Usina Alpha1 em relação à Usina de Referência.

| A) PRODUÇÃO ANUAL USINA REFERÊNCIA | | B) PRODUÇÃO ANUAL USINA ALPHA 1 | | (B / A) % |
|---|---|---|---|---|
| Cana (ton) | 1.762.560 | Cana (ton) | 1.762.560 | 0,0 |
| Açúcar (ton) | 57.580 | Açúcar (ton) | 11.516 | -80,0 |
| Etanol (m3) | 100.627 | Etanol ($m^3$) | 127.887 | 27,1 |
| Levedura (ton) | 2.616 | Levedura (ton) | 3.325 | 27,1 |
| Melaço | - | Melaço | - | - |
| Bagaço (ton) | 151.392 | Bagaço (ton) | 216.821 | 43,2 |
| E. Elétrica (MWh) | 33.607 | E. Elétrica (MWh) | 14.424 | -57,1 |
| **RECEITAS USINA REFERÊNCIA (R$)** | | **RECEITAS USINA ALPHA 1 (R$)** | | |
| Açúcar (a) | 60.056.076,00 | Açúcar (a) | 12.011.219,00 | 80,0 |
| Etanol (b) | 120.752.640,00 | Etanol (b) | 153.464.160,00 | 27,1 |
| Levedura (c) | 2.485.492,00 | Levedura (c) | 3.518.804,00 | 41,6 |
| Melaço (d) | - | Melaço (d) | - | |
| Bagaço (e) | 1.513.917,00 | Bagaço (e) | 2.168.211,00 | 43,2 |
| E. Elétrica (f) | 5.040.992,00 | E. Elétrica (f) | 2.163.606,00 | -57,1 |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 189.849.117,00 | **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 172.966.001,00 | -8,9 |
| Imposto % | (36.071.332) | Imposto % | (32863540) | -8,9 |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 153.777.785,00 | **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 140.102.461,00 | -8,9 |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | 0,0 |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 34.452.473,00 | **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | 20.777.149,00 | -39,7 |

Com este procedimento, pode-se observar na Tabela 5.1, que a quantidade gerada de energia elétrica, exclusivamente para a venda à concessionaria decresceu em 57,1% em relação à quantidade disponibilizada pela Usina de Referência. Neste processo foi vendido à concessionaria a energia elétrica referente a 14.424 MWh, essa diminuição é vinculada ao acréscimo de consumo do vapor pelo processo de Destilação. Esse decréscimo impacta diretamente e proporcionalmente nas Receitas. Nesta configuração, o Resultado obtido pela Usina Alpha1 teve um decréscimo de 39,7%, pode-se inferir que uma Usina que pro-



Digitized by Google

duz em sua maioria etanol, está perdendo rendimentos energéticos e financeiros, sendo a sua tendência o desaparecimento do mercado devido à sua operação inadequada da indústria, observando-se que a venda principal do etanol anidro está associada a adição do mesmo na gasolina na proporção de 27%.

### 5.1.2 Analise da Usina Alpha2 em relação à Usina de Referência.

A simulação da Usina Alpha2, que priorizou a produção do açúcar, apresentou um aumento na produção do açúcar de 44% e o etanol teve sua produção diminuída em 37%, diminuiu-se conjuntamente a levedura e o bagaço. A geração de energia elétrica foi beneficiada em 36% a maior. A Tabela 5.2 indica a produção das utilidades, assim como o resultado financeiro.

Tabela 5.2: Análise da Usina Alpha2 em relação à Usina de Referência.

| A) PRODUÇÃO ANUAL USINA REFERÊNCIA | | B) PRODUÇÃO ANUAL USINA ALPHA 2 | | (B /A) % |
|---|---|---|---|---|
| Cana (ton) | 1.762.560 | Cana (ton) | 1.762.560 | 0,0 |
| Açúcar (ton) | 57.580 | Açúcar (ton) | 103.644 | 80,0 |
| Etanol (m3) | 100.627 | Etanol ($m^3$) | 73.368 | -27,1 |
| Levedura (ton) | 2.616 | Levedura (ton) | 1.908 | -27,1 |
| Melaço | - | Melaço | - | |
| Bagaço (ton) | 151.392 | Bagaço (ton) | 85.961 | -43,2 |
| E. Elétrica (MWh) | 33.607 | E. Elétrica (MWh) | 52.790 | 57,1% |
| **RECEITAS USINA REFERÊNCIA (R$)** | | **RECEITAS USINA ALPHA 2 (R$)** | | |
| Açúcar (a) | 60.056.076,00 | Açúcar (a) | 108.100.901,00 | 80,0 |
| Etanol (b) | 120.752.640,00 | Etanol (b) | 88.041.120,00 | -27,1 |
| Levedura (c) | 2.485.492,00 | Levedura (c) | 1.812.180,00 | -27,1 |
| Melaço (d) | - | Melaço (d) | - | |
| Bagaço (e) | 1.513.917,00 | Bagaço (e) | 859.608,00 | -43,2 |
| E. Elétrica (f) | 5.040.992,00 | E. Elétrica (f) | 7.918.450,00 | 57,1 |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 189.849.117,00 | **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 206.732.258,00 | 8,9 |
| Imposto % | (36.071.332) | Imposto % | (39.279.129) | 8,9 |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 153.777.785,00 | **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 167.453.129,00 | 8,9 |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | 0,0 |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | **34.452.473,00** | **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | **48.127.817,00** | 39,7 |



Digitized by Google

Os dados da Tabela 5.2 indicam que o açúcar alcançou um acréscimo de 80% de produção em relação à Usina de Referência, confirmando a hipótese desta simulação, isto se deve ao fato do vapor ter um alto consumo no processo de Evaporação para fabricação de açúcar, sendo este de 165.771 kgV/h, representando 65% do total de 253.622 kgV/h, no processo de destilação para a produção do etanol foram consumidos 56.512 kgV/h, com a participação de 22% do total, justificando a menor produção do etanol.

A geração de energia elétrica teve um aumento de 57,1% em relação à Usina de Referência, esse aumento foi caracterizado pelo fato de que o vapor gerado na Usina de Referência foi de 214.441 kgV/h passando para 253.622 kgV/h, representando 15,4% a mais de disponibilidade de vapor para a cogeração e para a geração pura. O aumento de disponibilidade de vapor impactou no aumento na geração de energia elétrica, na quantidade total de 19.183 MWh disponível para venda. Pode-se observar que nos processos industriais não houve aumento de consumo energia elétrica, isto é, os equipamentos auxiliares dos processos que consomem energia elétrica não foram alterados, esse resultado técnico impacta na mesma proporção, ao auferir os valores para a energia elétrica e possibilita um aumento nos resultados financeiros.

O Resultado obtido pela Usina Alpha2 teve um acréscimo de 39,7% no resultado final financeiro, a mais que a Usina de Referência.

Observa-se que a Usina está produzindo açúcar em excesso, ficando exposta à venda de uma utilidade, cuja variação de mercado é constante, desta maneira não está garantindo sua estabilidade financeira, além de perder oportunidade de mercado com o etanol, esta desestabilidade pode tornar a Usina inviável, considerando-se que, em relação ao preço do açúcar, o mesmo é decidido pelo comprador por ser uma *commodity*.

### 5.1.3 Análise da Usina Alpha Equilíbrio em relação à Usina de Referência.

Na simulação da Usina Alpha Equilíbrio em relação à Usina de Referência, a produção do açúcar ficou inalterada e o etanol teve sua produção aumentada em 3%, como consequência houve um aumento conjuntamente da levedura e do bagaço. A geração de energia elétrica foi prejudicada em 12%.

Os dados apresentados na Tabela 5.3, confirmam que se for man-


Digitized by Google

tido um equilíbrio entre as utilidades açúcar e etanol, as receitas aumentam em 3,5% para o etanol devido ao fato do caldo ter sido distribuído uniformemente na proporção de 50%, a produção de levedura é decorrente da produção de álcool e com o aumento do álcool há um aumento da mesma que foi de 3,5%, o bagaço obteve um acréscimo da disponibilidade para a venda, devido a economia do vapor nos processos, aumentando em 8,8%. A caracterização da Usina de Equilíbrio consiste entre a produção do etanol e a do açúcar. A Tabela 5.3 indica a produção da safra das utilidades, assim como o resultado financeiro.

Considerou-se no processo de destilação a correlação da proporção para o etanol anidro e o etanol hidratado, ou seja, 50% para cada, sendo que para a Usina de Referência foi mantida a produção de 100% para etanol anidro. A diferença a maior de 3,5% apontada no volume de etanol para a Usina de Equilíbrio, consiste no fato de que a produção de etanol anidro exigiu 10,55% a mais de vapor no processo de destilação, ou seja, 77.508 kgV/h contra 70.109 da Usina de Equilíbrio. A quantidade de vapor para a produção de açúcar permaneceu inalterada.

Tabela 5.3: Análise da Usina Alpha Equilíbrio em relação à Usina de Referência.

| A) PRODUÇÃO ANUAL USINA REFERÊNCIA. | | B) PRODUÇÃO ANUAL USINA EQUILIBRIO | | (B /A) % |
|---|---|---|---|---|
| Cana (ton) | 1.762.560 | Cana (ton) | 1.762.560 | 0,0 |
| Açúcar (ton) | 57.580 | Açúcar (ton) | 57.580 | 0,0 |
| Etanol (m3) | 100.627 | Etanol ($m^3$) | 104.115 | 3,5 |
| Levedura (ton) | 2.616 | Levedura (ton) | 2.707 | 3,5 |
| Melaço | - | Melaço | - | |
| Bagaço (ton) | 151.392 | Bagaço (ton) | 164.765 | 8,8 |
| E. Elétrica (MWh) | 33.607 | E. Elétrica (MWh) | 29.984 | -10,8 |
| **RECEITAS USINA REFERÊNCIA (R$)** | | **RECEITAS USINA EQUILIBRIO (R$)** | | |
| Açúcar (a) | 60.056.076,00 | Açúcar (a) | 60.056.076,00 | 0,0 |
| Etanol (b) | 120.752.640,00 | Etanol (b) | 124.938.480,00 | 3,5 |
| Levedura (c) | 2.485.492,00 | Levedura (c) | 2.571.650,00 | 3,5 |
| Melaço (d) | - | Melaço (d) | - | |
| Bagaço (e) | 1.513.917,00 | Bagaço (e) | 1.647.645,00 | 8,8 |
| E. Elétrica (f) | 5.040.992,00 | E. Elétrica (f) | 4.497.605,00 | -10,8 |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 189.849.117,00 | Sub-total (a+b+c+d+e+f) | 193.711.457,00 | 2,0 |
| Imposto % | (36.071.332) | Imposto % | (36.805.177) | 2,0 |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 153.777.785,00 | **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 156.906.280,00 | 2,0 |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | 0,0 |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | **34.452.473,00** | **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | **37.580.968,00** | 9,1 |



Digitized by Google

Esta exigência de vapor que o etanol anidro faz, impacta diretamente na geração de energia elétrica, que nesta simulação foi de 10,8% a menor, no valor total de 3.623 MWh, observa-se que o vapor total exigido no processo da Usina de Referência foi de 214.441 kgV/h que chegam na turbina, enquanto que para Usina de Equilíbrio foi de 207.042 kgV/h, essa diferença impacta diretamente no processo de cogeração e geração de energia elétrica.

O Resultado líquido obtido pela Usina Alpha Equilíbrio obteve um lucro final 9,1%, a maior em relação à Usina de Referência, desta maneira está garantindo sua estabilidade financeira, somente alterando o funcionamento operativo da Usina, não havendo necessidade de novos investimentos.

Esta usina representa o ponto de equilíbrio de funcionamento da indústria sucroalcooleira, tanto sob o aspecto da utilização do vapor quanto do consumo de energia elétrica. Porém, ainda pode-se aumentar a geração de energia elétrica, proporcionando maior eficiência ao empreendimento, conforme apresentado na próxima simulação de usina.

### 5.1.4 Analise da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica em relação à Usina de Referência.

A Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica tem por finalidade aperfeiçoar a Usina Alpha Equilíbrio, recuperando a perda de energia elétrica para venda à Concessionaria, apresentada nos seus cálculos, e consequente perda da receita, mantendo as mesmas condições de operação da Usina Alpha Equilíbrio, somente incrementando a queima com palha.

A geração de energia elétrica foi aumentada em 30,3 %, isto devido ao recolhimento de 2% da palha no campo para a queima conjuntamente com o bagaço. A Tabela 5.4 indica a produção durante a safra das utilidades, assim como o resultado financeiro. Tal tabela confirma os resultados positivos para o etanol em 3,5% a maior, para a levedura 3,5% a maior, o bagaço em 8,8% a maior, sendo inalterado para o açúcar, em relação à Usina de Referência. Ressalta-se que o aumento da energia elétrica foi


Digitized by Google

30,8%, passando de 33.607 MWh para 43.790 MWh, esse aumento foi devido ao incremento da palha que proporcionou maior geração de vapor da caldeira, passando de 215.237 kgV/h na Usina de Referência para 228.539 kgV/h, um incremento de 6% de vapor total gerado.

Explica-se que para a Usina de Referência foi gerado na caldeira 215.237 kgV/h, descontado o vapor, que vai para o processo de desidratação que foi de 1.096 kgV/h, restou 214.441 kgV/h para o processo passando pela turbina e alimentando diretamente o processo de cogeração com compressão e sendo zero para a extração, nota-se que não existe vapor que vai para o condensador.

Demonstra-se que para a Usina Equilíbrio + Energia Elétrica o vapor gerado na caldeira foi de 228.559kgV/h, para o processo de desidratação 548 kgV/h, restando para o processo de cogeração com compressão 207.042 kgV/h e para a extração 20.949 kgV/h que vai para o condensador tornou-se liquido e integrou ao circuito fechado da água. O resultado líquido obtido pela simulação desta usina teve um acréscimo de 4,82 milhões de reais a mais, representando um ganho final de 14,0%. Desta maneira mantém sua posição no mercado tanto de açúcar como de etanol, proporcionando uma venda maior de energia elétrica, no longo prazo, sem haver necessidade de novos investimentos. A Tabela 5.4 demonstra os dados da análise da Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica em relação à Usina de Referência.

Tabela 5.4: Análise da Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica em relação à Usina de Referência.

| (A) PRODUÇÃO ANUAL USINA REFERÊNCIA | | (B) PRODUÇÃO ANUAL USINA EQUILIBRIO + ENERGIA ELÉTRICA | | (B/A) % |
|---|---|---|---|---|
| Cana (ton) | 1.762.560 | Cana (ton) | 1.762.560 | 0,0 |
| Açúcar (ton) | 57.580 | Açúcar (ton) | 57.580 | 0,0 |
| Etanol (m3) | 100.627 | Etanol ($m^3$) | 104.115 | 3,5 |
| Levedura (ton) | 2.616 | Levedura (ton) | 2.707 | 3,5 |
| Melaço | - | Melaço | - | |
| Bagaço (ton) | 151.392 | Bagaço (ton) | 164.765 | 8,8 |
| E. Elétrica (MWh) | 33.607 | E. Elétrica (MWh) | 43.790 | 30,3 |



Digitized by Google

| RECEITAS USINA REFERÊNCIA (R$) | | RECEITAS USINA EQUILIBRIO + ENERGIA ELÉTRICA (R$) | | |
|---|---|---|---|---|
| Açúcar (a) | 60.056.076,00 | Açúcar (a) | 60.056.076,00 | 0,0 |
| Etanol (b) | 120.752.640,00 | Etanol (b) | 124.938.480,00 | 3,5 |
| Levedura (c) | 2.485.492,00 | Levedura (c) | 2.571.650,00 | 3,5 |
| Melaço (d) | - | Melaço (d) | - | |
| Bagaço (e) | 1.513.917,00 | Bagaço (e) | 1.647.645,00 | 8,8 |
| E. Elétrica (f) | 5.040.992,00 | E. Elétrica (f) | 6.595.549,00 | 30,8 |
| **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 189.849.117,00 | **Sub-total (a+b+c+d+e+f)** | 195.809.401,00 | 3,1 |
| Imposto % | (36.071.332) | Imposto % | (37.203.786) | 3,1 |
| **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 153.777.785,00 | **RECEITA TOTAL** (Receita menos Impostos) | 158.605.614,00 | 3,1 |
| DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | DESPESAS INDUSTRIAIS | (119.325.312) | 0,0 |
| **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | **34.452.473,00** | **RESULTADO** (Receita Total – Despesas) | **39.280.302,00** | 14,0 |

Esta usina representa o ponto que melhor demonstra o funcionamento eficaz da indústria sucroalcooleira, tanto sob o aspecto da utilização do vapor, quanto da geração de energia elétrica e, também, do seu consumo industrial.

Considerando a metodologia aplicada neste trabalho, desde a construção da Usina de Referência, as elaborações das Usinas Hipóteses, as simulações das Usinas Alphas e o resultado apresentado pela Usina Alpha Equilíbrio + Energia Elétrica pode-se admitir que o recolhimento de palha no campo, seja um diferencial, a ser aplicado no processo industrial do setor sucroalcooleiro. Há de se considerar que a única exigência é uma adaptação nas maquinas e equipamentos existentes que serão utilizados, observando que não haverá necessidade do aumento de mão de obra utilizada, porque se pode se fazer somente um remanejamento de pessoal, representando assim um baixo custo no recolhimento desta palha e um aumento significativo na geração de energia elétrica.

Quanto ao aspecto da moagem da cana, esta permanece com a mesma quantidade durante a safra, assim sendo, não há a necessidade de alterar a logística do funcionamento da usina, tão pouco do recolhimento da cana. As usinas, na maioria das vezes, produzem a matéria prima de forma eficiente, no entanto, algumas vezes, deixam a desejar no que se refere ao planejamento e gestão da indústria. Com o aperfeiçoamento do uso e distribuição do vapor, há uma consequente melhoria


Digitized by Google

na eficiência global da usina, sendo que, para isso faz-se necessário rever o planejamento estratégico da mesma.

Os resultados apresentados nessa pesquisa confirmam o alto grau de consistência das parametrizações utilizadas e da metodologia aplicada, considerando que o setor sucroalcooleiro pode contribuir com mais energia elétrica e etanol, obtendo 14% a mais no seu resultado final.



Digitized by Google

# Capítulo 6

# Conclusões e Recomendações

O caminho encontrado por esta dissertação para obter uma usina otimizada foi partir da construção uma Usina de Referência. Esta usina foi construída a partir dos parâmetros técnicos médios utilizados na indústria sucroalcooleira do Estado de São Paulo de 2015, disponível no Banco de Informação da Geração da ANEEL. Após a elaboração da mesma, foram realizadas simulações desdobrando a Usina de Referência, em 19 Usinas Hipóteses, que foram simuladas no *software* BALANCE, da empresa Sugarsoft. Os melhores resultados encontrados foram utilizados como parâmetros para as simulações das quatro versões das usinas: Usina Alpha1 priorizando o etanol, Usina Alpha2 priorizando o açúcar, Usina Alpha Equilíbrio entre o açúcar e o etanol e Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica.

Nas simulações da Usina Alpha 1 obteve-se como vantagem a produção de 21,7% a maior de etanol, sendo suas desvantagens a diminuição do açúcar em 80%, o decréscimo da energia elétrica em 57,1% e o resultado final diminuído em 39,7% em relação a Usina de Referência.

Nas simulações da Usina Alpha 2 obteve-se como desvantagem o decréscimo de 27% de etanol, as vantagens ocorreram em função do aumento do volume de açúcar e da energia elétrica, o resultado final foi positivo em 39,7% em relação a Usina de Referência.

Nas simulações da Usina Alpha Equilíbrio, foi obtido o resultado financeiro positivo em 9,1%, sendo inalterada a produção do açúcar e obteve-se um aumento de 3,5% na produção de etanol. Utilizando somente o bagaço como combustível, a energia elétrica obteve um decréscimo da ordem de 10% em relação a Usina de Referência.

Nas simulações da Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica, adotou-se um ganho compensatório para a energia elétrica, em relação a Usina de Referência, com a inclusão da queima de mais 2% de palha.



Digitized by Google

Levando em consideração que já está cortada mecanicamente e disponível no campo, sendo seus custos não significativos. Esta Usina, sob todos os aspectos, apresentou ganhos reais tanto nas receitas, como na produção das utilidades, sendo que para o etanol 3,5% a maior, para a levedura 3,5% a maior, bagaço em 8,8% a maior, sendo inalterado para o açúcar. Ressalta-se que o rendimento da energia elétrica foi 30,3% a maior, passando de 33.607 MWh para 43.790 MWh, na receita total apresentou um aumento de 3,1% e no resultado líquido um acréscimo de 14,0%. As características desta usina representam o ponto de equilíbrio para as usinas do setor sucroalcooleiro.

Importante considerar que para obter estes ganhos não foi necessário instalar nenhum equipamento a mais, não foi necessário contrair empréstimos, somente aplicando a correta distribuição do vapor e energia elétrica, melhorando a eficiência e operando adequadamente a Usina.

As análises desenvolvidas revelam a necessidade de disponibilizar e ampliar estes estudos para o setor sucroalcooleiro, para correção da forma de operar as Usinas, obtendo ganhos expressivos.

A experiência obtida no decorrer deste trabalho, recomenda-se para que nos estudos futuros sejam sugeridos:

Aplicação desta metodologia de simulação em usinas que operam com pressões de 21 kfg/cm$^2$ e baixas temperaturas.

- Demonstrar aos vários agentes envolvidos a necessidade do detalhamento dos estudos operativos, estabelecendo condições mínimas de funcionamento paras as usinas.
- Investigar a aplicação no setor sucroalcooleiro do Ciclo Termodinâmico Kalina que é alimentado pelos gases de escape para a caldeira.



Digitized by Google

# Referências Bibliográficas


ALCARDE, A. R. **Processamento da cana-de-açúcar.** Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_102_22122006154841.html, acessado em: 07/04/2015.

ANEEL (2008) - Agencia Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2008.

_____. (2015) - Agencia Nacional de Energia Elétrica- Banco de Informação da Geração (BIG), disponível em http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm. acessado em 27/11/2015.

ANP (2015) - Agencia Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, Boletim, disponível em http://www.anp.gov.br/?pg=77899&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1455305484282, acessado em 14/08/2015.

ARAÚJO, EDILAINE DA SILVA; SANTOS, Juliana Agustineli Pereira. O desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no Brasil e sua relevância na economia nacional. FACIDER-Revista Científica, v. 4, n. 4, 2013.

BALESTIERI, José Antônio Perrella (2002). *Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor.* Florianópolis: UFSC. (279 p.).

BRESSAN FILHO, A. Os Fundamentos da crise do setor sucroalcooleiro no Brasil. **Companhia Nacional de Abastecimento. Os fundamentos da crise do setor sucroalcooleiro no Brasil. Brasília: CNP**, 2009.

CAMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELETRICA - CCEE; disponível em http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afrLoop=62678326519060#%40%3F_afrLoop%3D62678326519060%26_adf.ctrl-state%3Dp202kh7qr_45. acessado em 09/10 /2015.

CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A. A energia elétrica sucroalcooleira e o hiato entre oferta potencial e oferta efetiva. 2008.

CEPEA, ESALQ. USP. **Centro de Estudos em Economia Aplicada**, disponível em http://cepea.esalq.usp.br/indicador/, acessado em 20/11/2015.

CGEE- Estudo de Sustentabilidade da Produção de etanol de cana-de-açúcar . Subsídios Técnicos para a Agenda Brasileira de etanol. Relatório final. Brasília: CGEE, 2009. 337 p : il.





Digitized by Google

DAL BEM, Armando José; KOIKE, Gilberto HA; PASSARINI, Luís Carlos. Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e etanol. **Minerva**, v. 3, n. 1, p. 33-46, 2003.

EPE- EMPRESA, DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço energético nacional 2014: Ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

FERREIRA, Luiz Cláudio Costa. Caracterização do potencial energético entre a produção de etanol celulósico e a cogeração a partir do bagaço de cana. 2011.

GOLDEMBERG, José. Pesquisa e desenvolvimento na área de energia elétrica. São Paulo em perspectiva, v. 14, n. 3, p. 91-97, 2000.

HIGA, Márcio; BANWART, Antonio C. Avaliação energética em usina de açúcar e etanol utilizando a análise" pinch". 2005.

KITAYAMA, O. *energia elétrica: perspectivas e desafios*. In: III Seminário Internacional de Energia Elétrica, Gesel/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008.

LAMONICA, Helcio M. Geração de eletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar. Rio de, 2005.

_____., Helcio M. Produção de Vapor e Eletricidade–A Evolução do Setor Sucroalcooleiro. In: Workshop de gestão de energia elétrica e resíduos na agroindústria sucroalcooleira. 2007.

MACEDO, I.C., etanol e energia elétrica: a cana-de-açúcar no futuro da matriz energética / [coordenação e organização Eduardo L. Leão de Souza e Isaias de Carvalho Macedo] . – São Paulo :Luc Projetos de Comunicação, 2010.

MARTINELLI JR, Luiz Carlos. Geradores de Vapor. **http://www. unijui. tche. br/~ martinelli/mt1. htm>. Acessado em**, v. 11, p. 01-03, 2003.
NASTARI, P. O setor brasileiro de cana-de-açúcar perspectivas de crescimento. cana (milhões de tons), v. 386, p. 91.52, 2006.

NETO, Vicente Corrêa; RAMON, Dan. Análises de opções tecnológicas para projetos de cogeração no setor sucro-alcooleiro. **Brasília, DF**, 2002.

NOGUEIRA, L.A.H., Rocha, C.R.; Nogueira, F.J.H.; **Eficiência energética no uso de vapor: manual prático**. Eletrobrás, 2005.



Digitized by Google

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. Dendroenergia: fundamentos e aplicações, - 2 ed. Rio de Janeiro : Interciencia, 2003.

ODDONE, Domingos Carlos. UMA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ONS- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA -, O Módulo 3 dos Procedimentos de Rede - Acesso aos Sistemas de Transmissão; http://www.ons.org.br/integracao_sin/acesso_conexao_rede.aspx. acessado em : 19/08/2015

PASTELLI, Vittorio. **Panorama do Desenvolvimento do Cultivo e do Processamento da cana-de-açúcar no Brasil,** 2014. 93 p.

PELLEGRINI, Luiz Felipe. **Análise e otimização termo-econômica-ambiental aplicada à produção combinada de açúcar, álcool e eletricidade**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA - ONS-2013, O Módulo 3 dos Procedimentos de Rede – Acesso aos Sistemas de Transmissão; http://www.ons.org.br/integracao_sin/acesso_conexao_rede.aspx, acessado em : 19/08/2015

PEREA, Luiz Antonio. Avaliação técnico-econômica do processo de cogeração em uma indústria sucroalcooleira. 2005.

SANCHEZ, Prieto, Mario Gabriel, *Alternativas de Cogeração na Indústria Sucro-Alcooleira, Estudo de Caso*, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003. 280 p. Tese de Doutorado.

SÃO PAULO, Secretaria de Energia, Coordenadoria de Planejamento e Política Energética Manual de Administração de Energia, *Caldeiras, Isolamento Térmico e Cogeração* São Paulo, 2001.

SEABRA, Joaquim Eugênio Abel. Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil. **Univerisidade Esdadual de Campinas (Doutorado), Faculdade de Engenharia Mecânica**, 2008.



Digitized by Google

SOUZA, Arielder Aparecido Gabriel Silva de, **CADEIA PRODUTIVA DO AÇÚCAR:** PROCESSO INDUSTRIAL, IMPACTOS AMBIENTAIS E DADOS ESTATÍSTICOS, 2015.

SUGARSOFT, empresa de consultoria, projeto e *software*, detentora do *software* BALANCE, disponível em http://www.sugarsoft.com.br/?id=1, vários acessos de out/2014 a dez 2015.

TGM, Unidades de Negócio Turbinas, características das turbinas, disponível em http://www.grupotgm.com.br/pt/140-bar-a-540-c-150-mw-contrapressao-bt-e-bte, acessado em 7 de junho de 2015.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE cana-de-açúcar (UNICA), Diversos textos. 2015. Disponível em: http://www.portalunica.com.br. Acesso em: 20/09/2015.

VALSECHI, Octávio Antonio. Glossário de termos técnicos Sucroalcooleiro, Universidade Federal de São Carlos, 9 p. 2015.

VELÁZQUEZ, Sílvia Maria Stortini González. A cogeração de energia elétrica no segmento de papel e celulose: Contribuição à matriz energética do Brasil. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.



Digitized by Google

# Anexo I

**USINAS do tipo UTE em Operação**

| | Usina | Data Operação | Potência (kW) | Município |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Alta Mogiana | 01/04/1994 | 75.000 | São Joaquim da Barra - SP |
| 2 | Barralcool | 01/10/2002 | 30.000 | Barra do Bugres - MT |
| 3 | Batatais | - | 8.400 | Batatais - SP |
| 4 | Colombo Ariranha | - | 61.000 | Ariranha - SP |
| 5 | Corona | 01/06/1977 | 18.000 | Guariba - SP |
| 6 | Ester | 01/01/1954 | 40.000 | Cosmópolis - SP |
| 7 | Central Energética Ribeirão Preto | 01/01/1986 | 9.000 | Ribeirão Preto - SP |
| 8 | Galvani | 01/09/1996 | 11.500 | Paulínia - SP |
| 9 | Iracema | 30/05/1905 | 14.000 | Iracemápolis - SP |
| 10 | Virgolino de Oliveira | 01/01/1975 | 5.800 | Itapira - SP |
| 11 | Junqueira | - | 7.200 | Igarapava - SP |
| 12 | Maracaí | 13/06/2000 | 51.000 | Maracaí - SP |
| 13 | MB | 01/01/1980 | 16.400 | Morro Agudo - SP |
| 14 | Nardini | 01/01/1994 | 54.000 | Vista Alegre do Alto - SP |
| 15 | Santa Cruz AB | 22/05/2009 | 84.000 | Américo Brasiliense - SP |
| 16 | Usina da Pedra | 31/05/2003 | 35.000 | Serrana - SP |
| 17 | Rafard | 01/01/1941 | 50.000 | Rafard - SP |
| 18 | Univalem | 01/05/1995 | 8.000 | Valparaíso - SP |
| 19 | Pumaty | - | 8.000 | Joaquim Nabuco - PE |
| 20 | Vale do Rosário | 01/06/1994 | 97.000 | Morro Agudo - SP |
| 21 | Viralcool | 01/01/1983 | 20.000 | Pitangueiras - SP |
| 22 | São João | 01/01/1975 | 40.750 | Araras - SP |
| 23 | São José | 01/05/1994 | 80.300 | Macatuba - SP |
| 24 | São José | - | 4.800 | Rio das Pedras - SP |
| 25 | São Luiz | 15/08/1999 | 70.000 | Pirassununga - SP |
| 26 | São Martinho | 01/01/1975 | 73.000 | Pradópolis - SP |
| 27 | Barra Grande de Lençóis | 14/05/2003 | 62.900 | Lençóis Paulista - SP |
| 28 | LDC Bioenergia elétrica Leme | 01/05/1986 | 39.600 | Leme - SP |
| 29 | J. Pilon | - | 3.800 | Cerquilho - SP |
| 30 | São Francisco | 01/01/1987 | 25.200 | Sertãozinho - SP |
| 31 | Lucélia | 01/07/2002 | 12.000 | Lucélia - SP |
| 32 | Bortolo Carolo | 01/01/1994 | 8.000 | Pontal - SP |
| 33 | Furlan | 01/05/1976 | 3.600 | Santa Bárbara d´Oeste - SP |
| 34 | Santa Adélia | 01/08/2002 | 42.000 | Jaboticabal - SP |
| 35 | Ruette | 02/06/2006 | 28.000 | Paraíso - SP |
| 36 | Ipiranga Filial Descalvado | 01/04/2004 | 3.025 | Descalvado - SP |
| 37 | Ipiranga - Mococa | - | 7.000 | Mococa - SP |
| 38 | São Manoel | 01/04/2001 | 14.800 | São Manuel - SP |
| 39 | Albertina | - | 4.000 | Sertãozinho - SP |
| 40 | Santa Elisa - Unidade II | 28/08/2002 | 4.000 | Sertãozinho - SP |
| 41 | Paineiras | 01/09/1974 | 3.200 | Itapemirim - ES |
| 42 | São João da Boa Vista | 01/01/1997 | 70.000 | São João da Boa Vista - SP |
| 43 | Unialco | 01/01/1982 | 6.800 | Guararapes - SP |
| 44 | Santa Cândida I | 01/05/2002 | 30.000 | Bocaina - SP |
| 45 | Ibitiúva Bioenergética | 01/01/1987 | 33.000 | Pitangueiras - SP |
| 46 | Mandu | 19/06/2006 | 90.000 | Guaíra - SP |
| 47 | Guarani - Cruz Alta | 18/02/1982 | 64.800 | Olímpia - SP |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 48 | São José da Estiva | - | 42.500 | Novo Horizonte - SP |
| 49 | Pantanal | - | 5.000 | Jaciara - MT |
| 50 | Jaciara | - | 2.800 | Jaciara - MT |
| 51 | Bazan | 20/05/2001 | 10.200 | Pontal - SP |
| 52 | São Domingos | 01/01/1990 | 12.000 | Catanduva - SP |
| 53 | Moema | 01/01/1994 | 89.000 | Orindiúva - SP |
| 54 | Diana | - | 6.600 | Avanhandava - SP |
| 55 | Água Bonita | 02/06/2006 | 17.000 | Tarumã - SP |
| 56 | Destilaria Guaricanga | - | 1.600 | Presidente Alves - SP |
| 57 | Destilaria Malosso | - | 4.000 | Itápolis - SP |
| 58 | Coraci | - | 1.384 | São Pedro do Turvo - SP |
| 59 | Trombini | - | 4.870 | Fraiburgo - SC |
| 60 | Benetanol | - | 4.200 | Bento de Abreu - SP |
| 61 | Santa Lúcia | - | 4.400 | Araras - SP |
| 62 | Alcídia | - | 38.100 | Teodoro Sampaio - SP |
| 63 | Bellão & Schiavon | - | 650 | Santa Cruz das Palmeiras - SP |
| 64 | Paraíso | 03/02/1999 | 7.700 | Brotas - SP |
| 65 | Bela Vista | 01/01/1977 | 9.800 | Pontal - SP |
| 66 | Itaiquara | - | 3.200 | Tapiratiba - SP |
| 67 | Água Limpa | 01/01/2000 | 2.760 | Monte Aprazível - SP |
| 68 | Santa Rosa | 01/01/1987 | 2.760 | Boituva - SP |
| 69 | Santa Fé | 01/05/1976 | 42.000 | Nova Europa - SP |
| 70 | Lwarcel | - | 4.000 | Lençóis Paulista - SP |
| 71 | Santo Antônio | - | 1.160 | Piracicaba - SP |
| 72 | Floraplac | 20/01/2000 | 1.250 | Paragominas - PA |
| 73 | Delos | - | 700 | Sertãozinho - SP |
| 74 | Della Coletta | - | 4.000 | Bariri - SP |
| 75 | Barra | - | 15.800 | Barra Bonita - SP |
| 76 | Branco Peres | 10/04/2005 | 3.980 | Adamantina - SP |
| 77 | Pederneiras | 06/06/2000 | 2.400 | Tietê - SP |
| 78 | Gasa | - | 82.000 | Andradina - SP |
| 79 | Urbano Jaraguá | - | 3.000 | Jaraguá do Sul - SC |
| 80 | Cocal | - | 28.200 | Paráguaçu Paulista - SP |
| 81 | Dulcini | - | 1.851,20 | Santo Antônio de Posse - SP |
| 82 | Dacal | 01/04/2010 | 4.400 | Parapuã - SP |
| 83 | Guarani | 01/01/1980 | 9.400 | Severínia - SP |
| 84 | Uruba | 01/09/2000 | 10.000 | Atalaia - AL |
| 85 | Coocarol | - | 10.000 | Rondon - PR |
| 86 | Catanduva (Antiga Cerradinho) | 01/10/2001 | 75.000 | Catanduva - SP |
| 87 | Bom Retiro | - | 3.600 | Capivari - SP |
| 88 | Destil | 01/12/1981 | 8.949 | Marapoama - SP |
| 89 | Fany | - | 1.200 | Regente Feijó - SP |
| 90 | Pioneiros | 01/07/2006 | 32.000 | Sud Mennucci - SP |
| 91 | Sobar | - | 3.864 | Espírito Santo do Turvo - SP |
| 92 | Alcomira | - | 2.400 | Mirandopólis - SP |
| 93 | Londra | 01/04/2006 | 3.880 | Itaí - SP |
| 94 | Decasa | 01/01/2004 | 33.000 | Ibirarema - SP |
| 95 | Guaxuma | - | 14.312 | Coruripe - AL |
| 96 | Ferrari | 01/01/1982 | 80.500 | Pirassununga - SP |
| 97 | Generalco | - | 3.800 | General Salgado - SP |
| 98 | Usina São Luiz | 01/05/2001 | 18.000 | Ourinhos - SP |
| 99 | Panorâmica | 01/01/1995 | 3.700 | Itaí - SP |
| 100 | Casa de Força | - | 7.920 | Fernandópolis - SP |
| 101 | Nova Tamoio | - | 3.600 | Araraquara - SP |
| 102 | Dois Córregos | 07/03/2001 | 3.600 | Dois Córregos - SP |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 103 | Destilaria Melhoramentos | 15/05/2002 | 18.380 | Jussara - PR |
| 104 | Destilaria Paráguaçu | - | 3.600 | Paráguaçu Paulista - SP |
| 105 | Catanduva | - | 12.000 | Ariranha - SP |
| 106 | Colorado | 01/08/1981 | 56.715 | Guaíra - SP |
| 107 | Nova América | 20/05/2001 | 24.000 | Tarumã - SP |
| 108 | Equipav | 01/10/2002 | 58.400 | Promissão - SP |
| 109 | Sidrolândia (Antiga Santa Olinda) | - | 25.000 | Sidrolândia - MS |
| 110 | Coopernavi | - | 12.000 | Naviraí - MS |
| 111 | Maracajú | 21/05/2010 | 12.400 | Maracaju - MS |
| 112 | Passa Tempo | 01/05/2001 | 73.800 | Rio Brilhante - MS |
| 113 | Jalles Machado | 01/07/2003 | 40.000 | Goianésia - GO |
| 114 | Goianésia | - | 7.300 | Goianésia - GO |
| 115 | Santa Helena açúcar e etanol | - | 4.400 | Santa Helena de Goiás - GO |
| 116 | Vale do Verdão | - | 23.400 | Turvelândia - GO |
| 117 | Goiasa | 30/09/2005 | 46.520 | Goiatuba - GO |
| 118 | Coprodia | - | 8.000 | Campo Novo do Parecis - MT |
| 119 | Itamarati | - | 37.500 | Nova Olímpia - MT |
| 120 | Santa Terezinha Paranacity | 22/08/2009 | 36.000 | Paranacity - PR |
| 121 | Santa Terezinha (Ivaté) | 02/09/2009 | 9.000 | Ivaté - PR |
| 122 | Perobetanol | - | 2.400 | Perobal - PR |
| 123 | Vale do Ivaí | 02/05/2001 | 18.400 | São Pedro do Ivaí - PR |
| 124 | Bio Coopcana | 28/08/2013 | 50.000 | São Carlos do Ivaí - PR |
| 125 | Santa Terezinha | 31/05/2006 | 50.500 | Tapejara - PR |
| 126 | Sabaretanol | 01/04/2001 | 4.365 | Engenheiro Beltrão - PR |
| 127 | Iguatemi | 01/06/1990 | 3.400 | Maringá - PR |
| 128 | Jacarezinho | - | 8.000 | Jacarezinho - PR |
| 129 | Destilaria de etanol Ibaiti | - | 3.600 | Ibaiti - PR |
| 130 | Dacalda | 01/09/2010 | 6.000 | Jacarezinho - PR |
| 131 | Cofercatu | - | 4.000 | Florestópolis - PR |
| 132 | Cooperval | - | 3.600 | Jandaia do Sul - PR |
| 133 | São Francisco | 01/01/1986 | 4.200 | Elias Fausto - SP |
| 134 | Santa Rita | 01/01/1978 | 6.400 | Santa Rita do Passa Quatro - SP |
| 135 | Trietanol | 01/05/2003 | 15.000 | Canápolis - MG |
| 136 | Usina da Serra | 20/05/2002 | 16.200 | Ibaté - SP |
| 137 | Santa Helena | 01/01/1990 | 4.800 | Rio das Pedras - SP |
| 138 | Mumbuca | - | 504 | Platina - SP |
| 139 | Delta | 01/12/2001 | 71.875 | Delta - MG |
| 140 | Costa Pinto | 01/05/1977 | 75.000 | Piracicaba - SP |
| 141 | Santa Elisa - Unidade I | 28/08/2002 | 58.000 | Sertãozinho - SP |
| 142 | Moreno | 01/01/1994 | 10.000 | Luís Antônio - SP |
| 143 | Citrosuco | 01/01/1985 | 7.000 | Matão - SP |
| 144 | Clealco Clementina | 01/07/1983 | 11.200 | Clementina - SP |
| 145 | Alcoazul | 01/01/1983 | 7.400 | Araçatuba - SP |
| 146 | Quatá | 01/01/1999 | 56.078 | Quatá - SP |
| 147 | Zanin | 01/01/1983 | 16.000 | Araraquara - SP |
| 148 | Coinbra - Frutesp | 26/11/2001 | 5.000 | Bebedouro - SP |
| 149 | Santa Maria de Lençóis | - | 3.040 | Lençóis Paulista - SP |
| 150 | Santo Antônio | 01/01/1990 | 23.000 | Sertãozinho - SP |
| 151 | UFA | - | 28.700 | Presidente Prudente - SP |
| 152 | UJU | 01/06/1995 | 30.000 | Colorado - PR |
| 153 | JB | 09/05/2006 | 33.200 | Vitória de Santo Antão - PE |
| 154 | Santa Isabel | 01/08/1980 | 46.000 | Novo Horizonte - SP |
| 155 | Santa Clara | - | 302 | Jaboticabal - SP |
| 156 | Santa Hermínia | - | 1.200 | Ibirarema - SP |
| 157 | Cevasa | 01/03/2006 | 54.000 | Patrocínio Paulista - SP |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 158 | Cooperfrigo | 01/08/2001 | 4.000 | Promissão - SP |
| 159 | Destivale | - | 5.000 | Araçatuba - SP |
| 160 | Grizzo | - | 1.968 | Jaú - SP |
| 161 | Vista Alegre | 25/03/2010 | 60.000 | Itapetininga - SP |
| 162 | Campo Florido | 15/05/2002 | 30.000 | Campo Florido - MG |
| 163 | Coruripe Iturama | 31/10/2002 | 24.000 | Iturama - MG |
| 164 | Cachoeira | - | 13.400 | Maceió - AL |
| 165 | Aralco | - | 4.800 | Santo Antônio do Aracanguá - SP |
| 166 | Japungu | - | 28.800 | Santa Rita - PB |
| 167 | Itaenga | 31/01/2007 | 47.000 | Lagoa do Itaenga - PE |
| 168 | Volta Grande | - | 54.938 | Conceição das Alagoas - MG |
| 169 | Marituba | 01/10/2001 | 20.500 | Igreja Nova - AL |
| 170 | Serra Grande | 01/09/2001 | 17.200 | São José da Laje - AL |
| 171 | Cucaú | - | 12.600 | Rio Formoso - PE |
| 172 | Sumaúma | - | 4.000 | Marechal Deodoro - AL |
| 173 | Paísa | 01/01/1980 | 4.400 | Penedo - AL |
| 174 | Capricho | - | 2.400 | Cajueiro - AL |
| 175 | Laginha-Matrix | - | 4.950 | União dos Palmares - AL |
| 176 | Gameleira | - | 4.032 | Confresa - MT |
| 177 | Baía Formosa | 02/09/2011 | 40.000 | Baía Formosa - RN |
| 178 | Trapiche | - | 26.000 | Sirinhaém - PE |
| 179 | Estivas | 01/01/1976 | 21.000 | Arês - RN |
| 180 | Central Olho D Água | 08/04/2015 | 25.000 | Camutanga - PE |
| 181 | União e Indústria | - | 10.000 | Primavera - PE |
| 182 | Agrovale | 01/05/1979 | 16.000 | Juazeiro - BA |
| 183 | Ipojuca | 01/08/1987 | 11.200 | Ipojuca - PE |
| 184 | Jitituba Santo Antônio | - | 27.400 | São Luís do Quitunde - AL |
| 185 | Una açúcar e Energia | - | 3.000 | Tamandaré - PE |
| 186 | Sinimbu | - | 18.000 | Jequiá da Praia - AL |
| 187 | Artivinco | - | 4.500 | Santa Rosa de Viterbo - SP |
| 188 | Pitangueiras | 02/05/2002 | 25.000 | Pitangueiras - SP |
| 189 | Termocana | 31/05/1994 | 9.500 | São Carlos do Ivaí - PR |
| 190 | Diamante | 01/01/1989 | 7.000 | Jaú - SP |
| 191 | Santa Teresa | - | 20.200 | Goiana - PE |
| 192 | Vale do Paranaíba | - | 5.000 | Capinópolis - MG |
| 193 | Giasa II | 05/08/2003 | 30.000 | Pedras de Fogo - PB |
| 194 | São José Colina | 23/09/2008 | 83.000 | Colina - SP |
| 195 | Lasa | 01/06/1982 | 3.200 | Linhares - ES |
| 196 | São José | 01/08/1976 | 25.520 | Igarassu - PE |
| 197 | Santo Ângelo | - | 40.000 | Pirajuba - MG |
| 198 | WD | - | 2.000 | João Pinheiro - MG |
| 199 | Ipaussu | 01/05/1997 | 6.000 | Ipauçu - SP |
| 200 | J. L. G. | - | 1.600 | Dobrada - SP |
| 201 | canaã | 08/08/2006 | 30.000 | Paráguaçu Paulista - SP |
| 202 | Seresta | 01/05/2004 | 9.500 | Teotônio Vilela - AL |
| 203 | Usaciga | - | 48.600 | Cidade Gaúcha - PR |
| 204 | Dasa | 01/03/1986 | 4.200 | Serra dos Aimorés - MG |
| 205 | Alcon | 01/08/2001 | 11.200 | Conceição da Barra - ES |
| 206 | Iolando Leite | 17/01/2008 | 8.000 | Capela - SE |
| 207 | Cooper-Rubi | - | 21.000 | Rubiataba - GO |
| 208 | Nova Geração | - | 6.200 | Jandaia - GO |
| 209 | Coruripe | 04/02/2006 | 32.000 | Coruripe - AL |
| 210 | CRV | - | 10.000 | Carmo do Rio Verde - GO |
| 211 | Coinbra - Frutesp | 13/12/2004 | 8.000 | Matão - SP |
| 212 | Lago Azul | 01/06/1982 | 5.000 | Ipameri - GO |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 213 | Eldorado | 04/06/2011 | 141.019 | Rio Brilhante - MS |
| 214 | Müller Destilaria | 17/06/2004 | 2.180 | Porto Ferreira - SP |
| 215 | Fronteira | 09/07/2007 | 2.600 | Fronteira - MG |
| 216 | Cocamar Maringá | 26/01/2010 | 13.000 | Maringá - PR |
| 217 | São Tomé | 01/05/2004 | 5.775 | São Tomé - PR |
| 218 | Fartura | 23/09/2006 | 62.000 | Mendonça - SP |
| 219 | Petribu | 01/09/1970 | 22.000 | Lagoa do Itaenga - PE |
| 220 | Ribeirão | - | 6.400 | Ribeirão - PE |
| 221 | Limeira do Oeste | 31/10/2005 | 5.000 | Limeira do Oeste - MG |
| 222 | Quirinópolis | 22/11/2007 | 80.000 | Quirinópolis - GO |
| 223 | Vertente | 01/06/2005 | 53.000 | Guaraci - SP |
| 224 | Frutal | - | 16.092 | Frutal - MG |
| 225 | Ouroeste | 06/05/2008 | 12.000 | Ouroeste - SP |
| 226 | Alcoolvale | 01/04/2002 | 4.200 | Aparecida do Taboado - MS |
| 227 | Triunfo | 01/10/2001 | 14.000 | Boca da Mata - AL |
| 228 | Usina Bertolo açúcar e etanol | 20/04/2001 | 3.800 | Pirangi - SP |
| 229 | Cerba | 10/01/2003 | 360 | Piracicaba - SP |
| 230 | Pedrosa | 01/02/1980 | 4.400 | Cortês - PE |
| 231 | Interlagos | 31/05/2007 | 40.000 | Pereira Barreto - SP |
| 232 | Bem Brasil | 01/06/2006 | 2.125 | Araxá - MG |
| 233 | Buriti | 01/05/2004 | 5.000 | Buritizal - SP |
| 234 | Córrego Azul | 01/04/2004 | 520 | Promissão - SP |
| 235 | Itapagipe | 09/05/2006 | 6.000 | Itapagipe - MG |
| 236 | CEM (Antiga Camen) | 27/03/2013 | 24.000 | Morrinhos - GO |
| 237 | Centro Oeste Iguatemi | - | 4.000 | Iguatemi - MS |
| 238 | Citrovita Catanduva | 11/03/2011 | 15.000 | Catanduva - SP |
| 239 | USI (Antiga Unidade Santo Inácio - USI) | 19/09/2007 | 35.000 | Santo Inácio - PR |
| 240 | Boa Vista | 22/07/2008 | 80.000 | Quirinópolis - GO |
| 241 | Energética Santa Helena | 01/06/1981 | 3.200 | Nova Andradina - MS |
| 242 | Sali | - | 9.900 | Rio Largo - AL |
| 243 | Veríssimo | - | 5.000 | Veríssimo - MG |
| 244 | Carneirinho | 24/07/2008 | 24.000 | Carneirinho - MG |
| 245 | Safi | 05/03/2007 | 4.640 | Nova Alvorada do Sul - MS |
| 246 | TGN | 01/01/2001 | 1.200 | Cerqueira César - SP |
| 247 | Destilaria Porto Alegre | 01/01/1989 | 2.400 | Colônia Leopoldina - AL |
| 248 | Iacanga | 07/04/2010 | 57.000 | Iacanga - SP |
| 249 | Pioneiros II | 27/09/2013 | 35.000 | Sud Mennucci - SP |
| 250 | Nova Moreno | - | 15.504 | Monte Aprazível - SP |
| 251 | Potirendaba (Antiga Cerradinho Potirendaba) | 01/08/2008 | 40.200 | Potirendaba - SP |
| 252 | Pau D´Alho | 15/06/2006 | 4.160 | Ibirarema - SP |
| 253 | Usina Bonfim | 12/06/2010 | 111.000 | Guariba - SP |
| 254 | Junco Novo | 29/10/2007 | 1.200 | Capela - SE |
| 255 | Angélica | 18/03/2009 | 96.000 | Angélica - MS |
| 256 | Usina Vale | 29/04/1994 | 10.000 | Onda Verde - SP |
| 257 | São José do Pinheiro | 03/12/2009 | 17.500 | Laranjeiras - SE |
| 258 | Usina Monte Alegre | 07/07/2009 | 16.000 | Monte Belo - MG |
| 259 | Coruripe Energética - Filial Campo Florido | 23/07/2008 | 30.000 | Campo Florido - MG |
| 260 | Cerradão | 22/12/2009 | 54.000 | Frutal - MG |
| 261 | Cocal II | 08/01/2010 | 182.600 | Narandiba - SP |
| 262 | Pirapama | 20/11/2008 | 25.000 | Vitória de Santo Antão - PE |
| 263 | LDC Bioenergia elétrica Lagoa da Prata | 25/04/2009 | 85.000 | Lagoa da Prata - MG |
| 264 | LDC Bioenergia elétrica Rio Brilhante | 02/04/2009 | 90.000 | Rio Brilhante - MS |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 265 | Total | 20/05/2010 | 25.000 | Bambuí - MG |
| 266 | São Judas Tadeu | 13/03/2009 | 56.000 | Jaíba - MG |
| 267 | Equipav II | 19/12/2008 | 80.000 | Promissão - SP |
| 268 | Guariroba | 01/08/2009 | 12.000 | Pontes Gestal - SP |
| 269 | Comvap | 30/01/2009 | 8.800 | União - PI |
| 270 | Da Mata | 24/09/2009 | 70.000 | Valparaíso - SP |
| 271 | Noroeste Paulista | 27/11/2009 | 68.000 | Sebastianópolis do Sul - SP |
| 272 | Uberaba | 03/06/2008 | 12.000 | Uberaba - MG |
| 273 | Monções | 24/09/2010 | 22.000 | Monções - SP |
| 274 | Usaçúcar - Terra Rica | 15/10/2009 | 16.500 | Terra Rica - PR |
| 275 | Santa Ines | - | 2.600 | Sertãozinho - SP |
| 276 | Pindorama | - | 4.000 | Coruripe - AL |
| 277 | Louis Dreyfus Commodities Agroindustrial | - | 4.000 | São Paulo - SP |
| 278 | Virgolino de Oliveira - Fazenda Canoas | - | 5.000 | José Bonifácio - SP |
| 279 | Agroalcool | - | 1.200 | Monte Aprazível - SP |
| 280 | Serranópolis | 15/03/2012 | 10.000 | Serranópolis - GO |
| 281 | Monteverde | 30/06/2010 | 20.000 | Ponta Porã - MS |
| 282 | Vista Alegre I (Antiga Energética Vista Alegre) | 31/07/2009 | 60.000 | Maracaju - MS |
| 283 | Porto das Águas | 18/11/2011 | 160.000 | Chapadão do Céu - GO |
| 284 | Noble Energia | 16/01/2010 | 30.000 | Sebastianópolis do Sul - SP |
| 285 | Santa Luzia I | 02/12/2010 | 130.000 | Nova Alvorada do Sul - MS |
| 286 | Porto Alegre | 25/04/2005 | 2.400 | Colônia Leopoldina - AL |
| 287 | Conquista do Pontal | 22/07/2010 | 110.000 | Mirante do Paranapanema - SP |
| 288 | Caçú I | 29/07/2010 | 130.000 | Caçu - GO |
| 289 | Guaíra Energética | 10/06/2010 | 55.000 | Guaíra - SP |
| 290 | Colombo Palestina | 28/05/2007 | 15.000 | Palestina - SP |
| 291 | Cachoeira Dourada | 19/01/2013 | 80.000 | Cachoeira Dourada - GO |
| 292 | Vale do Tijuco | 19/05/2010 | 45.000 | Uberaba - MG |
| 293 | Clealco Queiroz | 10/04/2010 | 45.000 | Queiroz - SP |
| 294 | Unidade de Bioenergia elétrica Costa Rica | 22/11/2011 | 79.828 | Costa Rica - MS |
| 295 | Unidade de Bioenergia elétrica Alto Taquari | 23/04/2013 | 72.700 | Alto Taquari - MT |
| 296 | Unidade de Bioenergia elétrica Água Emendada | 24/01/2013 | 79.828 | Perolândia - GO |
| 297 | Unidade de Bioenergia elétrica Morro Vermelho | 24/01/2013 | 72.700 | Mineiros - GO |
| 298 | Chapadão Agroenergia elétrica | 01/11/2012 | 92.000 | Brejo Alegre - SP |
| 299 | Jataí | 28/02/2013 | 105.000 | Jataí - GO |
| 300 | São Fernando açúcar e etanol | 28/09/2009 | 50.016 | Dourados - MS |
| 301 | Vale do São Simão | 21/10/2010 | 55.000 | Santa Vitória - MG |
| 302 | Barra Bioenergia elétrica | 15/07/2010 | 136.000 | Barra Bonita - SP |
| 303 | BEN Bioenergia elétrica | 05/04/2013 | 53.000 | Teotônio Vilela - AL |
| 304 | Biopav II | 10/01/2012 | 65.000 | Brejo Alegre - SP |
| 305 | Bioenergética Vale do Paracatu - BEVAP | 15/02/2011 | 60.000 | João Pinheiro - MG |
| 306 | Rio Pardo | 31/10/2009 | 60.000 | Cerqueira César - SP |
| 307 | Canabrava | 22/08/2012 | 44.000 | Campos dos Goytacazes - RJ |
| 308 | Tropical Bioenergia elétrica | 12/11/2009 | 80.000 | Edéia - GO |
| 309 | Itumbiara | 29/05/2010 | 56.000 | Itumbiara - GO |
| 310 | Ituiutaba | 27/05/2010 | 56.000 | Ituiutaba - MG |
| 311 | Guarani - Tanabi | - | 38.000 | Tanabi - SP |
| 312 | Tabu | 01/01/2006 | 8.400 | Caaporã - PB |
| 313 | Caarapó | 14/05/2010 | 114.000 | Caarapó - MS |
| 314 | Amandina | 10/06/2014 | 120.000 | Ivinhema - MS |
| 315 | Biolins | 27/02/2010 | 28.000 | Lins - SP |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 316 | Passos | 01/04/2008 | 14.090 | Passos - MG |
| 317 | Madecal | 17/10/2000 | 3.200 | Caçador - SC |
| 318 | São Miguel | 26/08/2010 | 13.200 | São Miguel dos Campos - AL |
| 319 | Monterrey | 01/05/2008 | 3.600 | São Paulo - SP |
| 320 | Santa Juliana | 09/09/2010 | 82.000 | Santa Juliana - MG |
| 321 | Baldin | 27/08/2010 | 45.000 | Pirassununga - SP |
| 322 | Laranjeiras | 01/01/2004 | 4.825 | Vicência - PE |
| 323 | Mundial | 01/01/1982 | 3.600 | Mirandopólis - SP |
| 324 | Ipaussu Bioenergia elétrica | 09/11/2011 | 76.000 | Ipauçu - SP |
| 325 | Bom Jesus | - | 3.200 | Cabo de Santo Agostinho - PE |
| 326 | Itapuranga | - | 2.800 | Itapuranga - GO |
| 327 | Univalem Bioenergia elétrica | 31/07/2012 | 45.000 | Valparaíso - SP |
| 328 | DVPA | 09/11/2010 | 28.000 | Paracatu - MG |
| 329 | Colombo Santa Albertina | 01/06/2009 | 50.000 | Santa Albertina - SP |
| 330 | Ipê (Antiga Ceni) | 17/05/2012 | 25.000 | Nova Independência - SP |
| 331 | Iaco Agrícola | 20/08/2014 | 30.000 | Chapadão do Sul - MS |
| 332 | José Bonifácio | 01/05/2006 | 19.000 | José Bonifácio - SP |
| 333 | Noble Energia II | 31/07/2012 | 30.000 | Meridiano - SP |
| 334 | Vicentina | - | 2.000 | Vicentina - MS |
| 335 | Meridiano | 31/07/2012 | 60.000 | Meridiano - SP |
| 336 | Bioenergética Aroeira | 02/07/2014 | 16.000 | Tupaciguara - MG |
| 337 | Codora | 24/09/2011 | 68.000 | Goianésia - GO |
| 338 | Vitória | - | 4.225 | Palmares - PE |
| 339 | Vale do Ivaí - Cambuí | - | 3.600 | São João do Ivaí - PR |
| 340 | Cabrera | 01/09/2009 | 25.000 | Limeira do Oeste - MG |
| 341 | Salgado | 01/01/1973 | 3.600 | Ipojuca - PE |
| 342 | Coplasa | 01/01/2007 | 10.000 | Planalto - SP |
| 343 | Campo Lindo | 03/03/2011 | 25.000 | Nossa Senhora das Dores - SE |
| 344 | Manacá | - | 5.000 | Itumbiara - GO |
| 345 | Buriti | 07/10/2011 | 50.000 | Buritizal - SP |
| 346 | Ibéria | 13/06/2005 | 16.520 | Borá - SP |
| 347 | Viralcool Castilho | 26/06/2006 | 50.000 | Castilho - SP |
| 348 | Mogiana Bio-Energia | - | 20.000 | São Joaquim da Barra - SP |
| 349 | Selecta | 09/04/2011 | 11.400 | Aráguari - MG |
| 350 | Da Pedra | 31/05/2012 | 70.000 | Serrana - SP |
| 351 | Rosa S.A. Indústria e Comércio de Produtos Agrícolas | 01/01/1989 | 1.280 | Boituva - SP |
| 352 | Vale do Tijuco II | 18/05/2012 | 40.000 | Uberaba - MG |
| 353 | São Fernando Energia I | 29/11/2011 | 50.000 | Dourados - MS |
| 354 | Usina Laguna açúcar e etanol | - | 2.400 | Ponta Porã - MS |
| 355 | Unidade Bom Sucesso | - | 4.500 | Goiatuba - GO |
| 356 | Itapaci | 15/07/2007 | 6.952 | Itapaci - GO |
| 357 | Pedro Afonso | 25/09/2013 | 80.000 | Pedro Afonso - TO |
| 358 | Bom Sucesso | 02/10/2013 | 51.000 | Goiatuba - GO |
| 359 | Usina Coruripe açúcar e etanol | 16/08/2011 | 20.000 | Iturama - MG |
| 360 | Rio Vermelho | 12/06/2014 | 40.000 | Junqueirópolis - SP |
| 361 | Paranapanema | 16/06/2012 | 60.000 | Sandovalina - SP |
| 362 | Figueira Indústria e Comércio | - | 4.400 | Buritama - SP |
| 363 | Fischer | 01/06/2010 | 5.000 | Limeira - SP |
| 364 | Costa Bioenergia elétrica | 10/04/2010 | 15.000 | Umuarama - PR |
| 365 | Taquari | 16/12/2011 | 8.000 | Capela - SE |
| 366 | Paulicéia | 19/01/2013 | 33.750 | Paulicéia - SP |
| 367 | São Simão | 27/07/2008 | 4.200 | São Simão - GO |
| 368 | Brotas | 04/05/2013 | 35.000 | Brotas - SP |
| 369 | Conquista de Minas | 01/02/2012 | 3.600 | Conquista - MG |
| 370 | Enervale | 26/07/2012 | 30.000 | João Pinheiro - MG |



Digitized by Google

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 371 | Viretanol 2 | 23/03/2013 | 30.000 | Pitangueiras - SP |
| 372 | Energética Itajubara | 09/10/2012 | 4.400 | Coelho Neto - MA |
| 373 | Bio Alvorada | 09/11/2013 | 50.000 | Araporã - MG |
| 374 | São Martinho Energia | 25/05/2013 | 39.500 | Pradópolis - SP |
| 375 | UFL | 11/07/2014 | 42.000 | Florestópolis - PR |
| 376 | União | 18/10/2010 | 10.000 | Primavera - PE |
| 377 | Usalpa | 27/07/2002 | 3.000 | Junqueirópolis - SP |
| 378 | Colombo Ariranha 2 | 30/04/2015 | 40.000 | Ariranha - SP |
| 379 | PAM Destilaria | 01/05/1987 | 1.200 | Paracatu - MG |
| 380 | Santa Maria Açucareira | 01/09/2002 | 4.600 | Porto Calvo - AL |
| 381 | Furlan Avaré | 22/05/2014 | 30.000 | Avaré - SP |
| 382 | Santa Vitória | 25/06/2015 | 41.400 | Santa Vitória - MG |
| 383 | Bioflex Caeté | 03/10/2014 | 30.700 | São Miguel dos Campos - AL |
| 384 | Bambuí | 11/06/2014 | 30.000 | Bambuí - MG |
| 385 | Guarani Tanabi 2 | 22/07/2015 | 34.000 | Tanabi - SP |
| 386 | Cepasa | 01/05/2014 | 5.000 | Jaboatão dos Guararapes - PE |
| 387 | Vista Alegre II | 19/05/2015 | 30.000 | Maracaju - MS |
| 388 | Tropical Bioenergia elétrica II | 13/11/2014 | 32.000 | Edéia - GO |
| 389 | Rio Vermelho 2 | 16/12/2014 | 40.000 | Junqueirópolis - SP |
| 390 | USI BIO | 04/06/2015 | 35.000 | Santo Inácio - PR |
| 391 | Panorama | 01/04/2008 | 20.000 | Itumbiara - GO |
| 392 | Cambuí | 10/04/2013 | 20.000 | Santa Helena de Goiás - GO |
| 393 | ATENA | 10/08/1995 | 2.800 | Martinópolis - SP |
| 394 | TG AGRO | 01/09/2006 | 5.000 | Aldeias Altas - MA |
| | Total: 394 Usinas(s) | | Potência Total: 10.945.941 kW | |



Digitized by Google

www.lifeeditora.com.br

Adquira mais livros agora mesmo em nosso site.

Esta obra foi composta em Electra para
Life Editora em setembro de 2020.

Digitized by Google

A geração de energia elétrica, por meio de biomassa, vem evoluindo e aumentando a sua eficiência gradativamente, atingindo um nível de saturação, onde, se faz necessário um estudo atualizado do uso e distribuição do vapor na indústria sucroalcooleira, no sentido de se obter ainda mais eficiência e eficácia dos processos, considerando que os produtos finais ou utilidades dessa indústria são o etanol, o açúcar e a energia elétrica. Esta dissertação tem como meta realizar uma avaliação técnica e econômica do uso do vapor em usina de cana-de-açúcar, que utiliza o processo de cogeração de energia, tanto para atender suas necessidades industriais, como para produção de suas principais utilidades. Os métodos utilizados na pesquisa foram: exploratório, descritivo, explicativo, bibliográfico e quantitativo. Construiu-se uma Usina de Referência, por meio de valores médios de mercado da utilização do vapor e outras matérias primas. Realizou-se a análise de sensibilidade por meio das Usinas Hipóteses, utilizando-se o *software* BALANCE, para as simulações. Dentre as simulações inclui-se uma Usina Hipótese considerando o uso da palha para queima. Dentre as usinas simuladas escolheram-se as com melhor rendimento que passaram chamadas de Usinas Alpha 1, Alpha 2, Alpha Equilíbrio e de Alpha Equilíbrio + energia elétrica. Após a distribuição do vapor entre a produção de açúcar, etanol e energia elétrica encontraram-se o ponto de equilíbrio econômico e técnico operacional da usina de açúcar e etanol. A Alpha Equilíbrio + energia elétrica foi a que apresentou melhores resultados técnicos e econômicos, porque sem a necessidade de instalar ou adquirir equipamentos a mais para os processos, o resultado final obtido, foi de um rendimento a mais de 14%, garantindo uma maior produtividade e sustentabilidade na situação financeira das usinas de cana-de-açúcar.

Observação: Esse estudo foi defendido como dissertação no Mestrado em Agroenergia (UFT). Ao transformarmos em livro tomamos a liberdade de alterar a disposição de alguns itens ou capítulos.

LIFE EDITORA

ISBN 978-85-8150-524-4

Digitized by Google