



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS – UFT**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**  
**MESTRADO EM AGROENERGIA**

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

Aluno: Barsanulfo Jacinto Xavier Filho

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Yolanda Vieira de Abreu

**PALMAS – TO**  
**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS – UFT**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS**  
**MESTRADO EM AGROENERGIA**

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

Aluno: Barsanulfo Jacinto Xavier Filho

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Yolanda Vieira de Abreu

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agroenergia, Área de concentração de Aspectos socioeconomicos de sistemas de Agroenergia.

**PALMAS – TO**

**2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- X3a Xavier Filho, Barsanulfo Jacinto .  
Avaliação técnica e econômica do uso do vapor em usina de cana-de-açúcar para produção de suas principais utilidades.. / Barsanulfo Jacinto Xavier Filho. – Palmas, TO, 2016.  
102 f.  
  
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2016.  
Orientadora : Prof.ª Dr.ª Yolanda Vieira de Abreu  
  
1. Usina de cana-de-açúcar. 2. Cogeração. 3. Balanço energético. 4. Ponto de equilíbrio. . I. Título

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

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

ALUNO: Barsanulfo Jacinto Xavier

COMISSÃO EXAMNADORA

*Aprovada em 26.02.2016*

Presidente:

*[Signature]*  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Yolanda Vieira de Abreu (UFT)

Examinadores:

*[Signature]*  
Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra (UFT)

*[Signature]*  
Prof. Dr. Marco Aurélio Gonçalves De Oliveira (UNB)

Data da Defesa: 26/02/2016

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da  
Dissertação foram contempladas:

*[Signature]*  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Yolanda Vieira de Abreu (UFT)

Orientador

*Senhor, fortalecei meu conhecimento!*

Dedico este trabalho a minha família, meus queridos pais (“*in memoriam*”), minha esposa Deise, meu filho Francys e minha filha Stephanie.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo presente maravilhoso que é a vida! Agradeço também pelas pessoas que colocou em meu caminho, que me inspiram, me ajudam, me desafiam e me encorajam a ser cada dia melhor.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Yolanda Abreu, por sua resiliência e disposição para orientação no desenvolvimento deste trabalho e suas excepcionais contribuições.

Aos professores participantes da Banca de Defesa, Prof. Dr. Marco Aurélio Gonçalves de Oliveira e Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra pela disponibilidade e valiosas contribuições.

À todos os colegas de curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agroenergia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro;

Ao Peter Jais por disponibilizar seus valiosos conhecimentos e à Sugarsoft pelo uso gratuito dos *softwares*.

A todos que de alguma forma, contribuíram direta e indiretamente para a conclusão deste trabalho;

A todos que direta ou indiretamente me auxiliaram na execução e aprimoramento deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xiii
<b>LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES</b> .....	xiv
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>1.1 Problema</b> .....	2
<b>1.2 Objetivos</b>	
<i>1.1.1 Objetivo Geral</i> .....	3
<i>1.1.2 Objetivos Específicos</i> .....	3
<b>1.3 Estrutura do Trabalho</b> .....	3
<b>CAPÍTULO 2. REFERENCIAL TEORICO</b> .....	4
<b>2.1. Usinas de produção de açúcar, etanol e energia elétrica: Produção de vapor e tecnologias termodinâmicas</b> .....	4
<i>2.1.1. Produção de vapor na usina.</i> .....	4
2.1.2. Tecnologias termodinâmicas para produção de vapor: caldeira, turbinas e ciclos de cogeração.....	5
<b>2.2. Softwares para cálculo do balanço térmico de massa e energia elétrica de usinas de cana de açúcar disponíveis no mercado</b> .....	12
<i>2.2.1. Definições dos principais parâmetros para simular o Software BALANCE</i> .....	18
<b>2.3. A importância dos produtos de cana de açúcar: energia elétrica, etanol e açúcar</b> .....	19
<b>2.4. A utilidade da energia elétrica da usina de cana de açúcar</b> .....	21
<b>2.5. A utilidade do etanol da usina de cana de açúcar</b> .....	23
<b>CAPÍTULO 3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>4.1. Análise e Resultados</b> .....	32
<i>4.4.1. Análise da Usina Alpha1 em relação à Usina de Referência</i> .....	32
<i>4.4.2. Análise da Usina Alpha2 em relação à Usina de Referência</i> .....	34



<i>4.4.3. Análise da Usina Alpha Equilíbrio em relação à Usina de Referência.....</i>	<i>35</i>
<i>4.4.4. Análise da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica em relação à Usina de Referência.....</i>	<i>37</i>
<b>CAPÍTULO 5. CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>45</b>
<b>ANEXO II.....</b>	<b>53</b>

## RESUMO

XAVIER FILHO, B. J. **Avaliação Técnica e Econômica do uso do Vapor em Usina de cana-de-açúcar para produção de suas principais utilidades.** 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

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 incluiu-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.

**Palavras-chave:** usina de cana-de-açúcar; cogeração; balanço energético; ponto de equilíbrio.

## **ABSTRACT**

XAVIER FILHO, B. J. **Technical Assessment and Economic use of steam in sugarcane Plant for the production of its main utilities.** 2016. 103 f. Dissertation (Masters in Agroenergia) - Graduate in Agroenergy Program, Federal University of Tocantins, Palmas, 2016.

The power generation through biomass, has been evolving and increasing its gradually efficiency, reaching a saturation level, where, if an updated study of the use and distribution of steam in the sugar industry is necessary in order to get even more efficiency and effectiveness of processes, considering that the final products or utilities that industry are ethanol, sugar and electricity. This thesis aims to conduct a technical and economic evaluation of the use of steam in sugarcane plant, which uses the process of cogeneration, both to meet its industrial needs, such as for the production of its main uses. The methods used in the survey were exploratory, descriptive, explanatory, bibliographic and quantitative. It constructed a reference plant, by average market value of the use of steam and other raw materials. It was performed a sensitivity analysis by Hypotheses plants, using the ROCK software for the simulations. Among the simulations includes A Plant Hypothesis considering the use of straw burning. Among the simulated plants were chosen with the best performance who have called Alpha Plants 1, Alpha 2, Alpha Balance and Balance Alpha + electricity. After the steam distribution between the production of sugar, ethanol and electricity met the point of operational economic and technical balance of sugar and ethanol plant. Alpha Balance + electricity presented the best technical and economic results, because without the need to install or purchase equipment to more processes, the end result was a yield over 14%, ensuring greater productivity and sustainability in the financial situation of sugarcane plants.

**Keywords: sugarcane plant; cogeneration; energetic balance; breakeven.**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama de potência e consumo de vapor .....	5
Figura 2.2. Caldeira tubo reto com tambor longitudinal.....	6
Figura 2.3. Caldeira aquotubular com tambor transversal.....	7
Figura 2.4. Caldeira aquotubular, fixa, vertical.....	8
Figura 2.5. Diagrama de um sistema de cogeração com turbina a vapor de contrapressão.....	9
Figura 2.6. Tipos de turbinas a vapor.....	10
Figura 2.7. Ciclo de cogeração “ <i>topping</i> ” do setor sucroalcooleiro.....	11
Figura 2.8. <i>Lay out</i> do <i>Software</i> BALANCE.....	15
Figura 2.9. Fluxo de vapor da Caldeira, Turbina, processo de geração de energia elétrica.....	17
Figura 2.10. Principais utilidades da cana de açúcar.....	19
Figura 2.11. Fluxograma geral do processo de fabricação de açúcar e etanol dentro da usina.....	20
Figura 2.12. Esquema do processo de produção de etanol por meio da hidrolise da biomassa.....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Relação de clientes que utilizaram ou adquiriram os <i>softwares</i> da Sugarsoft.....	13
Tabela 2.2: Parâmetros de cálculos de produção do <i>software</i> BALANCE.....	14
Tabela 2.3: Modelo de fluxo de Receitas e Despesas do <i>software</i> BALANCE.....	16
Tabela 2.4: Composição das fibras lignocelulósicas do bagaço de cana e seus respectivos teores energéticos.....	22
Tabela 2.5: Evolução da produção do etanol no Brasil.....	25
Tabela 2.6: Numero de plantas de etanol e capacidade de produção por Estado.....	26
Tabela 3.1: Valores em unidade monetária por unidade.....	29
Tabela 3.2: Despesas em R\$ por tonelada de cana.....	30
Tabela 4.1: Análise da Usina Alpha1 em relação à Usina de Referência.....	33
Tabela 4.2: Análise da Usina Alpha2 em relação à Usina de Referência.....	34
Tabela 4.3: Análise da Usina Alpha Equilíbrio em relação à Usina de Referência.....	36
Tabela 4.4: Análise da Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica em relação à Usina de Referência.....	38

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

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 <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>
L/ton	litro por tonelada
m <sup>2</sup> :	Metro quadrado
m <sup>3</sup> /d:	Metro cúbico por dia- unidade de volume por dia
m <sup>3</sup> :	Metro cúbico – unidade volume
MW:	Mega Watt – unidade de potência ativa multiplicado por 10 <sup>6</sup> .
MWh:	Mega Watt hora – unidade de energia elétrica multiplicado por 10 <sup>6</sup> .
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

## 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 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 geoeletricas 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, tem-se discutido suas causas e uma delas está associada à conduta, possivelmente, inadequada do planejamento da central termoeletrica 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.

## **1.1 Problema**

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?



## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

- 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.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

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.
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.

## **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Este trabalho divide-se em cinco 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 cogeração e *softwares* aplicados. O terceiro capítulo contempla o material e métodos utilizados na dissertação. O quarto capítulo refere-se à resultados e discussão. O quinto contém a conclusão e as recomendações.

## **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***

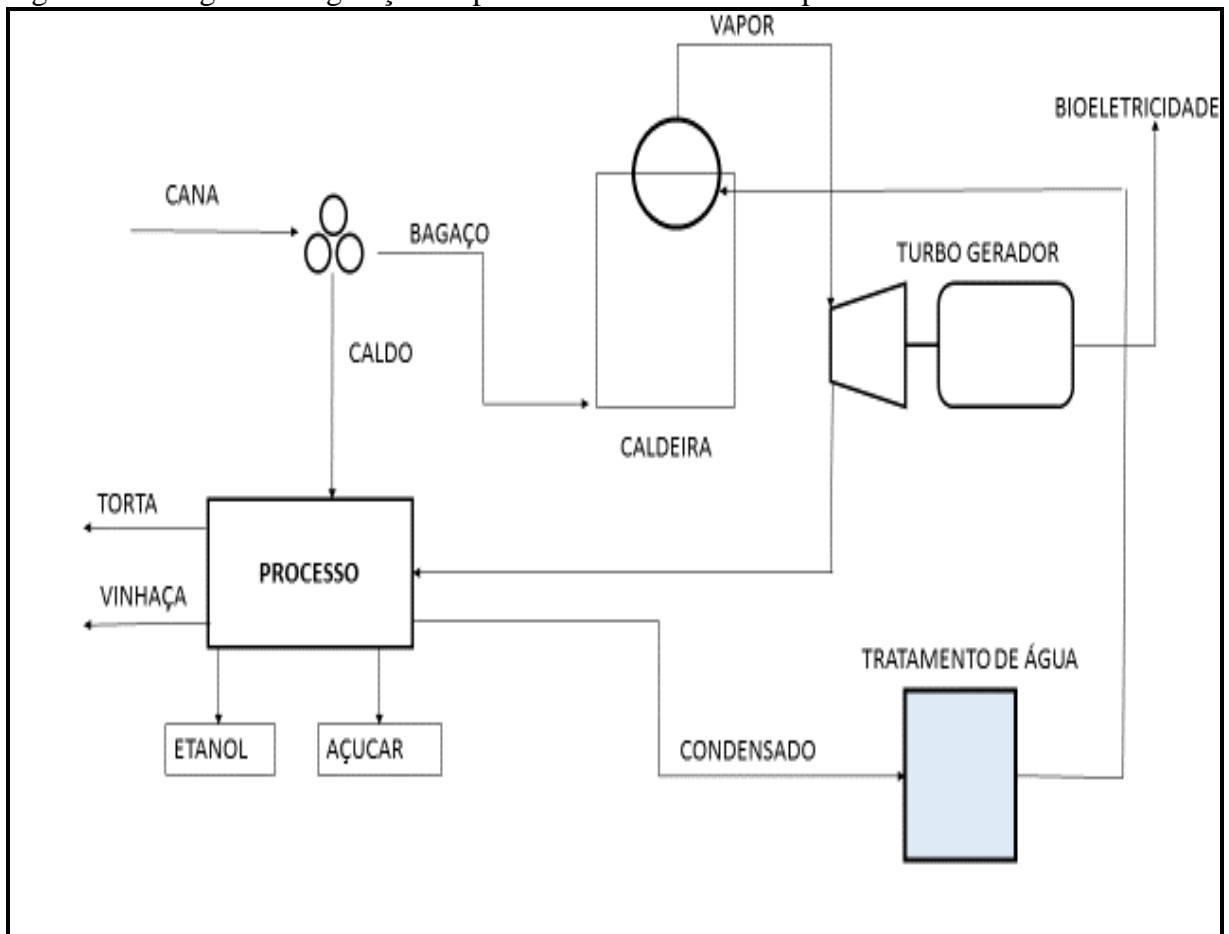
Pode-se considerar que a geração de vapor é a realização da transferência dos gases quentes, de uma caldeira ou gerador de vapor para água (Nogueira *et al* 2005). Conforme Higa (2005), nas usinas de cana-de-açúcar, a matéria prima passa pelo processo de moagem, extraíndo-se o caldo para produção de 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 cogeneradora, 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 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.***

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),

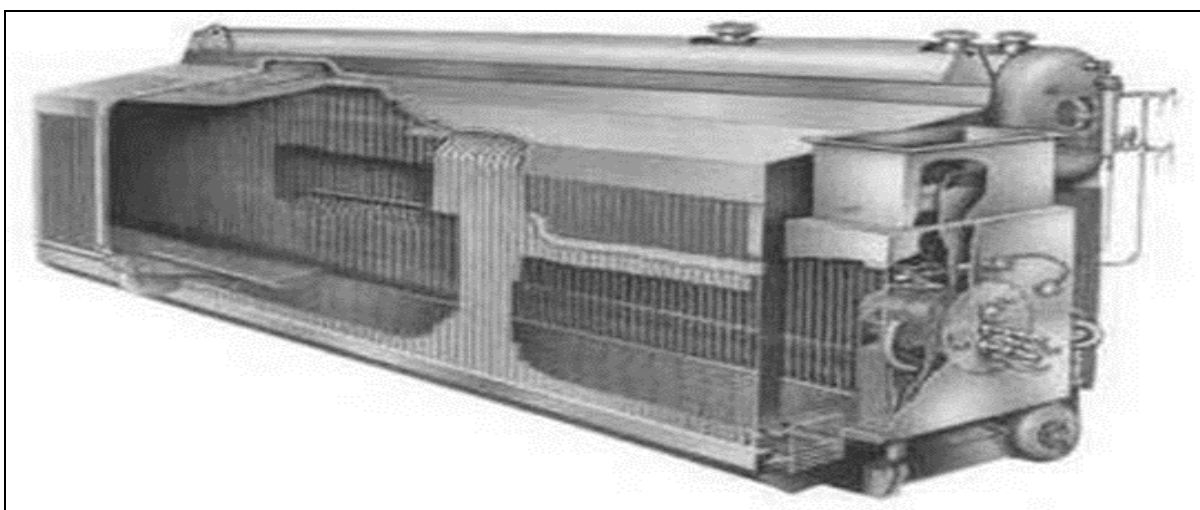
Nas caldeiras aquotubulares a água a ser vaporizada circula pelo interior dos tubos, que recebem calor externamente dos gases resultantes da combustão da biomassa. Nesta concepção é possível obter grandes volumes de vapor, inclusive superaquecido e a pressões elevadas....

..... 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 piro-tubulares, e também pelo fato dos tubos estarem fora do corpo da caldeira obtem-se superfícies de aquecimento praticamente ilimitadas.

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.

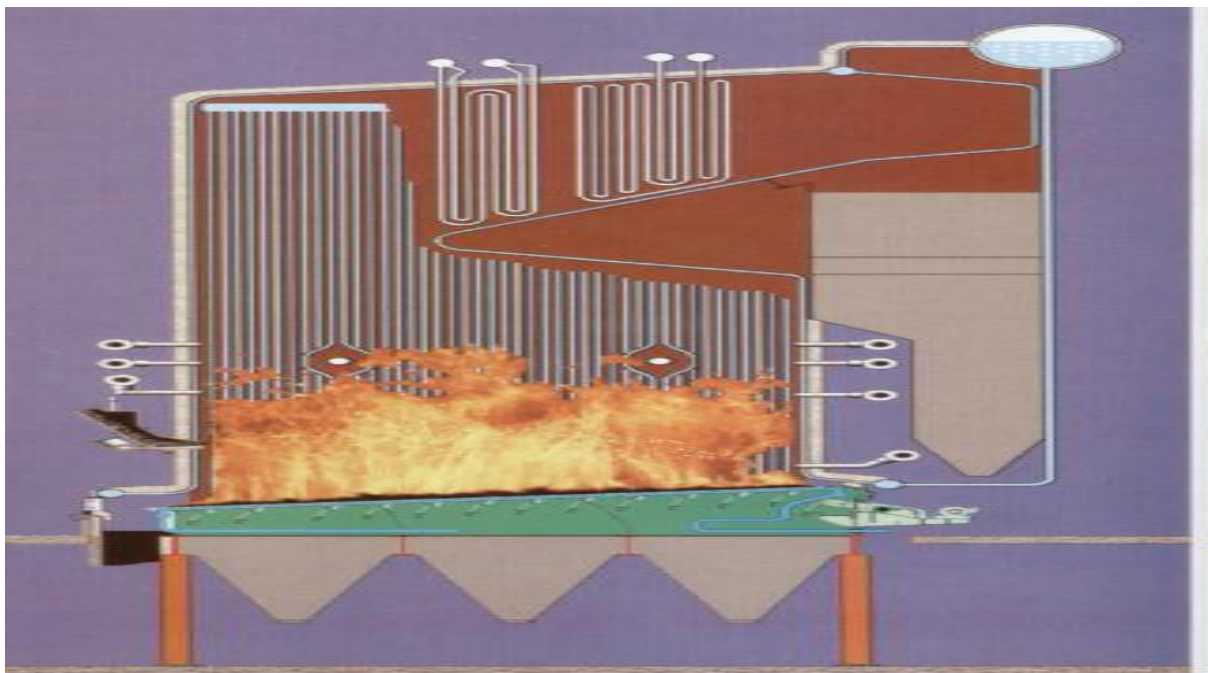


Fonte: Martinelli Jr (2003).

A Figura 2.2, mostra um exemplo de caldeira aquotubular com tubos retos de tambor longitudinal. Os tubos de água, são inclinados de aproximadamente  $22^\circ$ , 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 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.



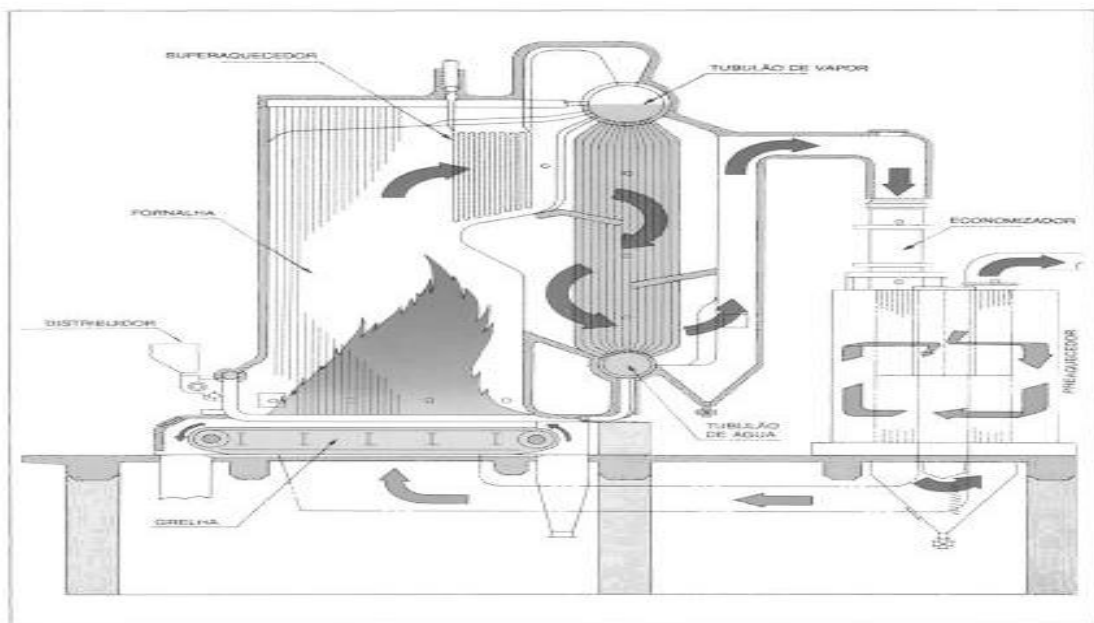
Fonte: Martinelli Jr (2003)

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 (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 calorífico 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.

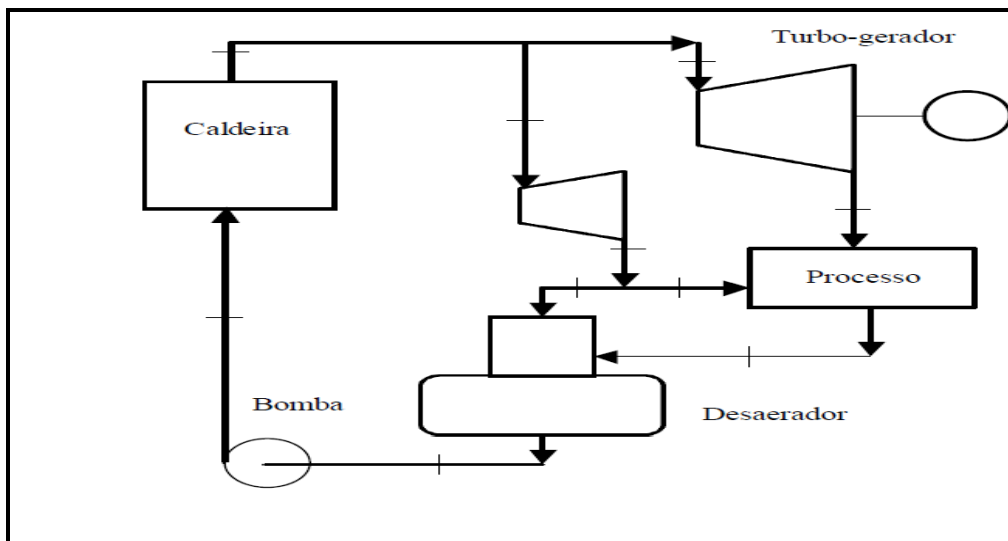
### ***b) Turbinas a vapor***

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 utilização 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 Sucroalcooleira 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

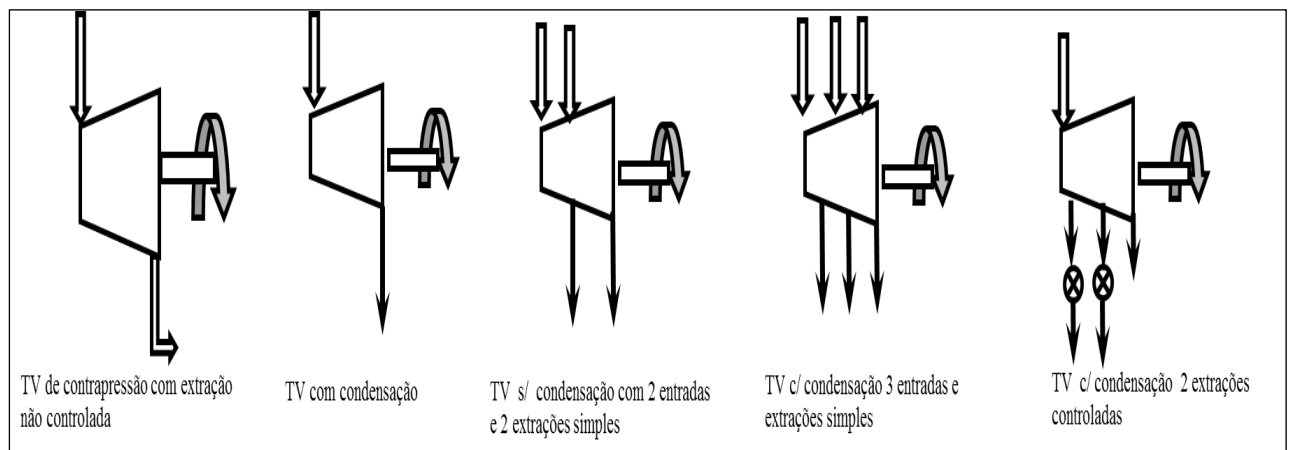


Fonte: Sanches (2003).

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

i. Configuração *Topping*

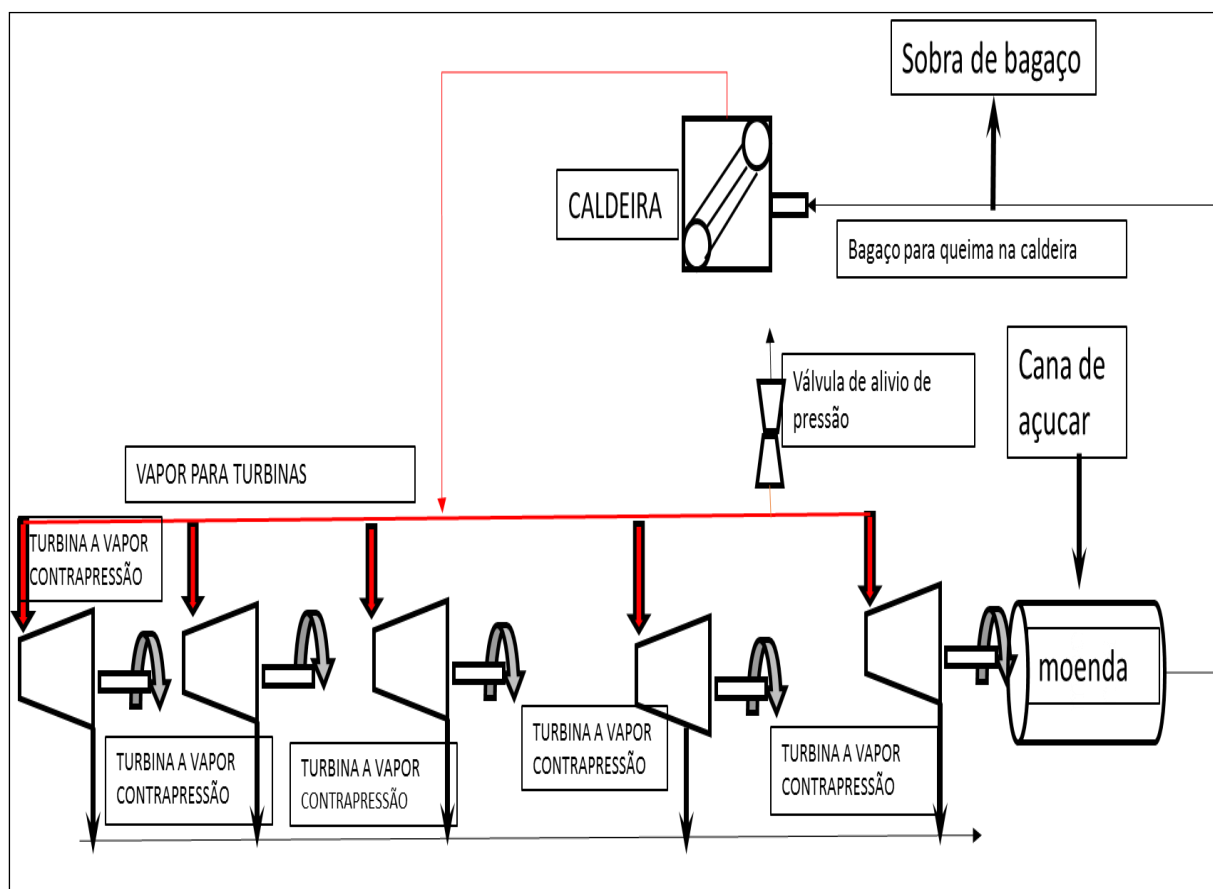
Nesta configuração o combustível é queimado primeiramente em uma máquina térmica para produção de energia mecânica ou e o calor rejeitado e utilizado sob a forma de calor útil em um processo. O calor fornecido pode ser usado em processos variados para aquecimento e refrigeração;

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).

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 análises, como pode ser visto na tabela 2.1.

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

<b>Empresa</b>	<b>País</b>	<b>Ano</b>
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)

O *software* Sucrol evoluiu-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, 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.

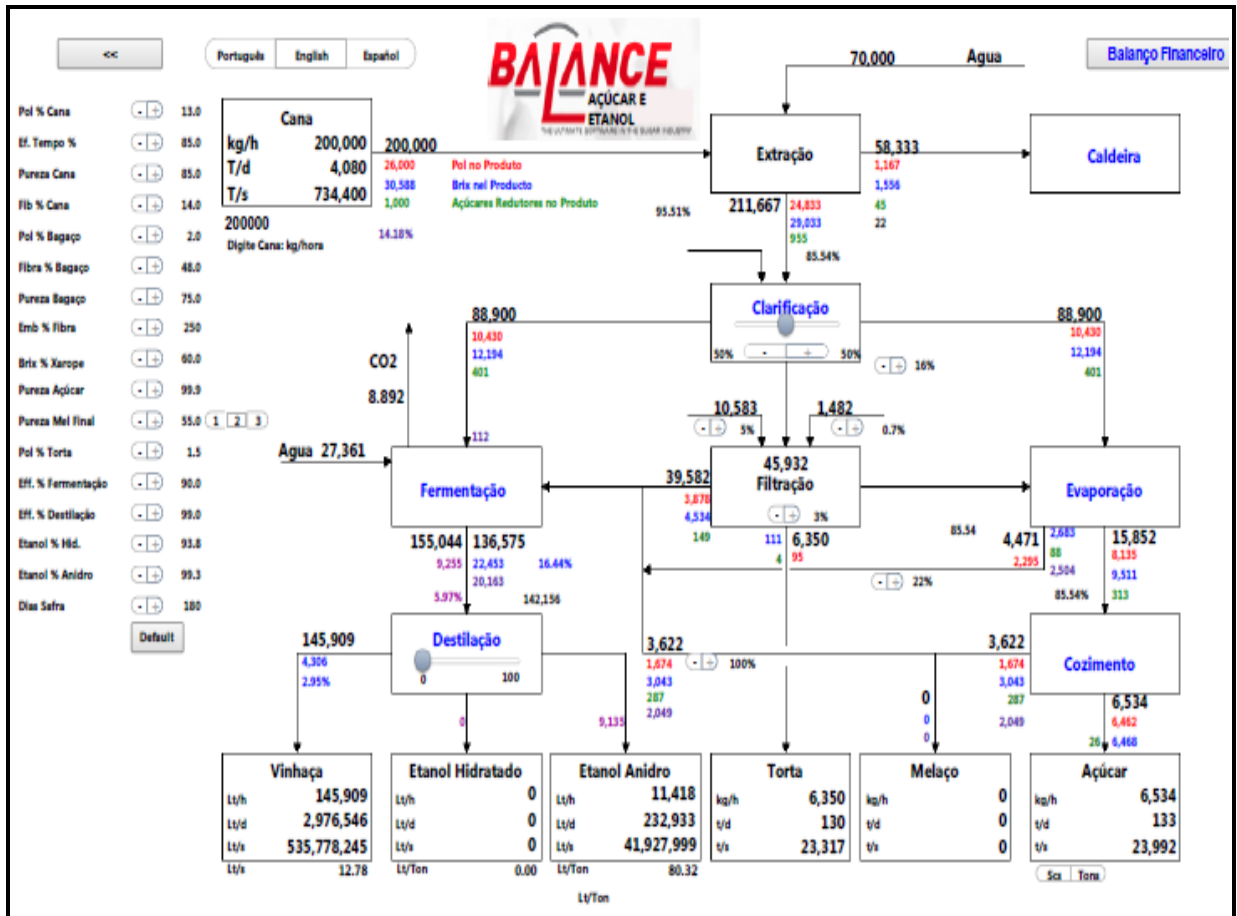
Tabela 2.2: Parâmetros de cálculos de produção do *software* BALANCE.

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.

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.

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
<b>TOTAL</b>			<b>119,325,312</b>	<b>RECEITA TOTAL</b>			<b>140,102,461</b>
				<b>DESPEZA INDUSTRIAL</b>			<b>119,325,312</b>
				<b>PAGAMENTO DE EMPRESTIMO</b>			<b>0</b>
				<b>RESULTADO</b>			<b>20,777,149</b>

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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

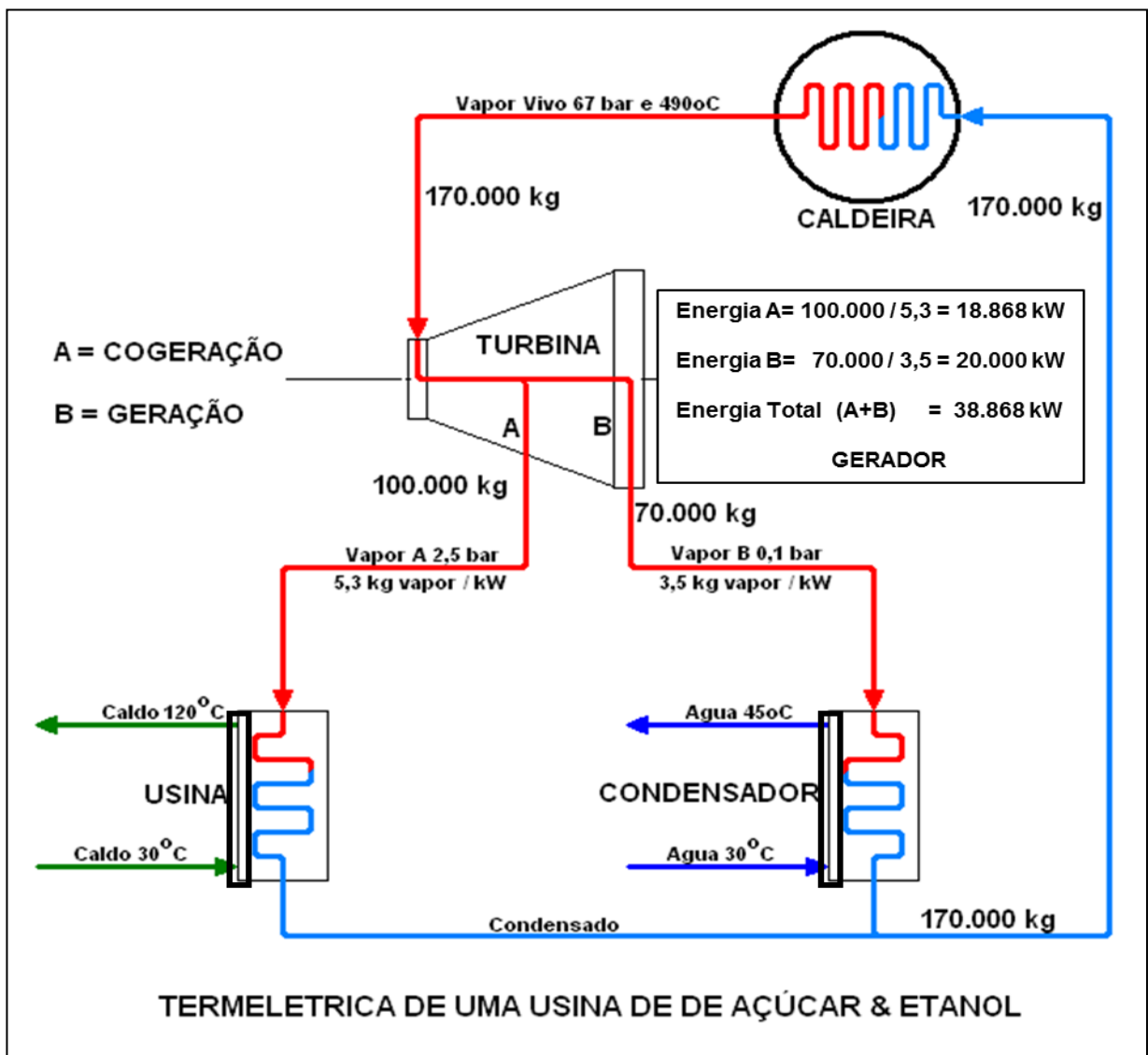
a uso própria da Usina e a outra é parte é o excedente que é vendido para a Concessionária de Energia local.

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 e 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.

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



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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

### **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 contínua da usina sem interrupções.
- 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.

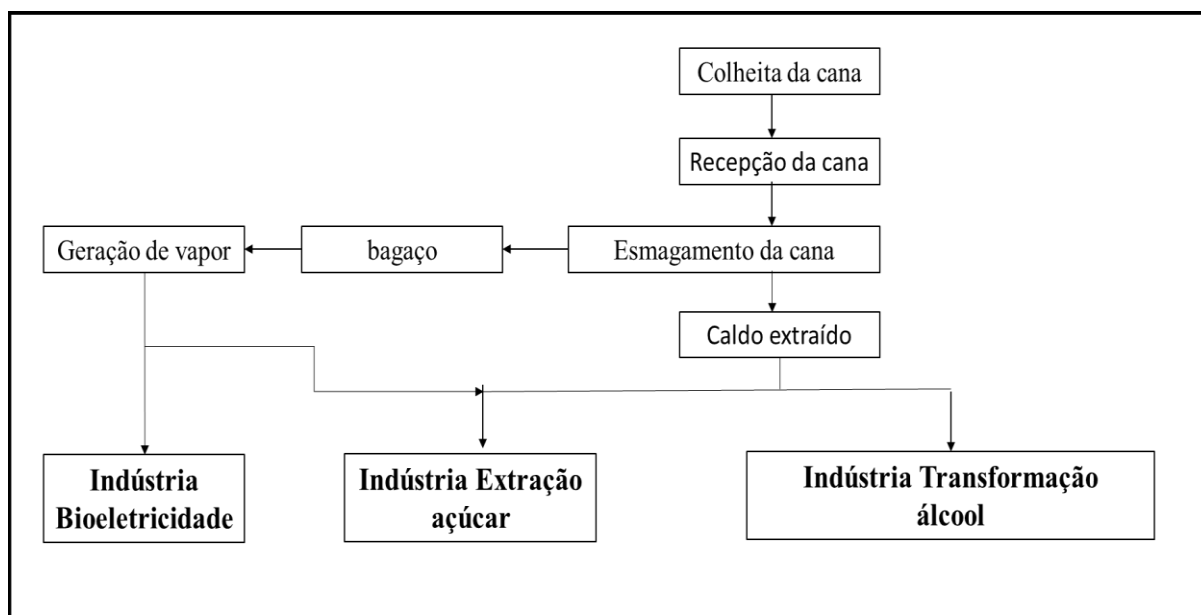


### 2.3 A importância dos produtos da cana de açúcar: energia elétrica, etanol e açúcar.

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.

Figura 2.10 - Principais utilidades da cana de açúcar.



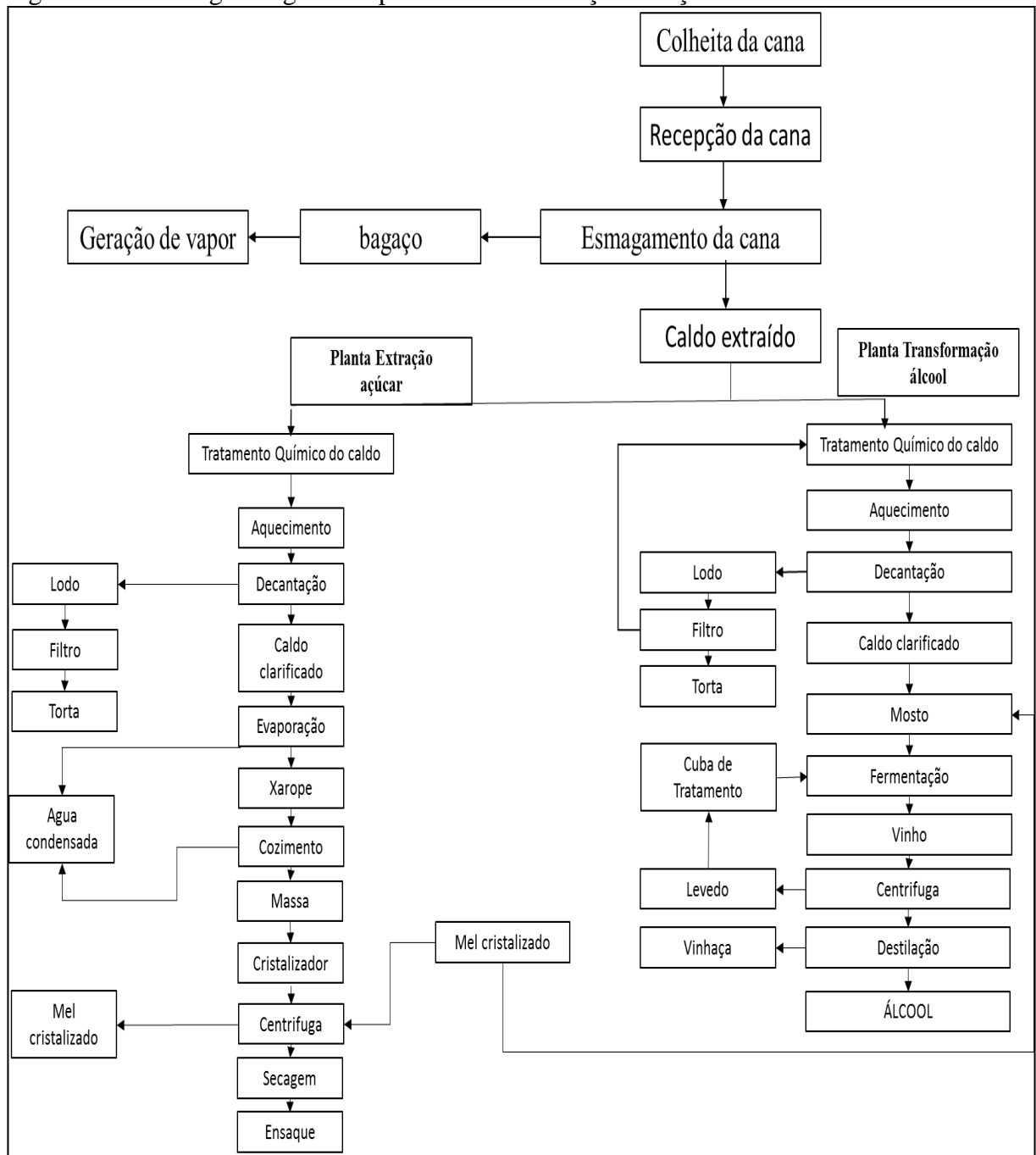
Fonte: adaptado Ballestieri (1994).

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

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 microbológica, 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.

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



Fonte: DAL BEM; KOIKE; PASSARINI (2003)

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. 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 sucroalcooleira, 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 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 significativamente 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  $40 \times 10^6$  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, por sua vez, pode ser utilizado para cogeração de 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.

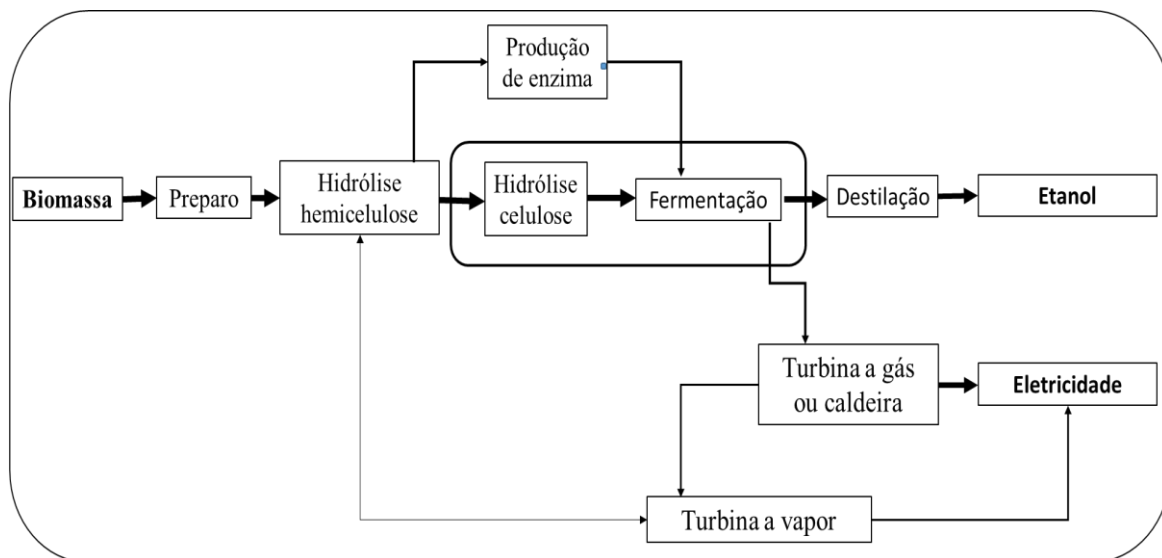
## **2.5 A utilidade do etanol da usina de cana-de-açúcar.**

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).

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 hidrólise 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 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 m<sup>3</sup> /dia de produção de etanol hidratado é de 100.743 m<sup>3</sup> /dia de produção de etanol anidro. Adicionalmente, 17 plantas de etanol já receberam a autorização para operação definitiva, totalizando uma capacidade de 13.355 m<sup>3</sup> /dia de produção de etanol hidratado e 7.918 m<sup>3</sup> /dia de produção de etanol anidro. A capacidade total das 382 plantas produtoras de etanol autorizadas é de 205.682 m<sup>3</sup> /dia de produção de etanol hidratado e 108.661 m<sup>3</sup> /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.

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

Fonte: UNICA (2015).

A produção do etanol evoluiu significativamente nos últimos dez anos, produzindo o volume de 15.388,56x10<sup>3</sup>m<sup>3</sup> na safra 2003/2004 e passando para 27.542,55 x10<sup>3</sup>m<sup>3</sup> 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<sup>3</sup>/d) de etanol anidro e etanol hidratado.

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

UF	etanol anidro (m <sup>3</sup> /d)	etanol hidratado (m <sup>3</sup> /d)	Número de usinas
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
<b>TOTAL</b>	<b>108.661</b>	<b>205682</b>	<b>382</b>

Fonte: ANP (2015).

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).



### **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. 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<sup>2</sup> 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 H3equilíbrio.

Para as estas simulações foram consideradas as variações de percentuais no processo de Clarificação do caldo entre o açúcar e o etanol, com variações dos percentuais 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 percentuais aplicados nas hipóteses foram:

- Usina H1a (90% etanol, 10% Açúcar, 0% E. hidratado, 100% E. anidro),
- Usina H1b (99% etanol, 1% Açúcar, 0% E. hidratado, 100% E. anidro),
- Usina H1c (99% etanol, 1% Açúcar, 50% E. hidratado, 50% E. anidro),
- Usina H1d (99% etanol, 1% Açúcar, 60% E. hidratado, 40% E. anidro),
- Usina H1e (99% etanol, 1% Açúcar, 20% E. hidratado, 80% E. anidro),
- Usina H1f (99% etanol, 1% Açúcar, 30% E. hidratado, 70% E. anidro),
- Usina H1g (99% etanol, 1% Açúcar, 70% E. hidratado, 30% E. anidro),
- Usina H1h (50% etanol, 50% Açúcar, 70% E. hidratado, 30% E. anidro),
- Usina H1i (50% etanol, 50% Açúcar, 60% E. hidratado, 40% E. anidro),
- Usina H2a (10% etanol, 90% Açúcar, 0% E. hidratado, 100% E. anidro),
- Usina H2b (1% etanol, 99% Açúcar, 0% E. hidratado, 100% E. anidro),
- Usina H2c (1% etanol, 99% Açúcar, 50% E. hidratado, 50% E. anidro),
- Usina H2d (1% etanol, 99% Açúcar, 60% E. hidratado, 40% E. anidro),
- Usina H2e (1% etanol, 99% Açúcar, 20% E. hidratado, 80% E. anidro),
- Usina H2f (1% etanol, 99% Açúcar, 30% E. hidratado, 70% E. anidro),
- Usina H2g (1% etanol, 99% Açúcar, 70% E. hidratado, 30% E. anidro),
- Usina H2h (50% etanol, 50% Açúcar, 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 percentuais 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 transformação 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 análise 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.

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**.

## **CAPÍTULO 4. 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, estão disponíveis no ANEXO II.

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.

### **4.1 ANÁLISES DOS RESULTADOS DAS USINAS ALPHAS EM RELAÇÃO À USINA DE REFERÊNCIA.**

#### ***4.1.1 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 Referência. 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 4.1 indica a comparação dos resultados técnicos e financeiros entre a Usina Alpha1 e a de Referência.

Os dados da Tabela 4.1 indicam um decréscimo de 80% da produção do açúcar, para análise 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 4.1: 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 <sup>3</sup> )	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
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>189.849.117,00</b>	<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>172.966.001,00</b>	<b>-8,9</b>
Imposto %	(36.071.332)	Imposto %	(32863540)	-8,9
<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>153.777.785,00</b>	<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>140.102.461,00</b>	<b>-8,9</b>
DESPESAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	DESPESAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	0,0
<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>34.452.473,00</b>	<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>20.777.149,00</b>	<b>-39,7</b>

Com este procedimento, pode-se observar na Tabela 4.1, que a quantidade gerada de energia elétrica, exclusivamente para a venda à concessionária decresceu em 57,1% em relação à quantidade disponibilizada pela Usina de Referência. Neste processo foi vendido à concessionária 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 produz 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%.

#### 4.1.2 Análise 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 4.2 indica a produção das utilidades, assim como o resultado financeiro.

Tabela 4.2: 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 <sup>3</sup> )	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
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>189.849.117,00</b>	<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>206.732.258,00</b>	<b>8,9</b>
Imposto %	(36.071.332)	Imposto %	(39.279.129)	8,9
<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>153.777.785,00</b>	<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>167.453.129,00</b>	<b>8,9</b>
DESPESAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	DESPESAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	0,0
<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>34.452.473,00</b>	<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>48.127.817,00</b>	39,7

Os dados da Tabela 4.2 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*.

#### ***4.1.3 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 4.3, confirmam que se for mantido 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 4.3 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 4.3: 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 (m³)	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
<b>RECEITAS USINA REFERÊNCIA (R\$)</b>		<b>RECEITAS USINA EQUILIBRIO (R\$)</b>		
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
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>189.849.117,00</b>	<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>193.711.457,00</b>	<b>2,0</b>
Imposto %	(36.071.332)	Imposto %	(36.805.177)	2,0
<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>153.777.785,00</b>	<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>156.906.280,00</b>	<b>2,0</b>
<b>DESPESAS INDUSTRIAIS</b>	<b>(119.325.312)</b>	<b>DESPESAS INDUSTRIAIS</b>	<b>(119.325.312)</b>	<b>0,0</b>
<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>34.452.473,00</b>	<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>37.580.968,00</b>	<b>9,1</b>

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.

#### ***4.1.4 Análise 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 Concessionária, 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 4.4 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 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 líquido 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 4.4 demonstra os dados da análise da Usina Alpha Equilíbrio + Energia elétrica em relação à Usina de Referência.

Tabela 4.4: 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 <sup>3</sup> )	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
<b>RECEITAS USINA REFERÊNCIA (R\$)</b>		<b>RECEITAS USINA EQUILIBRIO + ENERGIA ELÉTRICA (R\$)</b>		
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
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>189.849.117,00</b>	<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>195.809.401,00</b>	<b>3,1</b>
Imposto %	(36.071.332)	Imposto %	(37.203.786)	3,1
<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>153.777.785,00</b>	<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>158.605.614,00</b>	<b>3,1</b>
<b>DESPESAS INDUSTRIAIS</b>	<b>(119.325.312)</b>	<b>DESPESAS INDUSTRIAIS</b>	<b>(119.325.312)</b>	<b>0,0</b>
<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>34.452.473,00</b>	<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>39.280.302,00</b>	<b>14,0</b>

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 máquinas 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 conseqüente melhoria 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.

## CAPÍTULO 5. 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. 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<sup>2</sup> e baixas temperaturas.

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

## 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](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, EDILAINÉ 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?\\_afzLoop=62678326519060#%40%3F\\_afzLoop%3D62678326519060%26\\_adf.ctrl-state%3Dp202kh7qr\\_45](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/inicio?_afzLoop=62678326519060#%40%3F_afzLoop%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.

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](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.

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](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](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. **Universidade Estadual de Campinas (Doutorado), Faculdade de Engenharia Mecânica**, 2008.

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.

## ANEXO I

USINAS do tipo UTE em Operação			
Usina	Data Operação	Potência (kW)	Município
1	<u>Alta Mogiana</u>	01/04/1994	São Joaquim da Barra - SP
2	<u>Barralcool</u>	01/10/2002	Barra do Bugres - MT
3	<u>Batatais</u>	-	Batatais - SP
4	<u>Colombo Ariranha</u>	-	Ariranha - SP
5	<u>Corona</u>	01/06/1977	Guariba - SP
6	<u>Ester</u>	01/01/1954	Cosmópolis - SP
7	<u>Central Energética Ribeirão Preto</u>	01/01/1986	Ribeirão Preto - SP
8	<u>Galvani</u>	01/09/1996	Paulínia - SP
9	<u>Iracema</u>	30/05/1905	Iracemópolis - SP
10	<u>Virgolino de Oliveira</u>	01/01/1975	Itapira - SP
11	<u>Junqueira</u>	-	Igarapava - SP
12	<u>Maracaí</u>	13/06/2000	Maracaí - SP
13	<u>MB</u>	01/01/1980	Morro Agudo - SP
14	<u>Nardini</u>	01/01/1994	Vista Alegre do Alto - SP
15	<u>Santa Cruz AB</u>	22/05/2009	Américo Brasiliense - SP
16	<u>Usina da Pedra</u>	31/05/2003	Serrana - SP
17	<u>Rafard</u>	01/01/1941	Rafard - SP
18	<u>Univalem</u>	01/05/1995	Valparaíso - SP
19	<u>Pumaty</u>	-	Joaquim Nabuco - PE
20	<u>Vale do Rosário</u>	01/06/1994	Morro Agudo - SP
21	<u>Viralcool</u>	01/01/1983	Pitangueiras - SP
22	<u>São João</u>	01/01/1975	Araras - SP
23	<u>São José</u>	01/05/1994	Macatuba - SP
24	<u>São José</u>	-	Rio das Pedras - SP
25	<u>São Luiz</u>	15/08/1999	Pirassununga - SP
26	<u>São Martinho</u>	01/01/1975	Pradópolis - SP
27	<u>Barra Grande de Lencóis</u>	14/05/2003	Lençóis Paulista - SP
28	<u>LDC Bioenergia elétrica Leme</u>	01/05/1986	Leme - SP
29	<u>J. Pilon</u>	-	Cerquillo - SP
30	<u>São Francisco</u>	01/01/1987	Sertãozinho - SP
31	<u>Lucélia</u>	01/07/2002	Lucélia - SP
32	<u>Bortolo Carolo</u>	01/01/1994	Pontal - SP
33	<u>Furlan</u>	01/05/1976	Santa Bárbara d'Oeste - SP
34	<u>Santa Adélia</u>	01/08/2002	Jaboticabal - SP
35	<u>Ruette</u>	02/06/2006	Paraíso - SP
36	<u>Ipiranga Filial Descalvado</u>	01/04/2004	Descalvado - SP
37	<u>Ipiranga - Mococa</u>	-	Mococa - SP
38	<u>São Manoel</u>	01/04/2001	São Manuel - SP
39	<u>Albertina</u>	-	Sertãozinho - SP
40	<u>Santa Elisa - Unidade II</u>	28/08/2002	Sertãozinho - SP
41	<u>Paineiras</u>	01/09/1974	Itapemirim - ES
42	<u>São João da Boa Vista</u>	01/01/1997	São João da Boa Vista - SP
43	<u>Unialco</u>	01/01/1982	Guararapes - SP
44	<u>Santa Cândida I</u>	01/05/2002	Bocaina - SP
45	<u>Ibitiúva Bioenergética</u>	01/01/1987	Pitangueiras - SP
46	<u>Mandu</u>	19/06/2006	Guaira - SP
47	<u>Guarani - Cruz Alta</u>	18/02/1982	Olímpia - SP

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

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

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

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

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



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

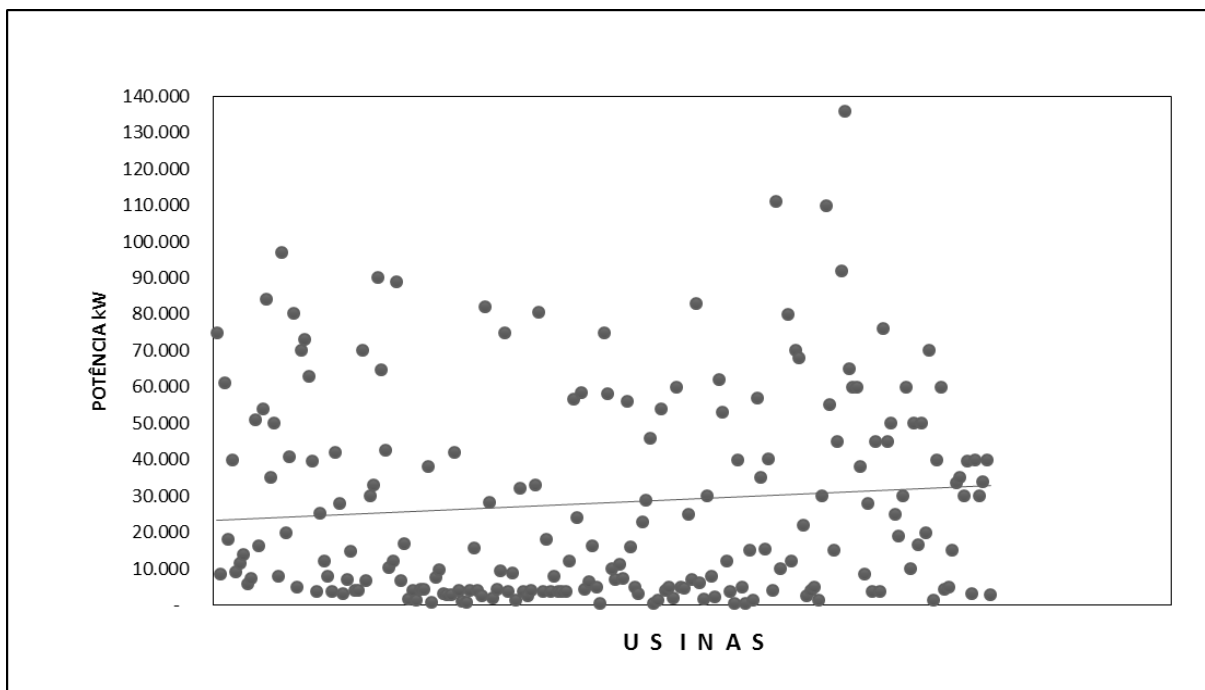
370	<u>Enervale</u>	26/07/2012	30.000	João Pinheiro - MG
371	<u>Viretanol 2</u>	23/03/2013	30.000	Pitangueiras - SP
372	<u>Energética Itajubara</u>	09/10/2012	4.400	Coelho Neto - MA
373	<u>Bio Alvorada</u>	09/11/2013	50.000	Araporã - MG
374	<u>São Martinho Energia</u>	25/05/2013	39.500	Pradópolis - SP
375	<u>UFL</u>	11/07/2014	42.000	Florestópolis - PR
376	<u>União</u>	18/10/2010	10.000	Primavera - PE
377	<u>Usalpa</u>	27/07/2002	3.000	Junqueirópolis - SP
378	<u>Colombo Ariranha 2</u>	30/04/2015	40.000	Ariranha - SP
379	<u>PAM Destilaria</u>	01/05/1987	1.200	Paracatu - MG
380	<u>Santa Maria Açucareira</u>	01/09/2002	4.600	Porto Calvo - AL
381	<u>Furlan Avaré</u>	22/05/2014	30.000	Avaré - SP
382	<u>Santa Vitória</u>	25/06/2015	41.400	Santa Vitória - MG
383	<u>Bioflex Caeté</u>	03/10/2014	30.700	São Miguel dos Campos - AL
384	<u>BambuÍ</u>	11/06/2014	30.000	BambuÍ - MG
385	<u>Guarani Tanabi 2</u>	22/07/2015	34.000	Tanabi - SP
386	<u>Cepasa</u>	01/05/2014	5.000	Jaboatão dos Guararapes - PE
387	<u>Vista Alegre II</u>	19/05/2015	30.000	Maracaju - MS
388	<u>Tropical Bioenergia elétrica II</u>	13/11/2014	32.000	Edéia - GO
389	<u>Rio Vermelho 2</u>	16/12/2014	40.000	Junqueirópolis - SP
390	<u>USI BIO</u>	04/06/2015	35.000	Santo Inácio - PR
391	<u>Panorama</u>	01/04/2008	20.000	Itumbiara - GO
392	<u>CambuÍ</u>	10/04/2013	20.000	Santa Helena de Goiás - GO
393	<u>ATENA</u>	10/08/1995	2.800	Martinópolis - SP
394	<u>TG AGRO</u>	01/09/2006	5.000	Aldeias Altas - MA
Total: 394 Usinas(s)			Potência Total: 10.945.941 kW	

## ANEXO II

### **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 1 demonstra a média geral da dispersão em função da potência das Usinas, com sua respectiva linha de tendência.

Gráfico 1: Usinas do tipo UTE, com bagaço de cana-de-açúcar em operação em São Paulo



Fonte: adaptado ANEEL (2015)

No Gráfico 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<sup>2</sup> 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 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<sup>2</sup> 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%.
- 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 calorífico Superior-PCS= 8.777 kJ/Kg.
- Poder Calorífico 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 concessionária de energia elétrica. Os valores médios são os apresentados na Tabela 1.

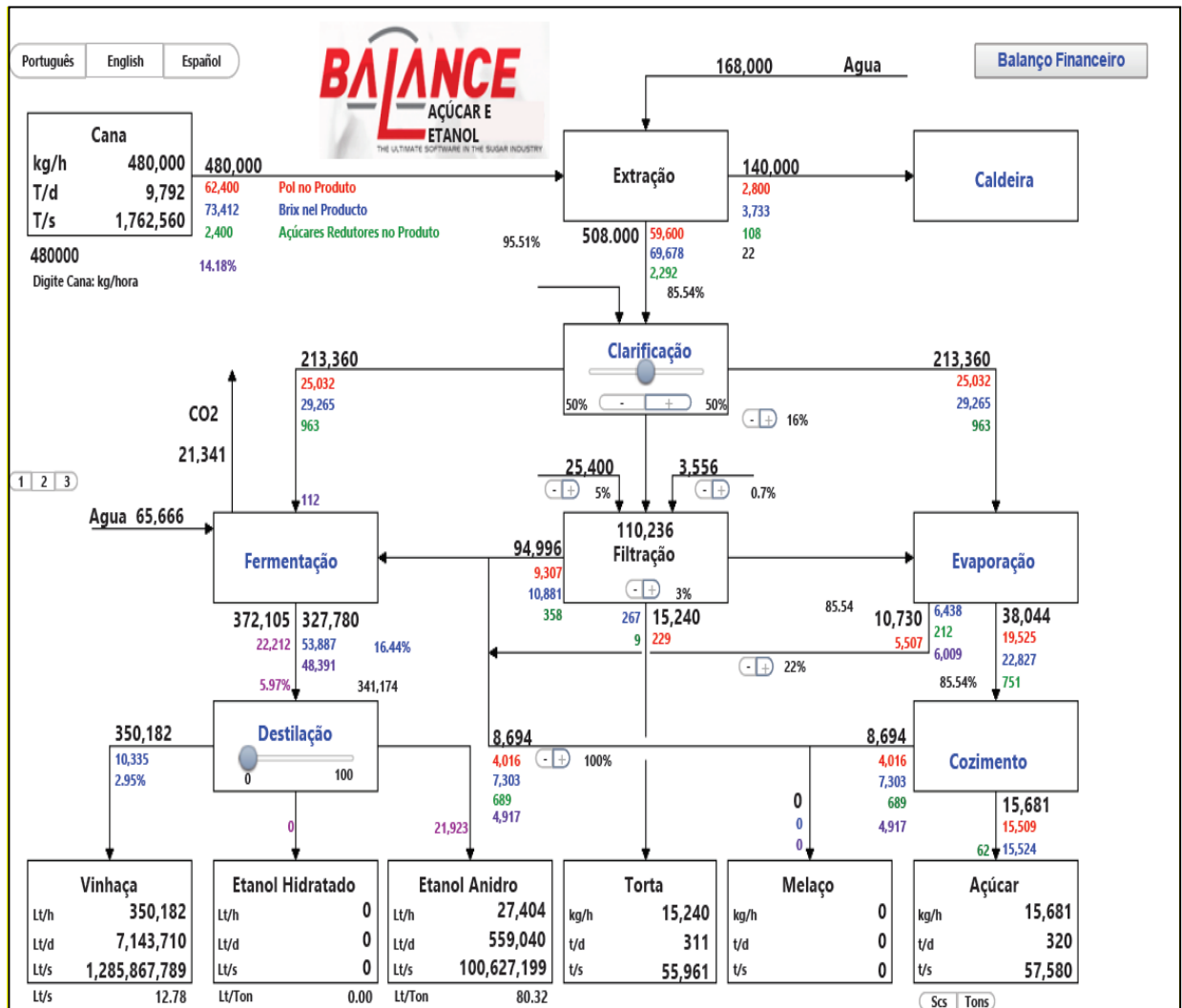
Tabela 1: Valores médios dos parâmetros da Usina de Referência.

<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALORES MÉDIOS</b>
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 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 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 1.

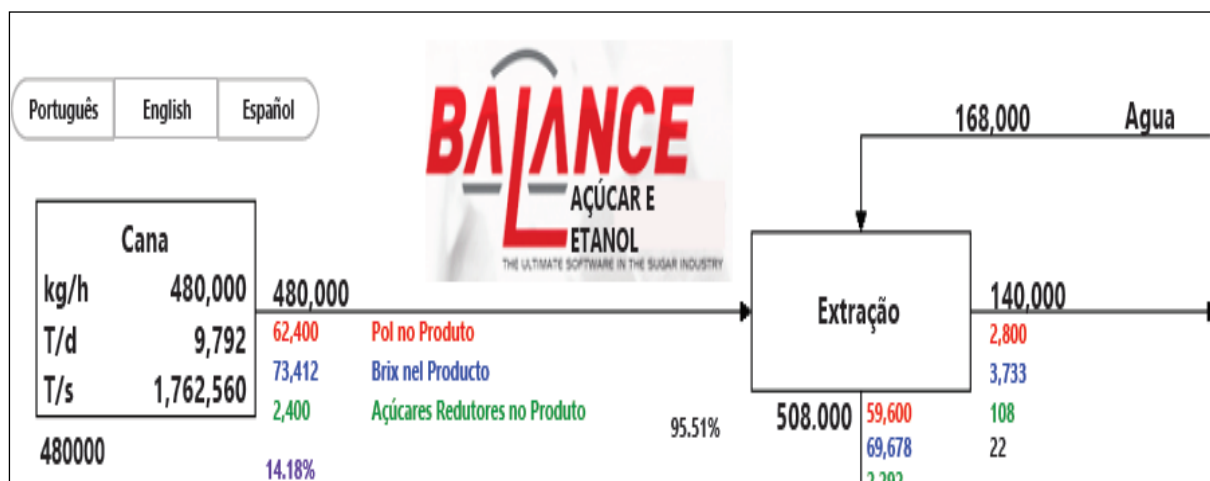
Figura 1: Fluxograma do processo geral da Usina de Referência



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Tomando-se como base o fluxograma da Figura 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 Açúcares 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 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 2.

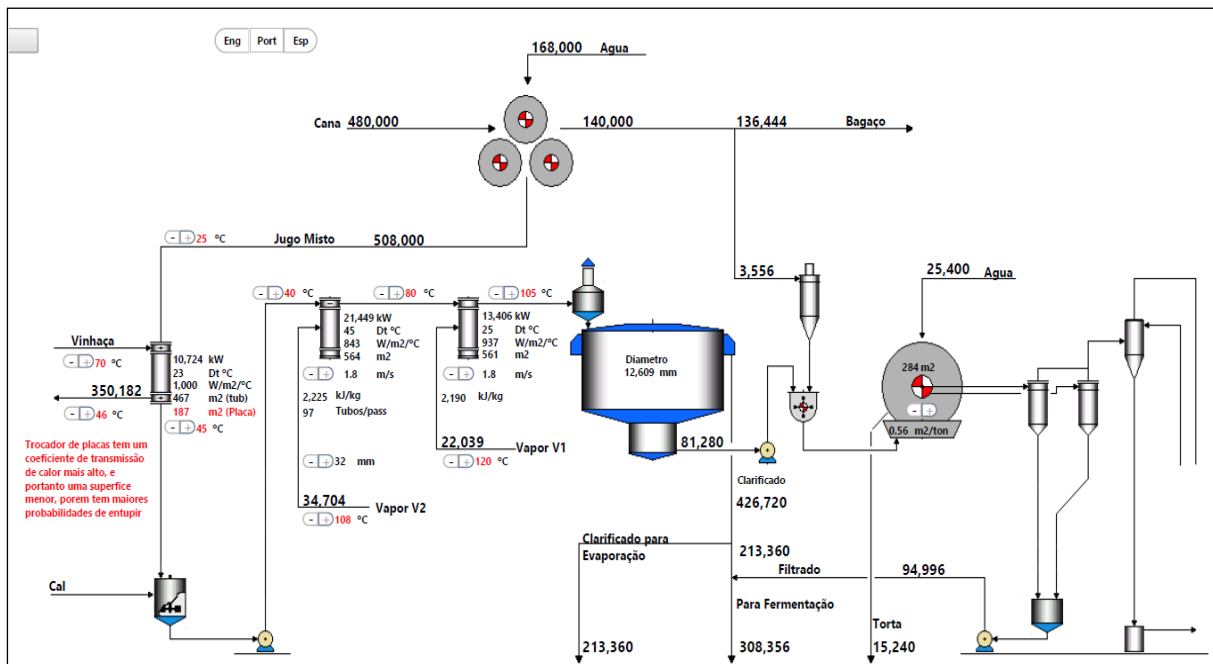
Figura 2: Dados da extração da cana da Usina de Referência.



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 SO<sub>2</sub> ao caldo, sendo este o primeiro tratamento químico pelo qual o caldo passa. O processo inibe reações que desenvolvam cor, coagula colóides solúveis, forma um precipitado com Cálcio (CaSO<sub>3</sub>) e diminui a viscosidade do caldo (PASTELLI, 2014). A figura 3 mostra o fluxograma do processo de clarificação e seus respectivos valores.

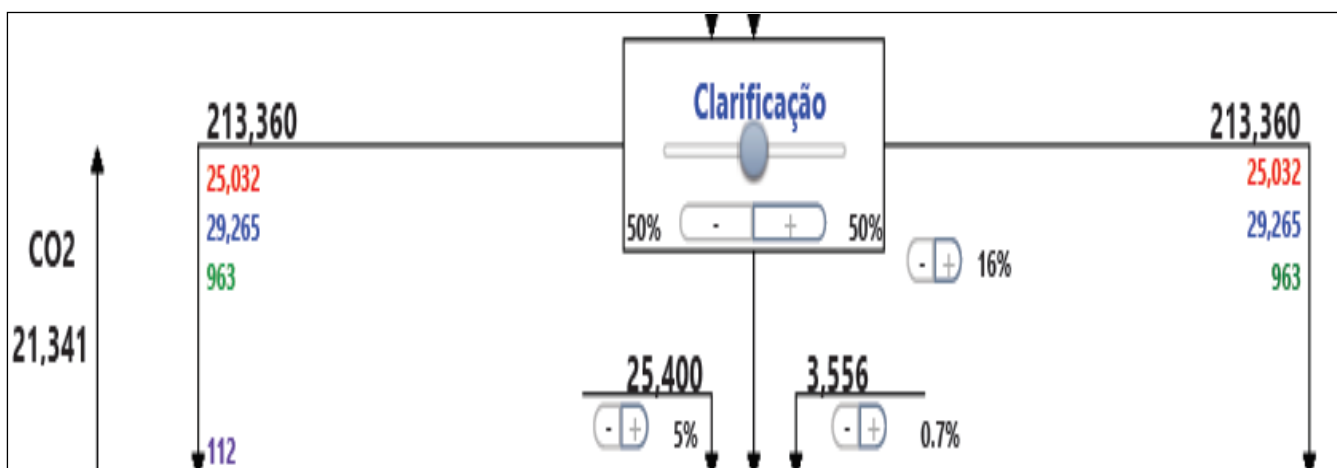
Figura 3: Fluxograma do processo de clarificação do caldo da cana Usina de Referência.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados deste processo são apresentados na Figura 4, 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: Dados do processo de Clarificação da Usina de Referência.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

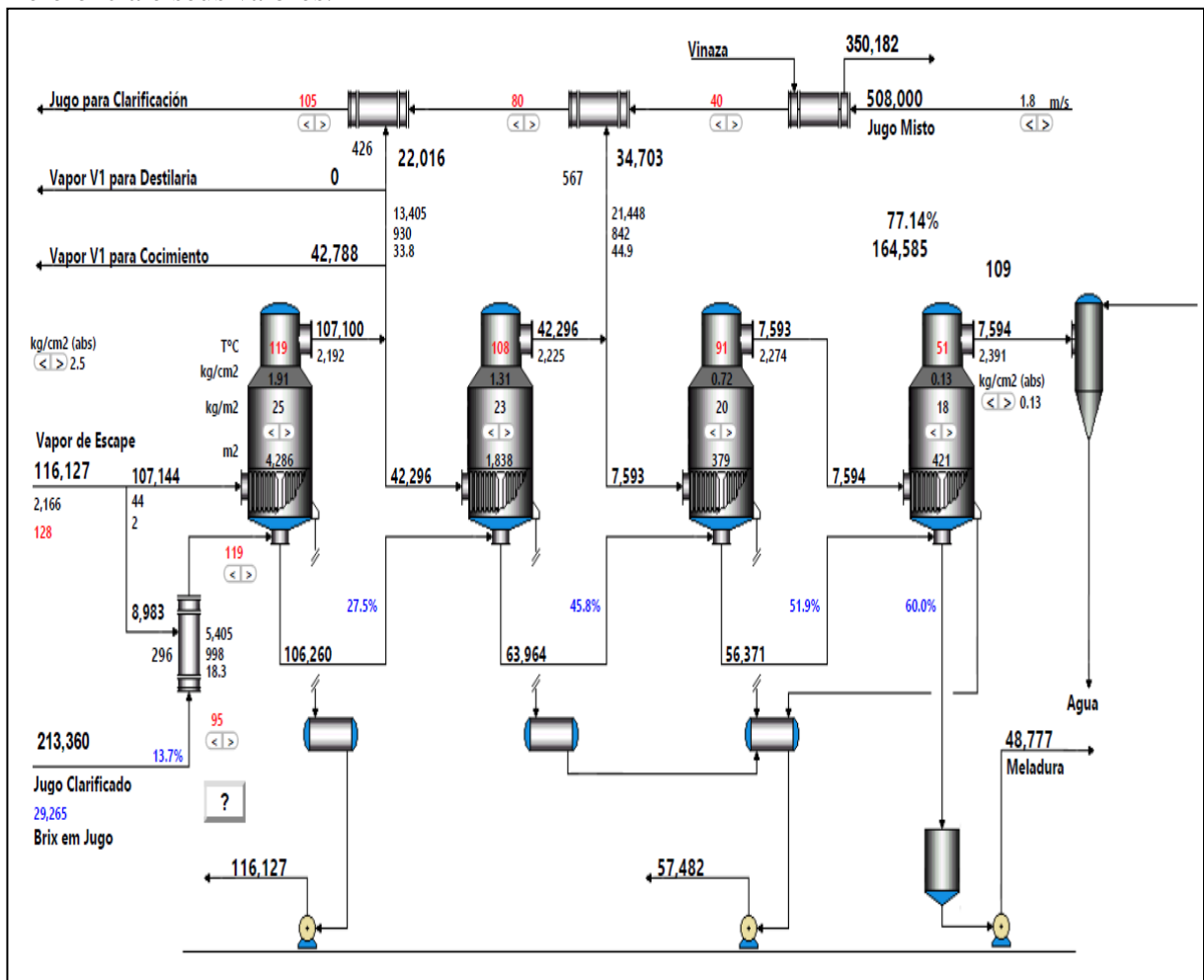
Os dados da clarificação podem ser alterados conforme a necessidade de operação da usina, neste caso está direcionada em 50% para produção de etanol e mais 50% de açúcar ou seja, em 213.360 kg/h para cada um. Conseqüentemente, o vapor tem consumo maior ou



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 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.

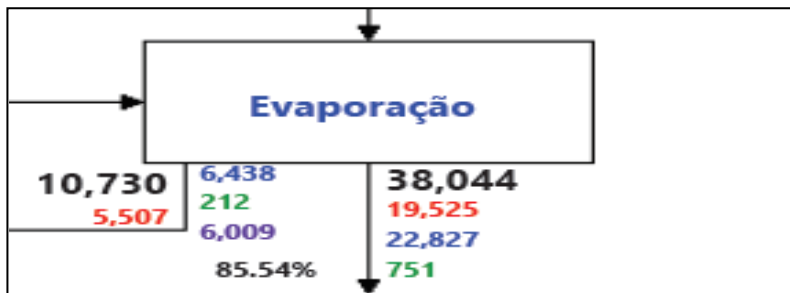
Figura 5: Fluxograma do processo de evaporação da produção de açúcar na Usina de Referência e seus valores.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

A Figura 6 demonstra os dados do processo da Evaporação da Usina de Referência.

Figura 6: Dados do processo de Evaporação da Usina de Referência.

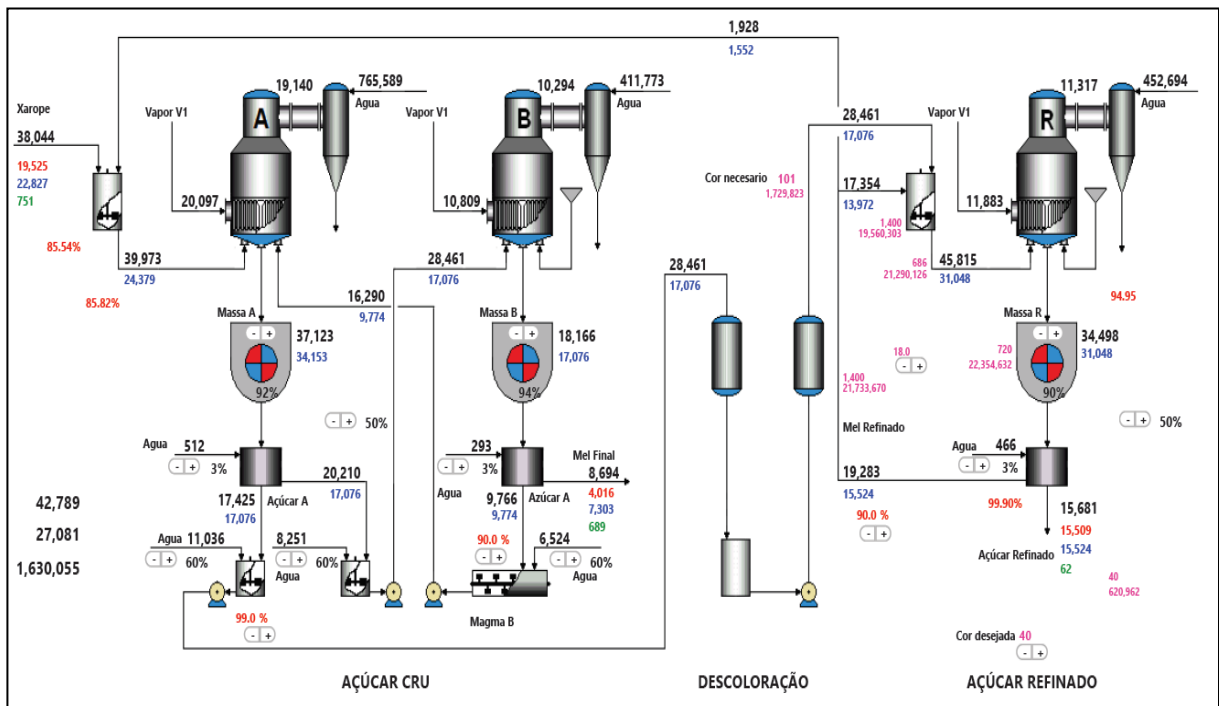


Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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

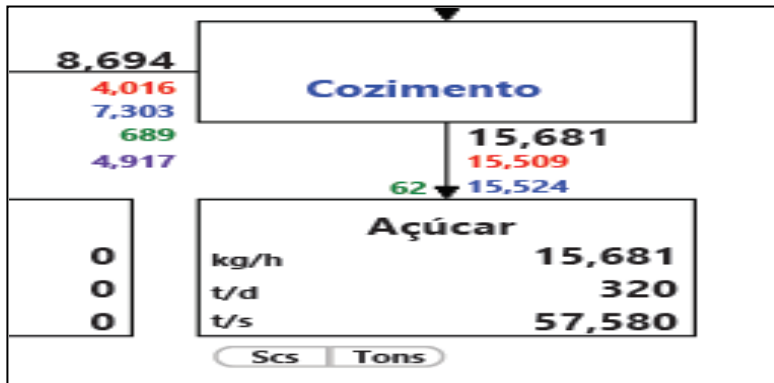
Figura 7: Fluxograma do processo de Cozimento até a produção do açúcar na Usina.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O Fluxograma da Figura 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 8.

Figura 8: Dados do processo de Cozimento da Usina de Referência.



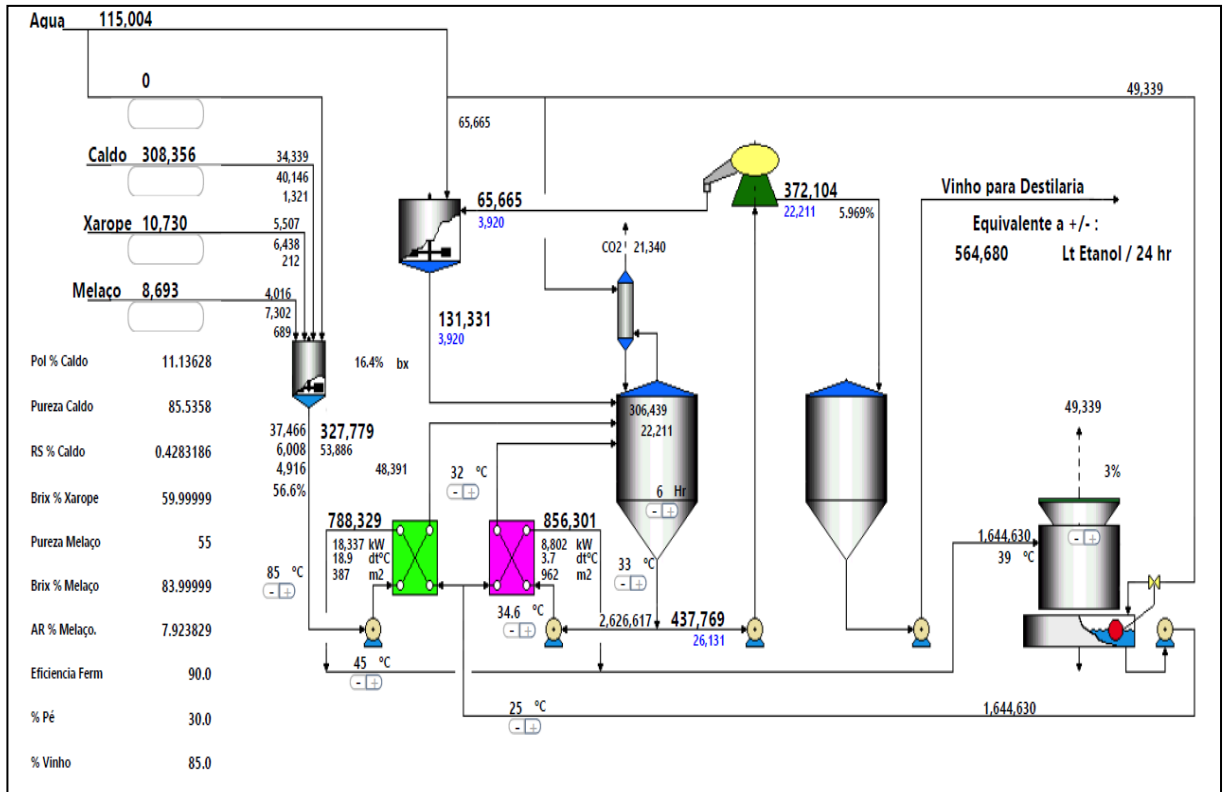
Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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 líquido 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, sendo que a quantidade será controlada através da concentração da mistura. A Figura 9 mostra o fluxograma do processo de fermentação para a Usina de Referência.

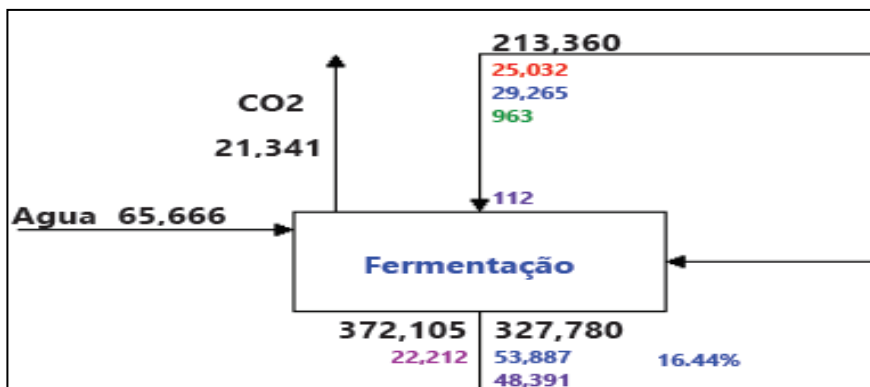
Figura 9: Fluxograma do Processo de Fermentação da Usina de Referência.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Observa-se no fluxograma da Figura 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 10: Dados do processo de fermentação para Usina de Referência.

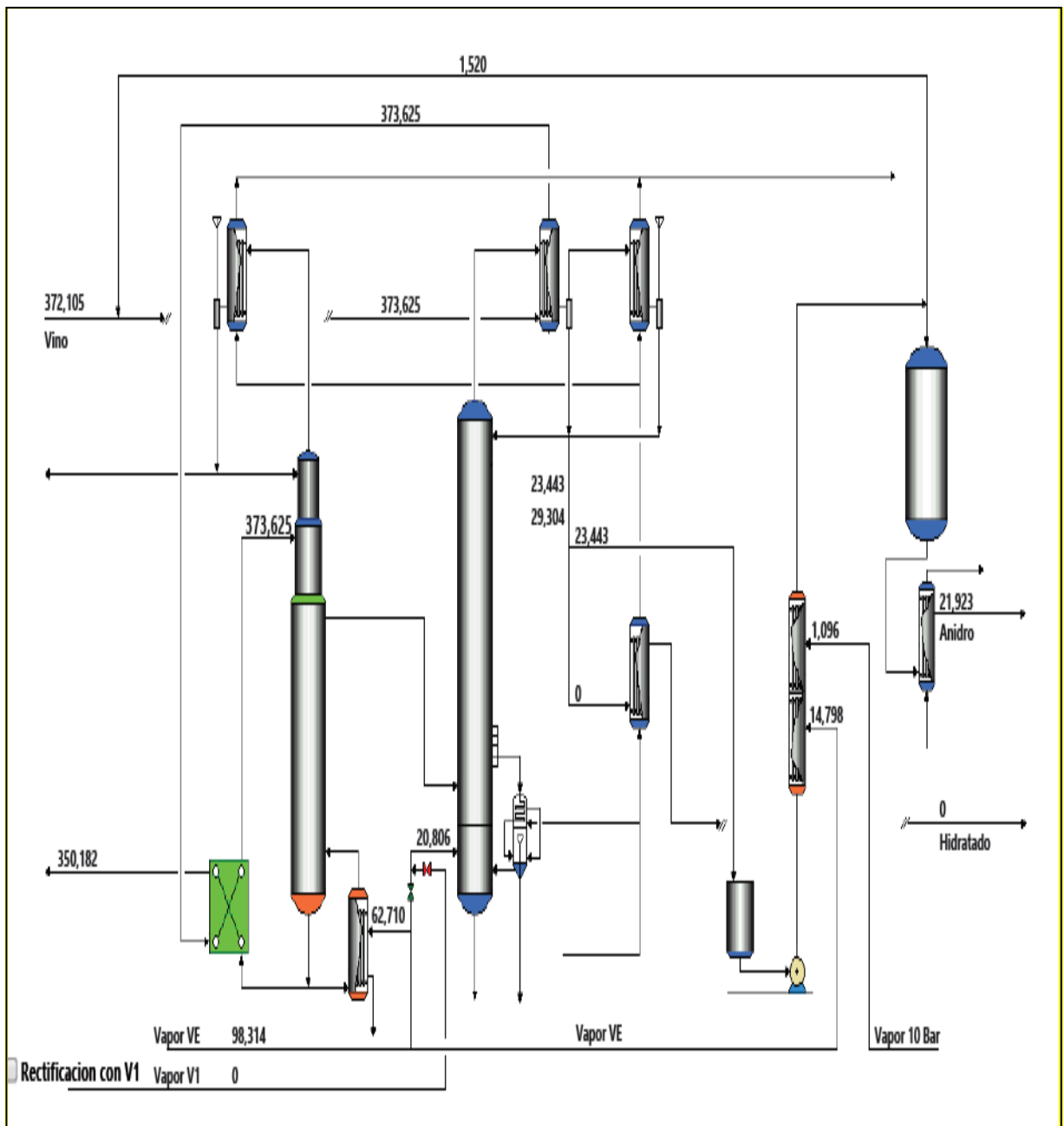


Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O processo de fermentação consome água da ordem de 65.666 kg/h e emite 21.341kg/h de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), 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 11 representa o Processo de Destilação, sendo seus insumos o vinho e o vapor.

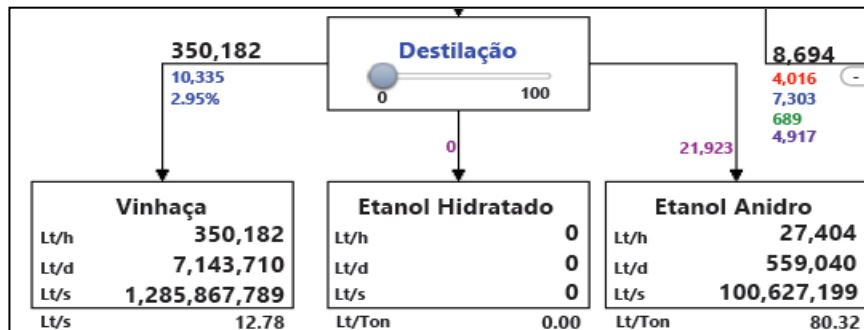
Figura 11: Fluxograma do Processo de Destilação da Usina de Referência.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

No Fluxograma da Figura 11 a destilação do etanol anidro é de 559.040 litros ao dia, totalizando 100.627.199 litros por safra. A Figura 12 revela os dados deste processo.

Figura 12: Dados do processo de Destilação para a Usina de Referência.



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

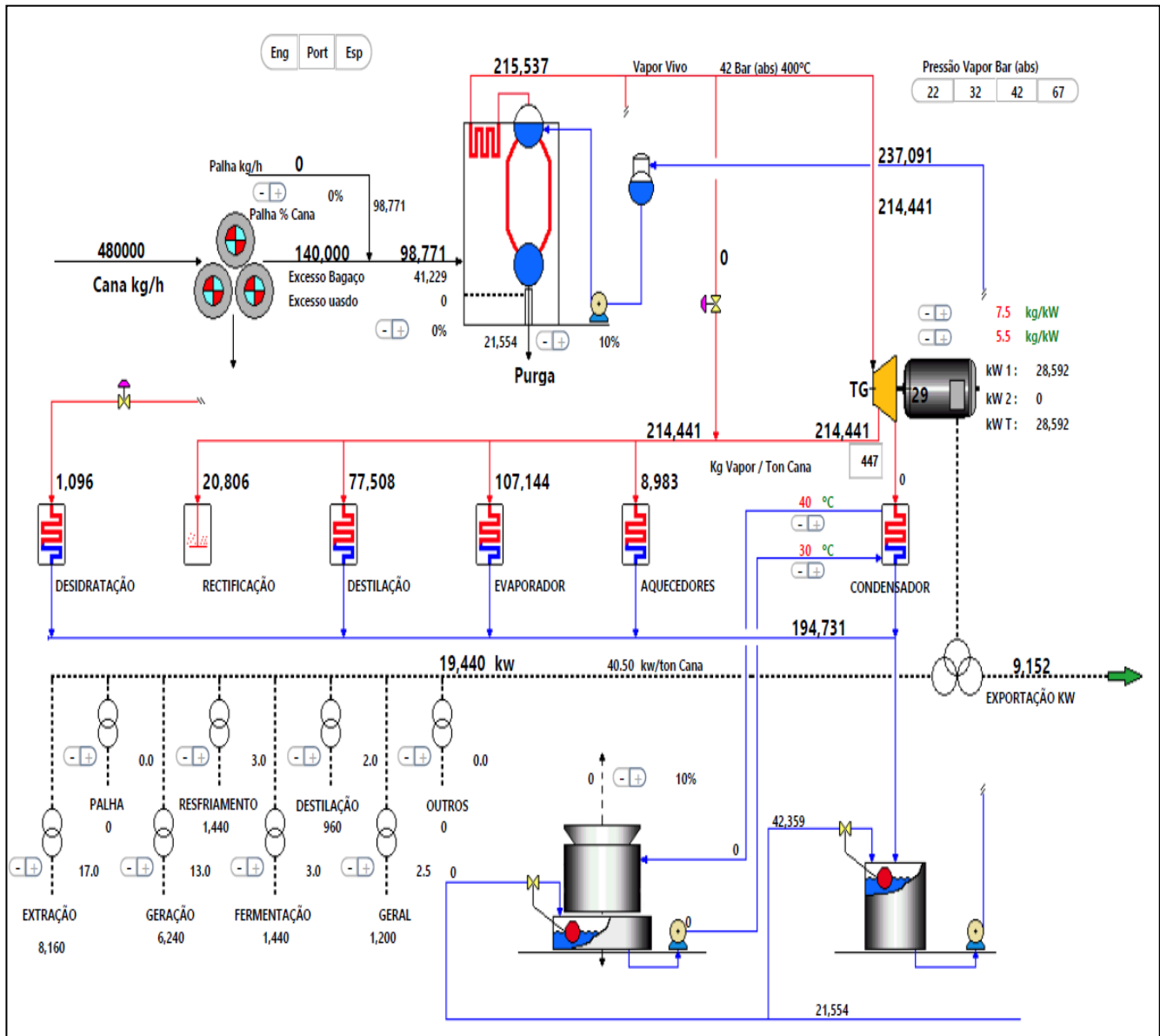
Nota-se que a vinhaça tem representatividade significativa com 1.285.867.789 litros por safra, ou seja, um resíduo com volume da ordem de bilhões de litros, ressaltando que sua função é fazer parte de uma fertirrigação supervisionada no canavial. A característica da cana permite neste caso produzir 80,32 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/cm<sup>2</sup> 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 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 concessionária local. O fluxograma da Figura 13 demonstra as linhas de vapor e energia elétrica para a Usina de Referência.

Figura 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 2 demonstra os valores médios do bagaço, eficiência da caldeira, fibra da cana, brix do bagaço, fibra do bagaço, poder calorífico inferior do bagaço, o calor disponível, o calor transferido a água e a relação do quilograma de Vapor produzido por quilograma de bagaço queimado

Tabela 2: valores médios da geração de vapor e energia elétrica da Usina de Referência em porcentagens

<b>PARÂMETROS</b>	<b>VALORES MÉDIOS</b>
Umidade % bagaço	50
Cinza % bagaço	3
Eficiência Caldeira %	85
Temperatura Água °C	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 3 demonstra a relação do consumo pelos processos de vapor vivo produzido, assim como o consumo de energia elétrica.

Tabela 3: Valores médios do consumo de vapor vivo e demanda de energia elétrica- Usina de Referência.

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

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



Os processos da Tabela 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 específica 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 4, com valores da cana moída com 85% de rendimento, produção de açúcar, etanol, levedura, Melão, bagaço e Energia Elétrica.

Tabela 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 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, 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 desta dissertação.

Tabela 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	-	-
<b>TOTAL</b>			119.325.312,00	100,00

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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 Tabela 6.

Tabela 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%
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	189.849.117,00	100,0%
Imposto %	(36.071.322,00)	19,0%
<b>RECEITA TOTAL</b> (Receita menos Impostos)	153.777.785,00	81,0%
DESPESAS INDUSTRIAIS	( 119.325.312,00)	62,9%
<b>RESULTADO</b> (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.

**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 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.

Tabela 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	99%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.

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.

### **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/cm<sup>2</sup> e a temperatura do vapor de 400 °C.

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

- 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 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.

### **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 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/cm<sup>2</sup> 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 8.

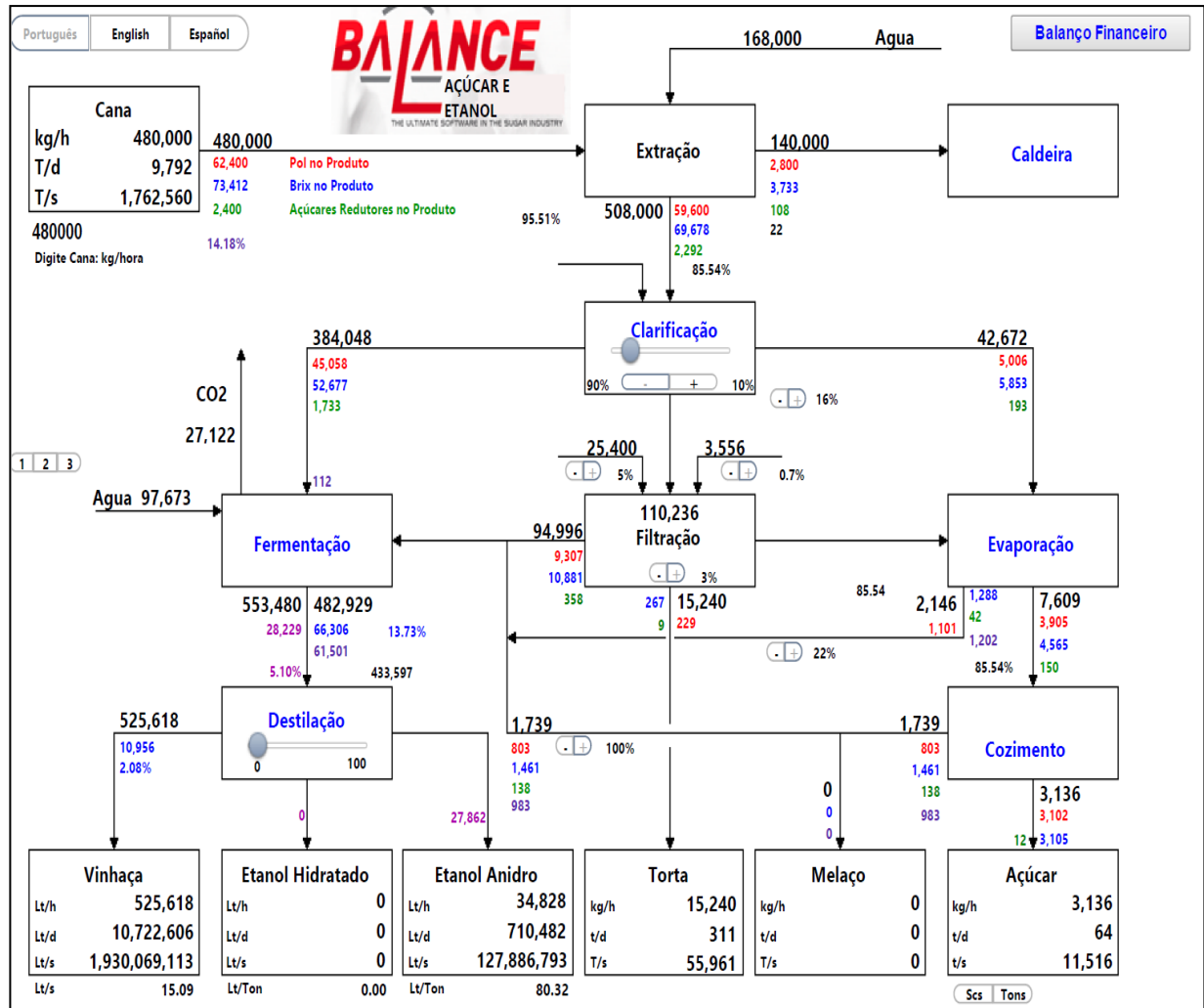
Tabela 8: Valores médios dos parâmetros da Usina Alpha1 em porcentagem

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 14 pode-se verificar o processo geral de funcionamento da Usina Alpha1.

Figura 14: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha1



Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

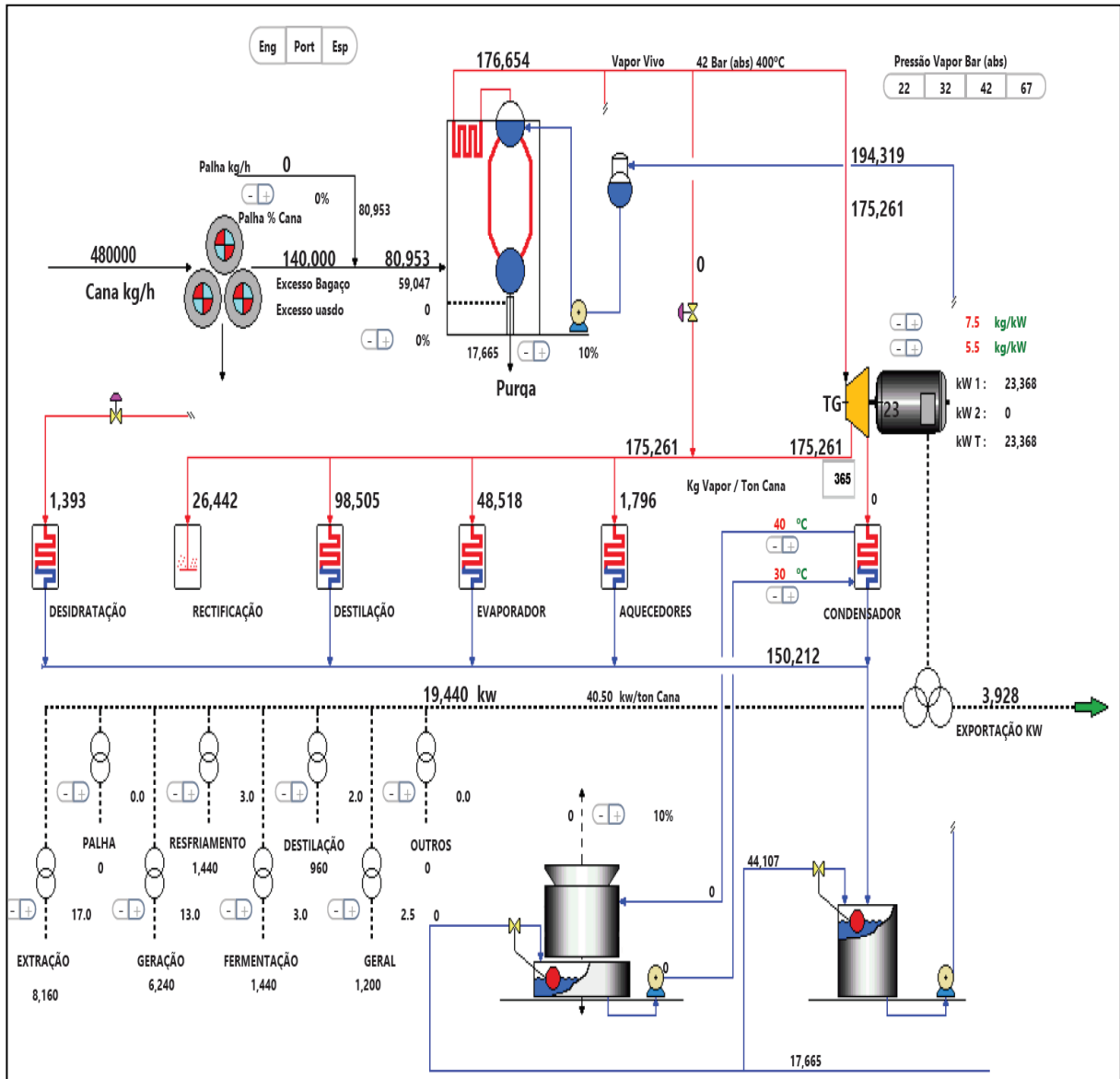
Os dados do Fluxograma da Figura 14 demonstram que são extraídos 508.000 kg/h de caldo que são direcionados ao processo de Clarificação. Para a Caldeira são disponibilizados 140.000 kg/h de bagaço para a combustão direta.

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 15 apresenta o Processo de Geração de Vapor e sua distribuição nos processos.

Figura 15: Fluxograma do processo de geração de vapor e energia elétrica 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 etanol, para o açúcar é direcionado 48.518 kgV/h. A demanda de energia elétrica dos equipamentos auxiliares da indústria são 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 9 com valores da cana moída com 85% de rendimento, produção de açúcar, etanol, levedura, Melaço, bagaço e Energia Elétrica.



Tabela 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<sup>3</sup>, 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 10, que faz correlação entre as Despesas com a tonelada de cana moída, conforme citado na metodologia.

Tabela 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 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 utilidade, 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.

Tabela 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%
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	172.966.001,00	100,2%
Imposto %	(32.863.540)	-19,0%
<b>RECEITA TOTAL</b> (Receita menos Impostos)	140.102.461,00	81,0%
DESPESAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	-69,0%
<b>RESULTADO</b> (Receita Total – Despesas)	20.777.149,00	12,0%

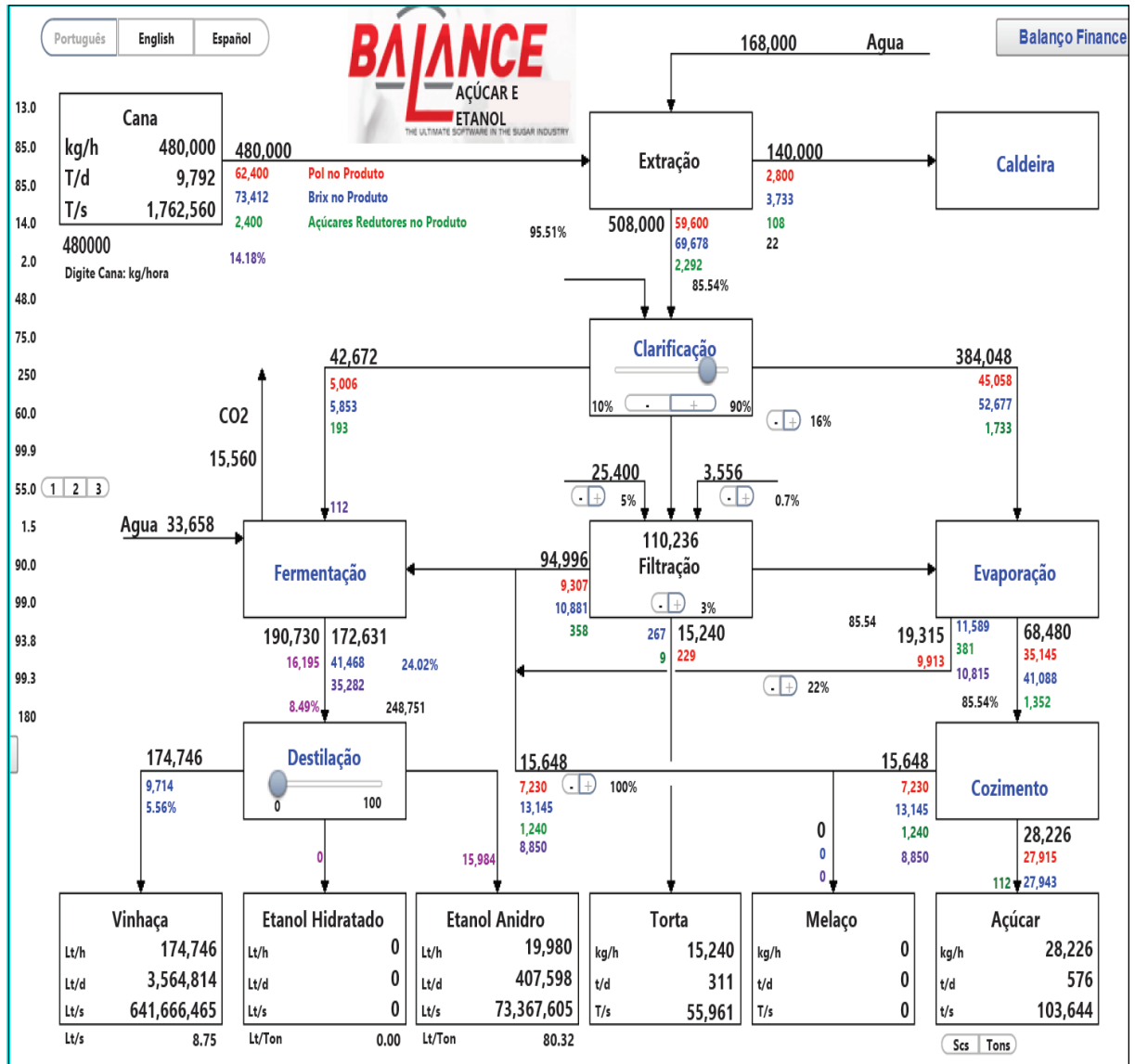
Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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.

### **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 prioritariamente direcionado à fabricação do açúcar, sendo os 10% restantes para o etanol. O Fluxograma apresentado na Figura 16 apresenta o processo geral da Usina Alpha2.

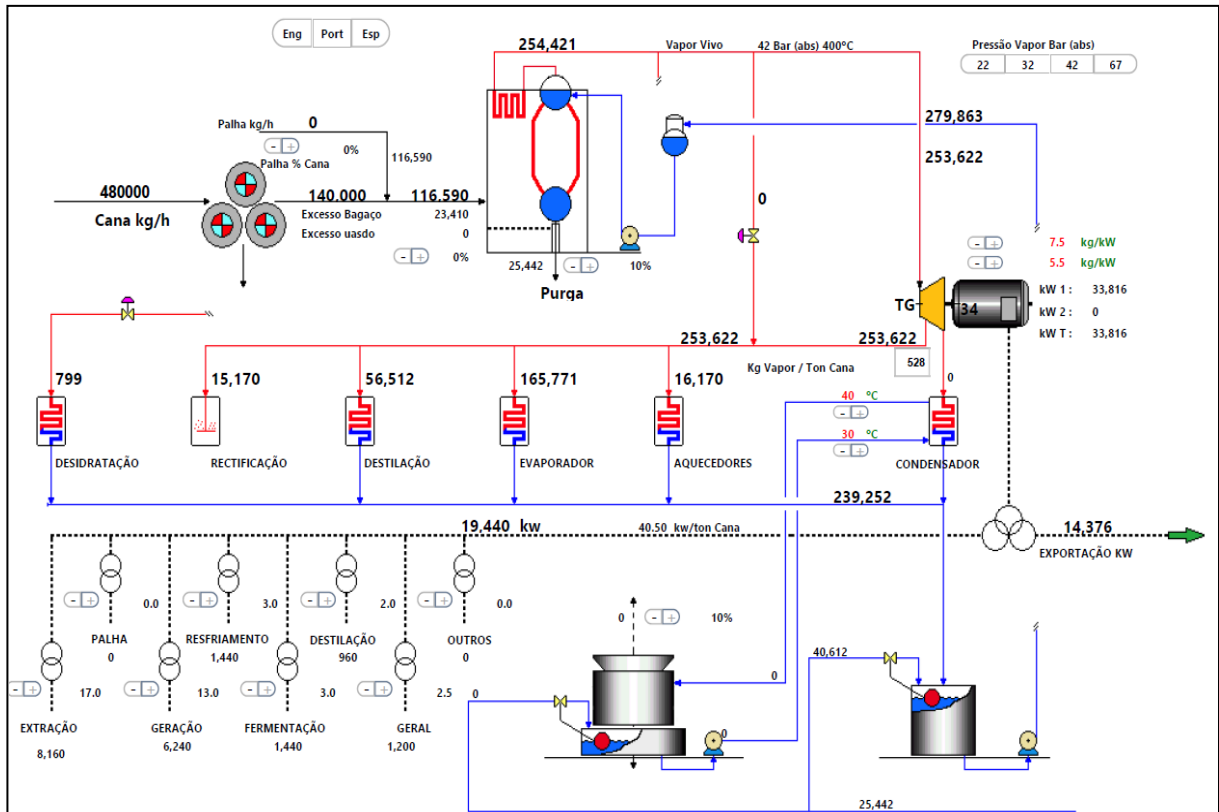
Figura 16: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha2.



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 17 apresenta o processo de Geração de Vapor e sua distribuição nos processos.

Figura 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 8.160 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, perfazendo o total de 19.440 kW.

A energia elétrica gerada obteve um acréscimo devido ao excesso de vapor, podendo produzir até 33.816 kW, sobrando para a venda de energia elétrica para a concessionária 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 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<sup>3</sup>, a levedura 1.908 ton, Melaço, bagaço 85.961 ton e Energia Elétrica com 33.607 MWh para a venda concessionária, a Tabela 12 define a produção por safra.

Tabela 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 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 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%
<b>TOTAL</b>	<b>119.325.312,00</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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 14.

Tabela 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%
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>206.732.258,00</b>	<b>100,0%</b>
Imposto %	(39.279.129)	-19,0%
<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>167.453.129,00</b>	<b>81,0%</b>
DESPEAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	-57,7%
<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>48.127.817,00</b>	<b>23,3%</b>

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

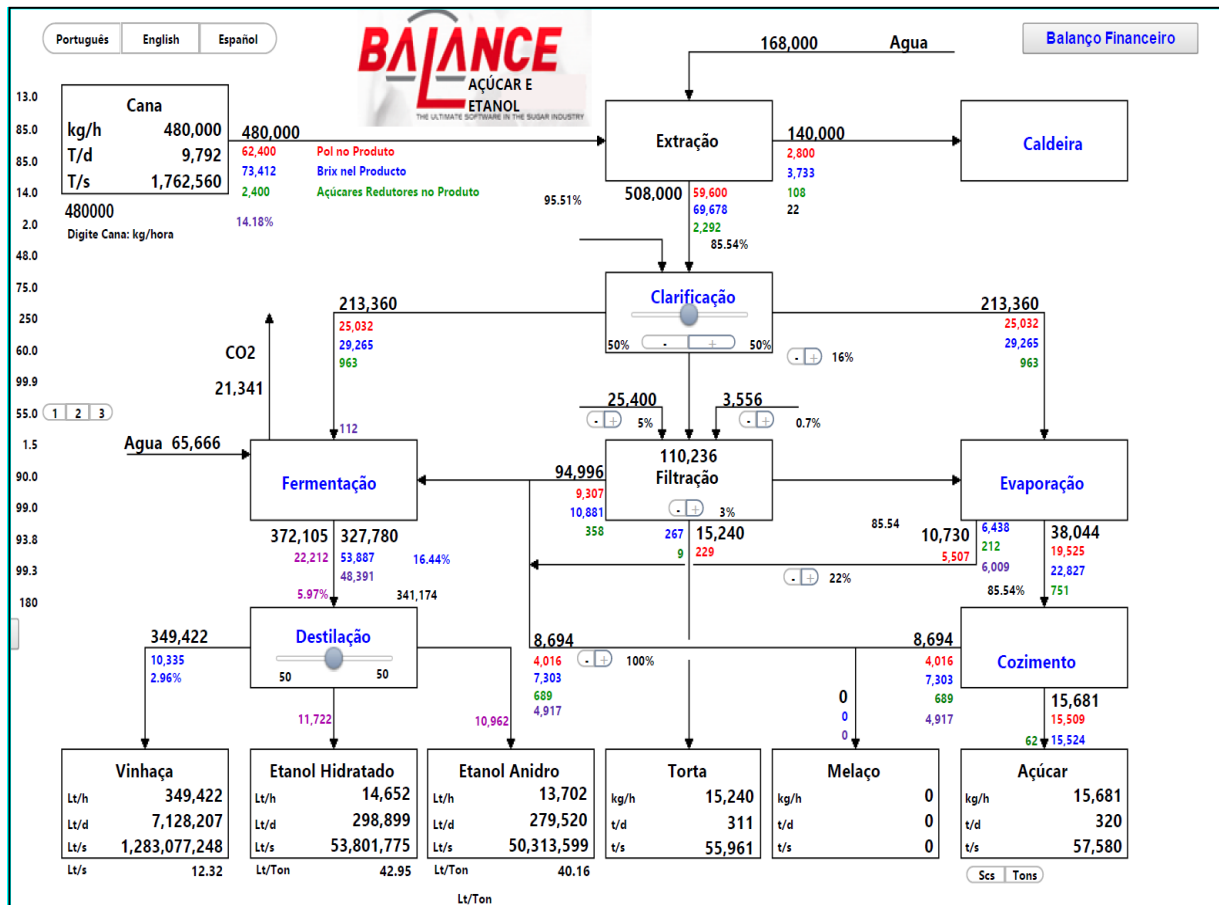
O resultado financeiro da Tabela 14 foi obtido em função da alta produção de açúcar com 52,3% e do etanol com 42,6% das Receitas auferidas. Ressalta-se que houve um resultado positivo em 23,3%.

### **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, 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

Figura 18: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha Equilíbrio.

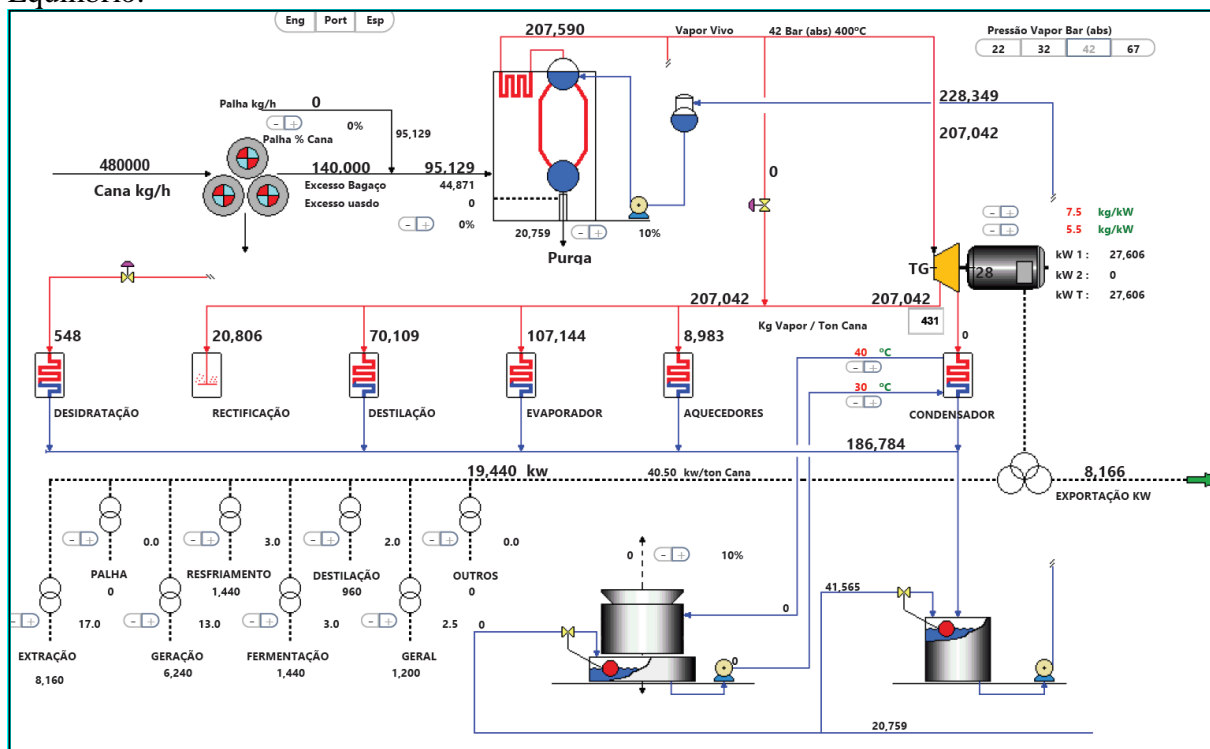


Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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 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 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 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 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 concessionária 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<sup>3</sup>, a levedura 2.707 ton., Melão, bagaço 164.765 ton e energia elétrica com 29.984 MWh para a venda concessionária é demonstrada na Tabela 15.

Tabela 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
Melão	-	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 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 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%
<b>TOTAL</b>	<b>119.325.312,00</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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 17.

Tabela 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%
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	<b>193.711.457,00</b>	<b>100,0%</b>
Imposto %	(36.805.177)	-19,0%
<b>RECEITA TOTAL (Receita menos Impostos)</b>	<b>156.906.280,00</b>	<b>81,0%</b>
<b>DESPESAS INDUSTRIAIS</b>	<b>(119325312)</b>	<b>-61,6%</b>
<b>RESULTADO (Receita Total – Despesas)</b>	<b>37.580.968,00</b>	<b>19,4%</b>

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.**

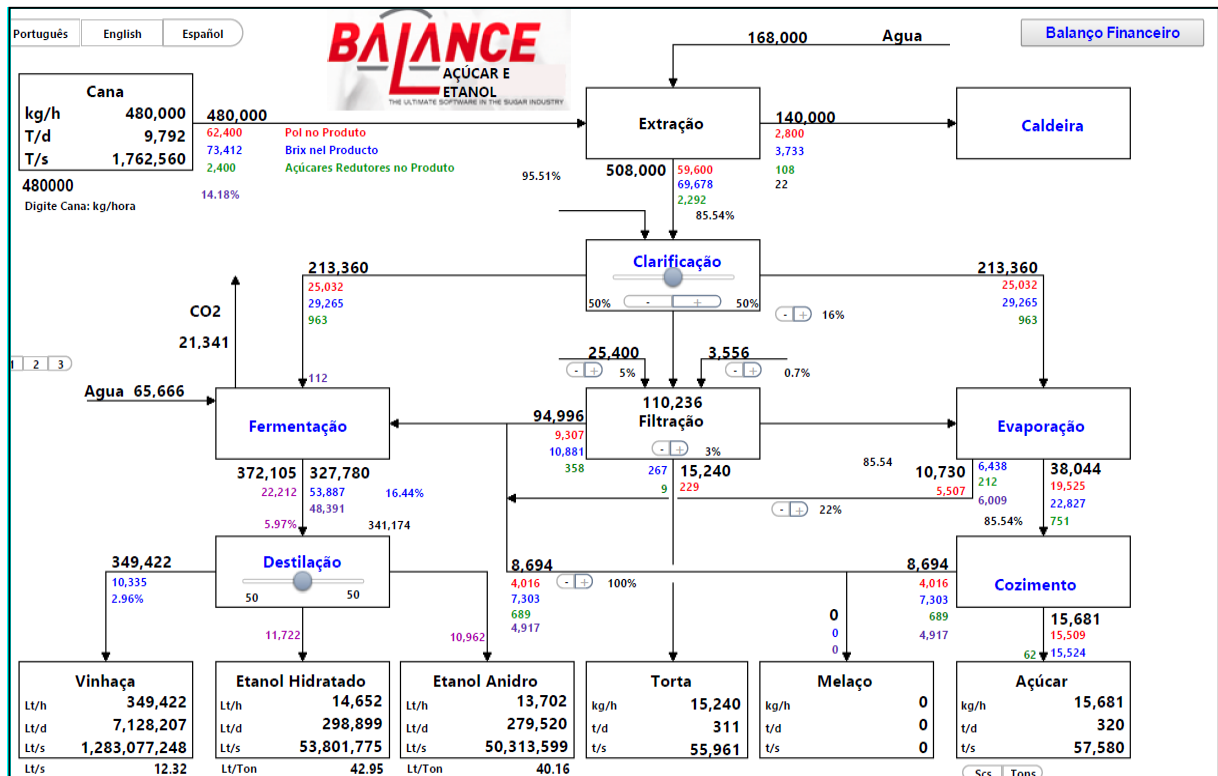
Para Palácio (2008), a maximização da quantidade de eletricidade excedente numa indústria sucroalcooleria depende dos seguintes fatores: configuração do sistema de cogeração, eficiência na utilização da eletricidade e vapor consumido nos diferentes processos, além das condições de operação do vapor. 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 cálculos 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 20: Fluxograma do processo geral da Usina Alpha Equilíbrio + energia elétrica.

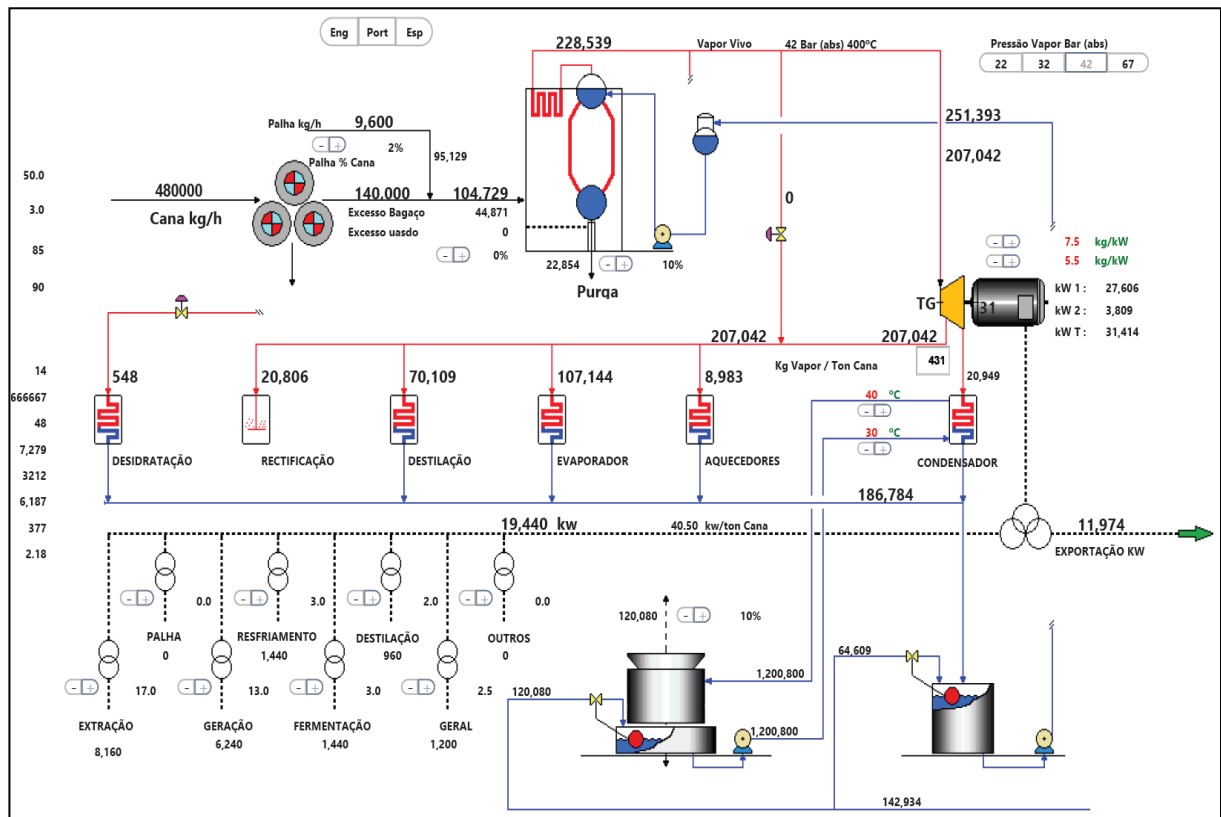


Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

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 concessionária local. O Fluxograma da Figura 21 demonstra as linhas de vapor e energia elétrica.

Figura 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.

De acordo com o Fluxograma da Figura 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 concessionária 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 18 demonstra os valores da produção da safra com o incremento de energia elétrica.

Tabela 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	m <sup>3</sup>	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 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 estudo 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 máquinas 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 19 demonstra os valores das Despesas que permanecem os mesmos, pois não houve alteração na indústria.

Tabela 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%
<b>TOTAL</b>	<b>119.325.312,00</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

O Balanço financeiro demonstrado na Tabela 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 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%
bagaçó (e)	1.647.645,00	0,8%
energia elétrica (f)	6.595.549,00	3,4%
<b>Sub-total (a+b+c+d+e+f)</b>	195.809.401,00	100,0%
Imposto %	(37.203.786)	-19,0%
<b>RECEITA TOTAL</b> (Receita menos Impostos)	158.605.614,00	81,0%
DESPESAS INDUSTRIAIS	(119.325.312)	-60,9%
<b>RESULTADO</b> (Receita Total – Despesas)	39.280.302,00	20,1%

Fonte: Tela do Software BALANCE da Sugarsoft, 2014.

Os dados da Tabela 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 conseqüente 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 percentual de 1,1% na Receita.