

**CENTRO UNIVERSITÁRIO CESMAC  
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**RUFFUZ LÁZARO MACIEL CORDEIRO DE FIGUEIRÊDO  
JOSÉ MARINHO DE ALCANTARA NETO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA PALHA DA  
CANA-DE- AÇÚCAR PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR  
SUCROALCOOLEIRO**

Maceió  
2012

**RUFFUZ LÁZARO MACIEL CORDEIRO DE FIGUEIRÊDO  
JOSÉ MARINHO DE ALCANTARA NETO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA PALHA DA  
CANA-DE- AÇÚCAR PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR  
SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Centro  
Universitário CESMAC, no Curso de Engenharia  
Elétrica, como requisito final para obtenção do título  
de Engenheiro Eletricista, desenvolvido sob a  
orientação do Professor André Luiz da Rocha Lima.

Maceió  
2012

**RUFFUZ LÁZARO MACIEL CORDEIRO DE FIGUEIRÊDO  
JOSÉ MARINHO DE ALCANTARA NETO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA PALHA DA  
CANA-DE- AÇÚCAR PARA COGERAÇÃO DE ENERGIA NO SETOR  
SUCROALCOOLEIRO**

Trabalho Final de Graduação apresentado ao Centro  
Universitário CESMAC, no Curso de Engenharia  
Elétrica, como requisito final para obtenção do título  
de Engenheiro Eletricista, desenvolvido sob a  
orientação do Professor André Luiz da Rocha Lima.

Aprovada em Dezembro/2012

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profº: André Luiz da Rocha Lima  
-Orientador-

---

Profª: Sandra Márcia de Souza Cartaxo  
-Orientadora Metodológica-

Dedicamos este trabalho aos nossos familiares  
que estiveram sempre conosco nessa longa  
caminhada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus e aos nossos Pais, a vocês que deram a nossa vida e ensinaram a vivê-la com dignidade, não bastaria um obrigado. A vocês, que iluminaram os nossos caminhos obscuros com afeto e dedicação para que nós trilhássemos sem medo e cheio de esperanças os nossos caminhos, não bastaria um muito obrigado. A vocês, que se doaram inteiramente e renunciaram aos seus sonhos, para que, muitas vezes, pudessem realizar os nossos. Pela longa espera e compreensão durante minhas longas viagens, não bastaria um muitíssimo obrigado. A vocês, meus pais por natureza, por opção e amor, não bastaria dizer, que não tenho palavras para agradecer tudo isso. Mas é o que me acontece agora, quando procuro arduamente uma forma verbal de exprimir uma emoção impar. Uma emoção que jamais seria traduzida por palavras.

“Não confunda jamais conhecimento com sabedoria. Um o ajuda a ganhar a vida; o outro a construir uma vida”.

Sandra Carey

## **RESUMO**

No Brasil e no estado de Alagoas encontra-se uma vasta plantação de cana-de-açúcar. Onde se gera uma grande quantidade de resíduos, que podem ser reaproveitados na geração de energia elétrica. A geração de energia através da queima do bagaço tem sido uma boa alternativa para compensar os períodos sazonais, ou seja, quando os níveis dos rios baixam e consequentemente a capacidade geradora de uma usina hidrelétrica fica comprometida. O país tem uma grande dificuldade na busca de uma fonte de energia limpa, devido a matéria prima e a tecnologia implantada, onde cerca de 70% da energia consumida no país vem das hidrelétricas, onde trazem muitos impactos. A geração de energia elétrica a partir da queima do bagaço e da palha da cana-de-açúcar tem se tornado uma alternativa energética nos dias de hoje, pois reduz os impactos ambientais e disponibiliza energia elétrica a custos reduzidos, além de se tratar de uma energia limpa e renovável, a qual pode ser utilizada para produzir energia através de uma usina termelétrica, gerando vapor a partir da biomassa.

Palavras-Chave: Indústria sucroalcooleira. Cogeração de energia. Palha. Potencial energético da palha. Sistema de separação da palha. Usina Seresta.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Participação da biomassa na matriz elétrica brasileira.....	21
Figura 2 Demanda por energia elétrica x Potencial da bioeletricidade .....	21
Figura 3 Estimativa da produção de cana e de bioeletricidade.....	25
Figura 4 Sistema de cogeração com turbina de extração-condensação.....	26
Figura 5 Separação de impureza mineral.....	30
Figura 6 Picador de palha.....	31
Figura 7 Palha inteira e palha picada.....	32

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 Potencial de geração de bioeletricidade até 2013.....	25
Tabela 2 Características Físico-Químicas e Quantidade de Energia que pode ser gerada a partir dos resíduos na safra 2011/2012.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agencia Nacional de Águas de Energia Elétrica
ANP	Agencia Nacional do Petróleo
BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CGCE	Câmara de Gestão de Crise Energética
CHESF	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CNAE	Conselho Nacional das Águas
CND	Conselho Nacional de Desestatização
COGEN-SP	Associação Paulista de Cogeração de Energia
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CTC	Centro de Tecnologia Canavieira
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
MAE	Mercado Atacadista de Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCHs	Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas
P&D	Programa de Pesquisa e Desenvolvimento
PND	Plano Nacional de Desenvolvimento
PPT	Programa Proprietário de Termoeletricidade
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PURPA	Publics Utilities Regulatory Policy Act
SIN	Sistema Elétrico Interligado Nacional
SINDAÇUCAR-AL	Sindicado da Industria de Açúcar e Alcool de Alagoas
SLCS	Sistema de Limpeza de Cana a Seco
TUSD	Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão
UNICA	União da Industria da Cana de Açúcar
WWW	<i>World Wide Web</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	12
1.2 PROBLEMA .....	13
1.3 HIPÓTESES .....	14
1.4 OBJETIVO GERAL .....	15
<b>1.4.1 Objetivos Específicos .....</b>	<b>15</b>
1.5 METODOLOGIA .....	15
 <b>1 SETOR ELÉTRICO .....</b>	 <b>16</b>
1.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO.....	19
1.2 CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO SUCRO.....	20
 <b>2 PARÂMETROS DA COGERAÇÃO DE ENERGIA.....</b>	 <b>22</b>
2.1 HISTÓRICO.....	23
2.2 SISTEMA DE COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO.....	26
 <b>3 PROGRAMAS DE INCENTIVO A COGERAÇÃO CRIADOS PELO GOVERNO.....</b>	 <b>27</b>
3.1 PROGRAMA PRIORITÁRIO DE TERMOELETRICIDADE.....	27
3.2 PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	28
 <b>4 APROVEITAMENTO DA PALHA PARA A COGERAÇÃO.....</b>	 <b>29</b>
4.1 SISTEMA PARA SEPARAÇÃO DA PALHA.....	29
4.2 POTENCIAL ENERGÉTICO DA PALHA PARA COGERAÇÃO.....	32
4.3 ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA PALHA EM ALAGOAS.....	33
<b>4.3.1 Materiais e Métodos .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2 Resultados e Discussões .....</b>	<b>35</b>
 <b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	 <b>36</b>
5.1 USINA SERESTA E AREVA.....	36
<b>5.1.1 Resultados e Discussões .....</b>	<b>36</b>
 <b>CONCLUSÃO.....</b>	 <b>38</b>
 <b>REFERÊNCIAS.....</b>	 <b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a diminuição da queima da palha de cana de açúcar e o aumento da colheita feita de forma mecanizada, aumenta relativamente à quantidade de palha disponível no campo. Neste trabalho é analisada a utilização de palha como combustível suplementar para caldeiras convencionais, elevando à geração de energia e possibilidade a exportação para comercialização. Para tanto, são realizados estudos de sistema de separação da palha, análise físico-química com objetivo de analisar o potencial da palha, análise do custo benefício através de estudo de caso entre outros. Como o poder calorífico da palha é quase o dobro do poder calorífico do bagaço a geração de energia excedente para comercialização apresenta uma grande vantagem para o setor, sendo as perdas em produção de açúcar e álcool poucos significantes devido ao alto valor da venda de eletricidade.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Em alagoas encontra-se uma vasta plantação de cana-de-açúcar, cerca de 464.000 hectares, ou seja, 4.640 km<sup>2</sup>, que corresponde a 16,71% do território geográfico do estado conforme Salvador (2010). No processo de industrialização dessa matéria prima, desde o corte da cana até o produto final, gera-se uma grande quantidade de resíduos como as palhas e o bagaço, que podem ser reaproveitados na geração de energia elétrica, através da queima destes resíduos nas caldeiras, chegando a uma eficiência elevada e identificando-se um grande potencial para cogeração de energia.

A geração de energia através da queima do bagaço tem sido uma boa alternativa para compensar os períodos sazonais, ou seja, quando os níveis dos rios baixam e consequentemente a capacidade geradora de uma usina hidrelétrica fica comprometida. Porém, a utilização das palhas para fins energéticos ainda não é realidade na maioria das usinas. Então, lança-se a opção da cogeração, que independe das condições acima e tem-se um custo de investimento de implantação, bruscamente mais barato de que uma usina hidrelétrica.

As recentes transformações estruturais do setor elétrico brasileiro vêm seguindo as tendências mundiais, cujo caráter é eminentemente descentralizador, com maior espaço para a

produção de eletricidade em geradores independentes das concessionárias; uso mais intensivo de fontes energéticas renováveis; autoprodução energética e a geração distribuída, contexto dentro do qual se destaca a cogeração no setor sucroalcooleiro. (CORRÊA NETO; RAMON, 2002).

O período da safra em alagoas e no nordeste coincide com o período de maior necessidade energética, necessitando de alternativas para geração de energia elétrica para que não haja uma deficiência energética e não afetar o meio ambiente.

## 1.2 PROBLEMA

No Brasil existe uma grande dificuldade na busca de uma fonte de energia limpa, devido a enorme quantidade de matéria prima localizada em nosso território e tecnologia vastamente implantada para produção de energias que trazem impactos ambientais e sociais.

Cerca de 70% da energia consumida no país vem das hidrelétricas conforme Amaral (2010), onde trazem muitos impactos, como: Alteração do funcionamento dos rios; inundação de áreas extensas de produção de alimentos e floresta; geração de resíduos nas atividades de manutenção de seus equipamentos; alterações climáticas que irão comprometer a fauna e a flora que não se adaptaram a essas mudanças e doenças que impede o crescimento da população ribeirinha, atrapalhando a vida das pessoas.

De acordo com Bernann (2010), assessor de minas e energia durante os dois primeiros anos do governo Lula, a política energética que esta sendo implantada é um erro, pois se baseia em inverdades. Uma delas é que a energia hidrelétrica é limpa e barata. Ela não é. Estudos mostram que Balbina, Tucuruí e Samuel, as três maiores hidrelétricas construídas na região amazônica até agora, emitem gases de efeito estufa mais ou na mesma proporção que usina a carvão mineral. Isso pode parecer uma surpresa, mas nos primeiros dez anos de operação de uma usina na Amazônia, a matéria orgânica, a mata, ela apodrece porque a água a deixa encoberta permanentemente. E o processo de apodrecimento é muito forte, acidifica a água e emite metano, que é um gás vinte e uma vezes mais forte que o gás carbônico, principal gás do efeito estufa. Isso é conhecido pela ciência mas não é considerado porque não é de interesse de quem concebe essas usinas. O que interessa é a grande quantidade de dinheiro que vai ser repassado para as empresas construtoras de barragens, turbinas e

geradores. O restante, o problema ambiental, as populações que serão expulsas, a cultura indígena, isso não entra na conta.

Para que haja o aproveitamento da palha na cogeração de energia que atualmente sobra no processo de industrialização, necessita-se de aquisição de maquinários e tecnologia relativamente caros, como: Caldeiras e geradores. Por tanto é preciso de investimentos elevados e estudos aprofundados para que esse método se torne real.

No processo de cogeração, quando ocorre a queima do bagaço nas caldeiras, onde gera-se o vapor, é liberada uma baixa quantidade de CO<sub>2</sub> para atmosfera.

### 1.3 HIPÓTESES

A cogeração de energia elétrica a partir da queima do bagaço da cana-de-açúcar tem se tornado uma alternativa energética nos dias de hoje, pois reduz os impactos ambientais e disponibiliza energia elétrica a custos reduzidos, além de se tratar de uma energia limpa e renovável, a qual pode ser utilizada para produzir energia através de uma usina termelétrica, gerando vapor a partir da biomassa.

Da cana-de-açúcar tudo pode ser aproveitado e o bagaço extraído dela pode servir para diversas coisas, dentre as quais podemos destacar sua utilidade para fabricação de papelão, construção civil, fertilizante, ração animal e na geração de energia elétrica. Muitas usinas de açúcar e álcool têm hoje, em sua grande maioria, a geração de energia própria, não necessitando assim de outro combustível senão do bagaço, o qual é produzido pelo processo da própria indústria sucroalcooleira. O bagaço da cana-de-açúcar é de tanta utilidade e com aplicação econômica tão importante que quase não pode ser mais considerado como resíduo como era tachado no passado (LOPES; BRITO, 2009).

A partir de investimentos e estudos para implantação de tecnologia e melhoramento de maquinário, visando o aproveitamento da palha da cana-de-açúcar no setor sucroalcooleiro, além de produzir energia suficiente para se tornar autossustentável, ainda terá condições de exportar energia para regiões próximas, tendo um retorno financeiro a curto-médio prazo.

De acordo com Righetti à fotossíntese que ocorre na atividade de plantação da cana-de-açúcar, é absolvida 7,4 toneladas de gás carbono por hectare a cada ano,

compensando a pouca emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Em relação a outras formas de geração de eletricidade, a energia produzida no setor sucroalcooleiro é a que apresenta os mais baixos valores de emissão de CO<sub>2</sub>, mesmo com o índice de emissão baixo, instalam-se filtros nas chaminés reduzindo bruscamente a emissão do CO<sub>2</sub>.

#### 1.4 OBJETIVO GERAL

Estudar o custo-benefício da utilização da palha da cana-de-açúcar visando a geração de energia.

##### 1.4.1 Objetivos Específicos

- a) Contextualizar a cogeração em nosso cenário.
- b) Identificar o potencial energético da palha das principais espécies de cana-de-açúcar através de estudos físico-químicos e energéticos a partir de coletas e amostras.
- c) Efetuar uma avaliação econômico-financeira visando aproveitamento como fonte de energia.

#### 1.5 METODOLOGIA

Partindo da análise das espécies cultivadas pelo setor sucroalcooleiro em alagoas serão identificadas e explicitadas as espécies com maior potencial para aproveitamento energético, considerando volume plantado, formas de beneficiamento, teor de umidade, etc.

Serão coletadas amostras das espécies de maior relevância que serão definidas a partir do referencial teórico para avaliação experimental do potencial energético.

Serão realizadas avaliações dos experimentos das amostras para determinação dos parâmetros: umidade, densidade, teor de fibras e poder calorífico.

A partir dos resultados experimentais será realizada para cada grupo produtor de cana uma avaliação econômica e financeira considerando disponibilidade de área de plantio,

possibilidade de utilização, custos com transporte e beneficiamento, entre outros, de forma a se ter possível viabilidade de aproveitamento energético nas indústrias.

## **2 SETOR ELÉTRICO**

No século XIX, a cultura de produção do café era o ramo que mais gerava renda e lucratividade no Brasil e com o ganho obtido estimulava setores urbanos da economia. Com o aumento populacional e consequentemente o crescimento das cidades ocasionou iniciativas para o uso da energia elétrica no país.

O Governo Federal em 1930 resolve assumir seu papel intervencionista na gestão do setor de águas e energia elétrica com a formalização do Código de Águas (Decreto 24.643, de 10 de julho de 1934). A partir deste fato, a União passa a legislar e outorgar concessões de serviços públicos antes regidos por contratos regionais. A nova política setorial revê os critérios para estabelecimento de preços a fim de garantir ao prestador do serviço a cobertura das despesas de operação e das cotas de depreciação e reversão e a justa remuneração do capital investido.

Em 1934, foi promulgado o Código das Águas, o qual atribuiu à união o poder de autorizar ou conceder o aproveitamento de energia hidráulica, bom como outras fontes, para efeito de aproveitamento industrial. Com isso, todos os recursos hídricos foram incorporados ao patrimônio da união. Criou-se, em 1939, o Conselho Nacional das Águas (CNAE), a fim de sanar os problemas de suprimento, regulamentação e tarifas referentes à indústria de energia elétrica do país (VEIGA, FONSECA, 2002).

Após a Segunda Guerra Mundial, em decorrência do processo de urbanização (Êxodo Rural), a demanda começou a ultrapassar a oferta, iniciando um processo de racionamento nas principais capitais brasileiras. Tais fatores passaram a impor um ritmo de crescimento na demanda que rompia seus parâmetros históricos, foçando a realização de mais investimentos em novas usinas hidrelétricas (VEIGA, FONSECA, 2002).

No decorrer dos anos 40, acompanhando a tendência de outros setores estratégicos, o Estado estende seu papel e começa a atuar literalmente na produção. O primeiro investimento nessa direção foi à criação da Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (CHESF) em 1945.

Posteriormente o governo promoveria significantes mudanças na legislação tarifária brasileira. Uma lei de 1971 (5.655/71) designou a garantia de 10% a 12% de retorno sobre o capital investido, a ser incluída na tarifa. A medida visava a dar sustentação e segurança financeira ao setor e contribuiu também para financiar seu crescimento. Existia ainda a facilidade de obtenção de recursos junto à Eletrobrás e a entrada de empréstimos externos. Foi um período em que o setor desenvolveu sólidas bases financeiras. Havia, entretanto, grandes diferenças no custo de geração e distribuição entre diversas regiões. Na tentativa de diminuir esta desigualdade, o governo fundou, em 1974, a equalização tarifária fixada por um sistema no qual as empresas superavitárias transferiam recursos para as deficitárias.

Devido ao choque do petróleo, em 1973, o governo passou a incentivar as indústrias a preferirem energia gerada por hidrelétricas às por combustíveis fósseis. Tal período (1973-79) causou grande ônus para o governo, pois para a ampliação da capacidade energética, como também para custear o Segundo Plano nacional de desenvolvimento (II PND), o país teve que fazer empréstimos em uma conjuntura internacional desfavorável, onde a elevação da taxa de juro por parte dos Estados Unidos (EUA) fez com que os financiamentos ficassem mais caros. Além disso, contribuiu também para a crise da reversão dos fluxos de capitais de países como Brasil para os Estados Unidos da América (CASTRO, 2003).

A partir dos anos 80, devido à escassez de crédito nacional e internacional, os investimentos foram praticamente interrompidos, inclusive os de infraestrutura, como os do setor elétrico, que possui vários períodos de maturação. Em particular, o esgotamento da política de financiamento desse setor, identificado no baixo nível tarifário e na eliminação das fontes de financiamento, desencadeou a necessidade de uma nova estrutura na política de financiamento para sua expansão. Um fator adicional que contribuiu para a crise foi o comprometimento do setor elétrico com duas obras consideradas monumentais: Itaipu e o Programa Nuclear Brasileiro (VEIGA, FONSECA, 2002).

Em 1990 foi um período de mudanças marcantes. Começou em 1993 com o desaparecimento da equalização tarifária e a criação dos contratos de suprimento entre geradores e distribuidores, preparando o mercado para a desestatização. Posteriormente vieram as licitações para novos empreendimentos de geração; criação da atividade do Produtor Independente de Energia; ordenação do livre acesso aos sistemas de transmissão e

distribuição e a liberdade para os maiores consumidores escolherem onde adquirir seus suprimentos de energia.

É interessante ressaltar que o setor elétrico brasileiro foi constituído de empresas verticalmente integradas, com a geração e transmissão pertencente ao governo federal e parte da distribuição aos Estados (CASTRO, 2003).

O processo de privatização, inicialmente do sistema Eletrobrás, veio acelerar-se com uma mudança legislativa no Governo Itamar Franco. A lei nº 8361 de 1993 criou um novo regime tarifário para as empresas do setor elétrico e o decreto nº 1024 de julho de 1994 deu poderes ao congresso para vender as estatais. Por fim, houve a criação do Conselho Nacional de Desestatização (CND) em 1995 no governo de Fernando Henrique Cardoso. Com a privatização em um estágio mais avançado, o governo decidiu criar a Agência Nacional de Águas e Energia Elétrica (ANEEL) em substituição ao antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). A nova agência foi criada com o objetivo de analisar novas concessões, licitações e fiscalizar serviços prestados à população pelas empresas recém-privatizadas (CASTRO, 2003).

Na questão da geração, as empresas estatais que foram privatizadas e puderam se reorganizar, realizaram: cisões, fusões, incorporações, construção de filiais, redução de capital e etc. No que concerne à transmissão, o procedimento de coordenação de distribuição entre as geradoras passou a ser pelo Operador Nacional de Sistema (ONS), subsistindo a Eletrobrás nessa função (CASTRO, 2003).

Com o cenário de geração de energia praticamente todo hidrelétrico, o Brasil se viu em situação de emergência ao passar por um período de poucas chuvas que baixou radicalmente os reservatórios das usinas. Em maio de 2001 o governo foi obrigado a aderir medidas emergenciais para evitar um desastre na oferta de energia. Consequentemente o período do racionamento atrasou o crescimento do setor.

Com a alta volatilidade dos preços de geração, assim como as incertezas concernentes ao seu valor (MAE ou spot) futuro no mercado atacadista, o resultado foi que o modelo, ainda vigente ao período de junho de 2001 a fevereiro de 2002, fez com que o valor de Mwh caísse de seiscentos e oitenta e quatro reais para, aproximadamente, quatro reais, dificultando a realização de novos investimentos. Pois ele possuía problemas em aceitar que o preço de compra e venda na geração de energia variasse segundo a lei da oferta e procura, enquanto as tarifas de distribuição continuavam sendo reguladas, logo as empresas geradoras

de energia poderiam ajustar o seu preço sem interferência do governo. Não obstante, ficou sujeitas às leis de mercado e, como, a oferta superou a demanda após o racionamento, o preço caiu fortemente. Por sua vez, as distribuidoras não poderiam fazer o mesmo, uma vez que possuem regulamentação (CASTRO, 2003).

Devido à crise identificou-se a necessidade de inserir novas formas de geração na matriz energética nacional. Tendo destaque as termelétricas que operam com combustíveis como o bagaço de cana (biomassa) e o gás natural (a participação deste na oferta de energia do país saltou de 2,2% em 1985 para 6,6% em 2001). O Governo aderiu também medidas que apoiam o desenvolvimento de projetos de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), fontes não convencionais e conservação de energia.

Desde o racionamento de 2001, o governo vinha pensando e discutindo propostas para uma reforma do setor elétrico. O modelo inglês foi tido como base para se fazer uma primeira análise no caso brasileiro. Sua ideia central é que no setor possa haver competição com a finalidade de aumentar a eficiência das empresas pertencentes à parte do mercado. Já nas áreas de transmissão e distribuição permaneceria uma grande presença de monopólios naturais, de modo a dificultar a criação de um mercado competitivo também nesses segmentos (MATTOS, 2001).

## 1.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

No Brasil o setor elétrico sofreu nos últimos anos varias mudanças estruturais que trouxeram inovações e melhorias, quer seja de ordem institucional ou de regulamentação, que alteraram significativamente o panorama, até então controlado e estabilizado pelo governo, para um ambiente de atuação no mercado mais competitivo. Onde foram criadas a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1996 que tem a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) em 1998, que é responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica, o Mercado Atacadista de Energia (MAE) em 1998, responsável pelo ambiente de negócios de compra e venda de energia elétrica, a Câmara de Gestão da Crise Energética (CGCE) em 2001, tem o objetivo de propor e programar medidas emergenciais, decorrentes da atual situação hidrológica crítica. Onde passaram a regular e fiscalizar o sistema elétrico dentro de um novo contexto, cujo objetivo

maior foi transformar o mercado de energia elétrica onde predominava consumidores cativos, para um mercado de livre negociação.

As recentes transformações estruturais do setor elétrico brasileiro vêm seguindo as tendências mundiais, cujo caráter é eminentemente descentralizador, com maior espaço para a produção de eletricidade em geradores independentes das concessionárias; uso mais intensivo de fontes energéticas renováveis; autoprodução energética e a geração distribuída, contexto dentro do qual se destaca a cogeração no setor sucroalcooleiro (NETO; RAMON, 2002).

A partir da biomassa produzida através da fabricação do álcool e açúcar, o potencial de energia elétrica excedente possui várias vertentes interessantes e como principais determinantes encontraram: A alternativa para compensar os períodos sazonais, ou seja, quando os níveis dos rios baixam devido a pouca frequência de chuva na região, causando, consequentemente uma baixa na quantidade de geração de energia e comprometendo a capacidade geradora de uma usina hidrelétrica; Crescimento da cultura da do setor sucroalcooleiro, ampliando seu mercado para exportação de energia; Uma vasta plantação de cana-de-açúcar no Brasil e no nordeste; Enorme quantidade de resíduos (bagaço e palha da cana de açúcar) gerado pelo sistema de processo; Redução dos impactos ambientais, emitindo menos gás carbônico para atmosfera; E o método da colheita mecanizado diminuindo o impacto ambiental através das queimadas.

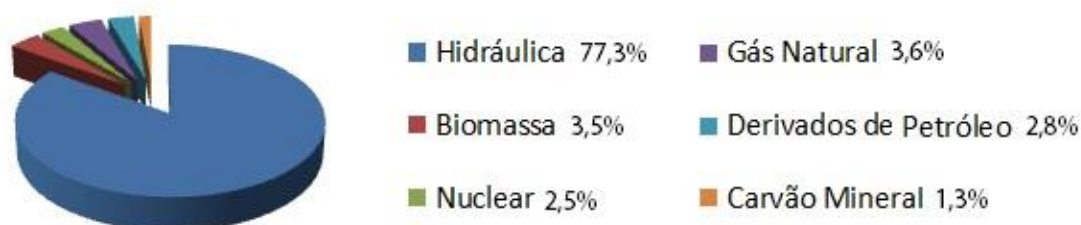
## 1.2 CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DO SETOR ELÉTRICO SUCROALCOOLEIRO

No Brasil vem sendo discutido há alguns anos sobre o melhor aproveitamento do potencial energético e financeiro da biomassa da cana de açúcar, tanto o bagaço de cana de açúcar como a biomassa que compõe a planta: folhas, pontas e palhas. Com essa alternativa da cogeração e a possibilidade de exportação de energia elétrica, além de ter se tornado competitivo no mercado, as usinas passaram a se preocupar com a eficiência das suas máquinas térmicas, já que nessa situação, além de atender a demanda térmica e eletromecânica, o excedente de energia pode ser comercializada.

Em 2008 a agroindústria sucroalcooleira brasileira possuía cerca de 3.000 MW de potência instalada, que não era totalmente utilizada. As usinas comercializavam apenas uma parte da geração de energia (aproximadamente 600 MW), outra parcela produzida era consumida pelo próprio processo da usina (mais de 2.000 MW durante a safra). Atualmente, a

comercialização da energia do bagaço e da palha representa menos de 1 % da matriz elétrica nacional, sendo que a biomassa como um todo (considerando outros resíduos), corresponde 3,5 %, conforme mostra a Figura 1. Das cerca de 360 usinas em funcionamento, praticamente todas geram o insumo para a sua própria demanda, mas apenas 10 % aproximadamente comercializam excedentes para o mercado. Segundo a ÚNICA (União da Indústria da Cana de Açúcar), algumas unidades ainda não se sentem estimuladas pelos preços oferecidos ao insumo a investir em novos equipamentos para tornar a energia uma receita adicional aos seus tradicionais produtos (BALEOTTI, 2008).

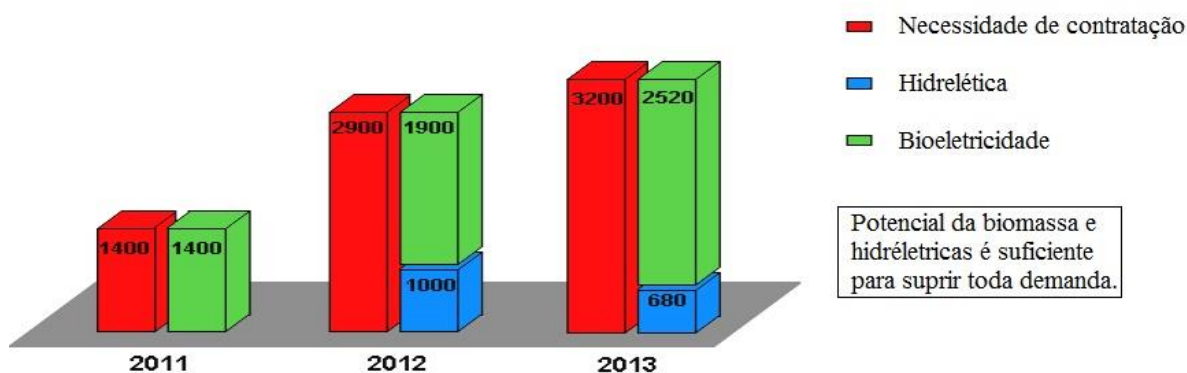
Figura 1 – Participação da biomassa na matriz elétrica brasileira



Fonte: Figueirêdo, (2012).

Com o crescimento das áreas plantadas de cana de açúcar e consequentemente uma maior quantidade de resíduo gerado, resultando em um aumento de produção aliado com novas tecnologias implantadas e com a possibilidade de aproveitamento da palha através da colheita mecanizada, a cada dia que passa o potencial de geração de energia do setor sucroalcooleiro está em ascendência, assim o setor poderá atender todo o volume adicional de energia ainda não contratado, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Demanda por energia elétrica x Potencial da bioeletricidade (em MW médios).



Fonte: Baleotti, (2009).

De acordo com a UNICA o setor terá potência para injetar no mercado elétrico nacional de 11.500 MW médios na safra 2015/2016, quando processará 829 milhões de tonelada de cana, a 14.400 MW médios em 2020/2021. Neste ciclo, a entidade prevê a produção de 1.038 bilhões de toneladas da matéria-prima, que corresponderia por 15 % da matriz energética nacional no período.

A partir de estudo realizado pela empresa KOBLITZ mostra que, quando o setor estiver moendo 500 milhões de toneladas de cana, terá capacidade para produzir 4.886 MW médios, apenas considerando geração de energia com bagaço, sendo que a palha e os ponteiros vão agregar maior volume para cogeração. Hoje, um terço da energia da cana presente nos resíduos é desperdiçado em decorrência do corte manual, que adota a prática da queima da cana no campo para o corte.

## **2 PARÂMETROS DA CO-GERAÇÃO DE ENERGIA**

De acordo com o Decreto-Lei n.º 186/95, a cogeração é definida como: “O processo de produção combinada de energia elétrica e térmica, destinando-se ambas a consumo próprio ou de terceiros, com respeito pelas condições previstas na lei”.

A cogeração é um vocábulo de origem norte americano aplicado desde a década de 70 para indicar os processos de produção ordenada de calor útil e potência, com uso sequencial da energia liberada a partir da queima de uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico aplicado. Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela de energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada prevista pela Segunda Lei da Termodinâmica, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo. (GALLEGO, 1998).

De acordo com Walter (1994), cogeração é um vocábulo de origem norte-americano empregado desde a década de 70 para designar os processos de produção combinada de calor útil (vapor, água quente, água gelada, ar quente e frio) e potência (elétrica ou mecânica), com uso sequencial da energia liberada a partir da queima de uma mesma fonte primária de combustível, qualquer que seja o ciclo termodinâmico empregado (Rankine, Brayton ou Combinado). Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela de energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada prevista pela Segunda Lei da

Termodinâmica, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo (BALESTIERI, 2002).

## 2.1 HISTÓRICO

A cogeração surgiu nos finais de 1880 na Europa e Estados Unidos da América. No início do século 20 a maior parte das indústrias gerava a sua própria eletricidade usando caldeiras em que o combustível era carvão e geradores de turbinas de vapor. Muitas dessas indústrias utilizavam ainda o vapor proveniente dos gases de escape nos processos industriais. Estima-se que nos Estados Unidos da América, no início de 1900, da totalidade da energia produzida em plantas industriais, 58% era cogerada (MARCON, 2005).

Por volta de 1914, engenheiros alemães recuperaram energia de uma máquina de combustão interna e aqueceram fábricas e prédios. Em 1926, estas práticas tornaram-se mais frequentes em aplicações de cogeração.

Realizada em Londres, a primeira Conferência Mundial, em 1924, ocorreu apenas um pequeno relato do aproveitamento dos rejeitos de energia. Porém, na segunda Conferência Mundial, onde foi realizada em Berlim em 1930, foi relatada e discutida a combinação calor-trabalho entre os participantes e palestrantes, dando ênfase aos aspectos de centralização versus descentralização das plantas.

Com o crescimento e introdução comercial das turbinas a gás durante o ano de 1930 auxiliou para a aparição de vários e diferentes esquemas para a utilização dos gases de exaustão nas máquinas a vapor.

Com o surgimento de grandes concessionárias de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, os sistemas de cogeração foram paulatinamente perdendo importância. A melhora da confiabilidade, da disponibilidade e das condições econômicas dos sistemas de geração, transporte e distribuição de energia elétrica, obtidas com a economia de escala, a disponibilidade de combustíveis a baixos preços e as regulações e proibições que se verificaram no decorrer do século passado, contribuíram para que a cogeração perdesse sua importância e tivesse seu emprego restrito a casos bastante específicos (TOLMASQUIM *et al.*, 1999).

Quando começaram a serem erguidas as centrais termelétricas com infraestruturas de apoio dignas de confiança e os custos da eletricidade diminuíram, muitas indústrias começaram a comprar essa eletricidade deixando de produzi-la. O resultado foi uma diminuição violenta do uso da cogeração na indústria americana.

Outro fator que contribuiu para a queda da cogeração industrial foi a regulamentação do sector energético.

Após a subida drástica do preço dos derivados do petróleo na década de 70 houve uma revitalização da cogeração. Sistemas eficientes de produção de energia que pudessem utilizar combustíveis alternativos tornaram-se mais importantes, face à subida do preço e incerteza de fornecimento dos derivados do petróleo.

Com a diminuição do consumo de derivados do petróleo a cogeração resulta numa diminuição das emissões de gases poluentes. Por este motivo, os governos na Europa, Estados Unidos da América e Japão estão a ter um papel ativo no aumento do uso da cogeração, através da implementação de medidas que estimulem a sua aplicação (SILVA, MENDONÇA, 2003).

As significativas mudanças feitas na disponibilidade e nos custos da energia, que tiveram início a partir de 1973, com a subida drástica do petróleo, resultaram no incentivo à racionalização do uso da energia e dos combustíveis nobres, gerando remoção ou simplificação de regulamentações do setor elétrico de alguns países ao longo das últimas três décadas, restabelecendo a importância da tecnologia de cogeração. Nos Estados Unidos, a publicação do (Public Utilities Regulatory Policy Act) PURPA, em 1978. Onde surgiram novos horizontes na indústria de geração, tendo a possibilidade de competir em um mercado aberto e flexível de energia elétrica.

A cogeração no Brasil começou a ser priorizada apenas na década de 80 visando à diminuição dos impactos ambientais provocados por outras fontes de energia elétrica.

Nos últimos anos o setor elétrico brasileiro sofreu importantes e inovadoras mudanças estruturais de critério institucional e em nível de regulamentação que mudam significativamente o panorama, até então controlado pelo governo, para um ambiente aberto e competitivo.

Apesar de o setor sucroalcooleiro ter uma autossuficiência em energia elétrica, identifica-se uma geração de excedentes um pouco limitada. Isso porque a maioria das usinas

possui instalações relativamente antigas que operam com um menor potencial técnico existente, onde a quantidade de biomassa residual gerada e as novas tecnologias disponíveis.

A Tabela 1 mostra uma estimativa feita pela Associação Paulista de Cogeração de Energia (COGEN-SP) do potencial de geração de bioeletricidade até a safra 2012-2013, considerando a instalação de novas unidades e o retrofit das atuais.

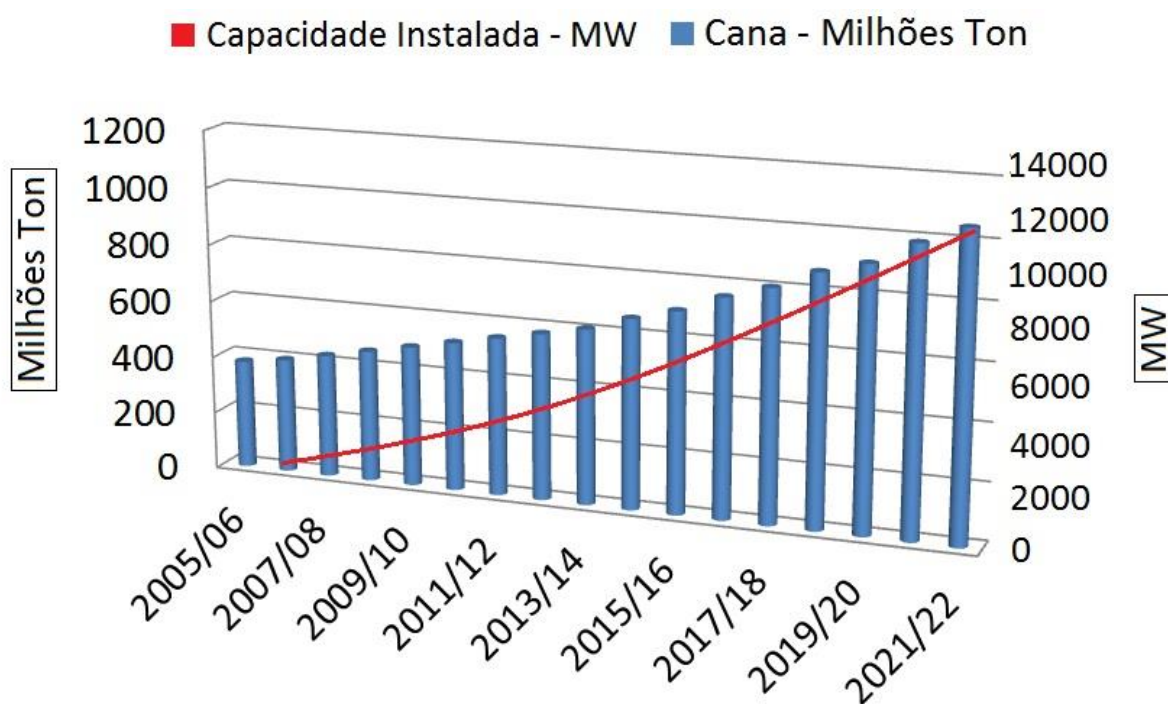
Tabela 1 – Potencial de geração de bioeletricidade até 2013.

Safra (S)	Número Usinas	Cana (Mt/S)	Bagaço (Mt/S)	Instalado (MW)	Exportação (MW)	Retrofit (MW)	Nova (MW)
<b>2009-2010</b>	313	556	139	13.331	5.585	316	1.103
<b>2010-2011</b>	343	605	151	14.508	6.742	316	841
<b>2011-2012</b>	349	641	160	15.376	7.678	316	620
<b>2012-2013</b>	351	668	167	16.009	8.447	316	452

Fonte: Figueirêdo, (2012).

A Figura 3 mostra estimativas da evolução da produção de cana e da capacidade instalada até a safra 2021-2022, onde se espera atingir uma produção de 1 bilhão de toneladas de cana e ter uma oferta de 12.000 MW de bioeletricidade, gerando uma demanda potencial de cerca de 400 turbinas a vapor com capacidade de geração de 30 a 40 MW cada.

Figura 3 – Estimativa da produção de cana e de bioeletricidade.



Fonte: Figueirêdo (2012).

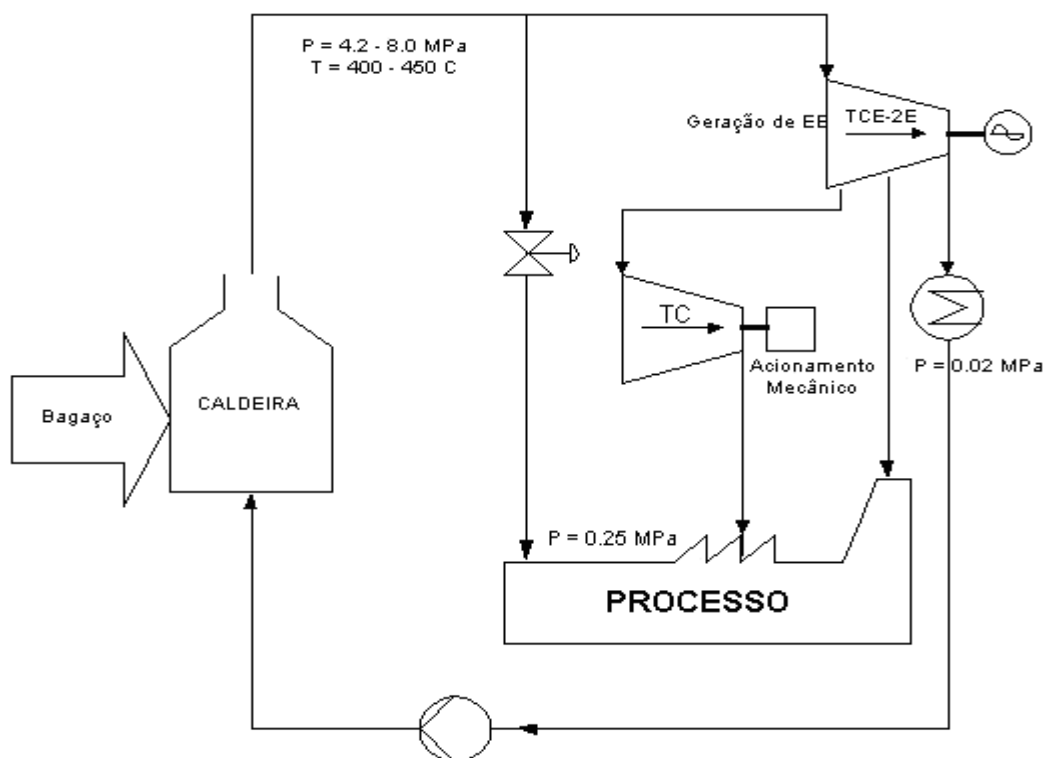
## 2.2 SISTEMA DE COGERAÇÃO NO SETOR SUCROALCOOLEIRO

Várias são as possibilidades para o desenvolvimento da produção de eletricidade com a manutenção dos sistemas tradicionais onde todas passam pela melhoria da eficiência energética do processo, reduzindo o consumo de vapor por tonelada de cana processada e usando a quantia economizada para produzir mais eletricidade.

A interferência mínima possível seria a substituição das atuais turbinas a vapor de simples estágio e de baixa eficiência por turbinas de múltiplos estágios e de maior eficiência. A substituição das atuais caldeiras por outras de maiores pressões e temperaturas, e dos turbo-geradores de contrapressão por turbo-geradores de extração-condensação, seria uma interferência mais profunda, mas que ainda permitiria a manutenção dos atuais ciclos de contrapressão (NETO; RAMON, 2002).

Existem outros sistemas que também estão sendo usados para cogeração no setor sucroalcooleiro, tais como a eletrificação dos acionamentos e o aproveitamento da palha como combustível, através da substituição da queimada e coleta manual pela colheita mecanizada.

Figura 4 – Sistema de cogeração com turbina de extração-condensação.



Fonte: Carpio, Lora, (2012).

### **3 PROGRAMAS DE INCENTIVO A COGERAÇÃO CRIADOS PELO GOVERNO**

Depois do apagão ocorrido no fim da década de 90 o Governo Federal passou a buscar de modo mais intenso por alternativas que pudessem suprir a demanda de energia elétrica, por meios de incentivos e aliança com a iniciativa privada, e aos poucos a descentralização do setor elétrico brasileiro começa a emergir, sendo favorável principalmente ao seu consumidor final.

#### **3.1 PROGRAMA PRIORITÁRIO DE TERMOELETRICIDADE**

Em 2000, o Ministério de Minas e Energia lançou o Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT), com o objeto de reduzir a dependência das condições hidrológicas existentes e a vulnerabilidade do sistema. Dessa forma, evitaria novos racionamentos no país.

O programa tinha em pauta 49 usinas a serem instaladas em 18 estados brasileiros, numa integração entre iniciativa privada, Petrobras, Eletrobrás, BNDES e ANP.

Para tal, viabilizaram-se, em curto prazo, investimentos na área de geração termelétrica, com uma série de medidas para incentivar os investidores, principalmente na área de gás natural, seu principal combustível e também seu principal problema.

A indústria de gás natural é menos desenvolvida no Brasil. A infraestrutura de transporte e, principalmente, de distribuição é incipiente. Apenas os principais mercados (São Paulo e Rio de Janeiro) contam com malha distribuída de gás. Nesse contexto, o papel das termelétricas seria o de ancorar o desenvolvimento da rede. O consumo regular de gás por termelétricas possibilitaria a diluição dos custos fixos e, progressivamente, o gás natural seria difundido em outros mercados (LOSEKANN, 2010).

O descompasso entre os papéis esperados das duas indústrias acarretou problemas. Para lidar com a subutilização de sua rede de transporte de gás, a Petrobras optou por desenvolver outros mercados além do termelétrico no início da década de 2000. O consumo de gás natural cresceu progressivamente. O maior uso da rede de gás implicou em episódios de falta do combustível para alimentar as centrais termelétricas quando essas eram chamadas a operar. Essa situação motivou o termo de compromisso entre Petrobras e Aneel em 2007 (LOSEKANN, 2010).

A indisponibilidade de gás natural acarretou na dominância de centrais termelétricas a óleo nos leilões de energia nova. Segundo o PDE 2019, essas representarão 10 GW de capacidade instalada em 2013. Além dos impactos ambientais, esse volume de capacidade em centrais com elevado custo operacional não é adequado para o sistema elétrico brasileiro. Em caso de um período hidrológico desfavorável prolongado, uma conta pesada será repassada aos consumidores. O Plano decenal de expansão de energia 2019 (PDE 2019) também aponta que o planejamento não considera a construção de novas centrais a gás natural no Brasil (LOSEKANN, 2010).

O que ocorre a partir destes problemas é um truncamento entre indústrias de gás natural e eletricidade, abrindo portas para investimentos em outros programas que tendem a ser a melhor solução de suprimento e válvula de escape das usinas hidrelétricas.

### 3.2 PROGRAMA DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA ELÉTRICA

O PROINFA, instituído pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002 e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, tem como objetivo a diversificação da matriz energética brasileira e a busca por soluções de cunho regional com a utilização de fontes renováveis de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis, a partir do aumento da participação da energia elétrica produzida com base naquelas fontes, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) (ELETROBRÁS, 2007).

Não é nada mais nada menos que o encargo pago no Brasil por todos os agentes do Sistema Interligado Nacional (SIN) que comercializam energia com o consumidor final ou que recolhem tarifa de uso das redes elétricas relativa a consumidores livres, para cobertura dos custos da energia elétrica distribuída por empreendimentos de produtores independentes autônomos, planejados com base em fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassas partícipes do PROINFA, prevendo a implantação de 144 usinas, totalizando 3.299,40 MW de capacidade instalada, sendo 1.191,24 MW provenientes de 63 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), 1.422,92 MW de 54 usinas eólicas, e 685,24 MW de 27 usinas a base de biomassa, e toda a energia tem garantia de contratação por 20 anos pela ELETROBRÁS através dos CCVE.

Incumbiu ao MME definir as diretrizes, elaborar o planejamento do programa e destacar o valor financeiro de cada fonte, onde coube à ELETROBRÁS o papel de agente executora com a promoção de contratos de compra e venda de energia (CCVE), além de ter o apoio do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), que financia até 80% dos projetos que foram contratados pela concessionária.

Para viabilizar o programa o Governo Federal através do Ministério de Minas e Energia promoveu vários incentivos como reduzir as Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) e as Tarifas de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) em no mínimo 50% para os empreendimentos aprovados, isentou as taxas do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) junto às taxas de compensação financeira pela utilização de recursos hídricos para as PCHs. Dessa maneira, até o final de 2010, 68 empreendimentos entraram em operação, resultando num incremento de mais de 1.591,77 MW no Sistema Integrado Nacional (SIN). (FREITAS, 2011).

Assim ficou claramente viável a cogeração da biomassa tanto quanto as outras fontes alternativas, pois os incentivos do governo foram oferecidos para que haja a esperada descentralização no setor elétrico, ao passo de nacionalizar em até 90% os empreendimentos, buscar a aprendizagem tecnológica, abrir portas para a competitividade industrial nos mercados, identificando e contabilizando de forma correta os seus benefícios.

## **4 APROVEITAMENTO DA PALHA PARA A COGERAÇÃO**

### **4.1 SISTEMA PARA SEPARAÇÃO DE PALHA**

Com a elevação da mecanização na colheita de cana-de-açúcar e o decaimento da prática do processo de queima prévia da palha nos canaviais, aumenta fortemente a quantidade de palha que vai para a usina, assim como a quantidade de resíduos minerais que acompanham a cana. Para diminuir maiores perdas de sacarose no processo industrial, é necessário separar essas impurezas e atualmente o sistema mais eficaz para realizar este trabalho é o Sistema de Limpeza de Cana a Seco (SLCS). Segundo estudiosos, esse fato se dar por uma consequência do avanço da colheita mecanizada no Brasil. A matéria-prima picada

possui mais áreas de atração de impurezas, de modo que, se a usina for lavar a cana picada, a perda de açúcar será da ordem de 5 %, tornando proibitiva essa medida.

Em média, uma tonelada de cana possui 150 quilos de sacarose, sendo que 2 % podem ser eliminados no sistema de lavagem da cana. Entre 4 % e 6 % também podem ser perdidos durante o processo da cana na moenda ou no difusor. Com o sistema de limpeza a seco, uma porcentagem dessas perdas pode ser diminuída, sendo dois fatores significantes para a obtenção desse resultado. Um é quando a usina retira a impureza vegetal (palha), onde este mineral fica impedido de “roubar” sacarose do caldo durante o processo de extração e o outro permite que a usina reduza o tempo de moagem e, conseqüentemente, ajuste a safra para um período maior de maturação de cana, o que renderá uma elevada concentração de sacarose.

Embora os resultados pareçam promissores, a utilização do sistema é complexo e possui duas vertentes, sendo aplicado por meio de um processo de sopragem ou por ação mecânica. Uma promove a separação das partículas vegetais e a outra remove as impurezas minerais.

O sistema de ventilação foi desenvolvido pelo CTC, antiga COPERSUCAR, em parceria com o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). A técnica empregada é semelhante ao túnel de vento utilizado para testar aviões. Já a ação mecânica é realizada em separadores ou em mesas com fundo furado, que fazem revolvimento do material para obter a separação de partículas.

A Figura 5 mostra um equipamento que realiza a separação de impurezas vegetais das minerais.

Figura 5 – Separação de impureza mineral.



Fonte: ALCOOLBRAS.

O processo de lavagem de cana a seco trata-se de uma técnica de solução já usada por algumas indústrias com bons resultados. Algumas usinas separam e manda para a lavoura a palha e a terra recolhida, já outras separam a palha da terra e a passam pela moenda. No entanto, o ideal é utilizar a palha como combustível suplementar para as caldeiras de bagaço possibilitando um aumento de geração de energia excedente que pode ser exportada, porém as palhas retiradas apresentam um inconveniente que é o fato de serem de tamanho grande e com fibras longas, por isso não são próprias para a queima nas caldeiras convencionais a bagaço.

Faz-se necessário transformar a palha em pequenos pedaços para que possa fazer a mistura com o bagaço e, depois, a queima nas caldeiras convencionais.

Uma das soluções encontrada foi o uso de um picador de palha, sendo o mesmo testado durante o ano de 2004, atingindo resultados satisfatórios. Ele é um equipamento simples, composto por um rotor com facas fazendo com que a palha passe por um cesto, assim transformando as palhas de fibras longas em palha picada, ideal para a queima em caldeiras.

A Figura 6 é um exemplo de um picador de palha que prepara a mesma para queima em caldeiras convencionais.

Figura 6 – Picador de palha.



Fonte: Bruno, (2012)

Outra alternativa encontrada pelas indústrias sucroalcooleiras de transportar esta palha para a caldeira é passando-a por todos os ternos de moagem e, conseqüentemente, tendo uma queda na concentração de sacarose ou ainda adicionando-a no último terno de moagem, sem diminuir a capacidade de moagem como no outro caso, possibilitando, assim, uma

economia na construção de esteiras para o transporte da palha picada até a caldeira, além de diminuir a perda de sacarose.

A Figura 7 mostra o estado da palha antes e depois do picador.

Figura 7 – Palha inteira e palha picada.



Fonte: IDEA, (2012).

#### 4.2 POTENCIAL ENERGÉTICO DA PALHA PARA A COGERAÇÃO

Há um potencial adicional a ser explorado para a cogeração, o qual envolve o aproveitamento da palha, que tradicionalmente é usada como adubo nas lavouras. Um grande trabalho tem sido realizado no Brasil na busca de melhores técnicas para a colheita/transporte da palha, assim como para a avaliação da sua disponibilidade real (BNDES, 2003).

Antes, o setor sucroalcooleiro, não enxergava a possibilidade do aproveitamento do bagaço e muito menos da palha; comprava energia elétrica das concessionárias com custos elevados. Posteriormente, o uso do bagaço foi sendo reconhecido e começou a virar rotina em um processo cogerador, pois permitia produzir energias térmicas através das caldeiras, contribuindo para o processo industrial, movimentação mecânica dos equipamentos e iluminação, tornado uma usina autossustentável. Porém, a falta de visão do Setor Elétrico, impedia a exportação de excedentes gerado no processo, devido às dificuldades impostas pela legislação que defendia o monopólio existente na época e a cultura centralizada que predominava no Setor Elétrico Brasileiro, onde o foco era hidrelétricas de grande porte.

Devido à evolução tecnológica na cultura da cana, nos equipamentos e no processo de cogeração, a palha que, antes, não era utilizada, passou a contribuir claramente com a produção energética, aumentando a capacidade de mercado energético do setor sucroalcooleiro.

A cultura de cana de açúcar é uma das melhores alternativas para geração de energia distribuída, dentre todas disponibilizadas no país, e certamente esta entre as mais promissoras. Por esses fatores:

- a) Geralmente as usinas estão localizadas próximas aos centros de consumo elétrico;
- b) Potencial altíssimo para exportação de excedentes;
- c) Valores elevados de energia injetados à rede, dando ancoragem ao sistema Interligado;
- d) O fato de ser fonte renovável;
- e) Fonte altamente benéfica ao meio ambiente.

#### 4.3 ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA PALHA EM ALAGOAS

Considerando em geral que a produção de cana-de-açúcar no campo é em média 80 toneladas por hectare e que uma tonelada de cana no campo gera 204 Kg de palhas e 250 Kg de bagaço em média, é possível se avaliar a utilização dessa biomassa como fonte de energia. Nesse contexto, estudos que sejam voltados para um melhor aproveitamento dos resíduos da cana como biomassa para geração de energia se torna relevante para o cenário brasileiro e alagoano. Será feito neste trabalho uma avaliação do volume de cana plantado no estado de Alagoas, a quantidade de resíduos gerados (palhas, pontas e bagaço) e a quantidade de energia térmica que pode ser gerada com a utilização em fornos e caldeiras (AMARO, 2012).

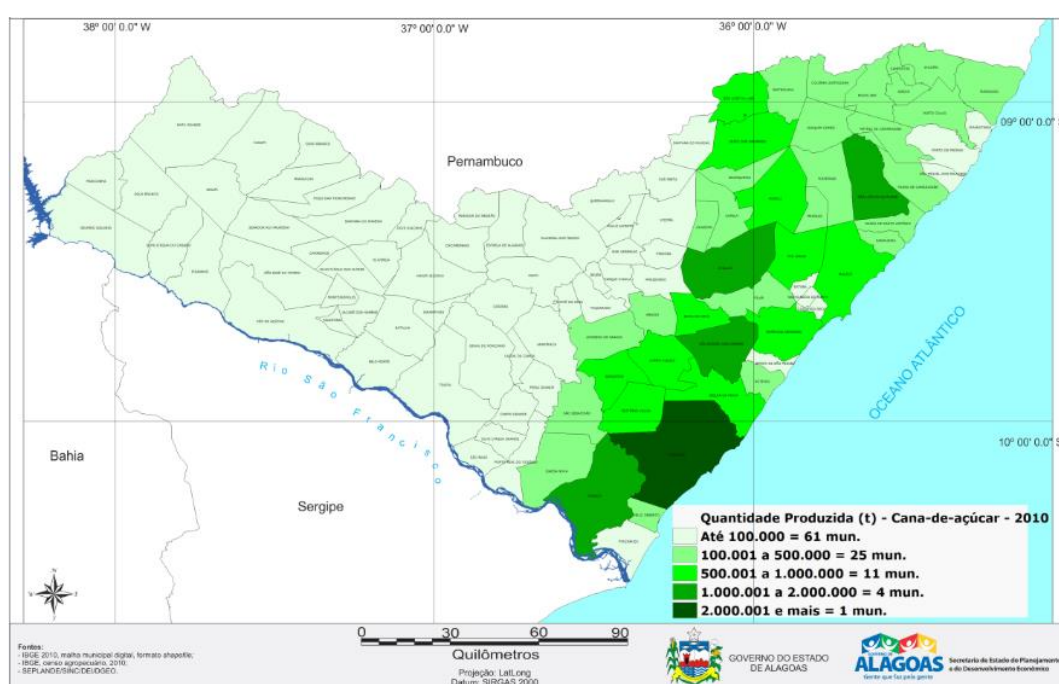
Segundo Souza, 2010, a busca por alternativas eficazes de produção e distribuição de energia é um elemento essencial para o ser humano, principalmente na atual sociedade, onde os modos de consumo se intensificam a cada dia. Diante dessa dependência de recursos energéticos, surge a necessidade de se buscar fontes energéticas alternativas.

A energia de biomassa constitui-se principalmente de substâncias de origem orgânica (vegetal, animal e microrganismos), sendo uma energia limpa e renovável. Em Alagoas têm-se diversas fontes, sendo as provenientes de resíduos agrícolas, de resíduos florestais, entre outros. A cana-de-açúcar gera resíduos agrícolas (palhas e pontas) e também

resíduos agroindustriais (o bagaço) que já é aproveitado nas caldeiras das usinas e destilarias pra fins energéticos (AMARO, 2012).

A figura 5 mostra o mapa de Alagoas com a quantidade de cana-de-açúcar produzida nos diversos municípios do Estado. Ainda de acordo com a figura 3, observa-se uma alta concentração de produção de cana-de-açúcar na região da Zona da Mata com maior concentração no município de Coruripe.

Figura 5: Mapa de Alagoas com a quantidade de cana-de-açúcar produzida nos diversos municípios do Estado.



Fonte: SEPLANDES, 2010.

#### 4.3.1 Materiais e Métodos

Os resíduos da cana-de-açúcar foram coletados em um canavial da Usina Triunfo, localizada na cidade de Boca da Mata – AL e colocado em sacolas plásticas e encaminhado para o Laboratório de Biocombustíveis e Energia (LABEN) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), onde foram feitas as análises físico-químicas dos resíduos (palhas, pontas e bagaço), na forma in natura. As análises físico-químicas realizadas foram: poder calorífico superior (J/g), umidade (%) e granulometria. Através de informações coletadas em diversas instituições como a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), Sindicato da Indústria

do Açúcar e do Alcool do Estado de Alagoas (SINDAÇUCAR-AL), profissionais da área, foi realizado um levantamento da área de cultivo da cana-de-açúcar no Estado. A partir deste dado, calculou-se a quantidade de resíduos que podem ser gerados no Estado de Alagoas na safra 2011/2012. O poder calorífico superior foi determinado seguindo as normas ABNT NBR 8633/84. O teor de umidade foi determinado seguindo as Normas ABNT NBR 812. A granulometria foi determinada seguindo a Norma ABNT NBR 8112/83. Os equipamentos utilizados para as análises físico-químicas foram: Calorímetro IKA-C200, balança analítica, estufa, forrageira e peneiras granulométricas.

#### 4.3.2 Resultados e Discussões

Como foi dito anteriormente a área cultivada com cana-de-açúcar em Alagoas na safra 2011/2012 foi de 463,65 mil hectares. A produtividade média de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas na safra 2011/2012 foi de 64.350 Kg/Há. Com estes dados, foi possível fazer uma estimativa da quantidade de resíduos que podem ser gerados a partir da cana-de-açúcar em Alagoas, tendo em vista que uma tonelada de cana no campo gera em média 204 Kg de palhas e pontas e 250 Kg de bagaço. Desta forma para palhas e pontas chegou-se a um valor de 13,127 toneladas por hectare e para o bagaço chegou-se a um valor de 16,087 toneladas por hectare. A partir da área cultivada de cana-de-açúcar em todo o Estado obtêm-se os seguintes dados: 6086,334 mil toneladas de palhas e pontas e 7458,738 mil toneladas de bagaço. Com as análises laboratoriais foi possível se fazer uma estimativa da quantidade de energia que pode ser gerada a partir destes resíduos. Sabendo-se que o PCS (Poder Calorífico Superior) das palhas e pontas analisadas com umidade de 14,82% é de 14.941 KJ/Kg (3574,4 kcal/Kg), pode-se utilizar uma relação para encontrar o PCI (Poder Calorífico Inferior), encontrado pela equação:  $PCI = PCS - 2440(9H + U)$ . Usou-se para a variável H o valor de 6,5 %, pois em biomassas o teor de hidrogênio varia entre 6 – 6,5%. De acordo com a fórmula matemática mencionada para o cálculo do PCI tem-se um valor mínimo para a biomassa quando se utiliza um H de 6,5%. (RANADE & KAWRE, 2010), sendo U o teor umidade do combustível. Desta forma o PCI calculado foi de 13151,992 KJ/Kg. De forma análoga, foi realizado o cálculo para o bagaço, cujo PCS com umidade de 50% é de 9532,29 KJ/Kg e PCI 6884,89 KJ/Kg. Com o valor do PCI foi possível estimar a quantidade de energia que pode ser gerada a partir dos resíduos da cana-de-açúcar para a safra 2011/2012 conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Características Físico-Químicas e Quantidade de Energia que pode ser gerada a partir dos resíduos na safra 2011/2012

Resíduo	Quantidade (Kg)	PCS (KJ/Kg)	Umidade (%)	PCI (KJ/Kg)	Energia (KJ)
Palhas e Pontas	6.086.333.550	14941	14,82	13151,992	80.047.410.158.931,6
Bagaço	7.458.737.550	9532,29	50%	6884,89	51.352.587.570.619,5
TOTAL	13.545.071.100				131.399.997.729.551,1

Fonte: Figueirêdo (2012).

## 5 ESTUDO DE CASO

### 5.1 USINA SERESTA E AREVA

No estudo realizado na Usina Seresta, localizada no estado de Alagoas, estuda-se a implantação de tecnologia e maquinário para utilização da palha da cana de açúcar visando o custo-benefício. Onde foi considerada a implantação do sistema de separação a seco, caldeiras com maior capacidade para geração de vapor, tendo a possibilidade de trabalhar com uma pressão mais elevada e a substituição de geradores e transformadores, possibilitando a geração e transmissão de energia para uma maior demanda de exportação.

O investimento dessa tecnologia para o uso da palha foi de 150 milhões de reais, que veio de uma parceria entre Usina Seresta e a empresa Areva, sendo todo o capital de investimento da Areva, onde detém dos lucros durante um prazo de 15 anos, disponibilizando 10 milhões de reais por ano a Usina para manutenção e operação do sistema.

#### 5.1.1 Resultados e Discussões

As caldeiras que antes eram três, duas de 50 ton/h e uma de 65 ton/h de geração de vapor e tinham uma capacidade de pressão de 21kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura 380 °C, onde era queimado somente o bagaço, agora substituídas por uma caldeira de 67kgf/cm<sup>2</sup> a 500 °C e 250 ton/h de geração de vapor, possibilitando o uso da palha junto ao bagaço e tendo a vantagem

de ter uma maior capacidade de produção de vapor e pressão para fabricação, elevando a capacidade de geração de energia através das turbinas para os geradores.

Usavam dois geradores de 5MW que gerava energia somente para a o processo de fabricação da usina, onde foram trocados por dois geradores para que tivesse proveito do aumento de vapor gerado pela nova caldeira, um de 25MW que é usado para o processo de fabricação e um de 41MW que é utilizado para exportação de energia, aumentando a potencia dos maquinários no processo na fabricação e trazendo a possibilidade de exportar 33MWh de energia.

Com base em uma media do que é cobrado o KWh nas concessionarias, com a exportação de 33MWh de energia da parceria entre Usina Seresta e Areva tem-se o lucro de R\$196000,00 (196 mil) por dia ou R\$11880000,00 (11,8 milhões) por mês, em três anos de processo retirando o custo acordado de R\$10000000,00 (10 milhões) por ano para manutenção, o lucro seria de R\$397680000,00 (397,6 milhões), mais que duas vezes do que foi investido para o processo do uso da palha.

## CONCLUSÃO

Foi analisado que a palha tem um alto potencial para geração de energia elétrica e usada junto ao bagaço em caldeiras de alta pressão convencionais é uma excelente opção para aumentar a geração de energia na usina. Porém, para a introdução da palha no sistema de processo é preciso ter melhoramento em maquinários e implantação de separação da palha, onde requer um investimento muito elevado. De qualquer maneira, é recomendável utilizar a palha como combustível suplementar e, desse modo, possa ser incrementada a geração de energia elétrica, inclusive no período de entressafra, sem que seja prejudicada sua operação durante o período de safra.

Concluindo, identifica-se que o bagaço, antes resíduo inconveniente devido a dificuldade de armazenamento, e agora a palha, estão se tornando opções significativas de lucratividade para as usinas, além de serem uma opção para solução de problemas de falta de energia, como o (“apagão”) e, mais recentemente, com a crise do gás natural.

## REFERÊNCIAS

ALCOOLBRAS. **Tecnologia a favor da ciência e da produtividade**. Disponível em: <<http://www.revistaalcoholbras.com.br/>> Acesso em: 18 de nov. 2012

AMARAL. **Petróleo no Brasil**. Disponível em: < [http://amaralmoreira.zip.net/arch2010-10-24\\_2010-10-30.html](http://amaralmoreira.zip.net/arch2010-10-24_2010-10-30.html) > Acesso em: 05 de ago. 2012.

AMARO, L. **Análise do Potencial Energético dos Resíduos Provenientes da Cana-de-Açúcar em Alagoas**. Alagoas: 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. **Conceito de cogeração**. Disponível em: < [http://www.cogen.com.br/cog\\_conceito.asp](http://www.cogen.com.br/cog_conceito.asp) > Acesso em: 20 de ago. 2012

BALEOTTI, L. **O lixo que vira luz**. Disponível em: <[http://www.editoravalete.com.br/site\\_alcoolbras/edicoes/ed\\_113/mc\\_1.html](http://www.editoravalete.com.br/site_alcoolbras/edicoes/ed_113/mc_1.html)> Acesso em: 18 de nov. 2012

BALEOTTI, L. **O lixo que vira luz**. Revista AlcoolBras, Sertãozinho, n. 113, 2008. Disponível em: < [http://www.editoravalete.com.br/site\\_alcoolbras/edicoes/ed\\_113/mc\\_1.html](http://www.editoravalete.com.br/site_alcoolbras/edicoes/ed_113/mc_1.html) >. Acesso em: 25 maio 2009.

BALESTIERI, J. A. P. **Cogeração**: geração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis: EDUFSC, 2002.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Ampliação da produção de etanol e cogeração de energia**. Brasília, 25 jul. 2003. Disponível em:<[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/alcool\\_discussao.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/seminario/alcool_discussao.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2009.

BERNANN. **A energia hidrelétrica não é limpa, nem barata**: entrevista. [3 de junho, 2010]. São Paulo: Disponível em: < <http://www.advivo.com.br/categoria/autor/entrevista-no-blog-do-azinha-com-prof-celio-berman> >. Entrevista concedida a Manuela Azenha

BRUNO INDUSTRIAL. **Produtos**. Disponível em: <<http://www.bruno.com.br/por/index.php>> Acesso em: 17 de nov. 2012.

CASTRO, N. J. **As duas crises do setor elétrico brasileiro**: a criação de energia nova. Rio de Janeiro: Instituto de Economia – UFRJ, 14 de abril de 2003.

CARPIO, R.C.; LORA E.S. **Estudo abrangente da cogeração no setor Sucro-Alcooleiro**. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100068&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100068&script=sci_arttext)> Acesso em: 18 de nov. 2012.

ELETROBRÁS. **Projeto PROINFA**. Disponível em: <[http://www.eletrobras.gov.br/EM\\_Programas\\_Proinfa/default.asp](http://www.eletrobras.gov.br/EM_Programas_Proinfa/default.asp)> Acesso em: 17 de nov. 2012.

FABÍOLA SALVADOR. **Área plantada de cana cresce 9,2%, para 8,1 milhões de hectares**. Disponível em: < <http://agricultura.ruralbr.com.br/noticia/2010/04/area-plantada-de-cana-cresce-9-2-para-8-1-milhoes-de-hectares-2888234.html> > Acesso em: 15 de ago. 2012

FREITAS, C.R.L. **O impacto do Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia** – PROINFA no mercado cativo da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA. Lavras: 2011. 43p

GALLEGO, A.G. **Sistemas de Refrigeração a partir da cogeração**: Análise e simulação de propostas para o caso de cervejarias utilizando gás natural. São Paulo: 1998. 99 p.

IDEA. Consultoria Industrial. Disponível em: <<http://www.ideaonline.com.br/>> Acesso em: 16 de nov. 2012

LOSEKANN, L. **A integração truncada das indústrias de gás natural e eletricidade no Brasil**. Disponível em: < <http://infopetro.wordpress.com/2010/09/20/integracao-das-industrias-de-gas-natural-e-eletricidade-no-brasil/>> Acesso em: 17 de nov. 2012.

LOPES, A.G.; BRITO, E.C. **Co-geração de energia elétrica derivada da queima do bagaço da cana-de-açúcar**. Lins: 2009. 12 p.

MARCON, H.B. **Aplicação de ciclo combinado BIG/GTCCa para co-geração de energia com gaseificação do bagaço de cana**. Criciúma: 2005. 54 p.

MATTOS. **Um breve histórico do setor elétrico brasileiro**. São Paulo: 2001.

NAGAOKA, M.P.T. **A comercialização da energia elétrica cogerada pelo setor sucroalcooleiro em regiões do estado de São Paulo**. São Paulo: 2002. 91 p.

NETO, V.C. RAMON, D. **Análise de opções tecnológicas para projetos de cogeração no setor sucroalcooleiro**. Brasília: 2002. 116 p.

RANADE, P.; KAWRE, J. P. **A seminar report on hydrogen from biomass, 2010.**

Disponível em: <<http://www.scribd.com/doc/7365674/hydrogen-from-biomass>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

RIGHETTI. **Floresta intercalada a plantações de cana reduz emissões de Co2.** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/960732-floresta-intercalada-a-plantacoes-de-cana-reduz-emissoes-de-co2.shtml>> Acesso em: 20 de ago. 2012

SILVA, W.D. **A cogeração de energia elétrica a partir da biomassa inserida na matriz energética brasileira.** São Carlos: 2009. 48 p.

SILVIA, C.S.L. MENDONÇA, J.P.L., **Produção e distribuição centralizada de energia térmica e cogeração.** Coimbra: 2003. 50 p.

SOUZA, E. A. de. **Avaliação das Diversas Fontes e Tipos de Biomassa do Estado de Alagoas: Estudo de suas Características Físico-Químicas e de seu Potencial Energético.** Maceió: UFAL, 2011. Tese de Doutorado em Ciências - Programa de Pós Graduação em Química e Biotecnologia, Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

TOLMASQUIM, M. T.; SZKLO, A.; SUGIYAMA, A.; SOARES, J.; CORRÊA NETO, V. **Avaliação dos potenciais técnicos e econômicos e identificação das principais barreiras à implementação da cogeração no Brasil e em setores selecionados.** Rio de Janeiro: PROCEL/COPPE/PPE, 1999.

UNICA. **Ranking da produção de cana, açúcar e etanol das unidades da Região Centro-Sul: safra 2008/2009.** São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/dados/Cotacao/estatistica/>>. Acesso em: 09 out. 2009.

WALTER, A. C. **Viabilidade e perspectivas da cogeração e da geração termelétrica junto ao setor sucroalcooleiro.** 1994. 283 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

VEIGA, S.M.; FONSECA, I. **Cooperativismo: uma revolução pacífica em ação.** Rio de janeiro: DP&A: Fase, 2002.