



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Sócioeconomia Rural



**MÁRCIO ROGÉRIO COMIN**

**GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BAGAÇO DA  
CANA DE AÇÚCAR**

**ARARAS – 2010**



**Universidade Federal de São Carlos**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Sócioeconomia Rural



**MÁRCIO ROGÉRIO COMIN**

**GERAÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A  
PARTIR DO BAGAÇO DA CANA DE AÇÚCAR**

Monografia apresentada ao curso MTA (Master of Technology Administration) do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Tecnologia Industrial Sucrenergética do Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Sócioeconomia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Prof. Dr. Octávio Antônio Valsechi

**ARARAS – 2010**

## **AGRADECIMENTOS**

Reservo esse espaço para agradecer a todos aqueles que me apoiaram em mais essa etapa de minha vida,

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado saúde e paz na conclusão desse desafio, a minha mulher Eliana Cristina Luchini e minha filha Manuela Luchini Comin, por ter me incentivado e compreendido todos os momentos ausentes na busca de alcançar esse objetivo e a minha empresa Usina São Francisco que me apoiou e deu oportunidade de concluir esse trabalho.

Não posso de deixar de agradecer a todos os Professores que transmitiram os seus conhecimentos a toda turma, e a todos os colegas de curso, pela amizade e troca de conhecimentos permitida durante esses dois anos.

## RESUMO

Nos últimos anos podemos observar o aumento da participação do Setor Sucroenergético na matriz energética brasileira principalmente com o acréscimo da geração de energia elétrica através do bagaço de cana de açúcar, alcançado principalmente em virtude da introdução de novas tecnologias no setor.

Esse trabalho tem como objetivo apresentar a evolução técnica dos principais equipamentos utilizados pelo Setor Sucroenergético para tornar viável a geração de energia elétrica através do ganho de eficiência, bem como apresentar as regras a serem seguidas para comercialização dessa energia, através de contratos no ACL- Ambiente de Contratação Livre e no ACR – Ambiente de Contratação Regulado.

Para tal evolução foi utilizado internet, livros, artigos e manuais de fabricante desses equipamentos, bem como as regulamentações do setor elétrico brasileiro através de matérias publicados pela CCEE – Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

**Palavras-chave:** Bagaço de Cana de Açúcar; Cogeração; Equipamentos para Geração de Energia Elétrica; Modelo Setor Elétrico; Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

## LISTA DAS FIGURAS

<b>Figura 1 – (a e b) Turbina de Ação e Reação e (c e d) Principio de Ação e Reação.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2 – Processo de Cogeração por Bagaço.....</b>	<b>28</b>
<b>Figura 3 – Visão da novas Instituição do Setor Elétrico Brasileiro (Brasil – CCEE, 2007).....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 4 – Visão Geral da Comercialização de Energia Elétrica (Brasil – CCEE, 2009).....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 5 – Visão Geral dos CCEARS (Brasil – CCEE, 2009).....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 6 – Simulação do Horizonte das Garantias Financeiras (Brasil – CCEE, 2009).....</b>	<b>44</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Poder calorífico superior de alguns produtos.....	12
<b>Tabela 2</b> – PCI do bagaço com diferentes umidades e teor de Sacarose (Claudio Lopes , 2009).....	12
<b>Tabela 3</b> – Comparativa do Poder Calorífico Superior do Bagaço de Cana de Açúcar x Umidade (Silvia – Morais, 2008).....	14
<b>Tabela 4</b> – Perspectiva de Produção de Bioeletricidade (Brasil – Única, 2009)....	28

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR COMO COMBUSTÍVEL.....	10
2.1 Características do Bagaço de Cana de Açúcar.....	10
2.2 Conservação do Bagaço.....	14
3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	15
3.1 Caldeiras para Geração de Vapor.....	15
3.2 Turbina a Vapor.....	18
3.2.1 Turbina de Ação e Reação.....	20
3.3 Gerador de Energia Elétrica.....	23
4 HISTÓRICO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	23
5 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO.....	28
5.1 Conselho Nacional de Política Energética - CNPE.....	30
5.2 Ministério de Minas e Energia - MME.....	31
5.3 Empresa de Pesquisa Energética – EPE .....	31
5.4 Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico - CMSE.....	31
5.5 Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL .....	32
5.6 Operadora Nacional do Sistema – ONS .....	32
5.7 Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.....	32
6 DIRETRIZES DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA BIOMASSA .....	33
6.1 Ambiente de Contratação Regulado – ACR .....	35
6.2 Leilões de Energia Elétrica .....	35
6.3 Ambiente de Contratação Livre.....	39
6.4 Contratos Bilaterais .....	39
6.5 Sazonalização Flat de Contratos de Longo Prazo.....	40
6.6 Modulação Flat de Contrato de Longo e Curto Prazo.....	41
7 CONTABILIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES NA CCEE .....	41
7.1 Visão Geral do Processo de Contabilização e Liquidação Financeira.....	41
7.2 Lastro de Venda de Energia .....	42
7.3 Insuficiência de Potência .....	42
7.4 Garantias Financeiras .....	43

8 CARACTERISTIA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA INCENTIVADA.....	44
9 CONCLUSÃO .....	45
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## 1- INTRODUÇÃO

Historicamente a cana de açúcar é um dos principais produtos agrícola do Brasil, sendo cultivada desde a época da colonização. Do seu processo de industrialização obtêm-se como produtos o açúcar nas suas mais variadas formas e tipos, o álcool (anidro e hidratado), o vinhoto e o bagaço.

Desde a sua implantação e em maior escala a partir da metade do século XX, as indústrias de setor sucroalcooleiro desenvolveram instalações próprias de geração elétrica, seja através de pequenos aproveitamentos hidrelétricos, óleo diesel, e depois face à indisponibilidade de energia elétrica e aos seus custos, adotaram-se sistemas de geração, em processo de cogeração, ajustados às necessidades do processamento industrial da cana de açúcar, utilizando o bagaço. Os sistemas de cogeração, que permitem produzir simultaneamente energia elétrica, e calor útil, configuram a tecnologia mais racional para a utilização de combustíveis, embora sejam viáveis apenas nos contextos onde se demandam ambas as formas de energia. Este é o caso das indústrias sucroalcooleira e de papel e celulose, que além de demandar potência elétrica e térmica, dispõem de combustíveis residuais que se integram de modo favorável ao processo de cogeração.

Uma indústria de cana de açúcar para operar necessita de uma grande quantidade de energia, se apresentando sob as diferentes formas:

Mecânica/elétrica: para acionamento das moenda, facas, desfibradores, geradores, bombas, esteiras, pontes rolantes, etc e;

Térmica: Aquecedores, evaporadores, cozedores, secadores, destilaria, etc.

Uma usina deve obter toda a sua energia pela combustão do bagaço da cana, hoje se considera que a usina deve inclusive gerar excedentes energéticos que transformado em energia elétrica é vendida para a concessionária de eletricidade.

Nas usinas de açúcar e álcool a cogeração sempre esteve presente, através da queima de bagaço em caldeiras. Porém sem nenhuma preocupação de fazê-lo de forma eficiente.

Entretanto, a partir da crise que levou ao racionamento de energia em 2001, o governo brasileiro implantou novas regras no mercado de energia elétrica, principalmente com a criação de novos órgãos regulamentadores, este fato foi muito importante, pois permitiu a participação de empresas privadas, os que impulsionou o setor sucroalcooleiro a investir na modernização de seus parques industriais, com o objetivo de torná-los eficientes e, assim, comercializar a energia excedente no mercado regulado, principalmente pelos leilões de energia, em programas incentivados, como o PROINFA, ou até mesmo no mercado livre.

Alem disso cabe relatar que os projetos de geração de energia elétrica através do bagaço da cana de açúcar, precisam de menor tempo para construção, está próximo dos centros de carga, complementar em relação ao regime hidrológico e de menores dificuldades para licenciamento ambiental

## **2.- BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR COMO COMBUSTÍVEL**

### **2.1- Característica do bagaço de cana de açúcar**

Uma fábrica de açúcar e álcool de cana é auto-suficiente em energia. Obtém a potência e calor necessário pela queima de seu próprio combustível, o bagaço. Uma fábrica projetada para ser eficiente em energia e operada adequadamente produzirá excesso de bagaço.

O bagaço final, ou simplesmente bagaço, é matéria fibrosa sólida, liberada na saída da última moenda, após extração do caldo, dispõe-se aproximadamente de 275 Kg de bagaço por tonelada de cana. A composição física do bagaço varia muito pouco, sua propriedade mais importante, sob o ponto de vista da produção do vapor, é sua umidade. Ora um trabalho satisfatório da moenda fornece um bagaço com umidade de 50% e um trabalho muito bom um bagaço com 45% de umidade, mesmo com uma moenda muito moderna é difícil chegar a uma umidade menor que 44% os índices mais comuns são de 45% a 50% de umidade.

Além da água o bagaço contém fibra principalmente constituída por celulose, que forma a fibra do bagaço, podendo variar de 12% as 15% e materiais em solução na água, conseqüente da embebição, constituída de açúcares e impurezas, essas matérias dissolvidas corresponde a um volume pequeno em torno

de 2% a 4%. A composição química do bagaço seco pode variar, mas como estas variações não apresentam grandes diferenças podemos admitir as seguintes composições: Carbono 47%, Hidrogênio 6,5%, Oxigênio 44% e Cinzas 2,5% (E. HUGOT, 1977, VOL. II).

Segundo (PENTTILÄ, 2000) os materiais lignocelulósicos são composto de 40 a 50% de celulose, 25 a 35% de hemicelulose e 15 a 25% de lignina, quimicamente o bagaço contém em torno de 2,4% de cinzas (PANDEY et., al 2000)

Com uma fibra normal (12% a 14%) e uma usina bem equilibrada e bem concebida, ainda fica um excedente de bagaço (ou de vapor) que pode ser utilizado para outros fins: bombeamento de água de refrigeração, fabricação de subprodutos, destilaria, fornecimento de energia à rede etc. (E.HUGOT, 1977, VOL.II, pag. 935).

O principal item para avaliação de um combustível é o seu poder calorífico, que corresponde ao valor liberado pela combustão de uma quantia unitária de sua massa. Assim podemos dizer que seria a quantia de calor ou Joules resultante da combustão completa do material por grama ou quilograma. Para os combustíveis que possuem hidrogênio em sua molécula e conseqüentemente produzem água na combustão (caso do bagaço de cana-de-açúcar), existem dois poderes caloríficos, a saber:

Poder calorífico superior (PCS), que corresponde ao calor liberado considerando que a água formada está sob a forma líquida a 0°C e;

Poder calorífico inferior (PCI), que corresponde ao calor liberado considerando que a água formada está sob a forma de vapor a 0°C.

As duas formas de expressão do poder calorífico podem ser interconvertidas, pois a diferença entre elas é o calor de vaporização da água.

**Tabela 1** – Poder calorífico superior de alguns produtos (Borges e Lopes – 2009)

<b>Produto</b>	<b>PCS – Kcal/Kg</b>
Lenha (20% de umidade)	2.500/3.000
Serragem	2.500
Cavacos	2.500
Nó de pinho	4.000
Carvão de Pedra	7.500
Turfa (Jacarepagua)	2.500
Casca de semente de algodão	2.800
Casca de semente de amendoim	3.200
Bagaço de cana (40% de umidade)	2.300
Resíduo de couro	2.000
Álcool etílico	7.200
Butano	11.800
Gasolina	11.000

Segundo E. Hugot em seu livro, levando em conta o poder calorífico desses componentes e do teor de umidade do bagaço tem-se:  $PCS = 4.600 - 12s - 46w$  e  $PCI = 4.250 - 12s - 48,5w$ , onde poder calorífico superior e poder calorífico inferior respectivamente em Kcal/Kg,  $s$ = teor de sacarose no bagaço (pol) e  $w$ =teor de umidade em %.

**TABELA 2:** PCI do bagaço com diferentes umidades e teor de Sacarose (Claudio Lopes , 2009)

<b>Umidade %</b>	<b>Pol (°S)</b>	<b>PCI (Kgcal/Kg)</b>
49	1	1861
49	2	1850
49	3	1837
50	1	1813
50	2	1801

50	3	1789
51	1	1764
51	2	1752
51	3	1740

Segundo (John, 1989) Em uma estimativa grosseira, a variação de 1% na umidade acarreta uma variação de 1% no valor como combustível.

Segundo Payne (1989) A qualidade do bagaço tem primordial importância e sua umidade constitui o fator mais importante. A maioria das caldeiras é projetada para queimar bagaço a 50% de umidade. Podem ser esperados problemas na queima quando a umidade sobe acima de 52%; a maior parte do bagaço não seca e não queima em suspensão e se acumula na grelha. No caso de grelha rotativa, isto não é tão problemático, mas, com grelha basculante, o bagaço acumula-se em pilhas e gases combustíveis podem ser gerados, os quais entram em ignição periodicamente, com explosão causando pressão positiva na fornalha. O bagaço com folhas verdes seca lentamente, mesmo se a umidade for satisfatória, e causará dificuldade na queima.

O poder calorífico do bagaço torna-se maior à medida que o teor de umidade se reduz, principalmente devido à menor necessidade de calor para vaporizar a água. O meio mais eficiente de remover a água consiste em fazê-lo mecanicamente em uma prensa ou na moenda, mas há um limite mínimo prático. O padrão tradicional para uma moenda de cana é obter um bagaço com 48% de umidade. No passado, moendas foram operadas com média anual abaixo de 40%, o que seria considerado antieconômico atualmente devido às altas taxas de moagem, hoje o mais baixo valor considerado prático seria entorno de 45% a 50% de umidade.

Segundo Silva e Moraes (2008), o poder calorífico superior em cada nível de umidade, nota-se considerável acréscimo com a diminuição da umidade. Passando a umidade de 50% para 0% consegue-se um incremento energético da ordem de 92%, sendo que 60% são conseguidos reduzindo a umidade para 20%. Então, pode-se dizer que o bagaço de cana de açúcar com umidade em torno de 20% é mais viável de ser utilizado para aproveitamento energético.

**Tabela 3:** Comparativo do Poder Calorífico Superior do Bagaço de Cana de Açúcar x Umidade (Silvia – Morais, 2008)

Poder Calorífico Superior (PCS)	Umidade (%)
4.360	0
3.985	10
3.641	20
3.145	30
2.275	50

Segundo Payne (1989) O bagaço estocado seca e torna-se um combustível mais eficiente. Contudo, também perde rapidamente seu conteúdo de açúcar, o que significa um perda de energia. Com uma boa extração na moenda, o teor de açúcar residual no bagaço é da ordem de 3% de energia total disponível. Assim, em períodos curtos de estocagem (dois a três dias), os efeitos se contrabalançam. Um bagaço com alto teor de açúcar deveria ser queimado de imediato. Convém lembrar, a esse respeito, que com uma extração pobre o bagaço pode mostrar baixo teor de umidade, simplesmente devido a pol. elevada.

## 2.2 Conservação do bagaço

A densidade aparente do bagaço torna-o uma matéria muito volumosa. Por isso, a estocagem do bagaço excedente da usina é problemática. Com exceção das regiões muito secas, não é possível deixar o bagaço ao ar livre, porque fermenta, apodrece e perde uma grande parte de seu valor, como combustível. Entretanto, seria possível conservá-lo ao ar livre, tendo o cuidado de dar-lhe a forma de uma pilha, cônica ou piramidal, com inclinação de no mínimo 30°, realizando uma cobertura sobre o mesmo.

Geralmente, conserva-se sob um galpão. O ângulo de repouso do bagaço é bastante variável, porém geralmente é de cerca de 45° a 50°. ao ar livre. Entretanto, é possível recortar os lados de uma pilha em paredes verticais, sem risco de desmoronamento.

Para evitar a construção de edifícios enormes e caros, comprime-se o bagaço, para diminuir seu volume, utilizando as próprias máquinas de movimentação do bagaço.

### **3- EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

#### **3.1- Caldeiras para Geração de Vapor**

Existem diversas forma de classificar as caldeiras, mas a mais utilizada é de acordo com o tipo do trocador de calor que evapora a água:

Fogotubular: equipamento onde a chama gerada pela queima do combustível circula pelo interior dos tubos, aquecendo a água até a sua ebulição, sua construção é mais simples, sendo muito adotada por pequenas indústrias, visto que sua capacidade de produção de vapor é pequena e a pressão de trabalho é baixa por limitações construtivas.

Aquatubular: equipamento onde a água a ser aquecida circula pelo interior dos tubos e a chama e os gases quentes, produtos da combustão, pelo exterior, possibilita a produção de vapor em quantidade superior e com pressão bastante elevada.

As limitações de pressão e capacidade das caldeiras fogotubular, deram lugar às caldeiras aquatubulares, as quais tem sido continuamente modificadas e aperfeiçoadas até chegar ao modelos atuais. As taxas de transferência de calor tem aumentado na proporção em que as áreas de transferências de calor tem diminuído.

As caldeiras são avaliadas em virtude dos seguintes parâmetros: produção de vapor / superfície de aquecimento (fornecida em  $m^2$ ), pressão de vapor ( $Kg/cm^2$ ) e tipo de vapor.

Para o bom funcionamento de uma caldeira são necessários diversos equipamentos auxiliares como chaminé, uma vez que a queima do combustível gera  $CO_2$  e água como produtos principais e uma série de outros componentes em menor proporção que formam a fumaça. Segundo Lopes e Borges ( 2009), a queima de 1 Kg de combustível pode gerar ao redor de  $4m^3$  de fumaça, a chaminé pode ser de

tiragem natural, retirando a fumaça por diferença de densidade ou de tiragem forçada, sendo a fumaça impulsionada por ventiladores esse sistema permite chaminé menores, outro equipamento importante para caldeira é o “economizador”, trocador de calor instalado no duto que leva a fumaça aproveitando o calor desses gases para elevar a temperatura da água de alimentação, esse processo permite que a caldeira receba água já quente, poupando gasto adicional de combustível que seria necessário para aquecer, no duto de saída da fumaça é o aquecedor de ar, que é um trocador de calor que aquece o ar antes de sua entrada na caldeira resultando em economia de combustível.

Segundo Peres (1982) a produção estimada de vapor é de 2,5 Kg de vapor por Kg de bagaço.

Até o início da década de 1980, a ineficiência energética dos sistemas da cogeração eram evidentes, começando pela baixa eficiência das caldeiras, pois o bagaço era considerado um rejeito indesejado dentro do processo de produção de açúcar e álcool. As caldeiras eram consideradas como verdadeiros incineradores. A ineficiência tecnológica, tanto do ponto de vista da transferência de calor, como dos sistemas de recuperação e aproveitamento efetivo do vapor, também gerava um consumo exagerado de vapor no processo.

Segundo Peres (1982) Na década de 30 à 40 as caldeiras fogotubulares eram substituídas nas Usinas do Brasil por caldeiras aquatubulares, importadas principalmente da Inglaterra, em 1957 era instalada a primeira caldeira construída em nosso país, de grelhas basculantes com espargedores para bagaço, na Usina Santa Tereza, no Estado de Pernambuco, fabricada pela Companhia Brasileira de Caldeiras, sistemas semelhantes começam a ser desenvolvidos pela Dedini e pela Zanini nos anos 67 em diante.

Segundo Payne (1989), O projeto de uma caldeira a bagaço usada principalmente para suprir energia à fábrica e vapor ao processo seria ideal a produção de vapor a uma pressão nominal de 32 Kg/cm<sup>2</sup>. Sendo possível a venda de mais energia, seria justificável dobrar a pressão para 64 Kg/cm<sup>2</sup> em virtude do acréscimo substancial para produção de uma caldeira de pressão acima de 32 Kg/cm<sup>2</sup>.

Há 10 anos atrás, alta pressão para o mercado sucroenergético era de 42 Kgf./cm<sup>2</sup> , enquanto para outros mercados essa pressão era média como é o caso do setor de Papel e Celulose que já trabalhava com 85 Kgf./cm<sup>2</sup> e Centrais Térmicas a carvão ou óleo combustível com caldeiras superior a 100 Kgf./cm<sup>2</sup> .

Segundo CGE (2007) Com o crescimento na evolução de geração de energia, surgiu as caldeiras monodrum, sendo sua tecnologia novidade no setor sucroenergético, mas já vem sendo empregada há vários anos, Essa tecnologia é amplamente divulgada na indústria petroquímica, e na geração de energia em termelétricas da Europa e nos Estados Unidos para altos níveis de pressão e capacidade, segundo os fabricantes, a tecnologia empregada na construção das caldeiras monodrum (um tubulão) possibilita a adoção de grandes vazões de vapor e pressão superiores a 100 bar., dessa forma passou-se a substituir as caldeiras antigas, por caldeiras na faixa de 62 Kgf./cm<sup>2</sup> , permitindo maior geração de energia elétrica, utilizando a mesma quantidade de vapor. A nova concepção abrange vários aspectos como a instalação do tubulão de vapor fora do circuito dos gases, e , portanto, não exposto às elevadas temperatura dos gases na fornalha, não possui tubos mandrilhados, sem conexão direta com o feixe tubular, sendo a conexão efetuada através de coletores soldados ao tubulão, permitindo dessa forma uma redução de sua espessura, se tornando uma solução adaptável a elevadas capacidades, permitindo operação de partida e paradas mais rápidas quando comparadas com a caldeira de dois tubulão.

O projeto possui fornalha tipicamente alta com grande volume, feixe de convecção alinhado horizontalmente com passagem única de gases, pendurado por estrutura metálica, o volume a fornalha possibilita a queima de grande parte do combustível em suspensão, com grelhas selecionadas para a queima mais completa de acordo com o tipo de combustível, diminuindo as emissões de particulados e uma combustão mais eficiente.

Toda a fornalha o tubulão e feixe de convecção são suspensos por estrutura metálicas externas, este conceito permite a livre expansão de toda a caldeira para baixo, diminuindo as tensões causadas pelas partidas e paradas da unidade. Esse tipo de caldeira mostra vantagens na queima de combustíveis auxiliares como óleo e gás.

Na atualidade as unidades de maior capacidade dentro e fora do Brasil queimando bagaço são caldeiras MONODRUM ambas fornecidas pela Caldema Equipamentos Industriais Ltda. Segundo fabricante na usina “São José”, Lençóis Paulista, São Paulo uma unidade de 300 t/h de capacidade. Está unidade de 300 t/h de capacidade, pressão de 94 Kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de 520 C, o que constitui até o momento a caldeira de bagaço de mais elevados parâmetros de geração de vapor construída na Brasil, e entre as primeiras a nível mundial.

Fora do Brasil, a história recente da indústria do açúcar, indica uma unidade de dois tubulões, projetada e construída pela John Thompson Engineering em Austrália na metade dos anos 90, como a caldeira que, queimando bagaço, foi no seu momento a de maior capacidade do mundo (320 t/h, 43 KGf/cm<sup>2</sup> e 350 C), (Stark, 2006). A mesma referência informa sobre o projeto de novas caldeiras na Austrália, todas vinculadas a plantas de cogeração, cujo os dados indicam capacidades de 170 t/h, 72 Kgf/cm<sup>2</sup> e 510 C.

De acordo com McIntyre (2006), os projetos mais ambiciosos em termos de parâmetros de geração e capacidade dentro do setor sucroenergético é em Ilhas Maurício e Reunião atingem 82 Kgf/cm<sup>2</sup> e 520 C e na Índia o nível de geração alcança 87 Kgf/cm<sup>2</sup> e 515 C.

No Brasil vem se ocorrendo um padrão de crescimento na capacidade e dos parâmetros de geração, acompanhado de uma idéia global de modernização de toda a planta e do emprego de combustíveis alternativos como palha de cana, ou auxiliares óleo combustível ou gás natural.

### **3.2- Turbina a Vapor**

Estes equipamentos podem, em relação às características do vapor na saída da turbina, ser classificados como sendo de contrapressão ou de condensação apresentando ou não extração de vapor no seu corpo. Os equipamentos classificados como de contrapressão, são aqueles nos quais o vapor na saída da turbina apresenta condições de pressão e temperatura compatíveis com as necessidades do processo produtivo. Por outro lado as de condensação, normalmente utilizadas para priorizar a geração de energia elétrica, fornecem na saída do equipamento um vapor

já com alguma umidade, baixa pressão e temperatura e em geral com pouca utilidade para o processo, esse vapor no entanto é enviado para um condensador e retorna para o sistema.

Dependendo das particularidades de cada processo, muitas vezes é necessário que as turbinas a vapor apresentem em seu corpo, condições para que hajam extração em determinadas pressões e temperaturas.

As turbinas a vapor podem ser de simples estágio ou múltiplos estágios, como o rendimento do equipamento aumenta com a diminuição do salto térmico por estágio, as turbinas de contrapressão de múltiplos estágios apresentam rendimentos consideravelmente maiores que as de simples estágio, a escolha do tipo construtivo da turbina é em função da quantidade de vapor turbinado (acima de 20 t/h dever ser necessariamente de múltiplo estágio), da existência de vapor de extração (necessariamente múltiplo estágio), da pressão na saída, da variação de vazão que afeta diretamente o rendimento do sistema e da potência do sistema de co-geração.

Segundo Filipini e Nakamura (2007) as centrais termelétricas a vapor, que normalmente utilizam turbinas de múltiplos estágios tipo condensação, trabalham com temperaturas de vapor na ordem de 560 °C e com um pressão na saída da turbina de 1 polegada de Hg, essas instalações podem apresentar um rendimento térmico em determinadas condições na faixa de 36 a 39%.

A primeira turbina a vapor foi construída em 1883 pelo engenheiro sueco Carl Gustav de Laval, a turbina é uma máquina exotérmica de circuito fechado na qual o vapor de água produzido na caldeira é lançado a grande pressão e velocidade sobre uma das rodas e pás ou aletas, fixas, móveis, onde se expande e finalmente se condensa antes de ser reintroduzido na caldeira.

Equipamento que transforma a energia calorífica do vapor em energia mecânica, essa energia mecânica pode ser utilizada quando acoplada para mover equipamento. O elemento básico da turbina é a roda ou rotor, que conta com paletas, hélices, lâminas ou cubos colocados ao redor de sua circunferência, de forma que o fluido em movimento produza uma força tangencial que impulsiona a

roda, fazendo-a girar. Essa energia mecânica é transferida através de um eixo para movimentar um gerador elétrico, transformando a energia mecânica em energia elétrica.

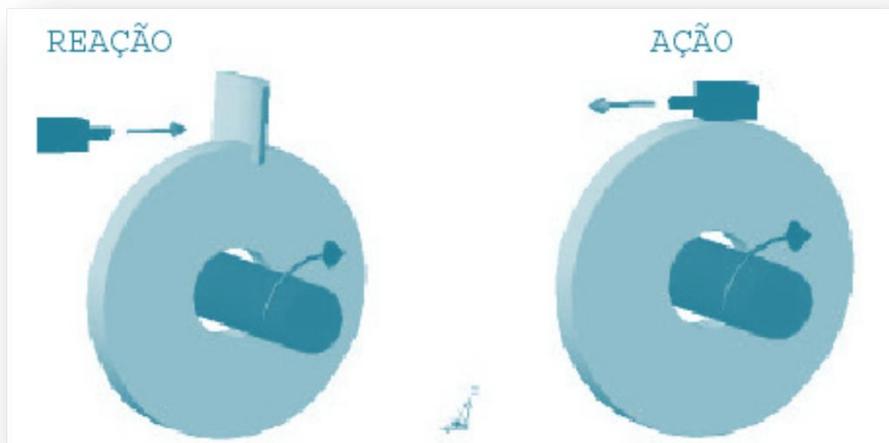
Segundo Godoy (2008), na década dos anos 70, era utilizado turbinas de 21 Kgf/cm<sup>2</sup> com temperatura de vapor 300 C, na década de 80 era utilizado turbinas de 42 Kgf/cm<sup>2</sup> temperatura de vapor 420 C, na década de 90 turbinas de 65 Kgf/cm<sup>2</sup> e temperatura de vapor 485 C na década de 00 turbinas com temperatura de 120 Kgf/cm<sup>2</sup> temperatura do vapor em 530 C.

Segundo Marques (2007), o aspecto mais crítico de uma turbina a vapor está relacionado com o projeto das palhetas, sendo sua confiabilidade conseguida com um projeto de mínima vibração na frequência natural do conjunto de palheta.

### 3.2.1 - Turbina de Ação / Reação

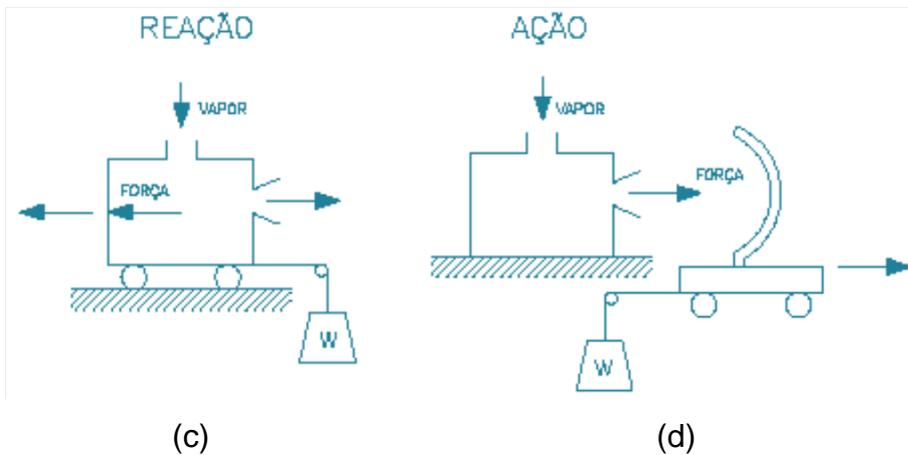
As formas básicas de aproveitamento da energia cinética obtida no expensor para realização do trabalho mecânico são os princípios de ação e reação, ilustrado na figura abaixo.

**Figura 1** : (a e b) Turbina de Ação e Reação e (c e d) Princípio de Ação e Reação (Manhabosco – 2005)



(a)

(b)



Se o expensor for fixo e o jato de vapor dirigido contra um anteparo móvel, a força de ação do jato de vapor irá deslocar o anteparo, na direção do jato, levantando o peso  $W$ . Se, entretanto o expensor puder mover-se, a força de reação, que atua sobre ele, fará com que se desloque, em direção oposta do jato de vapor, levantando o peso  $W$ . Em ambos os casos a energia do vapor foi transformada em energia cinética no expensor e esta energia cinética, então, convertida em trabalho.

Nas turbinas de ação o vapor se expande somente nos órgãos fixos (pás diretrizes e bocais) e não nos órgãos móveis (pás do rotor), portanto, a pressão é a mesma sobre os dois lados do rotor; Nas turbinas a vapor de reação o vapor se expande também no rotor, ou seja, a pressão de vapor na entrada do rotor é maior que na saída do mesmo, já nas turbinas mistas uma parte da é de ação e outra parte de reação.

Segundo Khartchenko (1991) nas turbinas de contra-pressão o vapor é exausto a pressão atmosférica ou superior.

Elas são utilizadas quando a necessidade de suprir o processo com vapor de média pressão e dessa forma toda condensação do vapor se a jusante do ciclo da turbina e no processo.

A turbina de contra-pressão apresenta um desvantagem principal em plantas de cogeração, uma vez que a demanda de vapor é determinada pelo usuário, o fluxo de vapor através da turbina vai depender da necessidade térmica

daquele momento, dessa forma a a turbina de contra-pressão apresenta flexibilidade no acoplamento direto entre a produção elétrica e a demanda térmica, nesse caso a produção elétrica depende da carga térmica da planta.

Segundo Gomes (2005), planta de cogeração com turbinas de contra-pressão são mais viáveis quando o consumo de potência elétrica é baixa, comparada ao consumo de potência térmica.

Nas usinas que objetivam a comercialização de energia excedente torna-se necessário o uso de turbinas de extração-condensação. Segundo Fiomari (2004), além de altos índices de desempenho, máquinas de condensação com extração regulada se justificam também pela sua capacidade de satisfazer a relação energia térmica e elétrica, que pode variar em uma ampla faixa. Esse sistema, com maior capacidade de produção elétrica, possui normalmente turbinas de extração dupla, sendo a primeira extração, no nível de pressão em que o vapor é requerido pelas turbinas de acionamento mecânico e, a segunda, na pressão em que o vapor é consumido no processo produtivo.

Segundo Leme (2005), o uso de turbina de condensação ou extração-condensação permite que a geração de energia elétrica seja conduzida de forma mais independente em relação a operação da usina. Isso porque o vapor que aciona esse tipo de turbina, pode ser condensado à parte do processo de açúcar e álcool, com o sistema operando em geração simples e não em cogeração. No caso de turbina exclusivamente de contrapressão, obrigatoriamente o vapor é condensado pelo processo, em cogeração de energia, e se o processo não estiver operando, também as turbinas devem parar ou reduzir em muito sua marcha, interrompendo a geração de eletricidade.

De acordo com Walter (2003), os ciclos de geração com turbinas de contra pressão permite a produção de eletricidade excedente somente no período de safra. Na entressafra tais sistema, só poderiam operar se o vapor de escape das turbinas fosse descarregados diretamente na atmosfera , ou então, se fosse feita a condensação a pressão próxima a do processo industrial ( em geral 2,5 bar). A primeira alternativa é inviável do ponto de vista ambiental a segunda é inviável do

ponto de vista econômico. Entretanto no final da safra algumas usinas praticam essa alternativa para eliminar os estoques de bagaço.

### **3.3.1 - Gerador de Energia Elétrica**

Segundo Manual WEG (2008), o gerador elementar foi inventado na Inglaterra em 1831 por MICHAEL FARADAY, e nos Estados Unidos, mais ou menos na mesma época por JOSEPH HENRY. Este gerador consistia basicamente de um ímã que se movimentava dentro de uma espira, ou vice versa.

Atualmente os geradores utilizados em Cogeração síncronos destinados a transformar energia mecânica em energia elétrica, são turbos geradores acionados por turbina a vapor com potência de 500 a 50.000 kVA, rotação de 1800 rpm (IV pólos) e tensão de 200 V a 13.800 V.

A geração de energia elétrica é realizada através do movimento de um condutor em um campo magnético, necessitando da energia mecânica para o seu acionamento. Esses equipamentos no setor sucroenergético não projetados para serem acionados por meio de turbinas a vapor, podendo o seu acoplamento dependendo do eixo de potência pode ser direto ou através de redutores de velocidades.

Segundo Filipini e Nakamura (2008) o rendimento de um gerador varia em função da potência gerada e é obtido através de teste baseados em norma que podem ser acordadas na hora da aquisição do equipamento, recomenda-se que este equipamento seja adquirido com margem de potência de segurança para que a unidade apresente um funcionamento mais adequado e que pequenos aperfeiçoamentos no sistema ou no processo produtivo sejam absorvidos e transformados em benefícios adicionais. O rendimento médio encontrado para o gerador de energia elétrica após análise de equipamentos de diversos fabricantes nacionais foi de 94,0%.

## **4 - HISTÓRICO DA COGERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

O termo cogeração possui várias definições, porém, a que melhor se aplica às usinas sucroalcooleiras é a produção combinada de potência elétrica e/ou mecânica e térmica a partir de um único combustível o bagaço

A cogeração corresponde a produção simultânea de diferentes formas de energia útil, como as energias eletromecânicas e térmica, para suprir as necessidade de uma unidade de processo, seja ela do setor industrial, agrícola, terciário ou um sistema isolado, a partir de uma mesma fonte energética primária. Em outras palavras, seria o aproveitamento de uma parcela de energia que teria de ser obrigatoriamente rejeitada por força da Segunda Lei da Termodinâmica, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo térmico.

No setor sucroalcooleiro, o principal sistema de cogeração é aquele que emprega turbinas a vapor como máquinas térmicas e que aparece vinculado a três configurações fundamentais: turbinas de contrapressão, combinação de turbinas de contrapressão com outras de condensação que empregam o fluxo excedente e turbinas de extração-condensação. A condensação de uma parte do vapor de escape, ou de uma extração de vapor de uma turbina de extração-condensação garante a necessidade de energia térmica do sistema.

Está prática pode ser considerada um alternativa positiva se comparada ao atual estágio de cogeração de energia, tal como é concebido o sistema interligado. Neste, as necessidade de energia elétrica são atendidas mediante contratos de compra com uma concessionária, sendo as necessidade térmicas atendidas mediante autoprodução. A energia elétrica também pode ser autoproduzida, sendo que neste casos as unidades de geração devem ser dimensionadas para operarem de forma independente das concessionárias, garantindo desta forma a confiabilidade do sistema isolado.

A prática de cogeração não se encontra limitada pelo desenvolvimento de novas máquinas térmicas, uma vez que simplesmente apresenta uma proposta de geração diversa do conceiro atualmente vigente quando a produção de energia. Este fato não impede, no entanto, que novas formas de geração sejam paulatinamente incorporadas no processo de expansão das centrais de cogeração

tão logo se mostrem competitivas com o estado atual de conhecimentos em geração de energia.

A demanda de energias térmicas e eletromecânica ocorre de forma sistemática, tanto em nível residencial quanto em industrial, agrícola ou comercial.

Para bem estabelecer a cogeração dentro da perspectiva do uso racional da energia em base industrial é necessário conceituar a unidade de processo como um conjunto de fábricas e/ou processos de um certo setor, que se encontram em área física próxima e que se relacionam para a produção de bens.

Há duas alternativas de geração de energia térmicas e eletromecânica para um processo industrial que necessita desses insumos para a composição de seus produtos ou para a produção de bens; uma delas, a mais usual, consiste em adquirir a energia elétrica diretamente de uma concessionária e produzir energia térmica necessária mediante o consumo de uma ou mais forma de energia primária.

A cogeração não é a única forma de geração de energia, tampouco foi a mais difundida até as últimas décadas. Concorrem com ela a geração independente de calor em caldeiras convencionais para o suprimento de energia térmica e a compra de energia elétrica da concessionária local para suprimento da demanda eletromecânica. A forte penetração da cogeração no mercado produtivo decorre do fato de haver um melhor aproveitamento da energia primária consumida neste caso, em comparação com a outra opção, em que para o mesmo montante de energia demandada há consumo de energia primária tanto no gerador de vapor quanto no gerador elétrico.

O esquema básico de atendimento das demandas por meio de central de cogeração deve apresentar conexão com o sistema independente de geração eletromecânica, com a concessionária de energia elétrica local e com caldeiras auxiliares, de modo que aumente a confiabilidade de geração térmica e elétrica nas impedições da unidade; essas últimas devem estar presentes para suprir a demanda de energia nas condições de saída forçada das centrais de cogeração bem como nas situações em que a estratégia de operação desta última dispões pelo seu desligamento.

Segundo Queiroz (2008) a partir da crise que levou ao racionamento de energia em 2001, o governo brasileiro implantou novas regras no mercado de energia elétrica, permitindo a participação de empresas privadas, impulsionando o setor sucroalcooleiro a investir na modernização de seus parques industriais, tornando eficientes, comercializando excedente de energia no mercado regulado principalmente pelos leilões de energia, em programas incentivados como PROINFA, Leilão de Reserva e no mercado livre.

Em uma avaliação das possibilidades futuras de conversão energética na agroindústria a cana, conjugando diferentes produtos e rotas tecnológicas, possivelmente disponível nos próximos 20 anos, Macedo (2007) estima que poderia ser resgatado até 59% do conteúdo energético total da cana, como biocombustível e bioeletricidades, rendimento bem superior aos atuais 38%. E mais especificamente sobre a energia elétrica, em uma exploração dos limites termodinâmicos da produção de energia elétrica com base na cana em cenários tecnológicos mais avançados, Lora et al. (2006) consideraram diferentes alternativas complementares e associadas, em dois cenários básicos: maximização da produção de combustíveis e maximização da geração de bioeletricidade.

O uso do bagaço para geração de energia elétrica permite reduzir as emissões de carbono para atmosfera, já que substitui o óleo combustível queimado nas termelétricas convencionais, mais acionadas exatamente na época da safra, que ocorre nos meses de baixa hidraulicidade e menor capacidade de geração hidrelétrica. Nesse caso a redução de emissões é da ordem de 0,55 tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de bagaço utilizado.

Segundo Xavier (2001), a energia da cogeração, oriunda de pequenas centrais termelétricas, pode ser vista como complemento de infra-estrutura importante nas áreas agrícolas, urbana e industrial, por expandir a oferta de eletricidade em prazo relativamente curto.

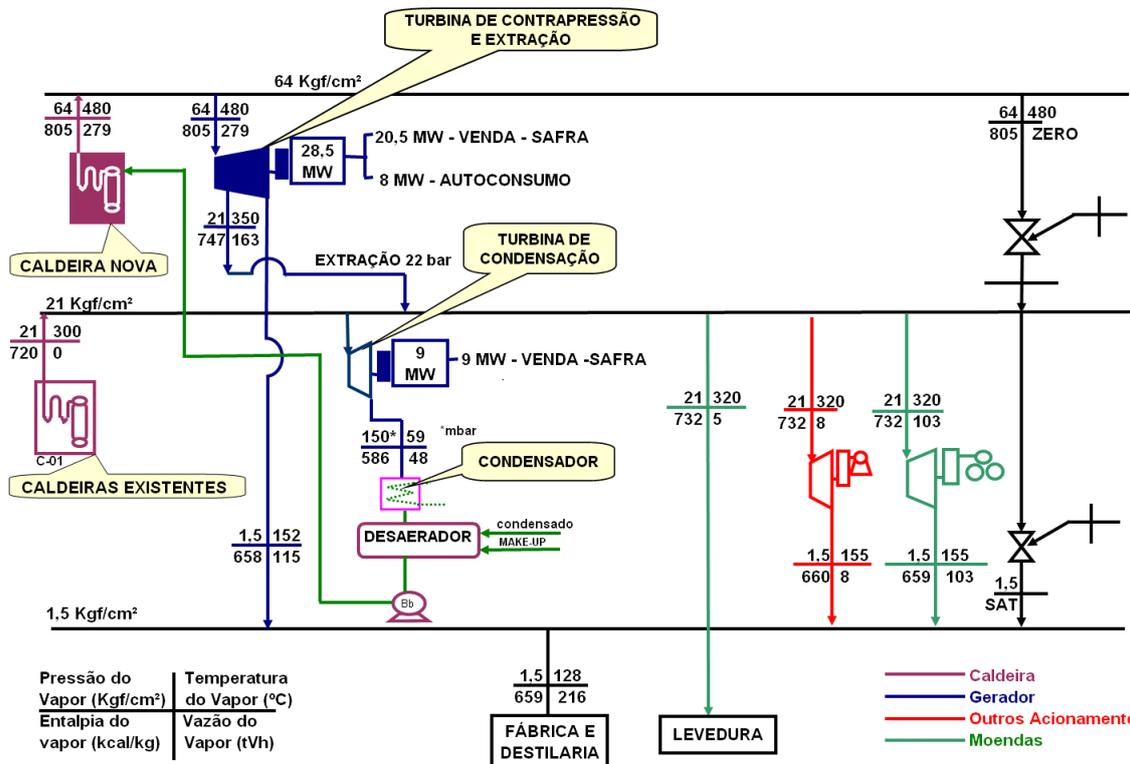
Segundo Souza e Burnsquit (2002), a usina sucro-alcooleira paulista São Francisco, localizada na região de Sertãozinho, Estado de São Paulo, em conjunto com a Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL), foi a pioneira da venda de energia gerada através do bagaço de cana, em 1987.

Após a celebração do contrato entre a Usina São Francisco e a CPFL, forma celebrados outros contratos de permuta de energia com usinas de açúcar e álcool, todos com período de curto prazo. Somente em 1993 que vieram ser celebrados contratos de longo prazo – 10 anos (Xavier , 2001).

Porém, como o potencial de geração de bioeletricidade é calculado em relação à safra, é importante analisar a situação das usinas hoje existentes, que precisam de um retrofit para gerar eletricidade de forma eficiente. Estas usinas precisam substituir parte dos equipamentos para adotar tecnologias mais modernas de co-geração. Trata-se de substituir equipamentos que funcionam, que podem ter uma vida útil considerável e que já garantem seu auto-suprimento de energia. A viabilização do potencial de geração destas usinas requer, portanto, um preço-teto nos leilões superior àquele exigido pelos projetos *greenfield*. De acordo com CASTRO et al. (2008), com base em parâmetros econômicos pré-crise de setembro de 2008, enquanto projetos novos viabilizam a comercialização de energia com um preço em torno de R\$ 155,00/MWh, projetos remodelados exigem um preço em torno de R\$ 180,00/MWh para serem viáveis. Cabe salientar que o setor sucroenergético tem uma estrutura produtiva heterogênea e esses valores podem apresentar elevado desvio-padrão, principalmente quando se considera os custos de conexão à rede de transporte de energia elétrica, cuja responsabilidade é do empreendedor em bioeletricidade.

Segundo Sanches (2003), o processo de cogeração de energia no setor sucro-alcooleiro consiste em aproveitar o vapor produzido (energia térmica) pela queima do bagaço em caldeiras, para movimentar os equipamentos da própria unidade industrial e, simultaneamente, acionar conjunto de geradores de energia elétrica.

**Figura 2:** Processo de Cogeração por Bagaço



Segundo Única (2009), utilizando dados estimados, considerando o potencial de mercado de cogeração de bioeletricidade excedente, utilizando bagaço e palha, considerando em 2008/09 utilização de 75% de bagaço disponível e 5% da palha disponível e a partir de 2015/16, utilização de 75% do bagaço e 70% da palha disponível o potencial da bioeletricidade seria:

**Tabela 4:** Perspectiva de Produção de Bioeletricidade (Brasil – Única, 2009) .

	2008/09	2015/16	2020/21
<b>Potencial Bioeletricidade (Mw médio)</b>	1.800	8.158	13.158
<b>Participação na Matriz Elétrica Brasileira</b>	3%	11%	14%

## 5- SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

O marco inicial de reforma do Setor Elétrico Brasileiro foi a Lei número 8.361, de 05.03.1993, que extinguiu a equalização tarifária e criou os chamados contratos de suprimentos entre geradores e distribuidores, visando estancar as dificuldades financeiras das empresas da época. Segunda a CCEE em 1995, iniciou o estímulo a participação da iniciativa privada no setor elétrico com a criação da figura do Produtor Independente (PIE), estabelecendo os primeiros passos rumo à competição na comercialização de energia elétrica, com o conceito de Consumidor Livre – consumidor que, atendendo a requisitos estabelecidos na legislação vigente, passa a ter liberdade na escolha de seu fornecedor de energia elétrica.

Entre 1996 e 1998 foi implantado o Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico, tendo como resultado a necessidade de implementar a desverticalização das empresas de energia elétrica, dividindo as nos segmentos de geração, transmissão e distribuição, incentivando a competição nos segmentos de geração e comercialização, mantendo sobre regulamentação os setores de distribuição e transmissão, também identificou-se a necessidade de criação de um órgão regulador hoje denominado ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica e da ONS – Operador Nacional do Sistema e da criação do ambiente para realização das transações de compra e venda de energia elétrica denominado na época MAE – Mercado Atacadista de Energia .

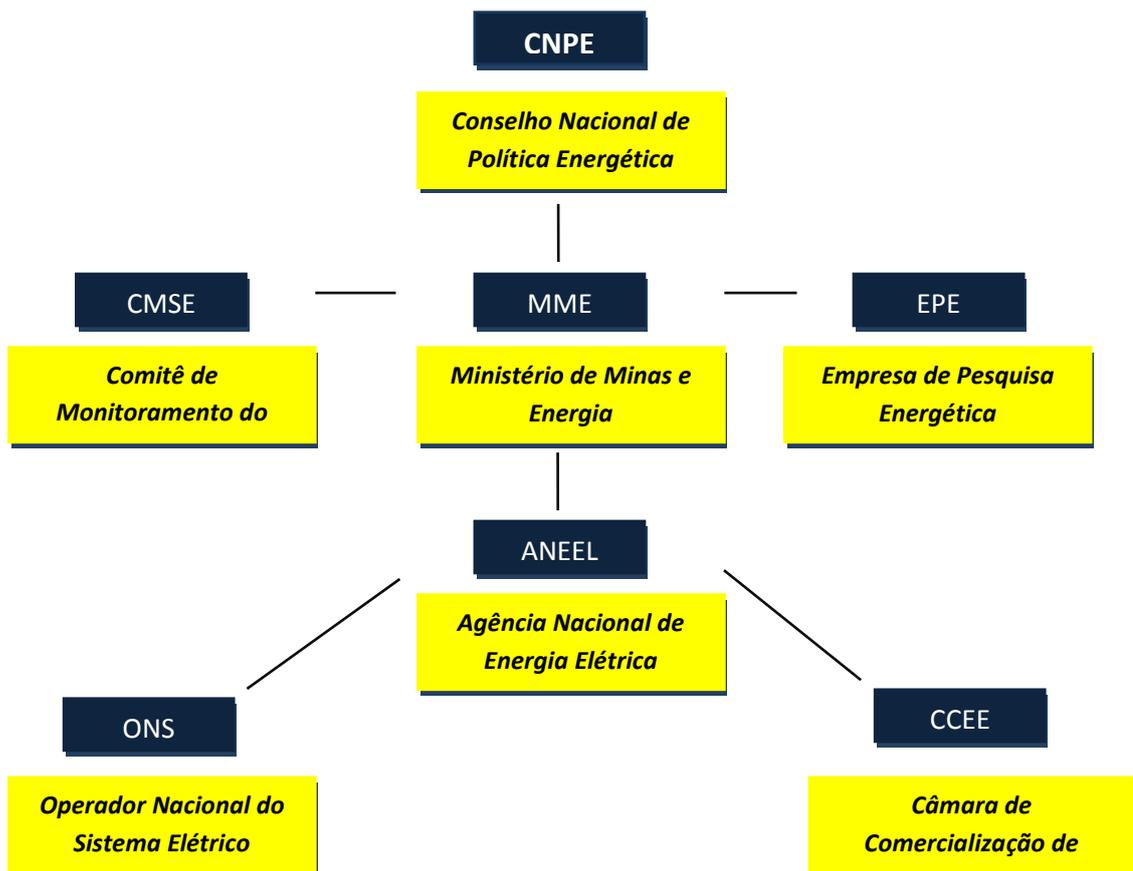
Em, 2001, o setor elétrico sofreu uma grave crise de abastecimento que culminou em um plano de racionamento de energia elétrica. Esse acontecimento gerou uma série de questionamento sobre os rumos que o setor elétrico estava trilhando, dessa forma foi criado em 2002, o Comitê de Revitalização do Modelo do Setor Elétrico, com a missão de encaminhar proposta de aperfeiçoamento do modelo vigente.

Durante aos anos de 2003 e 2004 o Governo Federal lançou as bases de um novo modelo para o Setor Elétrico Brasileiro, sustentando pelas Leis número 10.847, de 15.03.2004, e pelo Decreto número 5.163, de 30.07.2004, o novo modelo definiu a criação de uma instituição responsável pelo desenvolvimento de estudos de pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético (a Empresa de Pesquisa Energética –EPE), com função de avaliar permanentemente a segurança do suprimento de energia elétrica, o Comitê de Monitoramento do Setor

Elétrico-CMSE , instituição para dar continuidade às atividades do MAE, relativas à comercialização de energia elétrica no Sistema Interligado e a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

Com relação a comercialização de energia elétrica, foram instituídos os ambientes de contratação regulado (ACR), do qual participam Agentes de Geração e Distribuição de energia elétrica, e o ambiente de contratação livre (ACL ), do qual participam Agentes de Geração, Comercialização, Importadores e Exportadores de energia, e Consumidores Livres.

**Figura 3:** Visão da novas Instituição do Setor Elétrico Brasileiro (Brasil – CCEE, 2007)



### 5.1- Conselho Nacional de Política Energética – CNPE

Órgão interministerial de assessoramento a Presidência da República, tendo como principal atribuição formular políticas e diretrizes de energia, assegurar o

suprimento de insumos energéticos às áreas mais remotas ou de difícil acesso no país, rever periodicamente as matrizes energéticas aplicadas às diversas regiões do país, estabelecer diretrizes para programas específicos, como os de uso dos gás natural, do álcool, de outras biomassas, do carvão e da energia termonuclear, além de estabelecer diretrizes para a importação e exportação de petróleo e gás natural.

### **5.2- Ministério de Minas e Energia – MME**

Órgão do Governo Federal responsável pela condução das políticas energéticas do país. Suas principais obrigações incluem a formulação e implementação de políticas para o setor energético, de acordo com as diretrizes definidas pelo CNPE. O MME é responsável por estabelecer o planejamento do setor energético nacional, monitorar a segurança de suprimento do Setor Elétrico Brasileiro e definir ações preventivas para restauração da segurança de suprimento no caso de desequilíbrio conjunturais entre a oferta e demanda de energia.

### **5.3 - Empresa de Pesquisa Energética – EPE**

Instituída pela Lei número 10.847, de 15.03.2004 e criada pelo Decreto 5.184 de 16.08.2004, a EPE é uma empresa vinculada ao MME, cuja finalidade é prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético. Suas principais atribuições incluem a realização de estudos e projeções da matriz energética brasileira, execução de estudos que propiciam o planejamento integrado de recursos energéticos, desenvolvimento de estudos que visem o planejamento de expansão da geração e da transmissão de energia elétrica de curto, médio e longo prazo, realização de análises de viabilidade técnico-econômica e sócio-ambiental de usinas, bem como a obtenção de licença ambiental prévia para aproveitamentos hidrelétricos e de transmissão de energia elétrica.

### **5.4 - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE**

Órgão criado no âmbito do MME, sob sua coordenação direta, com a função de acompanhar e avaliar a continuidade e a segurança do suprimento elétrico em todo território nacional. Suas principais atribuições incluem: acompanhar o desenvolvimento de atividades de geração, transmissão, distribuição,

comercialização, importação e exportação de energia elétrica; avaliar as condições de abastecimento e de atendimento; realizar periodicamente a análise integrada de segurança de abastecimento e de atendimento, identificar dificuldades e obstáculos que afetem a regularidade e a segurança de abastecimento e expansão do setor e elaborar propostas para ajustes e ações preventivas que possam restaurar a segurança no abastecimento e no atendimento elétrico.

#### **5.5- Agência Nacional e Energia Elétrica – ANEEL**

Instituída pela Lei nº 9.427, de 26.12.1996 e constituída pelo Decreto nº 2.335, de 06.10.1997, com as atribuições de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, zelando pela qualidade dos serviços prestados, pela universalização do atendimento e pela estabelecimento das tarifas para consumidores finais, sempre preservando a viabilidade econômica e financeira das Agentes e da Indústria. As alterações promovidas em 2004 pelo novo modelo do setor estabeleceram como responsabilidade da ANEEL, direta ou indiretamente, a promoção de licitações na modalidade de leilão, para a contratação de energia elétrica pelos Agentes de Distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN)

#### **5.6- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS**

Criada pela Lei nº 9.648, de 27.05.1998, e regulamentada pelo Decreto nº 2.655, de 02.07.1998, com as alterações do Decreto nº 5.081, de 14.05.2004, para operar, supervisionar e controlar a geração de energia elétrica no SIN, e administrar a rede básica de transmissão de energia elétrica no Brasil, com o objetivo principal de atender os requisitos de carga, otimizar custos e garantir a confiabilidade do sistema, definindo ainda as condições de acesso à malha de transmissão em alta-tensão do país. As alterações implantadas a partir de 2004 trouxeram maior independência à governança da NOS, através da garantia de estabilidade do mandato de sua diretoria.

#### **5.7- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE**

Instituída pela Lei nº10.848, de 15.03.2004 e criada pelo Decreto nº 5.177, de 12.08.2004, absorveu as funções e estruturas organizacionais e

operacionais do MAE. Entre suas principais obrigações estão: a regularização dos leilões de compra e venda de energia no ACR por delegação da ANEEL; a apuração do Preço de Liquidação de Diferenças (PLD), utilizado para valorar as transações realizadas no mercado de curto prazo; a realização da contabilização dos montantes de energia elétrica comercializados e a liquidação financeira dos valores decorrentes das operações de compra e venda de energia elétrica realizadas no mercado de curto prazo.

## **6- DIRETRIZES DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DA BIOMASSA**

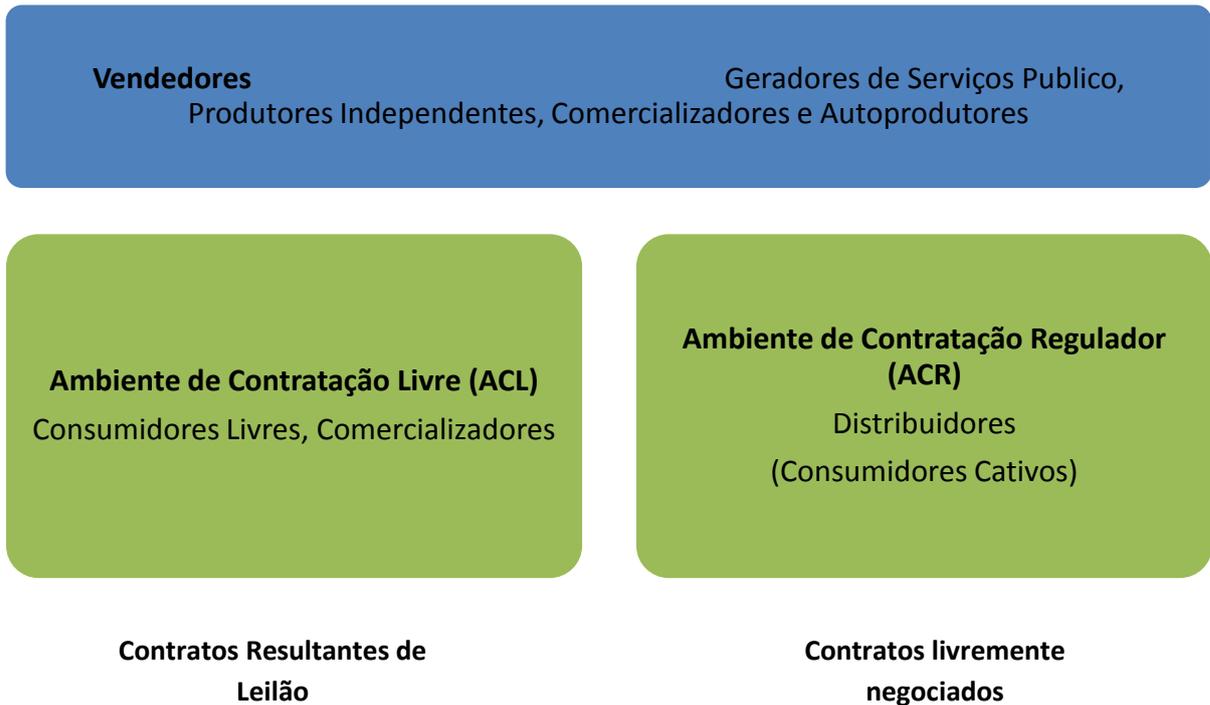
O novo modelo do setor elétrico define que a comercialização de energia elétrica é realizada em dois ambientes de mercado:

- Ambiente de Contratação Regulado – ACR;
- Ambiente de Contratação Livre – ACL.

A contratação no ACR é formalizada através de contratos bilaterais regulados, denominados contratos de comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), celebrados entre Agentes vendedores e distribuidoras que participaram dos leilões de compra e venda de energia elétrica.

No ACL há a livre negociação entre Agentes geradores, comercializadores, consumidores livres, importadores e exportadores de energia sendo os acordos de compra e venda de energia pactuados através de contratos bilaterais.

**FIGURA 4:** Visão Geral da Comercialização de Energia Elétrica (Brasil – CCEE, 2009).



Os agentes de geração, sejam concessionárias de serviço público de geração, produtores independentes de energia ou autoprodutores, assim como os comercializadores, podem vender energia elétrica nos dois ambientes, mantendo o caráter competitivo da geração.

Tanto os contratos no ACR como os do ACL são registrados na CCEE e servem de base para a contabilização e liquidação das diferenças no mercado de curto prazo. Os montantes totais contratados são liquidados bilateralmente pelos Agentes, fora do ambiente de operações da CCEE e de acordo com condições contratuais específicas.

Conforme disposto no inciso I do art. 2º do Decreto nº 5.163/04, os agentes vendedores devem apresentar cem por cento de lastro de venda de energia e potência, constituído pela garantia física proporcionada por empreendimentos de geração próprios ou de terceiros, neste caso, mediante contratos de compra de energia ou de potência. A inexistência do referido lastro será passível e penalidades definidas em regras e procedimentos de comercialização específicos.

Os agentes de distribuição e os consumidores livres também devem apresentar cem por cento de cobertura contratual para atendimento de seu mercado

e consumo, estando sujeito a penalidades caso não comprovem a existência dessa cobertura junto à CCEE.

### **6.1- Ambiente de Contratação Regulada**

Participam do ACR os agentes vendedores e agentes de distribuição de energia elétrica. Para garantir o atendimento aos seus mercados, os agentes de distribuição podem adquirir energia das seguintes formas.

- Leilões de compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração existentes e de novos empreendimentos de geração.
- Geração distribuída, desde que a contratação seja precedida de chamada pública realizada pelo próprio agente de distribuição.
- Usinas que produzem energia elétrica a partir de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, contratadas na primeira etapa do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).
- Itaipu Binacional

### **6.2- Leilões de Energia Elétrica**

Os leilões de energia elétrica do ACR são realizados pela CCEE, por delegação da ANEEL, seguindo diretrizes determinadas pelo MME. O critério para definir os vencedores do leilão é o da menor tarifa, ou seja, os vencedores do leilão serão aqueles que ofertarem energia pelo menor preço por MW médio para atendimento da demanda.

Os leilões são os principais instrumentos de aquisição de energia elétrica por parte dos distribuidores, existindo dois tipos básicos:

- Leilões de compra de energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração existentes (Energia Existente).
- Leilões de compra de energia elétrica proveniente de novos empreendimentos de geração (Energia Nova).

Os agentes de distribuição devem informar os montantes que desejam adquirir em cada leilão, com sessenta dias de antecedência à data prevista para a sua realização. Também devem ser informados os montantes necessários para o atendimento a consumidores potencialmente livres, item importante para balizar possíveis reduções nas quantidades contratadas.

Considerando “A” (ano-base) o ano de previsão para o início do suprimento da energia elétrica adquirida pelos agentes de distribuição por meio dos leilões, o cronograma para realização dos leilões é o seguinte:

- ano “A – 1”: o ano anterior ao ano base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica;
- ano “A- 3”: o terceiro ano anterior ao ano base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica;
- ano “A- 5”: o quinto ano anterior ao ano base “A” em que se realizam os leilões de compra de energia elétrica;

São considerados como novos empreendimentos de geração aqueles que, até a data de publicação do edital do leilão, não sejam detentores de concessão, permissão ou autorização, ou sejam resultantes da ampliação da potência instalada de empreendimento existentes. Até 31 de dezembro de 2007 nos leilões de novos empreendimentos de geração poderá ser ofertada energia de empreendimento existente desde que:

- tenham obtido concessão/autorização até 16 de março de 2004;
- tenham iniciado a operação comercial a partir de 1º de janeiro de 2000; ou
- cuja energia não tenha sido contratada até 16 de março de 2004.

O MME é responsável por definir, para cada leilão de novos empreendimentos de geração, a lista de empreendimentos aptos a participar dos leilões, sendo que os projetos de geração de energia elétrica já devem estar com licenças ambientais prévias. O montante total de energia elétrica a ser contratado é

informado pelas Distribuidoras, conforme sua demanda e de acordo com o art. 17 do Decreto nº 5163/04.

A celebração dos contratos resultantes dos leilões em pool, ou seja, todos os vendedores fecham contratos com todos os distribuidores, com montantes proporcionais à declaração de demanda de cada um efetuada previamente à realização do leilão.

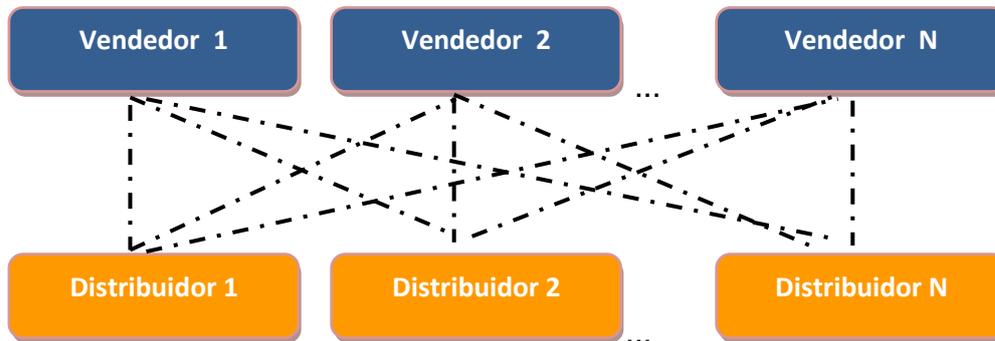
Dessa forma, há um preço único de repasse da energia para todas as distribuidoras, determinado pela média ponderada dos preços do leilão, sendo que os fatores de ponderação consistem das quantidades totais adquiridas. Entretanto, o valor que cada distribuidora para aos geradores contratados é uma média ponderada individual, e os fatores de ponderação são as quantidades adquiridas por distribuidora.

A ANEEL pode promover leilões de ajuste, possibilitando que os agentes de distribuição completem os montantes de energia elétrica necessários para o atendimento de seu mercado. Entretanto, o volume de energia que uma distribuidora poderá adquirir nesses leilões não poderá exceder a um por cento de seu consumo total contratado.

### **Contratos de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR)**

Os CCEARs são os contratos bilaterais, nas modalidades quantidade ou disponibilidade de energia elétrica, celebrados entre cada Agente vendedor vencedor de um determinado leilão de energia no ACR, e todos os agentes de distribuição compradores.

**Figura 5:** Visão Geral dos CCEARS (Brasil – CCEE, 2009)



Para cada tipo de leilão, haverá CCEARs com prazos específicos de duração. Para os leilões de compra de energia proveniente de empreendimentos existentes, os CCEARs terão no mínimo três e no máximo quinze anos de duração, contados a partir do ano seguinte ao da realização de tais leilões. Para os leilões de compra de energia proveniente de novos empreendimentos, os CCEARs terão no mínimo quinze e no máximo trinta anos, contado do início do suprimento de energia.

Os agentes de distribuição podem reduzir os montantes contratados de energia nas seguintes condições:

- quando consumidores potencialmente livres venham exercer seu direito de opção de compra de outro fornecedor;
- quando houver redução em seu mercado, situação na qual será anualmente limitada a quatro por cento do montante inicialmente contratado; ou
- acréscimos de aquisição de energia provenientes de contratos firmados antes de 16 de março de 2004.

Essa redução dos contratos é percebida da aplicação do Mecanismo de Compensação de Sobra e Déficits, sendo rateada proporcionalmente entre todos os CCEARs do agente de distribuição.

Para o repasse às tarifas dos consumidores finais dos custos de aquisição de energia elétrica no ACR, a ANEEL determinará o valor de referência (VR).

### **6.3- Ambiente de Contratação Livre - ACL**

No ACL participam agentes de geração, comercializadores, importadores e exportadores de energia elétrica, além de consumidores livres. Neste ambiente há liberdade para se estabelecer volumes de compra e vendas de energia e seus respectivos preços, sendo as transações pactuadas através de contratos bilaterais.

Os consumidores que optarem por tornarem-se livres realizando a compra de energia através de contratos no ACL devem ser agentes da CCEE e estão sujeitos ao pagamento de todos os encargos, taxas, contribuições setoriais previstas na legislação. Conforme descrito no parágrafo 2º do art. 49 do decreto nº 5.16304, esses consumidores podem manter parte da aquisição de sua energia de forma regulada junto à concessionária de distribuição, constituída assim, um consumidor parcialmente livre.

Caso o consumidor livre queira retornar à condição de consumidor com atendimento regulado, deve informar essa decisão à concessionária de distribuição local com um prazo mínimo de cinco anos, sendo que esse prazo pode ser reduzido mediante acordo entre as parte.

### **6.4- Contratos Bilaterais**

Os contratos bilaterais consistem em relações comerciais de compra e venda de energia elétrica resultantes da livre negociação entre agentes da CCEE de acordo com as legislações e regulamentações vigentes, estabelecendo-se preços, prazos e montantes de suprimentos em comum acordo entre as partes envolvidas.

Os contratos bilaterais são registrados na CCEE, por meio do SCL, pela parte vendedora e devem ser validados pela parte compradora para que possam ser considerados no processo de contabilização e liquidação financeira. O vendedor deve inserir os prazos de suprimento e montantes contratados em MWh, não sendo necessário informar os preços negociados.

Os contratos bilaterais são divididos em contratos de curto prazo cujo a duração é menor que 6 meses e os contratos de longo prazo cujo a duração é maior

ou igual a seis meses. Para os contratos de curto prazo o vendedor deverá registrar os montantes mensais de energia, vigência total do contrato o contraparte e o respectivo submercado o registro da modulação é optativa no registro, já para os contratos de longo prazo deve ser informado além das informações acima, alterando montante mensais para anual e a sazonalização e modulação é optativa no registro esses registros devem ser realizados no mês seguinte a comercialização da energias mais nove dias úteis.

A modulação da energia assegurada é o processo pelo qual a energia assegurada de cada usina é discretizada em valores por período de apuração, atualmente valores semanais parametrizados.

O processo de modulação é necessário, pois os valores de energia assegurada das usinas são valores anuais médios (MWh/h). Esses montantes anuais são sazonalizados em valores mensais pelos agentes e convertidos em valores por período de apuração, através do emprego de metodologia específica definida nas regras de comercialização da CCEE.

A sazonalização e modulação (longo e curto prazo) deve ser realizada pelo vendedor e acordada entre as partes, caso não seja informada o sistema faz flat, cabendo a contraparte validar os registros no ato de inclusão do contrato e a sazonalização e modulação no ato da inclusão ou quando houver edição de valores.

### **6.5- Sazonalização Flat de Contratos de Longo Prazo**

Caso o agente não insira informações no Sinercom dentro dos prazos determinados, o sistema fará a Sazonalização Flat no momento da contabilização do mês de referência.

$$Sazo_{Flat} = \text{Total Energia Contratada (Mwh)} \times \frac{\text{N}^{\circ} \text{ total de horas no mês}_{ref} \text{ (h)}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de horas no ano (h)}}$$

## 6.6- Modulação Flat de Contrato de Longo e Curto Prazo

Caso o agente não insira informações de dados horários nos prazos determinados, o Sinercom fará a modulação Flat para a contabilização.

$$\text{Mod}_{\text{Flat}} = \frac{\text{Energia Mensal Contratada (Mwh)}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de horas do mês (h)}}$$

## 7- CONTABILIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES NA CCEE

### 7.1- Visão Geral do Processo de Contabilização e Liquidação Financeira

As relações comerciais entre os agentes participantes da CCEE são regidas por contratos de compra e venda de energia, sendo que a liquidação financeira desses contratos é realizada diretamente entre as partes contratantes, por meio de condições livremente negociadas.

Todos os contratos celebrados entre os agentes no âmbito de sistema interligado nacional devem ser registrados na CCEE. Esse registro inclui apenas as partes envolvidas, os montantes de energia e o período de vigência; os preços de energia dos contratos não são registrados na CCEE, sendo utilizados especialmente pelas partes envolvidas em suas liquidações bilaterais.

Da mesma forma, os valores de medição verificadas de geração e consumo de energia são registrados na CCEE pelos agentes.

O processo de contabilização e liquidação financeira é composto por um conjunto de operações envolvendo a medição, o registro de todos os contratos de compra e venda de energia elétrica, inclusive dos CCEARs, os montantes objeto da contabilização, a liquidação financeira, incluindo o gerenciamento das transferências entre os agentes da CCEE e o universo de programas e métodos utilizados.

Considerando-se os contratos e os dados de medição registrados, a CCEE contabiliza as diferenças entre o que foi produzidos ou consumido e o que foi contratado; as diferenças positivas ou negativas são liquidadas ao preço liquidação das diferenças (PLD), determinado semanalmente para cada patamar de carga, e para cada submercado, tendo como base o custo marginal de operação do sistema, limitado por um preço mínimo e por um preço máximo permitidos pela ANEEL e definidos em resolução específica.

Com base nessas duas informações (montantes contratados e montantes medidos), é realizado a contabilização e são calculados os montantes negociados no mercado de curto prazo (spot). Dessa forma, pode-se dizer que o mercado de curto prazo é o mercado das diferenças.

## **7.2- Lastro de Venda de Energia**

Os agentes vendedores devem apresentar lastro para venda de energia de forma a garantir 100% de seus contratos, sendo constituído pela garantia física dos empreendimentos próprios e /ou por contratos de compra. A garantia física é apurada por usina e depois agregada por gerador , fornecendo o montante de energia que o gerador pode utilizar para lastrear seus contratos de venda. A garantia física em Mw médio é definida em ato regulatório (MME/EPE/ANEEL), já a em Mwh, é calculada pela CCEE e utilizada como lastro no cálculo das penalidades, sendo calculada por tipo de usina (hidro/termo) e por tipo de despacho da usina (I, II ou III).

## **7.3- Insuficiência de Potência**

O decreto 5.163/ 04, determina que os agentes vendedores deverão apresentar lastro de potência para sua comercialização de energia. A CCEE determina para cada mês a potência de referência ajustada de cada usina e depois agrega por gerador, o requisito de lastro antigo e novo de cada gerador e a insuficiência ou superávit de potência de cada gerador , aplicável somente ao patamar pesado.

Os agentes vendedores podem realizar a negociação de potência de forma livre entre si, por meio do SCL, ressalvando que as sobras e déficits de

potência envolvidas coincidam no mesmo período de apuração (mesmo dia) , a potência comercializada não produz efeitos na contabilização do mercado de curto prazo e não é motivo para solicitação de contabilização, a CCEE informa aos agentes os superávits de potência disponível para comercialização.

#### **7.4- Garantias Financeiras**

As garantias financeiras são constituídas por cada agente da CCEE e visam assegurar o cumprimento de obrigações de pagamento no âmbito da liquidação financeira, sendo a mesma executada quando houver insuficiência de recursos depositados pelo agente para cobertura de seu valor total a pagar na liquidação financeira.

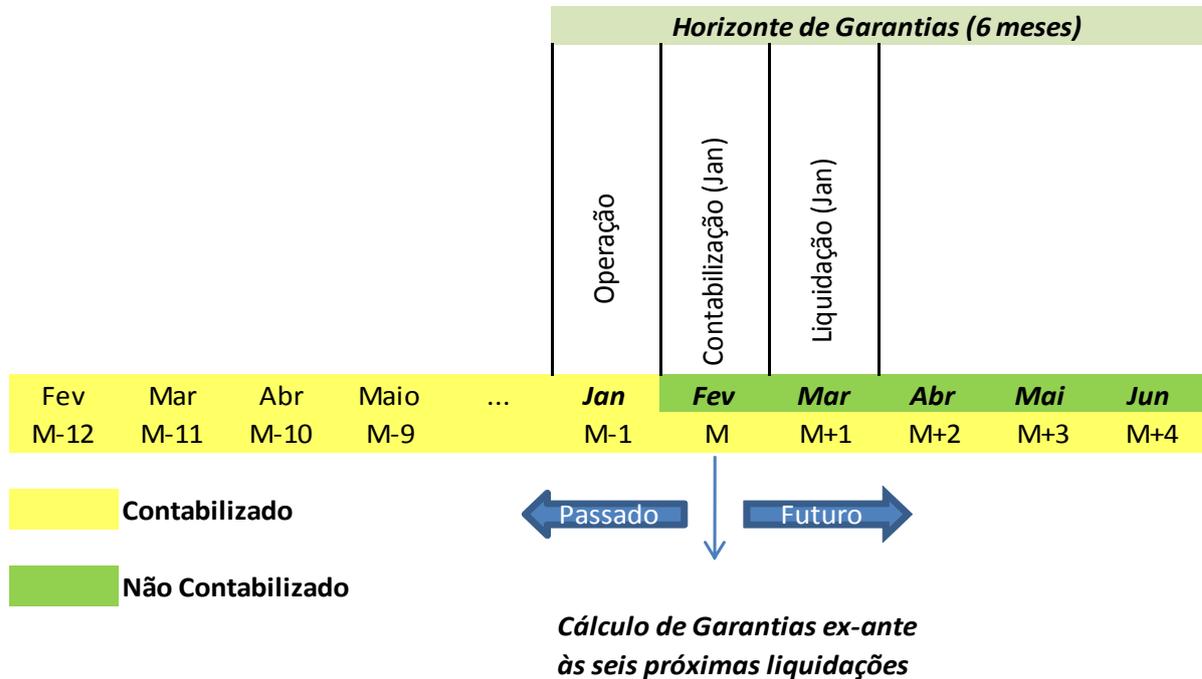
Caso os recursos depositados pelos agentes (incluindo garantias financeiras executadas) não sejam suficientes para a cobertura do montante a pagar na CCEE, os agentes credores responderão pelos efeitos de tal inadimplência, na proporção de seus créditos líquidos de operações efetuadas no Mercado de Curto Prazo no mesmo período de contabilização essa garantia não tem nenhuma relação com as garantias financeiras pactuadas livremente entre as partes num contrato bilateral.

Segundo CCEE (2009), o aporte de garantias financeiras “ex-ante”, considerando as seis próximas liquidações, ocorrendo o ajuste mensal das garantias aportadas. O cálculo de aporte de garantias financeiras realizado conforme avaliação de risco de exposição do agente ao mercado de curto prazo.

São considerados as cargas e contratos de venda registrados e validados no SCL, não cobertos por geração/contratos de compra, serão considerados como exposição ao mercado de curto prazo para efeito do cálculo de garantias. Quando o agente não aportar as garantias será aplicado uma multa de 5% sobre o valor não aportado e informado a ANEEL e aos agentes da CCEE das ocorrências de inadimplência no aporte de garantias financeiras.

Segundo CCEE (2009) o aporte de garantias financeiras considera um horizonte de 6 meses, sendo sua valoração realizada pelo PLD verificado, PLD médio e o esperado para os próximos 4 meses.

**Figura 6:** Simulação do Horizonte das Garantias Financeiras (Brasil – CCEE, 2009).



## 8- CARACTERÍSTICA – COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA INCENTIVADA

Conforme resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006, estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidade consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 Kw, no âmbito do Sistema Interligado Nacional – SIN

As fontes de energia incentivadas segundo a referida legislação são: PCHs (PIE, AP), cuja a potência instalada 1000 Kw e 30.000 Kw, empreendimento com potência instalada até 1000 Kw e fontes solar, eólica ou biomassa de potência injetada na linha de distribuição e/ou transmissão até 30.000 Kw.

Segundo lei nº 11.943, de 28/05/2009 empreendimentos com potência igual ou inferior a 1000 Kw e aqueles com base em fontes solar, eólica, biomassa, cuja potência injetada até 50 MW poderão comercializar energia com consumidores

especiais, sem fazerem jus ao desconto na TUSD e/ou TUST, limitados a 49% da energia média que produzirem.

## **9- CONCLUSÃO**

Este trabalho buscou apresentar a importância do bagaço como combustível, a evolução dos equipamentos utilizados no processo de geração de energia elétrica, com a utilização de caldeiras e turbinas de alta pressão, já utilizada nas indústrias de papel e celulose.

Relata também a importância da utilização de turbinas de condensação de forma a criar uma independência da geração de energia elétrica em relação ao processo produtivo, ganhando maior eficiência na geração, bem como a evolução do potencial de geração de energia elétrica através do bagaço da cana de açúcar, iniciado através da permuta de energia e se tornando uma importante fonte de receita para o Setor Sucroenergético, bem como as grandes mudanças ocorridas no setor elétrico brasileiro após apagão de 2001, com a reestruturação de todo setor e a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica- CCEE, administrando o cumprimento de todas as regras definidas para comercialização de energia elétrica.

Apresenta também as alternativas possíveis de serem utilizadas para comercialização de energia elétrica da biomassa utilizando o mercado regulado, através da realização dos leilões de energia (energia nova, energia velha e energia de reserva), realizado pelo governo em conjunto com as distribuidoras, de forma a garantir a segurança do setor elétrico, e por fim também a comercialização de energia elétrica através do mercado livre com a celebração de contratos bilaterais, podendo ser firmado com uma comercializadora ou até mesmo para consumidores livres especial e virtude da energia da Biomassa ser incentivada garantindo um desconto de 50% da TUSD para potência instalada de até 30 MW.

Relata as penalidades aplicadas pela Câmara de Comercialização de Energia elétrica caso o gerador não atenda os compromissos de entrega firmada e registrada junto a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE.

Como sugestão para outros trabalhos, é importante que se faça uma análise das dificuldades encontradas pelo setor Sucroenergético em viabilizar a implantação de novas plantas de geradoras tendo em vista que atualmente apenas 15% das unidades implantadas entregam excedente de energia elétrica na rede.

## **10- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BORGES, M. T. M. R; LOPES, C. H. Introdução a Tecnologia Agroindustrial. São Carlos: Editora Eduscar, 2009.

BRASIL. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. Visão Geral da Operações na CCEE. São Paulo:CCEE, 2007. 79p.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDO ESTRATÉGICO. Estudo sobre as possibilidades e impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol Visando a Substituição Parcial da Gasolina no Mundo. Brasília: CGEE, 2007.

FILIPINI, F. A; NAKAMURA, S. Curso de Capacitação de Multiplicadores em Eficiência Energética. 2007. Companhia Paranaense de Energia.

FIOMARI, M. Análise energética de uma usina sucroalcooleira do oeste paulista com sistema de cogeração de energia em expansão.2004. F.15\_28. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

GOMES, R. A. E. S. Modelagem Computacional de Caldeiras de Recuperação Térmica. 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica.

KARTCHENO, N. V. (1991), Advanced Energy Systems, Washington D.C., 285 p.

LEME, R. M. (2005). Estimativas da emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidades com biomassa de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado). Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MACEDO, I. C. (2007). Geração de energia elétrica a partir da biomassa no Brasil. Situação atual, oportunidades e desenvolvimento. Brasília. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência Tecnologia e Inovação.

MANHABOSCO, J. K. Aspectos Relevantes de Cogeração Como Alternativa para o Suprimento de Energia Elétrica – 2005. Dissertação (Graduação) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ.

MARQUES, F. A. S. Implantação de Validação Prática de Modelos Multidisciplinares Abordados em Uma Central de Co-Geração de Energia Elétrica – 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.

MORAIS, A.S; SILVA, M.B. Avaliação Energética do Bagaço de Cana em Diferentes Níveis de Umidade e Graus de Compactação. Rio de Janeiro: ENEGEP 2008, (Apresentação Realizada XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção).

PAYNE, J. H. Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana. Piracicaba: Nobel; Stab, 1989.

QUEIROZ, G. M.O.R. Análise de Dificuldades Técnicas e Econômicas na Inserção da Cogeração pelas Usinas Sucroalcooleiras 2008. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

SANCHES, C. S. (2003). Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto: Há perspectiva para o setor sucro-alcooleiro paulista. 300 f. Tese de (Doutorado) – Escola de Administração e Economia de São Paulo, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2003.

SOUZA, Z. J. ; BURNQUIST, H.L (2002). A Comercialização de Energia Elétrica Co-gerada pelo Setor Sucro-Alcooleiro. São Paulo: CEPEA/Plêiada.

Turbina a vapor. In infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2010. [Consult. 2010-01-31]. Disponível na WWW: <URL: HTTP://www.infopedia.pt/\$turbina-a-vapor>.

UNIÃO DA AGROINDUSTRIA CANAVIEIRA. Bioeletricidade. São Paulo: ÚNICA, 2009. (Apresentação feita Ethanol Summit).

WALTER, A. C. S. (2003). Metodologias de Avaliação e Instrumentos para a viabilização do potencial de produção de energia elétrica com resíduos da cana-de-açúcar. [S.1.:s.n]. Relatório final da Etapa II do Convênio CPFL- UNICAMP/ FUNCAMP Período coberto pelo relatório – Janeiro a Julho de 2003.

WEG – Manual de Características e Especificações de Geradores. Jaraguá: WEG, 2008. 4 p.

XAVIER, B. J. As dificuldades da Implantação da Co-geração sob os aspectos técnicos e Comerciais no cenário atual. Campinas [S.N] Relatório Interno CPFL.