

WILSON DAMATTO DA SILVA

**A COGERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA A PARTIR DA BIOMASSA
INSERIDA NA MATRIZ ENERGÉTICA
BRASILEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica com ênfase
em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Frederico Fábio Mauad

São Carlos

2009

Lista de Figuras

Figura 1: Locais de cultivo da cana-de-açúcar	8
Figura 2: Gráfico do Custo de Investimento	11
Figura 3: Planta de Cogeração	15
Figura 4: Potencial de Geração de Bioenergia nos municípios da Região Sudeste	16
Figura 5: Configurações Topping e Bottoming	17
Figura 6: Complementaridade da Hidroeletricidade com o Setor Sucroenergético	22
Figura 7: Central de Cogeração e suas Demandas	31

Lista de Tabelas

Tabela 1: Legenda	4
Tabela 2: Empreendimentos em Operação	5
Tabela 3: Empreendimentos em Construção	5
Tabela 4: Empreendimentos Outorgados	5
Tabela 5: Área mecanizável sujeita a eliminação da queima	9
Tabela 6: Área não-mecanizável sujeita a eliminação da queima	9
Tabela 7: Perfil das Emissões nos Países Selecionados (2005)	24

Resumo

A bioeletricidade sucroenergética apresenta vantagens inerentes a uma fonte de energia renovável e assume dimensões de destaque nos cenários internacional e nacional diante da necessidade global de se reduzir a emissão de carbono e contribuir para o desenvolvimento sustentável. O objetivo deste trabalho é discutir e apresentar a bioeletricidade sucroenergética como uma alternativa viável a ser melhor explorada para a complementação do componente de geração hídrica na matriz elétrica brasileira. Desse modo, analisam-se as principais características do sistema energético do Brasil para a discussão do potencial de fontes de biomassa para diversificação da matriz elétrica a partir de sistemas de cogeração.

Palavras Chave: Bioeletricidade. Matriz elétrica. Cogeração.

Abstract

Renewable sources of energy are assuming greater importance in Brazil as well as in the international contexts given the need to reduce global carbon emissions and to contribute to sustainable development. The purpose of this monograph is to explore the viability of sugar- and ethanol-based bio-electricity to complement the hydroelectric (or hydropower) component of Brazil's energy matrix. Bio-electricity has the advantages of being a renewable energy source that is also well suited to Brazil's climate and existing product mix. It also facilitates the more utilization of byproducts in current production systems for biofuels. The main features of the energy system in Brazil will be analysed here in order to identify potential sources of biomass to diversify the sources of our energy matrix through the deployment of cogeneration systems.

Sumário

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Capítulo 1 - Introdução	1
Capítulo 2 - Sistema Elétrico Brasileiro	3
2.1 - Histórico do Sistema Elétrico Brasileiro.....	3
2.2 - Características do Sistema Elétrico Brasileiro.....	4
2.2.1 – Dimensões.....	4
2.2.2 - Geração	4
2.2.3 - Transmissão.....	6
2.2.4 - Distribuição.....	6
Capítulo 3 - Características da biomassa.....	7
3.1 – Cana-de-açúcar	7
3.2 - Colheita da cana-de-açúcar.....	8
3.3 – Biomassa	10
3.4 - Oferta da biomassa.....	11
3.5 - Setor sucroenergético.....	11
Capítulo 4 - Cogeração	14
4.1 - Definição	14
4.2 - Formas de cogeração.....	16
4.3 - Tipos de máquinas térmicas utilizadas na cogeração.....	17
4.3.1 - Turbinas a vapor	17
4.3.2 - Turbinas a gás	18
4.3.3 - Caldeiras	19
4.3.4 - Motores alternativos	20
4.4 - Gaseificação.....	20
4.5 - Pirólise.....	21
4.6 - A Complementaridade da Bioeletricidade no Sistema Elétrico Brasileiro	21
4.7 - Fonte de Geração Distribuída	22
Capítulo 5 - Sustentabilidade Ambiental.....	24
5.1 - Créditos de Carbono	24

5.2 - Proálcool.....	26
Capítulo 6 – Aspectos Legais e Regulatórios	27
6.1 - Produtor Independente de Energia Elétrica e Autoprodutor de Energia Elétrica	27
6.1.1 - Produtor Independente.....	27
6.1.2 - Autoprodutor	28
6.2 - Operação isolada	28
6.3 - Operação interligada.....	29
6.4 - Operação integrada	29
6.5 - Mercado livre de energia.....	29
6.6 - Conexão da central à Rede	30
6.7 - A interligação da central.....	31
6.8 - Exportação dos excedentes de energia elétrica.....	32
6.9 - Outorga da central de cogeração	33
6.10 - Cogeração qualificada.....	35
Capítulo 7 - Conclusão	37
Referências Bibliográficas.....	39

Capítulo 1 - Introdução

A predominância hídrica na formação da matriz elétrica brasileira coloca o Brasil em uma posição privilegiada em relação ao resto do mundo no que toca à sustentabilidade ambiental. A maioria dos países busca hoje o aumento da participação de fontes renováveis de energia em suas respectivas matrizes elétricas para expandir a oferta de energia e ao mesmo tempo mitigar as emissões de gases do efeito estufa.

Entretanto, o perfil ímpar da matriz brasileira não significa que o Brasil não necessite promover investimentos em fontes alternativas e renováveis de energia, como a bioeletricidade sucroenergética. O adequado entendimento da necessidade de inserção de fontes renováveis e alternativas na matriz brasileira passa por compreender que o modelo de geração de energia fundamentado em hidroelétricas com grandes reservatórios tende ao esgotamento.

Os limites são dados pela atual e restritiva legislação ambiental que permite, no máximo, a construção de novas hidroelétricas sem formação de reservatórios significativos. Desta forma, a diversificação do parque gerador, sobretudo com a presença de fontes de energia complementares ao parque hídrico, é um dado concreto e irreversível na evolução do sistema elétrico brasileiro nas próximas décadas.

Frente a este processo de evolução, se faz necessário analisar quais as fontes alternativas que devem ser contratadas prioritariamente nos próximos anos.

A contratação de fontes de energia intrinsecamente complementares à geração hídrica, que simultaneamente contribuam para a manutenção do perfil limpo da matriz elétrica brasileira é a alternativa mais estratégica para o futuro energético brasileiro. Entre estas fontes destaca-se a bioeletricidade sucroenergética, em função basicamente das seguintes qualificações:

- i. Competitividade em termos de custos,
- ii. Complementaridade sazonal com relação ao regime de chuvas,
- iii. Maturidade da indústria sucroenergética,
- iv. Contribuição na redução de emissões de gases do efeito estufa e

v. Proximidade ao centro de carga.

O objetivo deste trabalho é analisar e demonstrar a importância da bioeletricidade sucroenergética para a manutenção das principais características da matriz elétrica possibilitando garantir a segurança do suprimento, a competitividade da economia nacional e a sustentabilidade ambiental.

A bioeletricidade sucroenergética apresenta vantagens inerentes a uma fonte de energia renovável, gerada através do eficiente processo de co-geração, utilizando como insumo energético os resíduos de biomassa originados na produção de etanol e de açúcar. Paralelamente, a bioeletricidade permite vantagens adicionais para o Brasil, como a geração de renda e emprego no campo, estímulo à indústria de bens de capital e poupança de divisas, sendo esta última pelo fato de que o coeficiente de importação é próximo de zero, dispensando tanto a importação de equipamentos quanto de combustíveis.

Capítulo 2 - Sistema Elétrico Brasileiro

2.1 - Histórico do Sistema Elétrico Brasileiro

Com o aumento das atividades industriais e o avanço da urbanização, o Brasil presenciou uma grande expansão de sua matriz elétrica no decorrer do século XX. Em 1960, a potência instalada estimada era, de acordo com o Departamento de Organização e Documentação da Eletrobrás, de 3.642 MW e esse valor continuava a aumentar. No ano de 1962, a Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobrás) foi criada com o intuito de promover estudos, projetos de construção e operação de usinas geradoras, linhas de transmissão e subestações para suprir a demanda elétrica do país.

O primeiro choque internacional de preços do petróleo em 1973 representou um impulso para que novos investimentos fossem realizados na área de geração de energia. Usinas hidrelétricas, como as de Itaipu e Tucuruí, além das usinas nucleares de Angra dos Reis, tiveram seus projetos iniciados nessa época. Entre 1973 e 1982 a potência cresceu duas vezes e meia e alcançou a marca de 39.000 MW, com a conclusão de obras como as hidrelétricas de Ilha Solteira, Itumbiara, Paulo Afonso IV e São Simão.

O início da década de 1990 ficou marcado pelo início do funcionamento de importantes usinas hidrelétricas, como Itaipu e Tucuruí. Em 1997, começa a funcionar a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e no ano de 1998, com a implantação da linha de transmissão entre Imperatriz, no Maranhão e Samambaia, no Distrito Federal, se efetivou a interligação Norte-Sul do sistema elétrico brasileiro por meio de uma rede de 1300 km de extensão.

O governo federal, após as privatizações do setor elétrico, de 1995, criou o Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE), responsável pela livre negociação da energia elétrica disponível, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), órgão regulador e fiscalizador do setor elétrico, além do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), órgão que tem a responsabilidade de operar e promover a otimização do Sistema Interligado Nacional (SIN).

A atividade de produção de energia no século XXI tem como principal bandeira o desenvolvimento sustentável, conceito que alia expansão da oferta, consumo consciente, preservação do meio ambiente e melhoria da qualidade de vida. O desafio

é suprir as necessidades atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações.

2.2 - Características do Sistema Elétrico Brasileiro

2.2.1 – Dimensões

O Brasil, um país com população estimada em quase 192 milhões de habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), é o quinto país mais populoso do mundo. Em 2008, cerca de 95% da população tinha acesso à rede elétrica. Segundo dados divulgados pela Aneel, o país conta com mais de 61,5 milhões de unidades consumidoras em 99% dos municípios brasileiros.

2.2.2 - Geração

Devido a sua grande extensão territorial e potencial hídrico, o Brasil é um país com uma matriz elétrica concentrada em hidrelétricas. Como consta no Banco de Informações de Geração (BIG) da Aneel, o Brasil possui 2.129 empreendimentos de geração de energia em operação totalizando uma potência de 105.744.675 kW. (novembro de 2009).

A tabela 1 apresenta a legenda das siglas que serão usadas posteriormente.

Tabela 1 - Legenda

Legenda	
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGU	Central Geradora Undi-Elétrica
EOL	Central Geradora Eolielétrica
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SOL	Central Geradora Solar Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UTE	Usina Termelétrica de Energia
UTN	Usina Termonuclear

A tabela 2 mostra o cenário no qual a geração hidrelétrica domina a maior parte da fatia da potência instalada.

Tabela 2 - Empreendimentos em Operação

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	300	170.224	168.623	0,16
EOL	36	605.280	602.284	0,57
PCH	352	2.941.464	2.881.712	2,73
SOL	1	20	20	0
UHE	163	75.250.127	75.210.474	71,12
UTE	1.275	27.197.710	24.874.562	23,52
UTN	2	2.007.000	2.007.000	1,90
Total	2.129	108.171.825	105.744.675	100

Nota-se que, pouco mais de 20% da energia é gerada por Usinas Termoelétricas. Porém podemos notar uma mudança deste cenário na tabela 3.

Tabela 3 - Empreendimentos em Construção

Empreendimentos em Construção				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%	
CGH	1	848	0	
EOL	10	256.450	1,37	
PCH	73	1.034.668	5,54	
UHE	20	10.539.800	56,45	
UTE	70	6.838.425	36,63	
Total	174	18.670.191	100	

Percebe-se ainda uma tendência de aumento na fatia correspondente à geração a partir das usinas termoelétricas nos empreendimentos em construção. Na tabela 4 se observa uma mudança significativa em todos os tipos de empreendimentos geradores.

Tabela 4 – Empreendimentos Outorgados

Empreendimentos Outorgados entre 1998 e 2009 (não iniciaram sua construção)				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	%	
CGH	70	46.660	0,23	
CGU	1	50	0	
EOL	45	2.139.793	10,57	
PCH	154	2.136.848	10,56	
SOL	1	5.000	0,02	
UHE	11	2.190.000	10,82	
UTE	159	13.722.522	67,80	
Total	441	20.240.873	100	

Essa tabela mostra uma mudança nos empreendimentos futuros, cuja maior parcela é de origem termoelétrica, além do aumento das fontes alternativas de energia.

2.2.3 - Transmissão

O segmento de transmissão no Brasil é composto (2008) por mais de 90 mil quilômetros de linhas e operado por 64 concessionárias (Aneel).

A grandiosidade do setor de transmissão do Brasil é explicada pela configuração do segmento de geração, constituído, na maior parte, de usinas hidrelétricas instaladas em localidades distantes dos centros de carga. Esse sistema é constituído por dois grandes blocos, o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange a quase totalidade do território brasileiro, e os Sistemas Isolados, instalados principalmente na região Norte.

A responsabilidade pela coordenação do SIN fica a cargo do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), realizada pelas companhias geradoras e transmissoras, sob a fiscalização e regulação da Aneel. O maior benefício da integração desse sistema é a possibilidade de troca de energia elétrica entre as regiões. Essa troca de energia é possível pelo fato de essas usinas hidrelétricas estarem em regiões com diferentes regimes hidrológicos.

2.2.4 - Distribuição

O mercado de distribuição de energia elétrica, é formado por 63 concessionárias. As distribuidoras são empresas que funcionam como elo entre o setor de energia elétrica e a sociedade, visto que suas instalações recebem das companhias de transmissão todo o suprimento destinado ao abastecimento do país.

A energia elétrica trafega nas linhas de transmissão com tensões que variam de 88kV a 750kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a tensão é abaixada à 127V ou 220V, com exceção às unidades industriais que operam com tensões mais elevadas e recebem energia elétrica diretamente da subestação da distribuidora.

Capítulo 3 - Características da biomassa

3.1 – Cana-de-açúcar

Desde a introdução das primeiras mudas de cana-de-açúcar, em 1532, e no transcorrer de dois séculos, o açúcar foi o principal produto brasileiro. Há cerca de 50 anos o setor ensaiou o início de sua transformação. Além do açúcar, as usinas começaram a ter foco na produção de etanol e, ainda mais recentemente, a atenção voltou-se à cogeração de energia a partir da biomassa e à comercialização de créditos de carbono. Isso tudo foi possível a partir do emprego de tecnologias avançadas que aumentam a produtividade e reduzem custos, uma vez que a ordem do dia é a competitividade.

A partir do processo de industrialização da cana de açúcar, conseguem-se vários produtos como o açúcar, álcool, vinhoto e bagaço.

A cana de açúcar é composta pelo colmo, folhas e os ponteiros. A partir do colmo é extraído o caldo, principal matéria prima da indústria sucroalcooleira. Depois da extração do caldo, a biomassa formada pelas fibras moídas da cana de açúcar, chamada bagaço, resulta como subproduto do processo de obtenção do caldo.

Esse bagaço, tratado como resíduo por muito tempo, adquiriu na década de 1980 uma posição de insumo energético de grande potencial, sendo o principal combustível usado na cogeração de energia.

Outras partes da cana de açúcar que não eram aproveitadas são as folhas e as pontas. Anteriormente ambas eram queimadas para facilitar o corte, mas com a aprovação da lei que prevê a eliminação gradativa da queima da palha, a mecanização do corte da cana será uma constante. Essas partes estão sendo utilizadas como adubo orgânico na própria plantação de cana de açúcar e também como combustível nos fornos e caldeiras das usinas.

A safra 2008/09 de cana de açúcar foi recorde, atingindo a produção de 568,96 milhões de toneladas e uma área plantada de aproximadamente 8,5 milhões de hectares. O estado de São Paulo foi responsável por 68,6% da moagem de cana da região Centro-Sul. O estado cuja produção teve maior aumento nos últimos cinco anos foi Minas Gerais, com um crescimento de 1,8%, seguido pelo estado de Goiás, com

um crescimento de 1,6%. Os dados são da UNICA – União da Indústria de cana de açúcar.

A figura abaixo destaca as principais regiões de cultivo da cana de açúcar no Brasil. Desmitifica-se, assim, a visão internacional segundo a qual o tipo de cultura estaria contribuindo para o desmatamento da floresta Amazônica.

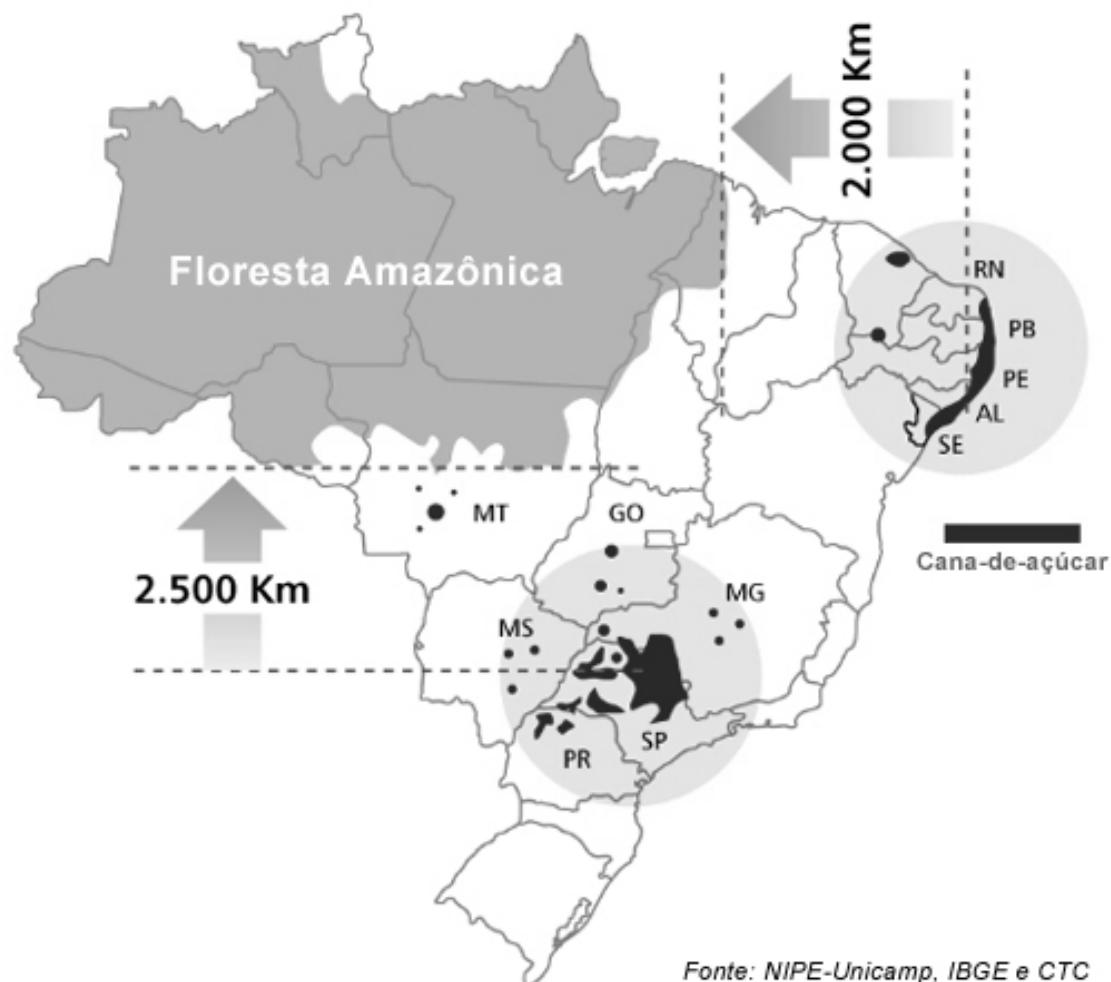


Figura 1– Locais de cultivo da cana-de-açúcar

3.2 - Colheita da cana-de-açúcar

A lei número 11.241 de setembro de 2002, dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas:

Artigo 1º - Esta lei dispõe sobre a eliminação do uso do fogo como método despalhador e facilitador do corte da cana-de-açúcar.

Artigo 2º - Os plantadores de cana-de-açúcar que utilizem como método de pré-colheita a queima da palha são obrigados a tomar as providências necessárias para reduzir a prática, observadas as tabelas 5 e 6:

Tabela 5 – Área mecanizável sujeita a eliminação da queima

ANO	ÁREA MECANIZÁVEL ONDE NÃO SE PODE EFETUAR A QUEIMA DA QUEIMA	PERCENTAGEM DE ELIMINAÇÃO
1º ano (2002)	20% da área cortada	20% da queima eliminada
5º ano (2006)	30% da área cortada	30% da queima eliminada
10º ano (2011)	50% da área cortada	50% da queima eliminada
15º ano (2016)	80% da área cortada	80% da queima eliminada
20º ano (2021)	100% da área cortada	Eliminação total da queima

Tabela 6 – Área não mecanizável sujeita a eliminação da queima

ANO	ÁREA NÃO MECANIZÁVEL, COM PERCENTAGEM DE ELIMINAÇÃO DECLIVIDADE SUPERIOR A 12% E/OU DA QUEIMA MENOR DE 150ha (cento e cinqüenta hectares)	ONDE NÃO SE PODE EFETUAR A QUEIMA
10º ano (2011)	10% da área cortada	10% da queima eliminada
15º ano (2016)	20% da área cortada	20% da queima eliminada
20º ano (2021)	30% da área cortada	30% da queima eliminada
25º ano (2026)	50% da área cortada	50% da queima eliminada
30º ano (2031)	100% da área cortada	100% da queima eliminada

Para os efeitos desta lei consideram-se:

1 - áreas mecanizáveis: as plantações em terrenos acima de 150 hectares, com declividade igual ou inferior a 12%, em solos com estruturas que permitam a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade de corte de cana;

2 - áreas não-mecanizáveis: as plantações em terrenos com declividade superior a 12%, em demais áreas com estrutura de solo que inviabilizem a adoção de técnicas usuais de mecanização da atividade de corte de cana.

A referida lei, que entrou em vigor em 2002, tem como objetivo melhorar a qualidade de vida da população que vive próxima às áreas do plantio da cana-de-áçúcar, além de contribuir com a boa qualidade do meio ambiente. Algumas cidades já estão implementando a lei em escala ampla: as cidades de São José do Rio Preto, Limeira e Paulínia.

3.3 – Biomassa

Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica - de origem animal ou vegetal - que pode ser utilizada na produção de energia. Da mesma forma que outras fontes renováveis de energia, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. Através da fotossíntese, a energia solar é convertida em energia química e armazenada na forma de matéria orgânica.

A principal vantagem da biomassa é que, apesar de ter uma baixa eficiência relativa, o seu aproveitamento pode ser feito diretamente na combustão em caldeiras e fornos. Com o intuito de aumentar a sua eficiência e reduzir impactos ambientais, novas tecnologias estão sendo aperfeiçoadas e desenvolvidas, tais como a gaseificação e a pirólise.

O grande obstáculo para a geração de energia a partir de biomassa é o significativo investimento inicial, explicado por dois motivos. Primeiramente, o porte das instalações não pode ser muito elevado devido ao custo do transporte da biomassa até a central geradora, pois a biomassa tem densidade baixa. O segundo ponto em destaque é o fator escala o qual faz uso da tecnologia com ciclos a vapor. Desta forma, os investimentos específicos são mais elevados conforme o gráfico da figura 2, construído a partir de dados de fabricantes de equipamentos.

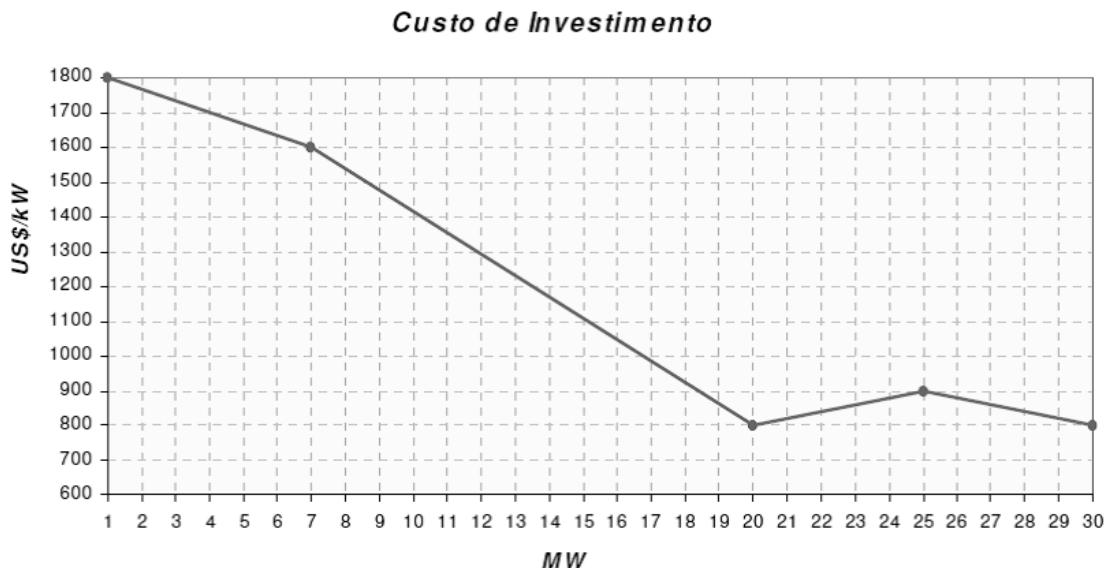


Figura 2 – Gráfico do Custo de Investimento

3.4 - Oferta da biomassa

A biomassa, mesmo com participação restrita em leilões regulados, já representa quase 5% da oferta interna de energia elétrica. A informação foi divulgada em outubro pelo presidente da União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA), Marcos Jank, durante o seminário "Integração da Bioeletricidade na Matriz Elétrica - Oportunidade de Oferta e Cenários para 2010 e 2011".

Segundo Jank, a eletricidade a partir da biomassa poderá atingir 10.158 MW médios exportados até a safra 2017/18, o que indica uma reserva de energia para o sistema elétrico. Para que toda essa reserva de bioeletricidade seja realmente utilizada é preciso adotar iniciativas que integrem uma política setorial adequada, dentre elas uma maior regularidade nos leilões específicos para essa fonte energética. Nota-se que a modernização das instalações térmicas em usinas antigas é também uma promissora iniciativa de integração.

3.5 - Setor sucroenergético

O Decreto No. 3371 do Ministério de Minas e Energia de 24 de fevereiro de 2000 instituiu o Programa Prioritário de Termoelétricidade no país, visando a implantação de usinas termelétricas a gás natural e outros combustíveis,

correspondendo a 19 000 MW instalados. Para tal, as seguintes políticas de incentivo foram introduzidas:

- i - Garantia de suprimento de gás natural a US\$ 2,26/MMBTU por 20 anos
- ii - Garantia de aplicação do valor normativo para gás natural (R\$ 57,20/MWh) por 20 anos
- iii - Garantia de financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para os Produtores Independentes de Energia (PIE)

Tendo em vista as vantagens ambientais da biomassa como fonte de energia, principalmente pelo balanço praticamente nulo das emissões de carbono, e se considerando o interesse de investidores de países desenvolvidos devido ao Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (dentro do Protocolo de Quioto), medidas semelhantes deveriam ser introduzidas para a geração a partir de biomassa, principalmente o bagaço de cana. O enorme potencial existente no estado de São Paulo realça esta afirmação.

Entretanto, os avanços do setor sucroenergético não ficaram restritos somente à tecnologia. Atualmente, as usinas brasileiras também estão comprometidas com as questões sociais e ambientais. Melhorar a qualidade de vida dos trabalhadores, racionalizar o uso da terra e da água e preservar ecossistemas faz parte dessa nova fase do setor sucroenergético brasileiro, que é um dos grandes geradores de empregos no país.

Ainda é necessário convencer os críticos internacionais de que o aumento da produção brasileira de cana-de-açúcar não acontece sobre as áreas de floresta. É necessário, também, destacar o regular fornecimento de etanol em condições sustentáveis da produção. A sociedade brasileira precisa ser devidamente informada que existem outros benefícios além da economia financeira quando se opta pelo etanol no abastecimento do veículo.

O setor sucroenergético gerou um faturamento de US\$ 11.509,75 milhões na safra 2008/09 ao beneficiar 568,96 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. O valor médio da tonelada de cana na safra 2008/09 foi de US\$ 20,23 (UNICA).

A cana-de-açúcar movimenta uma cadeia produtiva brasileira, como a venda de fertilizantes, defensivos agrícolas, tratores, colheitadeiras e caminhões pesados. As

vendas de fertilizantes usados na cultura da cana-de-açúcar atingiram 14% das vendas totais, ficando atrás apenas das culturas de soja e milho. Esse aumento das vendas foi impulsionado pelo aumento da área plantada, assim como na compra de defensivos agrícolas.

Aproximadamente 4.000 tratores foram comercializados para o setor sucroenergético no ano de 2008, além de 981 colheitadeiras, em torno de 22% do total vendido no país. Essas vendas também impulsionam o mercado de mão-de-obra, de peças e manutenção. No seguimento de caminhões pesados, cerca de 5% das vendas tiveram como destino o setor sucroenergético. Esses caminhões transportam tanto a cana-de-açúcar quanto o etanol.

Capítulo 4 - Cogeração

4.1 - Definição

Segundo a Eletrobrás, a cogeração é o processo de produção simultânea de energia térmica para calor de processo e energia elétrica ou mecânica a partir de um combustível.

Outra definição, de acordo com a Aneel é: o processo operado numa instalação específica para fins da produção combinada das utilidades calor e energia mecânica, esta geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia disponibilizada por uma fonte primária, observando que:

- a) a instalação específica denomina-se central termelétrica cogeradora, cujo ambiente não se confunde com o processo ao qual está conectada, sendo que, excepcionalmente e a pedido do interessado, a cogeração poderá alcançar a fonte e as utilidades no processo, além das utilidades produzidas pela central termelétrica cogeradora a que está conectado, condicionando aquelas à exeqüibilidade de sua completa identificação, medição e fiscalização, a critério exclusivo da ANEEL; e
- b) a obtenção da utilidade eletromecânica ocorre entre a fonte e a transformação para obtenção da utilidade calor."

O bagaço da cana-de-açúcar passou a ser aproveitado na produção de energia no processo de cogeração. As utilidades produzidas em uma central de cogeração são a energia térmica (vapor, água quente e água gelada) e a energia eletromecânica (acionamentos mecânicos e energia elétrica). A energia mecânica pode ser transformada em eletricidade por meio de geradores. A energia térmica pode ser utilizada como fonte de calor em um processo industrial. Essas utilidades podem ser consumidas no local da planta ou adjacente a mesma, na grande maioria dos casos, sendo que a única que propicia seu consumo remoto a grandes distâncias é a energia elétrica.

Inicialmente a cogeração de energia tinha o intuito de gerar energia somente para a própria usina, mas recentemente, com a utilização de tecnologias mais eficientes, foi possível produzir eletricidade para a venda. Essa energia excedente comercializável colocou o setor sucroenergético no foco de atenção mundial.

A figura 3 mostra em detalhes as partes de uma planta de cogeração.

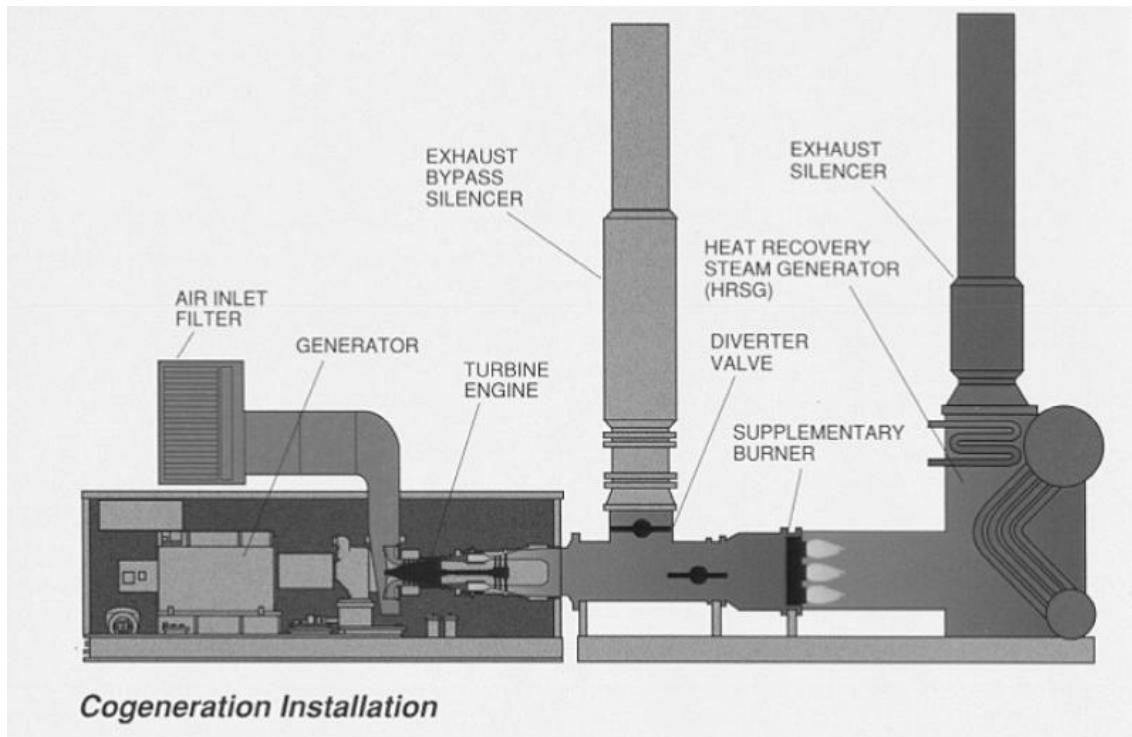


Figura 3 – Planta de Cogeração

A figura 4 mostra o potencial de geração de energia por biomassa nos municípios da região Sudeste. A maior concentração deste potencial está localizada na região nordeste do Estado de São Paulo. Temos ainda um grande potencial na região Oeste desse mesmo Estado. As regiões norte dos Estados do Rio de Janeiro e do Espírito Santo também possuem um potencial significativo.

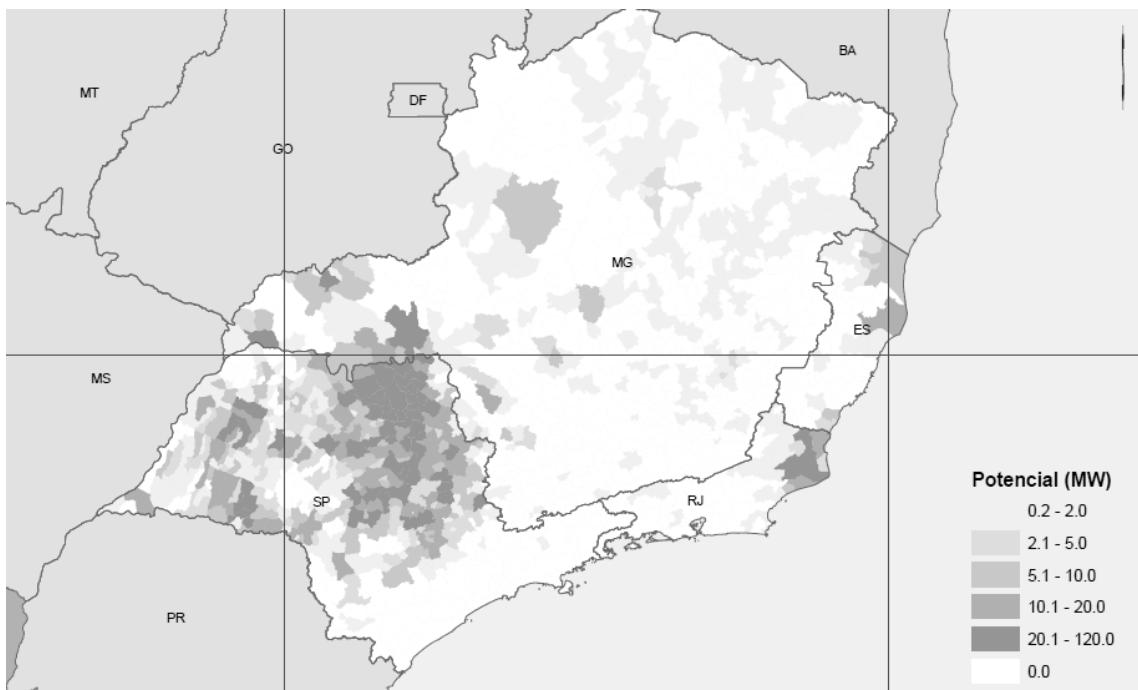


Figura 4 – Potencial de Geração de Bioenergia nos municípios da Região Sudeste

4.2 - Formas de cogeração

Existem duas formas de cogeração em relação à sequência de geração. A primeira é a geração eletromecânica e depois térmica (*topping*), e a segunda é o inverso, geração posterior de energia eletromecânica (*bottoming*).

Topping: é o primeiro aproveitamento da energia disponibilizada pelo combustível, que se dá para a geração de energia eletromecânica (altas temperaturas), e, em seguida, para o aproveitamento de calor útil.

Quando o combustível é queimado em um gerador de vapor que é utilizado para gerar potência em um turbo gerador e o calor rejeitado pela turbina é empregado no processo produtivo, temos a configuração *topping*.

No setor sucroalcooleiro e na indústria química que utiliza o gás natural, esta é a configuração mais utilizada nos sistemas de cogeração.

Bottoming: o primeiro aproveitamento da energia disponibilizada pelo combustível se dá para o aproveitamento de calor útil a elevadas temperaturas, e em seguida para a geração de energia eletromecânica.

A indústria cimenteira utiliza esta configuração, através da qual o calor primeiramente aquece uma fornalha e o calor residual de baixa temperatura é utilizado para gerar eletricidade.

O processo de escolha do tipo de configuração de cogeração a ser utilizada deve levar em conta as necessidades elétricas e térmicas de cada aplicação.

A figura 5 mostra as faixas de temperatura das duas configurações de cogeração.

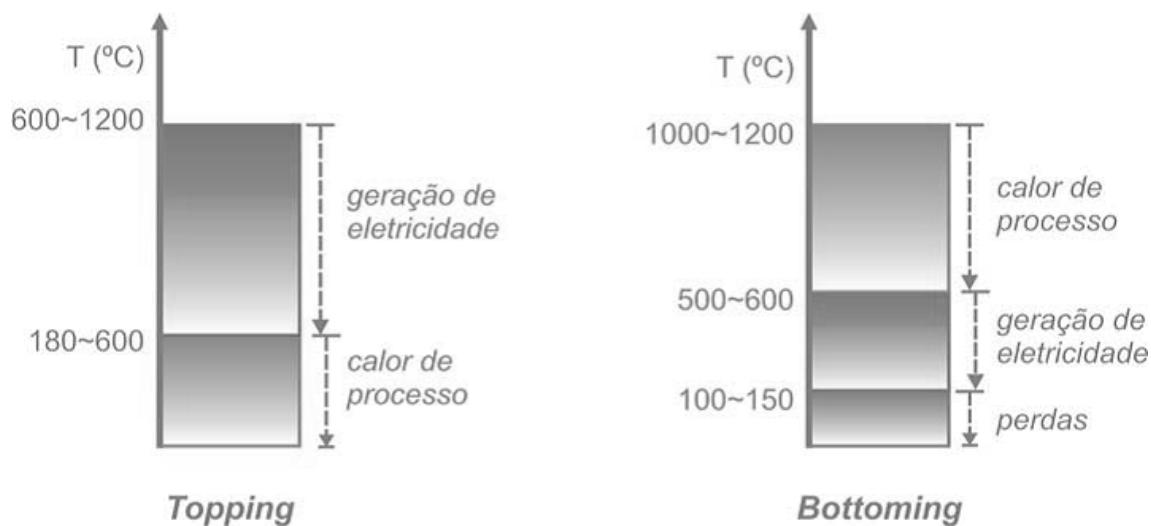


Figura 5 – Configurações *Topping* e *Bottoming*

4.3 - Tipos de máquinas térmicas utilizadas na cogeração

Existem várias possibilidades de arranjos de equipamentos disponíveis para as plantas de cogeração. Desde simples turbinas acopladas a caldeiras, até sistemas mais complexos. Turbinas a vapor, turbinas a gás, caldeiras e motores alternativos são os tipos de equipamentos que serão detalhados a seguir.

4.3.1 - Turbinas a vapor

As turbinas a vapor são máquinas de combustão externa. Os gases resultantes da queima do combustível não entram em contato com o fluído de trabalho que escoa no interior da máquina e realiza os processos de conversão da energia do combustível em potência de eixo. Por esta maneira, apresentam uma flexibilidade em relação ao combustível a ser utilizado, podendo usar inclusive aqueles que deixam resíduos sólidos (cinzas) durante a queima.

Como as turbinas a vapor são máquinas de combustão externa, o calor necessário para a ebulação do condensado e para o superaquecimento posterior deve ser transferido dos produtos de combustão ao fluído de trabalho através das serpentinhas no interior da caldeira.

O trabalho mecânico realizado pela máquina pode ser o acionamento de um equipamento qualquer, como, por exemplo, um gerador elétrico, um compressor, uma bomba. A energia não utilizada, que permanece no vapor descarregado pela máquina, é, em muitos casos, simplesmente rejeitada para o ambiente, em um condensador. Em outras situações, entretanto, é possível aproveitar o vapor descarregado pela máquina para fins de aquecimento. Aproveitam-se, assim, suas energias residuais, melhorando, em consequência, de forma significativa o rendimento global do ciclo.

4.3.2 - Turbinas a gás

As turbinas a gás (TG) são máquinas pertencentes ao grupo de motores de combustão interna e sua faixa de operação vai desde pequenas potências como nas micro-turbinas a gás até grandes potências.

Elas possuem a vantagem de ter pequeno peso e volume além de ocuparem pouco espaço em relação às outras máquinas térmicas. Devido a esses fatores e a sua versatilidade, seu uso está em considerável crescimento nos últimos anos.

As turbinas a gás também possuem uma vantagem bastante grande quando comparadas aos motores alternativos devido a não haver movimentos alternativos, diminuindo o atrito entre superfícies sólidas como a que ocorre entre as camisas dos cilindros e pistões.

Quando comparadas com as turbinas a vapor, as turbinas a gás possuem a vantagem de não necessitar de fluido refrigerante facilitando sua instalação. Assim, elas apresentam alta confiabilidade.

Geralmente as turbinas a gás são denominadas pelo seu conjunto completo formado por três componentes principais: o compressor, responsável pela elevação de pressão, o aquecedor do fluido de trabalho (combustor) e a turbina propriamente dita.

Seu campo de aplicação é bastante variado, podendo ser aplicado como elemento propulsor de aviões e navios e como acionamento mecânico em bombeamento, bem como na geração de eletricidade. As turbinas a gás são atualmente os equipamentos que mais tem se difundido nas instalações que necessitam de calor para o processo ou uma grande quantidade de eletricidade obtida em sistemas de cogeração que disponham de gás natural.

Como desvantagens das turbinas a gás têm-se: o baixo rendimento e a alta rotação, fatores bastante desfavoráveis no caso de aplicação industrial.

4.3.3 - Caldeiras

É um aparelho térmico que produz vapor a partir do aquecimento de um fluido vaporizante. Entre elas temos:

i - Caldeiras de vapor: são os geradores de vapor mais simples, queimam algum tipo de combustível como fonte geradora de calor.

ii - Caldeiras de recuperação: são aqueles geradores que não utilizam combustível como fonte geradora de calor, aproveitando o calor residual de processos industriais (gás de escape de motores, gás de alto forno, de turbinas, etc.).

iii - Caldeiras de água quente: são aqueles em que o fluido não vaporiza, sendo o mesmo aproveitado em fase líquida (como em calefação e processos químicos).

iv - Geradores reatores nucleares: são aqueles que produzem vapor utilizando como fonte de calor a energia liberada por combustíveis nucleares (urânio enriquecido).

4.3.4 - Motores alternativos

Os motores alternativos de combustão interna são máquinas que transformam a energia térmica de um combustível em energia mecânica através do acionamento de pistões confinados em cilindros. Os ciclos de operação mais comumente utilizados são o Diesel e Otto.

O motor alternativo é, dentre todas as máquinas térmicas conhecidas para geração de eletricidade, a que melhor converte a energia contida em combustíveis líquidos e gasosos em potência mecânica. Este tipo de equipamento alcança atualmente rendimentos, em determinadas condições, superiores a 45% conseguindo mantê-lo praticamente constante em uma faixa de 50 a 100% de carga.

Com a crescente participação do gás natural na matriz energética mundial, os motores alternativos começaram a ser desenvolvidos especialmente para a utilização desse insumo. Atualmente esses equipamentos apresentam um alto desempenho elétrico, térmico e baixo nível de emissões utilizando sistemas de controle e geração elétricos totalmente integrados.

4.4 - Gaseificação

A gaseificação consiste na conversão de qualquer combustível sólido ou líquido em um gás energético. Esse processo é realizado através da oxidação parcial a elevadas temperaturas. Esta conversão pode ser realizada em vários tipos de reatores, chamados gaseificadores. O processo de gaseificação ocorre normalmente em quatro etapas físico-químicas distintas, com temperaturas de reação diferentes: secagem da biomassa, pirólise, redução e combustão.

O processo de gaseificação de combustíveis é conhecido desde o século passado. Durante muito tempo, ficou praticamente estagnado, como consequência da grande quantidade de petróleo disponível no mercado e a baixos preços. Essa tecnologia foi amplamente utilizada no período das guerras mundiais, em razão da dificuldade de acesso aos combustíveis tradicionais.

Com os sucessivos choques do petróleo, a gaseificação voltou a ser um processo procurado, especialmente de carvão, madeira e carvão vegetal. No inicio da década de 90, resíduos agrícolas e bagaço da cana-de-açúcar foram utilizados na gaseificação.

Mais recentemente, as pressões ambientais sob as termelétricas a carvão, associadas à necessidade de atender as demandas por energia elétrica nos países em desenvolvimento, têm produzido um esforço mundial significativo para o desenvolvimento comercial da tecnologia da gaseificação aplicada à geração de energia elétrica em centrais de elevada potência.

4.5 - Pirólise

A pirólise, também conhecida como carbonização é um processo de conversão de um combustível (lenha) para outro de melhor conteúdo energético (carvão). Esse é um processo muito simples e antigo. Consiste em aquecer o material original a altas temperaturas em um ambiente com pouco ar, até que o material volátil seja retirado. O produto final tem densidade energética maior que a do material original.

Esse processo também pode ser empregado para aproveitar resíduos vegetais, como o bagaço da cana-de-açúcar. Primeiro é necessário que os resíduos sejam compactados e transformados em briquetes. Esses briquetes possuem maior poder calorífico e consequentemente tem maior eficiência na geração de energia.

4.6 - A Complementaridade da Bioeletricidade no Sistema Elétrico Brasileiro

Somente a inclusão da bioeletricidade na matriz energética por si só já iria contribuir para o aumento da segurança do suprimento de energia, devido ao efeito da diversificação da matriz e do aumento do potencial gerador. Entretanto, a característica mais benéfica é a sua complementaridade com relação ao regime hidrológico do subsistema Sudeste – Centro Oeste, onde está localizado 70% da capacidade dos reservatórios do país. A safra sucroenergética acontece entre os meses de abril e novembro, coincidindo com o período seco nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste. A figura 6 ilustra o ritmo da moagem de cana-de-açúcar com a energia natural afluente (ENA) do sistema hidrogerador.

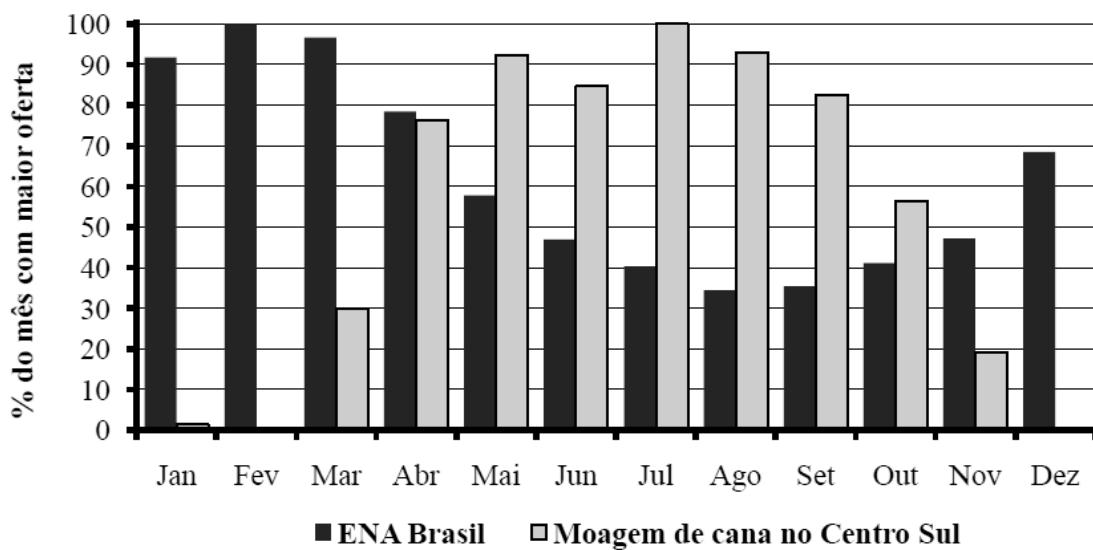


Figura 6 – Complementaridade da Hidroeletricidade com o Setor Sucroenergético

Fontes: Site do ONS (www.ons.org.br) e Unica. Dados elaborados a partir do histórico da operação em 2008 (ENA) e pela moagem de cana da safra 2007/2008 no Centro Sul.

Essa bioeletricidade sucroenergética constitui uma fonte de energia de grande relevância para complementar o parque gerador hídrico. De acordo com o ONS, 1.000 MW médios de bioeletricidade inseridos no SIN durante o período seco, representam a poupança de 4% dos reservatórios do subsistema Sudeste – Centro-Oeste.

4.7 - Fonte de Geração Distribuída

A bioeletricidade é uma fonte de geração distribuída pelo fato de estar localizada nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste, próxima da principal centro de carga do país. Esta proximidade reduz a necessidade de expansão da transmissão, o que é um benefício ambiental (redução das perdas no sistema de transmissão) e também econômico (redução da necessidade de investimentos de expansão do sistema de transmissão). A bioeletricidade pode até ser escoada diretamente pela rede de distribuição, sem necessidade de reforços da rede básica, em altíssima tensão. Desta forma, constata-se que a bioeletricidade é uma fonte de energia compatível com o novo paradigma tecnológico do setor elétrico, que dá grande ênfase à exploração dos nichos de geração distribuída.

A bioeletricidade utiliza um insumo nacional, a cana-de-açúcar, diferente dos outros tipos de unidades geradoras que necessitam importar combustível. Com isto se ganha não apenas em termos de economia de divisas como na redução da volatilidade do preço da energia. É fácil perceber isto nos contratos que resultaram dos leilões de energia nova: o custo da geração a óleo, a carvão importado e a gás natural é indexado ao preço *spot* (à vista) internacional destes insumos energéticos, enquanto a bioeletricidade é indexada ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA.

Capítulo 5 - Sustentabilidade Ambiental

Nossa matriz energética desfruta de um caráter ímpar em relação ao impacto ambiental causado, especialmente no que se refere às emissões de gases do efeito estufa. Porém, isso não deve ser empregado como argumento para se utilizar de fontes de energia sujas e poluentes.

Em termos mundiais, o setor energético é o maior responsável pelas emissões de gases do efeito estufa (GEE), com 48,8% do total. A tabela 7 mostra os diferentes perfis dos países no quesito emissões. O Brasil tem a sua maior parte relativa à coluna “*Land use, land-use change and forestry (LULUCF)*” - (Uso da terra, mudança do uso da terra e florestas), que inclui as queimadas. Por outro lado, as emissões do setor de energia correspondem a apenas 8,8% do total.

A categoria “Anexo I” compreende os países listados na Convenção do Clima e que assumiram compromissos de reduzir as emissões de GEE. Fazem parte desse grupo os países desenvolvidos, como os integrantes da União Européia (UE), Austrália, Canadá, Japão e Estados Unidos. O grupo “Não-Anexo I” é composto pelos países em desenvolvimento, como China, Índia e Brasil.

Região/País	Energia	Transporte	Processos industriais	Agricultura	LULUCF	Lixo	Total
Mundo	48,8	11,8	3,4	13,8	18,6	3,6	100
Anexo I	63,3	18,6	3,6	8,2	-	6,2	100
Não-Anexo I	36,9	6,1	3,2	15,6	35,1	3,0	100
China	64,6	4,6	7,9	21,4	-1,0	2,5	100
Índia	52,3	6,8	3,5	34,8	-2,2	4,8	100
Indonésia	7,9	2,0	0,5	4,0	83,6	1,9	100
Coréia do Sul	68,8	17,5	9,2	2,8	0,2	1,6	100
Brasil	8,8	5,7	1,5	20,1	62,0	1,8	100
México	50,5	16,6	3,5	8,2	15,8	5,3	100
África do Sul	73,7	9,6	2,7	10,7	0,5	2,9	100

Tabela 7 – Perfil das Emissões nos Países Selecionados (2005)

5.1 - Créditos de Carbono

A atual preocupação com o meio ambiente levou os países integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU) a assinarem um acordo que determinasse um controle sobre as intervenções humanas no clima do planeta.

Desta forma, o Protocolo de Quioto foi assinado em 1997 com o objetivo de reduzir as emissões de gases do efeito estufa entre os países signatários (Anexo I). A meta de redução foi de 5,2%, relativo às emissões de 1990 entre os anos de 2008 e 2012. Para auxiliar o cumprimento das metas existem mecanismos de flexibilização. Os países que não conseguirem atingir as metas poderão comprar créditos de outros países que tenham projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O MDL nasceu de uma proposta brasileira à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC). Trata-se do comércio de créditos de carbono baseado em projetos de seqüestro ou mitigação. O MDL é um instrumento de flexibilização que permite a participação no mercado dos países em desenvolvimento, ou nações sem compromissos de redução, como o Brasil. Os países que não conseguirem atingir suas metas terão liberdade para investir em projetos MDL de países em desenvolvimento. Através dele, países desenvolvidos comprariam créditos de carbono, em tonelada de CO₂ equivalente, de países em desenvolvimento responsáveis por tais projetos.

Existe uma série de critérios para que o projeto seja reconhecido, como: estar alinhado às premissas de desenvolvimento sustentável do país hospedeiro. Uma autoridade nacional é designada para esse reconhecimento, e após ser aprovada o projeto pode ser submetido à ONU para ser avaliado e registrado. Essa burocracia que se torna um obstáculo em alguns projetos de MDL, não representa a mesma dificuldade para os projetos de cogeração a partir do bagaço da cana-de-açúcar, pois a metodologia já foi aprovada pelos órgãos reguladores desse sistema.

A negociação de contratos futuros de crédito de carbono já ocorre na Bolsa de Chicago e em países como Canadá, República Checa, Dinamarca, França, Alemanha, Japão, Holanda, Noruega e Suécia.

Atualmente, a tonelada de carbono dos projetos de MDL é vendida em torno de US\$ 5,00 a 6,00, para projetos que obedeçam a todas as premissas do Protocolo de Quioto. Os principais compradores de créditos entre janeiro de 2004 e abril de 2005 foram o Japão (21%), a Holanda (16%), o Reino Unido (12%) e o restante da União Européia (32%). Em termos de oferta de créditos, a Índia lidera o ranking, com 31%. O

Brasil possui 13% da fatia; o restante da Ásia (inclusive China) 14%; e o restante da América Latina 22%. A participação da Índia e do restante da Ásia é expressiva por seus projetos de destruição do HFC23, gás cujo potencial de aquecimento global é 11.700 vezes maior que o do CO2 (Fonte: Biodieselbr).

5.2 - Proálcool

O Proálcool foi um programa criado pelo governo brasileiro em 1975 com o objetivo de reduzir a importação de petróleo. Naquela época, o mundo vinha passando pelo primeiro choque do petróleo. O Brasil importava 80% do petróleo consumido e, com as altas nos preços em 1973 e 1974, o valor das importações que era de US\$ 600 milhões passou para mais de US\$ 22 bilhões.

O governo concedeu incentivos à produção de álcool nas unidades açucareiras e destilarias independentes, financiou o desenvolvimento de motores apropriados na indústria automobilística e a rede de distribuição de combustível. Esse programa foi o pioneiro na substituição de derivados de petróleo no setor automotivo no mundo.

Com a oscilação dos preços do petróleo no mundo o álcool perdeu sua competitividade em alguns momentos e exigiu subsídios para que o programa continuasse. Somente em 2003 com a introdução dos motores *flex*, que podem usar gasolina, álcool, ou a mistura dos dois, foi que esse programa obteve o sucesso esperado inicialmente.

Atualmente, além de ser mais barato que a gasolina, o álcool teve reconhecimento na comunidade internacional como uma das possíveis soluções aos problemas ambientais, uma vez que suas emissões de gases causadores do efeito estufa são menores que os combustíveis fósseis.

Capítulo 6 – Aspectos Legais e Regulatórios

6.1 - Produtor Independente de Energia Elétrica e Autoprodutor de Energia Elétrica

A partir do Artigo Segundo do Decreto Nº 2.003, de 10 de setembro de 1996, considera-se:

I - Produtor Independente de Energia Elétrica, a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco;

II - Autoprodutor de Energia Elétrica, a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

6.1.1 - Produtor Independente

Segundo o Artigo 23, o produtor independente poderá comercializar a potência e/ou energia com:

I - Concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica;

II - Consumidores de energia elétrica nas condições estabelecidas nos artigos 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 1995;

III - Consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração;

IV - Conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;

V - qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias, contado da respectiva solicitação.

6.1.2 - Autoprodutor

Segundo o Artigo 27, a outorga de concessão ou de autorização a autoprodutor estará condicionada à demonstração, perante o órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, de que a energia elétrica a ser produzida será destinada a consumo próprio, atual ou projetado.

Artigo 28, mediante prévia autorização do órgão regulador e fiscalizador do poder concedente, será facultada:

I - A cessão e permuta de energia e potência entre autoprodutores consorciados em um mesmo empreendimento, na barra da usina;

II - A compra, por concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição, do excedente da energia produzida;

III - A permuta de energia, em montantes economicamente equivalentes, explicitando os custos das transações de transmissão envolvidos, com concessionário ou permissionário de serviço público de distribuição, para possibilitar o consumo em instalações industriais do autoprodutor em local diverso daquele onde ocorre a geração.

Atendendo os requisitos acima, as centrais cogeradoras, autoprodutoras ou produtoras independentes, podem compor o sistema elétrico.

6.2 - Operação isolada

Neste caso, não há conexão entre a central e o sistema externo. Este esquema de operação é utilizado quando não há oportunidade de permuta de eletricidade com alguma rede externa. Esta configuração em casos centrais com paridade elétrica, ou seja, só atende sua própria demanda.

6.3 - Operação interligada

A operação é interligada quando a central cogeradora é conectada ao SIN ou qualquer outro sistema externo, seja transmissão ou distribuição local ou rede em sistemas isolados.

6.4 - Operação integrada

Quando a central de geração é conectada ao SIN, possui uma disponibilidade mínima de 30 MW e é controlada pelo ONS, tem-se uma operação integrada.

6.5 - Mercado livre de energia

É um ambiente competitivo de negociação, onde consumidores considerados “livres” podem comprar energia alternativamente ao suprimento da concessionária local. Com ele, é possível identificar oportunidades para redução do custo energético e reduzir os riscos de exposição aos preços e sua característica de alta volatilidade. Para participar desse mercado, o consumidor precisa preencher os requisitos estabelecidos em lei.

A lei estipula que consumidores de energia elétrica cuja carga de consumo for igual ou superior a 3.000 kW e atendidos em uma tensão igual ou superior a 69 kV, são considerados livres. Estabelece, ainda, que novos consumidores de energia elétrica, que se instalarem após a publicação da lei (julho de 1995), com carga de consumo maior que 3.000 kW, sejam caracterizados como consumidores potencialmente livres, independentemente do nível de tensão em que são atendidos.

No mercado livre de energia, o consumidor pode escolher o seu fornecedor de eletricidade conforme sua conveniência e preço ofertado pelos agentes participantes dessa cadeia.

O mercado livre de energia foi criado em julho de 1995, com a Lei 9.074. Ao criar esse mercado, o objetivo foi desonrar a máquina pública dos investimentos em infra-estrutura, por meio da atração do capital privado, estimulando a livre concorrência. Com isso, aumentou a competitividade das empresas brasileiras, com a redução dos custos com energia elétrica. Para introdução da competição no setor

elétrico foi necessária uma reestruturação regulatória para suportar a privatização das concessões de uso do bem e do serviço público.

Após o racionamento de 2001/2002 e com o consumo de energia deprimido, os preços no mercado livre sofreram forte queda, fruto da sobra energética. Neste cenário, ocorreu uma forte migração do mercado cativo para o ambiente livre de negociação.

Nos casos onde ocorre a necessidade de exportação ou importação de energia elétrica por uma planta de cogeração, existe um sistema regulatório, na legislação brasileira, que ampara as três fases que caracterizam o setor: a produção, o transporte e o consumo de energia elétrica. Mesmo que se observe no estudo de viabilidade de uma central cogeradora um grande potencial técnico, econômico e de mercado, o aspecto legal também deve ser considerado, dado que poderá até mesmo inviabilizar a operação da planta por provocar condições antieconômicas não previstas, fato ocorrido com alguma freqüência no país.

6.6 - Conexão da central à Rede

No momento em que se estuda a viabilidade de um empreendimento de cogeração são analisados vários aspectos técnicos e econômicos, quanto à sua implantação e utilização. Entre os mais importantes, está a caracterização das demandas térmica e elétrica associadas, que definirão o porte da central. Em seguida está à disponibilidade de combustível e, não menos importante, a conexão da central à rede da concessionária de distribuição ou de transmissão, conforme sua localização e nível de tensão.

A figura 7 ilustra a interligação da central de cogeração com as suas demandas elétricas e térmicas.

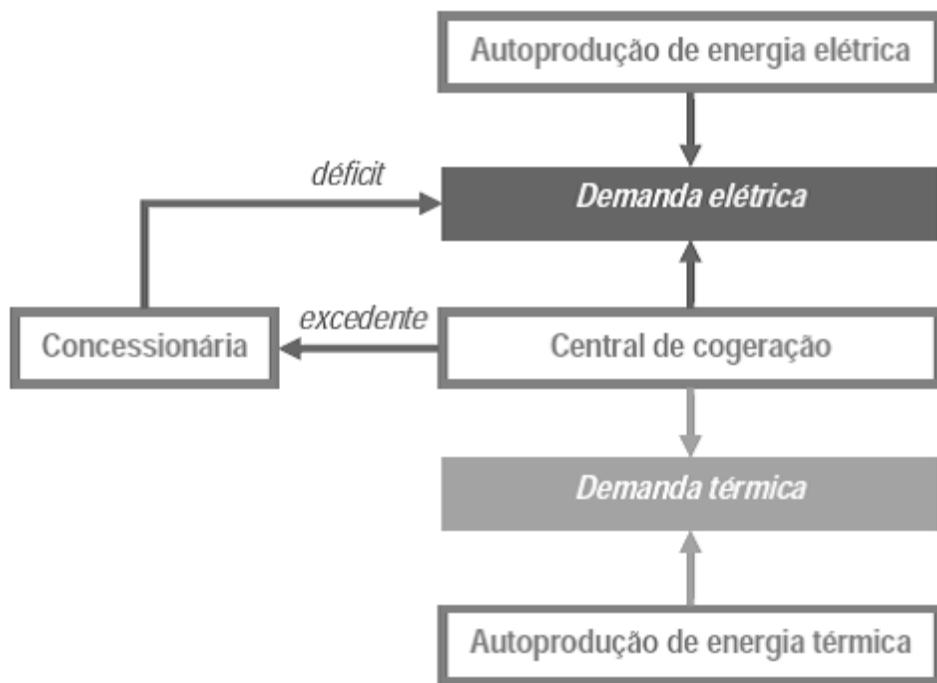


Figura 7 – Central de Cogeração e suas Demandas

A conexão da central à rede é de fundamental importância, dada a necessidade, atribuída por ordem econômica, de exportação ou importação de energia elétrica. Também é indispensável essa contratação de energia de reserva ou backup, de forma a garantir o suprimento da demanda caso haja indisponibilidade da central de cogeração.

6.7 - A interligação da central

A central de cogeração tem a capacidade de fazer o intercâmbio de eletricidade com a rede, seja para exportação ou importação de energia elétrica. Existem várias finalidades, tais como, venda de energia, complementação de carga e reserva de capacidade.

Desta forma, a escolha do ponto de conexão da central cogeradora deverá chegar a uma solução que concilie os diversos fatores e agentes envolvidos, tendo em vista a viabilidade técnica, econômica e legal. A não observação de apenas um destes pontos poderá provocar a inviabilização do empreendimento como um todo.

Preliminarmente, a solução proposta pelo investidor deverá satisfazer às condições técnicas de acesso exigidas pela concessionária de distribuição, pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS ou pela concessionária de transmissão, conforme sua localização e nível de tensão. Para a definição da conexão, deverá ser efetuada análise de viabilidade técnica/ econômica das alternativas, satisfazendo ao critério do menor custo global.

Em relação à responsabilidade pela construção e propriedade das instalações de transmissão, na ocorrência da conexão da central geradora diretamente à carga, a linha continua de propriedade e sob responsabilidade do interessado. No caso da conexão da central geradora ao sistema elétrico, a linha exclusiva é de responsabilidade do interessado. Em tensões iguais ou superiores a 230 kV, ocorrendo compartilhamento da linha, esta deverá ser incorporada à concessionária de transmissão.

6.8 - Exportação dos excedentes de energia elétrica

Na maioria dos casos, uma central de cogeração é concebida para operar em paridade à demanda térmica ou à demanda elétrica do investidor como, por exemplo, indústria ou um prédio comercial. Poderá haver a necessidade de complementação à carga de eletricidade, que deve ser contratada da distribuidora local ou de outro agente gerador.

Ao longo da operação de uma central de cogeração poderá haver também sobras elétricas. Essas sobras podem ser sazonais ou contínuas, fato que deve ser previsto já nos estudos de viabilidade do projeto. Um bom exemplo é observado no setor de produção de açúcar e álcool no Brasil. Tradicionalmente, estas centrais de cogeração operam com sazonalidade entre os períodos de safra e entre safra. Durante o primeiro período, estas atuam com auto-suficiência térmica e elétrica. Já no período de entre safra, quando não há produção industrial e consequentemente demanda térmica, as mesmas tornam-se consumidoras de eletricidade para manterem suas cargas essenciais e seus sistemas de irrigação da lavoura.

Atualmente, com alguns incentivos tarifários e com o aumento do preço da energia, estas centrais observaram a oportunidade de mercado e passaram a ser, além de produtoras de açúcar e álcool, exportadoras de eletricidade, dada a grande disponibilidade do combustível bagaço de cana-de-açúcar.

A opção de venda de eletricidade pode ser a chave para a viabilização de muitos empreendimentos de cogeração, principalmente os que possuem baixo fator de uso ou grandes variações na demanda elétrica. Entretanto, a opção por vender os excedentes deve ser amparada pela devida outorga do poder concedente.

6.9 - Outorga da central de cogeração

A produção de energia elétrica é uma atividade de competência da União. Para que o empreendimento possa produzir eletricidade, seja para venda ou para consumo próprio do produtor é necessário uma autorização, concessão ou permissão da União.

A outorga de Autorização, opção da União para terceirizar a produção de eletricidade, é de responsabilidade do Ministério de Minas e Energia (Lei nº. 8.987/95, regulamentada pelo art. 63 do Decreto nº. 5.163/04); competência então delegada à ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

Neste sentido, a ANEEL estabelece os requisitos necessários à obtenção de Registro ou Autorização para a implantação ou ampliação de centrais geradoras termelétricas, bem como para a venda da energia elétrica produzida. Esta Autorização não é dada ao “empreendimento” central cogeradora, mas sim à “pessoa”, para que possa implantar, operar e comercializar a energia elétrica proveniente de um empreendimento específico.

Segundo a Resolução ANEEL nº. 112, de 18 de maio de 1999, a autorização é outorgada à pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio interessadas em produzir energia elétrica destinada à comercialização sob forma de produção independente; e à pessoa física, pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio interessadas em produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo.

O porte do empreendimento dita a necessidade da outorga: para centrais com potência elétrica de até 5 MW, é necessário apenas que se faça o registro do empreendimento na ANEEL, apresentando as características básicas do empreendimento e a identificação de seu proprietário.

No caso de centrais com potência superior a 5 MW, é necessária uma autorização da União - a título não oneroso e válida por 30 anos, o que traz a obrigação da comprovação tanto da idoneidade do proprietário, quanto das condições operativas da central e de sua conexão à rede, para que seja satisfeita a condição constitucional do serviço adequado.

A central cogeradora deverá comprovar também a capacidade técnica de três condições fundamentais para a sua existência: disponibilidade do combustível, tecnologia utilizada e conexão à rede. É importante lembrar que ocorreram diversos casos reais de centrais geradoras termelétricas com sérias restrições operativas devido a impedimentos tanto na disponibilidade do combustível quanto na tecnologia utilizada e na conexão à rede.

A autorização para comercialização dos excedentes de uma central de cogeração é dada em conjunto ou separadamente da outorga para a produção de energia elétrica, concedida pela ANEEL, que poderá ser efetuada sob três formas:

- **Exclusivamente para autoprodução:** neste caso, a planta de cogeração poderá complementar a sua demanda elétrica com a rede, porém não poderá comercializar sua produção excedente de eletricidade. Assim, qualquer sobra injetada na rede será essencialmente perdida.
- **Comercialização eventual e temporária de excedentes:** não existe regulamentação sobre o montante nem sobre a duração desta autorização, que geralmente é válida por cinco anos, podendo ser renovada. Os excedentes de energia elétrica poderão ser livremente negociados.
- **Comercialização permanente:** esta autorização permite a livre comercialização da energia elétrica produzida pela central, e vigente até o término da outorga para exploração do empreendimento, geralmente válida por trinta anos.

O setor elétrico brasileiro passou em diversas vezes por reestruturações em todos os seus segmentos, envolvendo a geração, transmissão, distribuição e comercialização da energia elétrica. Desta forma, a partir de 2004, foi estabelecido um “novo modelo” para o setor, regulamentado pelo Decreto nº. 5.163/2004. Nesta concepção, foram estabelecidos dois ambientes distintos de comercialização de energia elétrica, agora para o caso de venda de energia: Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e Ambiente de Contratação Livre (ACL).

O Ambiente de Contratação Regulada (ACR) é o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica. Isso acontece entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação, ressalvados os casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos.

O Ambiente de Contratação Livre (ACL) é o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos.

6.10 - Cogeração qualificada

A ANEEL criou uma certificação às centrais cogeradoras que atendam a requisitos mínimos de eficiência, denominada de “cogeração qualificada”, tendo como objetivo o incentivo à cogeração.

Os benefícios econômicos como o desconto nas tarifas de uso da rede e a isenção de aplicação em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico não são concedidos a qualquer central cogeradora, mas somente aos empreendimentos que atendem aos requisitos necessários para o enquadramento na modalidade “cogeração qualificada”, previstos na Resolução ANEEL nº. 21/2000, da seguinte forma:

- Estar regularizada perante a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, atendendo ao disposto na Resolução ANEEL nº. 112/1999 (anexo III);
- Atender aos requisitos mínimos de racionalidade energética, mediante o cumprimento das inequações 1.a e 1.b;

$$\frac{Et}{Ef} \geq 15\% \quad (1.a)$$

$$\left(\frac{Et}{Ef}\right) \div X + \frac{Ee}{Ef} \geq Fc\% \quad (1.b)$$

Onde:

Energia da fonte (Ef): a energia recebida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh, com base no conteúdo energético específico e em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta a energia não utilizável;

Energia da utilidade eletromecânica (Ee): energia cedida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh, em termos líquidos, ou seja, descontando da energia bruta gerada o consumo em serviços auxiliares elétricos da central;

Energia da utilidade calor (Et): energia cedida pela central termelétrica cogeradora, no seu regime operativo médio, em kWh, em termos líquidos, ou seja, descontando das energias brutas quentes entregues ao processo industrial as energias frias que retornam à central;

Fator de cogeração (Fc%): parâmetro definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeradora;

Fator de ponderação (X): parâmetro adimensional definido em função da potência instalada e da fonte da central termelétrica cogeradora, obtido da relação entre a eficiência de referência da utilidade calor e da eletromecânica, em processos de conversão para obtenção em separado destas utilidades.

A inequação (1.a) mostra a proporção entre a produção das utilidades calor/eletromecânica, com a finalidade de caracterizar a central termelétrica como uma planta de cogeração em si.

Caracterizada a central como cogeradora, parte-se então para a mensuração da racionalidade energética da planta. Na inequação (1.b) se observa o caráter qualitativo dos fluxos energéticos, valorizando o tipo da energia em função de sua maior disponibilidade em realizar trabalho. Desta forma, o aproveitamento de calor (Et) é desvalorizado em relação à produção eletromecânica (Ee), utilizando-se para isso o fator de ponderação (X).

Capítulo 7 - Conclusão

A matriz energética brasileira passa por uma fase de transição para uma necessidade crescente de complementação da geração hídrica com fontes de energia capazes de gerar eletricidade de forma eficiente durante o período seco. A bioeletricidade é uma fonte de energia intrinsecamente complementar à geração hídrica porque a safra de cana-de-açúcar coincide com o período de seca.

O ciclo expansivo do setor sucroenergético associado ao gradativo fim da queima da cana garante a biomassa necessária para geração de significativos montantes de bioeletricidade nos próximos anos. Desta forma, justificam-se investimentos em tecnologias que permitam a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica.

A aparente falta de competitividade da bioeletricidade nos leilões de energia nova é função dos critérios atuais de contratação de energia, que não conseguem mensurar de forma correta os benefícios da bioeletricidade para o sistema elétrico brasileiro. Neste sentido, apenas os motivos restritos ao “mundo energético” já justificariam a inserção da bioeletricidade na matriz elétrica brasileira em uma escala compatível com o seu potencial. Entretanto, além das motivações energéticas, existe o relevante fato de ser uma energia renovável em um mundo que clama por medidas que reduzam a emissão de gases do efeito estufa e que, por conseguinte, mitiguem as alterações climáticas.

Outro ponto que merece ser contemplado por uma política pública é a criação de condições para que as usinas existentes possam se conectar à rede e comercializar energia. As usinas de açúcar e etanol estão dispersas geograficamente. Muitas delas estão distantes de subestações capazes de escoar a energia produzida. Com isto o acesso à rede acaba constituindo-se em uma barreira para a incorporação de novos empreendimentos de geração movidos a bioeletricidade. A solução encontrada para este problema à época do Leilão de Energia de Reserva – o desenho de uma rede coletora para servir a diversos empreendimentos em uma mesma região – foi, sem dúvida, um passo na direção certa. Mas como o compromisso financeiro com a rede coletora tinha que ser decidido antes do leilão, não se trata de uma alternativa ideal.

Dada a competitividade da bioeletricidade, recomenda-se a realização de estudos para reforço da rede básica em regiões com alto potencial produtor, antes mesmo de confirmada a vitória em leilão das usinas da região.

Em síntese, a valorização adequada para a sazonalidade complementar da bioeletricidade nos leilões de energia nova, a realização de leilões regulares e dedicados a esta fonte ou restrito a fontes comparáveis a ela e, o planejamento da expansão do sistema de transmissão de forma a viabilizar a inclusão efetiva da bioeletricidade na matriz de geração são quesitos importantes para uma política pública setorial para a bioeletricidade sucroalcooleira.

Referências Bibliográficas

- ANEEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. 3a. Edição. Brasília, 2008.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2007, (online, <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em 10/2009).
- ASSOCIAÇÃO PAULISTA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA - COGEN (2005a). *Inserção da bioeletrecidade na matriz energética: agregando valor ao terceiro produto energético da agroindústria canavieira*. (online, <http://www.cogensp.com.br>. Acesso em 09/2009).
- BARJA, G. J. A. (2006). *A cogeração e sua inserção ao sistema elétrico*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.
- CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (2006a). *Comercialização de Energia*. (online, <http://www.ccee.org.br/cceeinterdsms/v/index.jsp?vgnextoid=65daa5c1de88a010VgnVC> M100000aa01a8c0RCRD. Acesso em 09/2009).
- CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de A; BRANDÃO, Roberto; LEITE, André Luiz da Silva (2008). *Bioeletricidade e a Indústria de Álcool e Açúcar: possibilidades e limites*. Synergia. Rio de Janeiro.
- CORRÊA, Vicente Neto (2001). *Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural*. Tese (Doutorado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- GOLDENBERG, P; GUERRA, F. (2008). *Inovação na Geração de Energia Elétrica a Partir do Bagaço de Cana*. In: I Workshop do INFOSUCRO sobre Impactos Econômicos e Tecnológicos da Indústria Sucroalcoleira no Brasil. Rio de Janeiro, Novembro de 2008.
- INEE, - *Instituto Nacional de Eficiência Energética*, 2007, (online, <http://www.inee.org.br>. Acesso em 10/2009).

SOUZA, Z; AZEVEDO, P. (2006). *Energia Elétrica Excedente no Setor Sucroalcooleiro: um estudo a partir de usinas paulistas*. Revista de Economia e Sociologia Rural. Brasília-DF.

Plano Decenal de Energia Elétrica 2008 - 2017 (online, http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html. Acesso em 09/2009).

PONTES, João R. (2008). *A indústria de energia elétrica no Brasil: Causas Fundamentais De Sua Reestruturação*. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

PROINFA – *Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia*, 2007, (online, <http://www.mme.gov.br/>. Acesso em 10/2009).

ROSA, L. P., TOLMASQUIM, M. T., PIRES, J. C. L., (1998), *A Reforma do Setor Elétrico no Brasil e no Mundo – Uma Visão Crítica*, 1 ed., Rio de Janeiro, RJ, Editora RELUME DUMARÁ, COPPE, UFRJ.

WALTER, A. C. S., (1997), *Geração de Energia Elétrica a partir de Biomassa no Brasil: Experiências e Perspectivas*. In: *O Uso da Biomassa no Brasil Potenciais para uma Política de Desenvolvimento Regional*, n. 6, Rio de Janeiro.