

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Recursos Energéticos e Ambiente

Cogeração

Piracicaba, 2013

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	4
1.1 COGERAÇÃO	5
2. PANORAMA DA COGERAÇÃO NO MUNDO	7
3. PANORAMA DA COGERAÇÃO NO BRASIL.....	9
4 TIPOS DE COGERAÇÃO	12
4.1 TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOMASSA	14
4.1.1. Sistemas de Conversão	14
5. VIABILIDADE ECONÔMICA DA COGERAÇÃO NO BRASIL	18
6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA COGERAÇÃO NO BRASIL.....	22
7. LEGISLAÇÃO	23
CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS	25

1. INTRODUÇÃO

A energia na natureza é de fundamental importância para a existência de um meio biótico, tão como está intimamente atuando, se manifestando a partir do meio abiótico. Dela, conseqüentemente, depende o homem enquanto ser vivo, mas também toda a superestrutura criada e mantida por ele. É certo que uma interrupção neste fornecimento causa perturbações na superestrutura fomentada pelo ser humano e em sistemas cuja participação humana. Até meados do século XVIII o mundo era basicamente movido à energia proveniente da queima de madeira e energia de tração animal. Em escala consideravelmente reduzida fazia-se uso de reservas de florestas fossilizadas, sendo o carvão o combustível utilizado.

A Revolução Industrial eclodida na Europa deve ser entendida também como uma revolução energética, na medida em que promoveu num espaço de tempo curto uma mudança definitiva nos tipos de combustíveis e nas suas possibilidades de uso pelo ser humano - o ser humano europeu e norte-americano numa primeira etapa e a sociedade de hábitos ocidentais e ocidentalizados a partir do século XX.

A matriz energética com base em reservas biodisponíveis torna-se essencialmente uma matriz de reservas fósseis representada pelo uso e abuso do carvão e principalmente a partir de fins do século XIX pelo uso de petróleo e gás natural. Também, caminha uma mudança que influenciaria decisivamente a operação do sistema econômico capitalista a partir da metade do século XX: origens não renováveis são preferidas a fontes energéticas com maior potencial de renovabilidade.

Para atestar a dependência que o ser humano, principalmente os que vivem em nações desenvolvidas, tem em relação a tais fontes salienta-se que nos Estados Unidos o consumo de carvão representava, em 1850, 5% da energia usada naquele país. Hoje, petróleo, gás natural e carvão representam quase 90% da energia utilizada de maneira assídua pela indústria, pelo transporte, pelo comércio e por residências (PRESS et al., P. 552, 2006).

A notável dependência energética a que estamos submetidos aos combustíveis não renováveis e também o aprofundamento da discussão da temática ambiental na esfera das organizações auxiliada, em parte, pelo aumento e interesse da cobertura de veículos midiáticos com grande potência disseminadora fez emergir uma preocupação que escancarou a necessidade pela busca e pela viabilização de fontes energéticas menos poluidoras e capazes de abocanhar fatias da demanda energética mundial de maneira segura e qualitativa.

Além da tecnologia para geração hidrelétrica já mais disseminada, outras formas de geração de eletricidade e de aproveitamento energético às vezes não tão seguras veem à

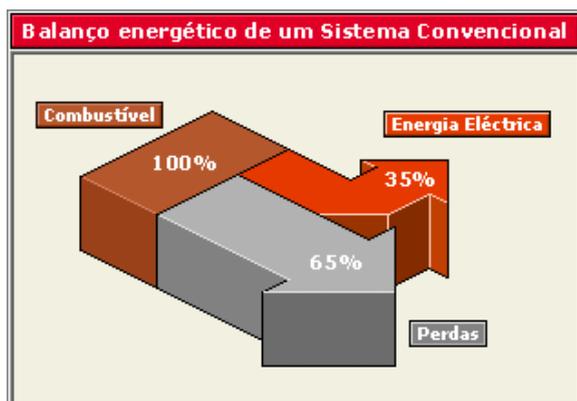
tona via pesquisas inovadoras. Entretanto, boa parte do conhecimento sobre formas de aproveitamento energético é ressurgente e aprimorado, fazendo o homem retomar práticas obscurecidas até então pela fumaça preta residual dos hidrocarbonetos.

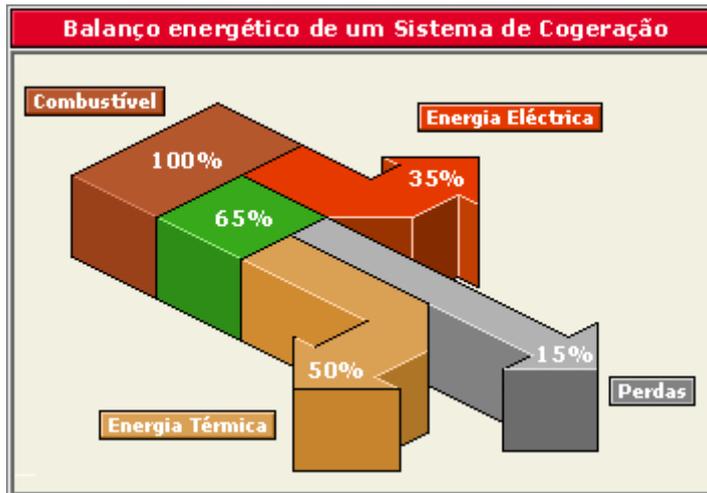
1.1 COGERAÇÃO

A discussão acerca do máximo aproveitamento possível dos combustíveis a fim de se evitar perdas e de se preservar as reservas, abre espaço para o estudo dos processos de cogeração.

Em linhas mestras Ripoli & Ripoli (2009) definem cogeração como a produção combinada de calor útil e energia mecânica através de um sistema padrão constituído de uma turbina a vapor ou de combustão (turbina a gás), que aciona um gerador de corrente elétrica, e um trocador de calor, que recupera o calor residual e/ou gás de exaustão, para produzir água quente ou vapor, constituindo-se até 30% a menos de combustível do que seria necessário para produzir calor de geração e de processo, separadamente, além de ampliar-se a eficiência térmica do sistema.

Amplificando o referencial, a International Sugar Organization (ISO) concebe o processo de cogeração quando há a produção simultânea de eletricidade e energia térmica útil (calor e/ou frio) com alta eficiência. O órgão salienta que em tal geração combinada pode ocorrer ganho de eficiência de até 50% quando comparadas a geração de calor e eletricidade separadamente.





Fonte: www.eficiencia-energetica.com

Os diagramas que comparam balanços energéticos em um sistema termodinâmico convencional de geração de eletricidade e em um sistema operando por cogeração evidenciam o supracitado ganho energético perceptível na figura acima.

Notamos que a base conceitual tecnológica para produção de energia elétrica via centrais termelétricas e via centrais de cogeração é basicamente a mesma: ambas anseiam a geração de energia elétrica a partir de energia térmica proveniente da queima de um combustível. Todavia, na cogeração mais etapas são inseridas à linha produtiva visando ao reaproveitamento de calor gerado.

Fundamental, é assinalar a diferença resultante do processo de cogeração em relação à geração termelétrica de eletricidade: através da figura vemos que os sistemas termodinâmicos aproveitam cerca de 35% da energia disponível no combustível (alguns autores mencionam eficiência de até 40%), de forma que a energia empreendida no acionamento das turbinas é transformado em calor não aproveitado, ou seja, que se perde no meio. Ao contrário, a inserção no processo dos trocadores de calor mencionados por Ripoli & Ripoli determinará aproveitamento do potencial calorífico permitindo maior repartição da distribuição de energia.

À vez que a forma energética possibilitadora da geração combinada é a térmica, que esta é proveniente essencialmente da queima de combustíveis a qual gera calor e que variadas são as matérias-primas que se prestam à combustão, conseqüentemente haverá múltiplas oportunidades para posicionamento de centrais cogedoras no mundo operando segundo a disponibilidade de recursos naturais ofertados de região para região. Isto é, a combustão se trata de fenômeno físico elementar e que facilmente tem disponibilizado ao homem energia térmica. Observamos energia térmica sendo gerada no mundo pelo homem ao longo de sua evolução, sendo que desde o advento da geração combinada de energia elétrica a partir de centrais termelétricas, esta se deu com combustíveis fósseis, os quais

denominamos convencionais e a partir de biomassa viabilizada ao homem através de atividade fotossintética.

Se unirmos os combustíveis convencionais gás natural, óleo combustível, diesel e carvão a ,m. lc´=lista resultante será representativa dos principais recursos empregados como combustíveis nos processos de cogeração pelo mundo.

2. PANORAMA DA COGERAÇÃO NO MUNDO

A história da cogeração tem início na Europa durante o século XIX e, de certa forma, se deve em muito à invenção e utilização de geradores de eletricidade concebidos por Michael Faraday em 1831.

A principal forma de reaproveitamento do calor gerado a partir da queima do carvão e petróleo consistia em investir nos sistemas de calefação e aquecimento de água das cidades e vilas operárias postas no entorno das indústrias, ainda que isto implicasse em grande perda de calor quando no deslocamento através da tubulação.

Tito (1993) assinala que este modelo de geração de energia foi largamente utilizado na Europa e Estados Unidos até meados da década de 1940, sendo que no país americano chegou a representar 50% do total de energia gerada.

Os sistemas elétricos nacionais interconectados e ao alcance da demanda, fornecedores de uma energia mais barata, todavia produzida em escala crescente, de forma segura e com qualidade emergem no panorama energético mundial durante a década de 50 do século XX e são tidos segundo Nogueira & Martins (1997) como responsáveis pelo desuso e conseqüente redução da participação da cogeração na matriz energética mundial.

O quadro perdurou inclusive quando eclode o 1º choque do petróleo na década 70, à medida que expectativas de preços crescentes cobrados pelos barris do petróleo motivados pela redução da oferta asiática fomentaram políticas para conservação de energia reduzindo o consumo de derivados de petróleo e, como efeito, secularizando a produção de energia por cogeração, à época muito atrelada a usinas termelétricas. Fator igualmente importante para tal secularização ocorre quando os setores elétricos de países desenvolvidos elegem a energia nuclear como substituta para o uso de combustíveis fósseis, já que se tratava de uma energia limpa, com alto potencia de geração e cujas reservas de óxidos de urânio estavam estimadas em 7 milhões de toneladas, cerca de 240.000 quads, a maior reserva energética do planeta (Press et al., 2006).

Entretanto, a descrição do cenário energético mundial evidenciado até então não nos permite compreender como, então, as perspectivas para a geração combinada de energia são tão favoráveis atualmente, sendo que diversas iniciativas utilizando principalmente

biomassa e gás natural têm sido bem sucedidas.

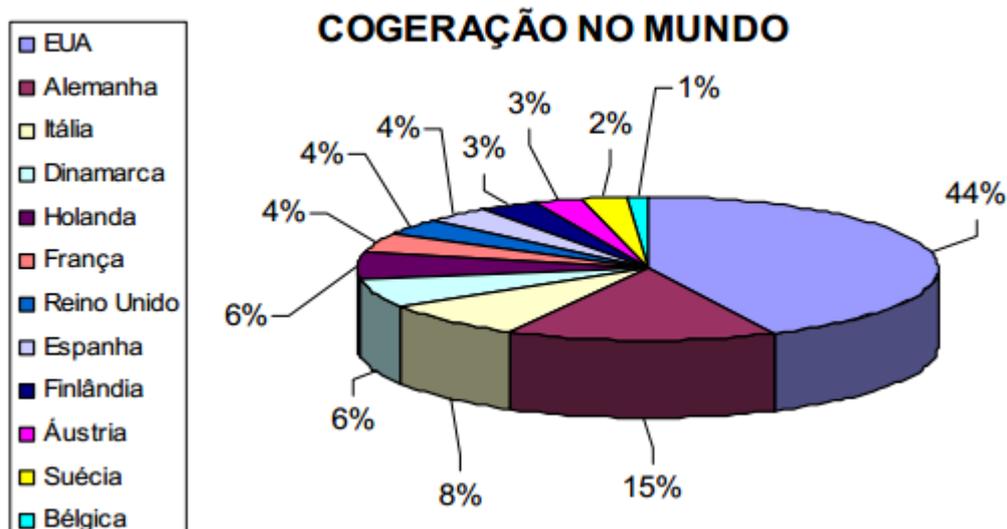
O início da alteração no rumo da história energética mundial dá-se com a década de 1980 e, ao contrário do que comumente se observava, não tem raízes unicamente econômicas. Tem raízes ambientais.

No plano econômico podemos afirmar que a reestruturação da indústria petrolífera adaptada aos reflexos econômicos suscitados pelos choques do petróleo desencadeou sensível aumento da produtividade e, assim, o mercado passou a operar abaixo do ponto de equilíbrio na curva “oferta X demanda”. Ou seja, o excesso de produto ofertado reduziu os preços cobrados pelos barris determinando o fim da escassez do referido recurso enfrentado desde o início dos anos 70. Como resultado, investidores voltaram a sondar ações de empresas petrolíferas e uma das duas razões para o declínio da cogeração ruiu.

No plano ambiental o movimento ambientalista emergente desde a década de 1960 cria braços em todas as classes sociais e em diversas organizações operantes na esfera política, econômica, social, cultural e também na pesquisa. Esta última irá inviabilizar as perspectivas da energia nuclear ao mostrar os imensos gargalos ambientais e sociais a curto e longo prazos decorrentes da instalação e mau gerenciamento de usinas. Indo além, as pressões ambientalistas embasadas hora por documentos coesos de cunho científico apurado, ora por escritos alarmistas pouco confiáveis, todavia eficientes quanto ao temor que causaram, irão inserir decisivamente a discussão e a vigência por mudanças no modo de vida capitalista, sobretudo em relação ao consumo desmedido dos recursos naturais e à poluição/destruição dos ecossistemas terrestres. Ganha força, então, uma política energética que busca a diversificação da matriz e o aumento da participação das denominadas fontes alternativas de energia, fato que propiciou a reabilitação da produção descentralizada de energia, sobretudo da cogeração (NOGUEIRA & MARTINS, P.03,1997).

Ademais, a crescente oferta de gás natural motivou o desenvolvimento dos sistemas de cogeração ao estimular a conservação e aumentar a eficiência global do sistema (Oliveira, 1995 apud Nogueira e Martins, P.03,1997).

A imagem abaixo diz respeito aos países que aderem a cogeração no ano de 2009:



3. PANORAMA DA COGERAÇÃO NO BRASIL

Merece destaque neste estudo o acompanhamento do panorama energético brasileiro sobretudo com o início da industrialização do país na década de 1950. Naquele momento o país viveu seu primeiro grande salto industrial motivado por uma política de “abertura de portos” a qual propiciou a entrada de tecnologia e de capital de investimento estrangeiros principalmente na região sudeste. Tal crescimento necessariamente precisava de investimentos estratégicos e o setor energético era crucial para o funcionamento das indústrias. Por deter características hidrográficas favoráveis em muitas de suas bacias de drenagem e pelo fato de que o custo de implantação de centrais hidrelétricas era mais oportuno em relação às centrais termelétricas, o Brasil renegou a energia de cogeração a um segundo plano ((NOGUEIRA & MARTINS, P.05,1997) retomando sua discussão somente em fins da década de 1980, a exemplo do que ocorreu na Europa e América do Norte).

Para Tavares (2006) o Novo Modelo do setor elétrico brasileiro, suscitado a partir da década de 1990, queria constituir uma estrutura controlada majoritariamente por capital privado e este contexto possibilitou às empresas do referido setor que passassem a operar com maior autonomia no mercado.

Com a crise no fornecimento de energia elétrica em 2001/02 passou-se a atentar para mudanças necessárias na legislação e para o cumprimento de metas que visavam assegurar a oferta de energia disponível no médio e longo prazo.

Por exemplo, a lei nº 9 427 de dezembro de 1996 instituiu a Agência Nacional Elétrica (ANEEL) e determinou que a exploração dos potenciais hidráulicos fosse por meio de concorrência ou leilão. Estrategicamente a ANEEL começa a elaborar os Planos

Decenais de Expansão de Energia. Esses PDEE tornam-se ponto de referência para novos investimentos.

Em 2004 ocorre uma segregação de fundo reformista na quais companhias até então com preponderante injeção de capital público são divididas entre geradoras, transmissoras e distribuidoras. A produção das geradoras passou então a ser negociada no mercado livre.

Sobre o processo de cogeração, este fica estabelecido em lei pelo decreto 186/95, o qual a define como o processo de produção combinada de energia elétrica e térmica, destinando-se ambas a consumo próprio ou de terceiros, com respeito pelas condições previstas na lei.

A energia produzida por mecanismos de cogeração passa a ser negociada através de leilões operando em Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Por este regime, distribuidoras contratam um volume de fornecimento de energia de geradoras, passa a existir um teto para o preço de energia ofertado pelas geradoras e é dada a preferência para aquela que oferecer o menor preço.

Acerca do atual impasse existente entre governo e empresariado sobre a conta de investimentos para viabilização da cogeração no país e que tem como um dos palcos de debate estes famigerados leilões, discutiremos adiante.

Cabe aqui colocarmos a recente história da geração de eletricidade via processos de cogeração em números, fornecendo desta forma uma ideia do grau de avanço da mesma em importância na matriz energética nacional, seu potencial de crescimento e as melhores oportunidades em biomassa dada economia agrária nacional.

Os dados abaixo procedem do Anuário Energia - publicação de 2009 - e do Anuário Brasileiro de Agroenergia, publicado sobre o crivo de Beling e co-autores também no ano de 2009.

Sabe-se que no Brasil 76% (911 usinas) das termelétricas são movidas energia fóssil, 20% advém de bioenergia e 4% de outras fonte a biomassa que geravam 4.786.955 KW de potência no início de 2009, ou 4,31% da demanda energética brasileira.

O principal combustível convencional utilizado nas termelétricas e nos processos de cogeração é o gás natural. De acordo com a Associação da Indústria de Cogeração de Energia (Cogen), eram produzidos no Brasil no ano de 2004 408 Mw de energia proveniente de cogeração via gás natural e 1.849 Mw de fontes bioenergéticas. Em 2009 a produção via gás natural quadruplica alcançando os 1.211 Mw gerados enquanto a produção via biomassa duplica alcançando os 3.650 Mw gerados. A associação elenca a região sudeste - especialmente o Estado de São Paulo - como principal contribuinte no total gerado e traça promissor cenário para o setor vistas às reservas do citado recurso existentes na Bacia de Santos, os incentivos políticos governamentais, ainda que o país tenha enfrentado crise no abastecimento de gás proveniente de reservas bolivianas.

As fontes bioenergéticas desempenham papel particularmente interessante no país ao passo que este se localiza numa zona tropical com larga produtividade primária e ao passo que sua economia detém marcante base agrária. Desta maneira, seu potencial é particularmente real, mas infelizmente uma promessa já que a participação efetiva ainda é pequena.

Os combustíveis utilizados são o bagaço da cana-de-açúcar alcançando 273 usinas termelétricas e 3,25% da demanda energética brasileira; o licor negro com 13 usinas e 0,76% da demanda; a madeira com 31 usinas e 0,023% das usinas; o biogás alimentando 8 usinas e respondendo por 0,04% da demanda; casca de arroz com 6 usinas e 0,03% da demanda, além de 2 usinas movidas a resíduo de celulose e previsão para construção de mais 23 usinas em 2010.

Merece especial destaque a cana-de-açúcar. Do ano de 2000 a 2007 aumentou em 37% o consumo de bagaço de cana queimado em usinas (9 milhões de toneladas), patamar que superou o consumo de óleo diesel em termelétricas e que tende a multiplicar-se já que 60% do total disponível do insumo ainda é deixado ou queimado no campo na pré-colheita.

Esta expansão parece acompanhar a crescimento do mercado de etanol em função da relação direta entre ambos: quanto maior a demanda pelo etanol, maiores os resíduos aproveitáveis para geração de eletricidade. Salientando, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar estima que a geração elétrica acrescente entre 5% e 20% ao faturamento anual de novas usinas, uma previsão otimista e baseada na alta do preço do petróleo e na aposta do mercado por fontes de energia limpa.

É interessante estabelecer uma comparação que faz saltar os olhos e que torna aparente o enorme potencial adormecido da cogeração de energia com bagaço de cana: cada ton. de cana produzida contém 270 kg de bagaço; sabe-se que o país produz anualmente cerca de 200 milhões ton. de bagaço e que cada ton. pode gerar até 350 Mw de potência; assim o volume de bagaço de cana existente no Brasil é capaz de gerar 9.000 Mw de energia elétrica equivalente à energia gerada por uma usina de Itaipu em pleno funcionamento de acordo com Coelho (2009).

Todavia tal plenitude de exploração e operação ainda é uma miragem. O país ainda detém tecnologia ultrapassada e investimentos por parte dos produtores são baixos. Na Índia, por exemplo, o uso de caldeiras funcionando por gaseificação é corrente e difundido, mas no Brasil poucas usinas paulistas valem-se da tecnologia.

Mais da metade dos canaviais ainda são queimados. O processo de modernização da lavoura de cana-de-açúcar via mecanização agrícola, além de reduzir a emissão de gases poluentes, possibilita às usinas de cogeração aproveitar além do bagaço outras partes da planta, como a palha. Estima-se existir um potencial de aproveitamento energético de 50% da palha, o que poderia aumentar ainda mais o potencial total.

Apesar de o setor sucroalcooleiro injetar anualmente na rede elétrica nacional 3.000 Mw e de esta ligação usinas-redes de transmissão pressupor poucas perdas no transporte já que se dá através de linhas curtas um grande impasse permeia e atravança a viabilização do fornecimento: o impasse principal é decidir quem vai pagar pela instalação das controvertidas linhas de transmissão e pela conexão aos sistemas de distribuição. A lei ainda referencia que empresas devem pagar pelo usufruto das linhas e há reclamações de empresários que a cada aumento da capacidade de geração tem que licenciar ambientalmente seus empreendimentos. Como tentativa de viabilização as usinas têm se associado a empresas de distribuição, mas, ainda assim é comum a venda de bagaço para empresas produtoras de suco no interior de São Paulo.

Com geração elétrica consideravelmente inferior segue a cogeração a partir de resíduo alcançado no processo de extração de celulose, a lixívia negra ou licor negro utilizado na própria indústria como combustível para a produção de energia. Sabe-se, entretanto, a tecnologia utilizada é ainda incipiente, fato que faz ruir inicialmente as expectativas da ANEEL de comercialização de energia elétrica em um futuro próximo.

A ANEEL disponibiliza em seu endereço eletrônico tabela a qual relaciona as usinas de cogeração movidas a licor negro no Brasil:

Em suma, este tópico objetivou apresentar o decorrer resumido da história recente do desenvolvimento energético brasileiro atentando para a participação da cogeração no mesmo. Além da história, foram apresentados os combustíveis que atualmente se prestam às usinas. Dentre eles buscamos destacar e discorrer mais profundamente sobre a cogeração a partir dos três principais, de acordo com sua participação na matriz energética nacional.

4 TIPOS DE COGERAÇÃO

De acordo com a ordem relativa de produção de energia elétrica/mecânica e calor, os ciclos de cogeração podem se dividir em ciclos Topping e Bottoming:

- Topping

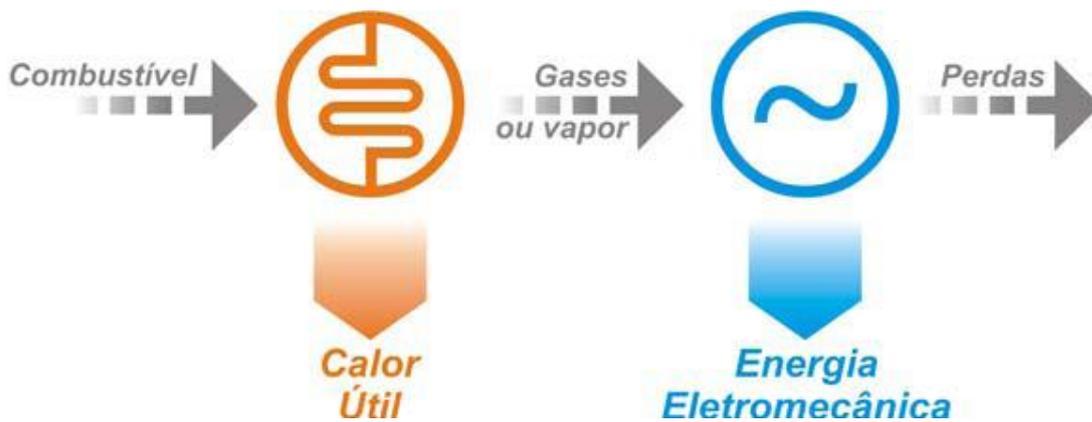
Neste ciclo, ocorre primeiro a produção de energia elétrica através dos gases de combustão a uma temperatura mais elevada, seguida da utilização da energia residual em forma de calor para o processo. Da energia disponibilizada pelo combustível, o primeiro aproveitamento se dá para a geração de energia eletromecânica (altas temperaturas), e em seguida para o aproveitamento de calor útil.



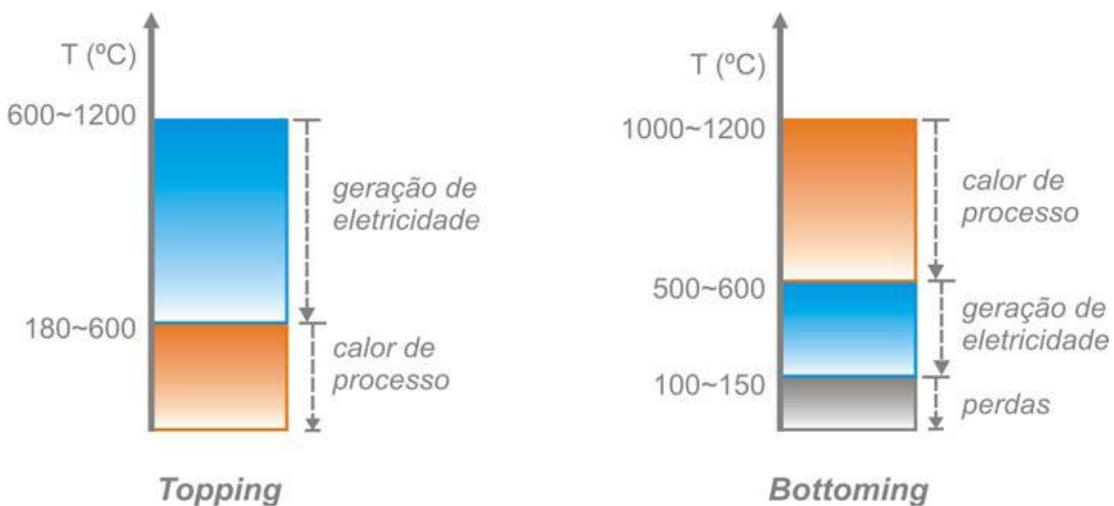
Fonte: Nogueira et al., (2004)

- **Bottoming**

O ciclo Bottoming consiste em gerar inicialmente energia térmica em um processo e em seguida utilizar o calor residual para gerar energia elétrica/mecânica. Da energia disponibilizada pelo combustível, o primeiro aproveitamento se dá para o aproveitamento de calor útil a elevadas temperaturas, e em seguida para a geração de energia eletromecânica.



Fonte: Nogueira et al.,(2004)



Faixa típica de temperatura para os sistemas de cogeração em topping e em bottoming.

Fonte: COGEN Europe,(2001)

A figura acima representa a racionalidade da cogeração em se aproveitar toda a faixa da temperatura disponibilizada pelo combustível, para a produção sequencial de eletricidade e calor útil. A utilização de calor nas indústrias, de acordo com Carvalho et al. (2001) é habitual na faixa entre 120 e 200°C, temperatura típica para os processos de secagem, cozimento, evaporação, etc.; já a geração de energia elétrica trabalha em níveis mais elevados de temperatura, entre 400 e 950°C.

Percebemos que na cogeração do tipo topping o calor utilizado pelo processo industrial é aproveitado do rejeito da geração elétrica. Trata-se da tecnologia empregada na maioria das indústrias, considerando que grande parte dos processos industriais demanda calor a baixas temperaturas.

Por sua vez o ciclo bottoming não é muito utilizado devido ao fato de o calor rejeitado em processos industriais já se encontrar a baixas temperaturas para produção de potência e também porque apesar desta tecnologia existe a alternativa de melhorar os sistemas térmicos por meio da recuperação ou regeneração térmica convencional, geralmente mais viável economicamente. O sistema bottoming costumeiramente é utilizado apenas quando se gera uma quantidade elevada de calor residual sob elevadas temperaturas, como nos casos de fornos cerâmicos e plantas metalúrgicas.

4.1 TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE A PARTIR DE BIOMASSA

A biomassa estocada pode ser convertida em energia elétrica através de processos de queima direta convencional em caldeiras ou gaseificação. Os principais processos de conversão de biomassa em energia elétrica são brevemente descritos a seguir. Observa-se que, em todos os casos, a presença de umidade na biomassa não só reduz o poder calorífico da mesma como também reduz a eficiência da combustão nos processos de queima direta.

4.1.1. Sistemas de Conversão

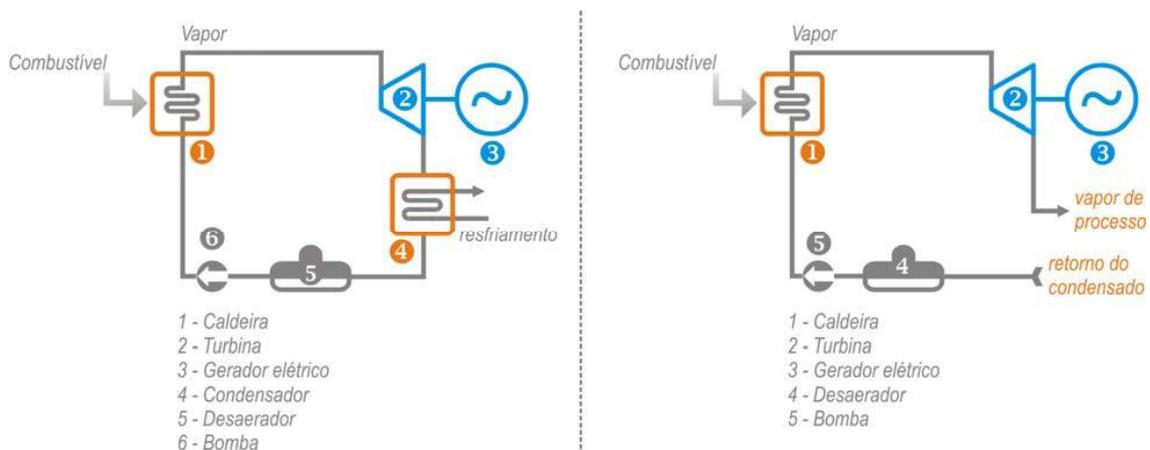
Existem atualmente várias opções tecnológicas para conversão da energia contida na biomassa em energia elétrica. Dentre as principais têm-se:

- Combustão direta em Caldeiras e Turbinas a Vapor

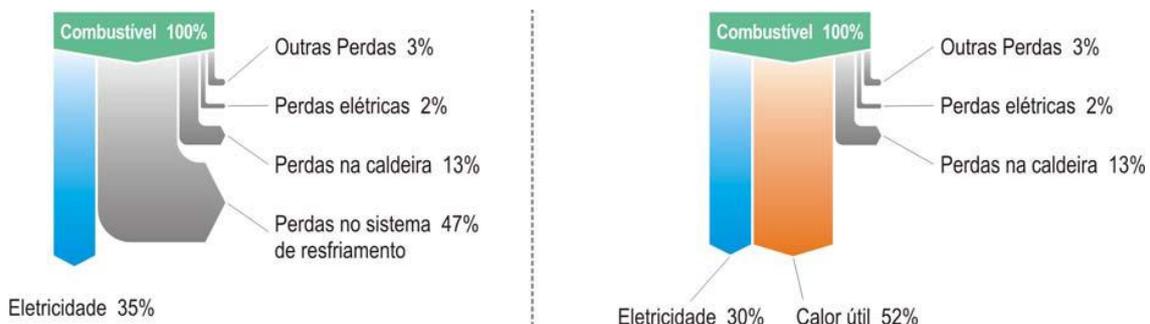
É a tecnologia de conversão mais difundida comercialmente, fundamentalmente para resíduos agroindustriais como bagaço de cana e casca de arroz. No entanto, possui uma baixa eficiência, inferior a 28%, tendo, como base o poder calorífico superior. Com este tipo de tecnologia as caldeiras fornecem vapor e ar quente para processos permitindo a geração de energia elétrica com turbinas a vapor. Em caldeiras modernas é comum a geração de vapor a pressões entre 7-14 MPa e temperaturas na faixa de 500-550 °C. A tecnologia de

combustão por queima direta, embora muito difundida e desenvolvida, não garante uma ampla utilização da biomassa como combustível para geração de eletricidade em função dos fatores descritos a seguir:

- O ciclo de vapor para os parâmetros de operação comuns em caldeiras para biomassa apresenta uma eficiência de aproximadamente 15 - 28%, considerada baixa;
- Muitos tipos de biomassa apresentam baixa sazonalidade anual, o que não justifica o investimento em instalações com altos parâmetros de vapor, o que por sua vez permitiria o aumento da eficiência do ciclo.



Sistema de geração pura de eletricidade em ciclo a vapor e sistema de geração combinada de calor e eletricidade Fonte: Nogueira et al. (2004)



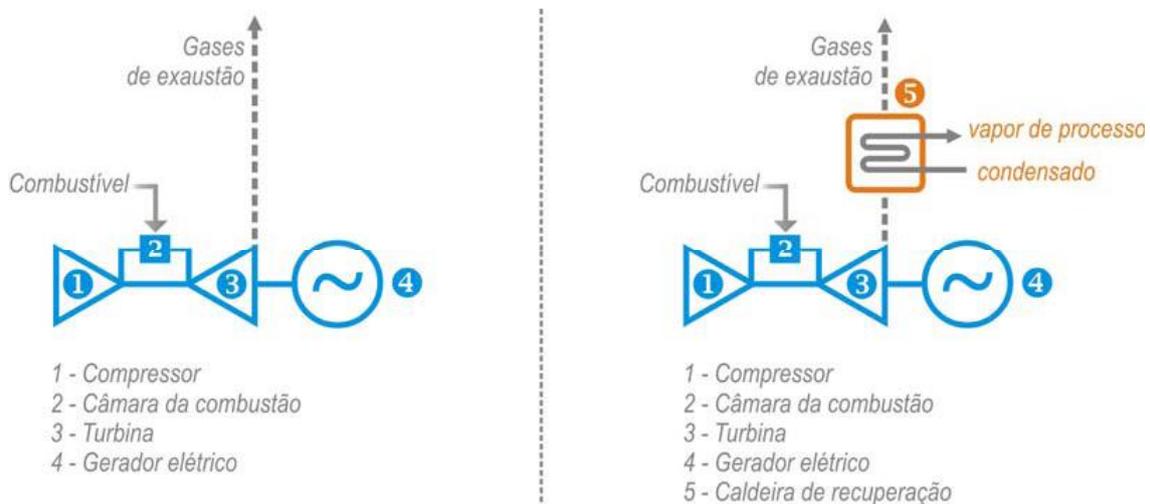
Balanço térmico típico de planta de geração pura, em ciclo a vapor e balanço térmico de uma planta semelhante, com sistema de cogeração agregado. Fonte: Nogueira et al. (2004)

- Gaseificação e Turbinas a Gás ou Motores a Gás

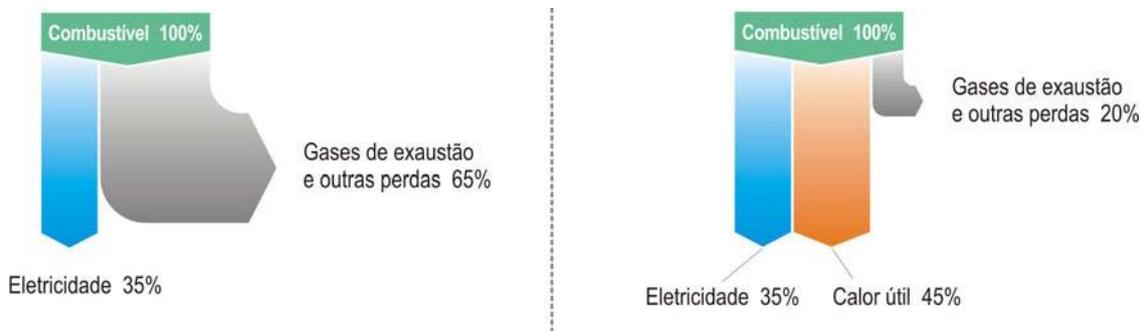
A gaseificação é um processo endotérmico de conversão de um combustível sólido em gás de baixa ou média capacidade calorífica. A biomassa é um exemplo de combustível para conversão. É a tecnologia utilizada para produzir eletricidade a partir da gaseificação da biomassa e de uma turbina a gás que ainda não está plenamente dominada. A dificuldade para consolidação desta tecnologia decorre do fato de que a presença de certos contaminantes no processo pode vir a acarretar problemas de operação e perda de

eficiência na turbina a gás. A princípio, é uma solução que apresenta uma eficiência superior a 32% e que pode ser implementada em plantas térmicas de média e alta potência em ciclo combinado. A característica principal da gaseificação é que o fornecimento de ar é controlado de modo a evitar que a combustão se estenda a toda a carga. Utiliza-se como oxidante para o processo de gaseificação o ar atmosférico ou oxigênio puro. Os sistemas que utilizam oxigênio puro permitem produzir um gás de maior capacidade calorífica, sendo também mais rápida a sua produção; As vantagens da gaseificação são:

- Alta eficiência térmica, variando de 60% a 90%, dependendo do sistema implementado;
- A energia produzida com a queima dos gases é limpa;
- A demanda de energia pode ser controlada e, conseqüentemente, a taxa de gaseificação pode ser facilmente monitorada e, também, controlada.



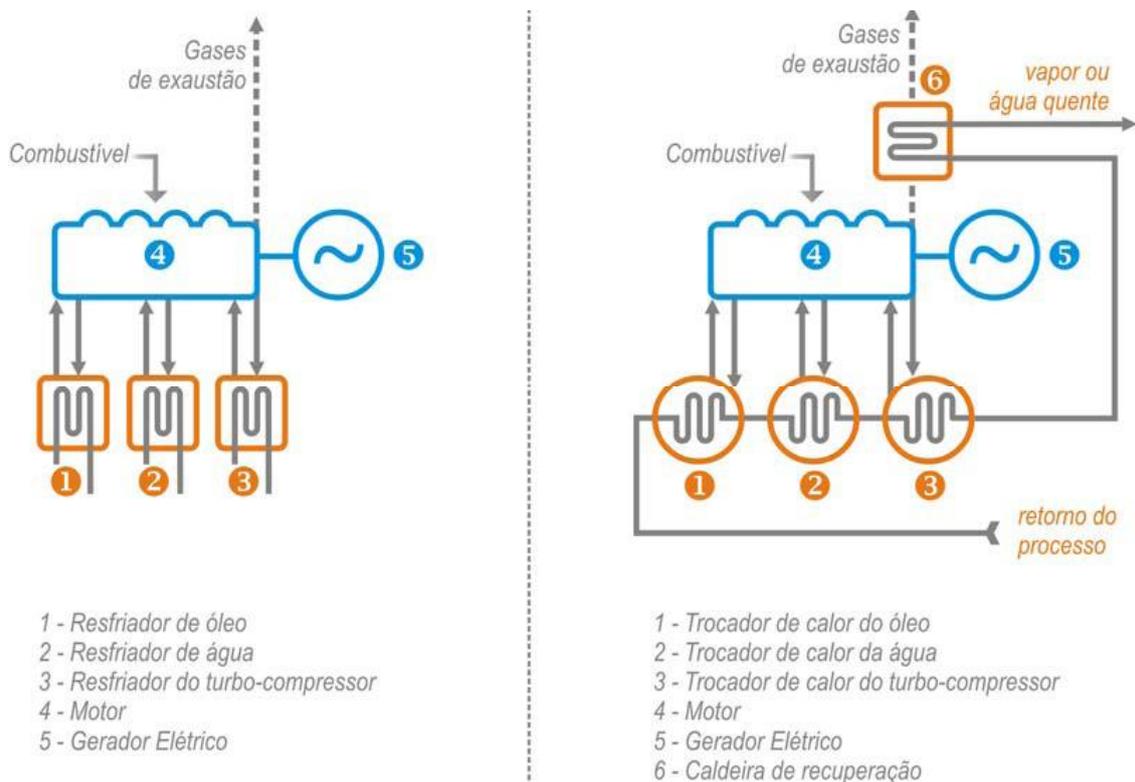
Sistema de geração pura de eletricidade com turbina a gás e sistema de geração combinada de calor e eletricidade. Fonte: Nogueira et al. (2004)



Balanço térmico típico de planta de geração pura utilizando turbina a gás e balanço térmico de uma planta semelhante, com sistema de cogeração agregado. Fonte: Nogueira et al. (2004)

- Liquefação e Turbinas a Gás ou Motores a Diesel

É uma tecnologia que ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Seu ponto forte está na possibilidade de transformar a biomassa em um combustível líquido que pode ser armazenado, permitindo uma maior flexibilidade na operação. Os combustíveis líquidos oferecem várias vantagens, entre elas, a elevada densidade energética, facilidade de transporte e estabilidade no manejo. Podem ser utilizados tanto em queimadores convencionais como industriais. Os processos de liquefação são capazes de produzir hidrocarbonetos que, apesar de diferentes dos hidrocarbonetos fósseis, resultam em um combustível de boa qualidade. Estudos comparativos realizados por vários países mostraram que é possível produzir combustíveis líquidos da biomassa com uma eficiência energética de 60 a 70%. Neste trabalho, a tecnologia considerada para avaliação do potencial de geração de eletricidade com biomassa corresponde à tecnologia convencional com queima em caldeira para geração de vapor e sua aplicação em turbina a vapor, cuja eficiência global é admitida conservativamente na faixa de 20%.



Sistema de geração pura de eletricidade com motor alternativo e sistema de geração combinada de calor e eletricidade. Fonte: Nogueira et al. (2004)



Balço térmico típico de planta de geração pura utilizando motor alternativo e balço térmico de uma planta semelhante, com sistema de cogeração agregado.

Fonte: Nogueira et al. (2004)

5. VIABILIDADE ECONÔMICA DA COGERAÇÃO NO BRASIL

A viabilidade para sistemas de cogeração deve focar em sua fase analítica o entendimento e a mensuração de rendimento dos equipamentos e matérias-primas utilizados na planta em questão. É necessário que haja uma convergência entre disponibilidade de matéria-prima (especialmente o combustível a ser utilizado) e a planta de forma a otimizar a estrutura para obtê-la diminuindo investimentos e, desta maneira, o tempo de retorno sobre eles. Os equipamentos planejados para atender à produção de energia devem adequar-se a uma planta industrial calculada em função do potencial de demanda energética que se espera obter - tanto as formas de energia deslocadas para os próprios processos industriais internos quanto à energia que se espera poder repassar às linhas de distribuição mensurada em função do gasto interno e da demanda existente no cenário energético regional e nacional.

Para melhor compreendermos a capacidade de uma indústria rentabilizar um sistema de cogeração e como procedem aos estudos fizemos uso de estudo de caso publicado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) em apostila do Curso de Capacitação em Multiplicadores em Eficiência Energética para o setores rural e agroindustrial (2008).

Estudo de Caso INDÚSTRIA A

O combustível a ser utilizado para a cogeração na INDÚSTRIA A estudada seria o cepilho, cujo potencial calorífico está atualmente fixado em 2.100 kcal/kg. Seu consumo atual pela indústria é de 3.200 t/mês, o que equivale a 28.136,64 GJ de energia gerada e, destes, 5.861,44 GJ de energia elétrica. O fornecimento do combustível se daria através de indústrias de móveis das redondezas com custo de R\$ 13,50/t.

A INDÚSTRIA A estima-se que necessita:

Tabela 2: Necessidades energéticas da INDÚSTRIA A

Fonte: COPEL (2008)

DADOS BÁSICOS DE NECESSIDADE	
ENERGIA ELÉTRICA	
Demanda de Energia Elétrica	2.777 kW
Demanda Média	2.678 kW
Fator de Carga Médio	0,84
Fator de Potência Médio	91,40%
Preço Médio	R\$ 106,58 /MWh
Fatura Mensal	R\$ 173.535,08 /mês
ENERGIA TÉRMICA	
Produção de Vapor	13,12 t/h
Preço Médio Estimado de Produção	R\$ 6,87 /t
Fatura Mensal Estimada de Produção	R\$ 64.387,70 /mês
Custo Total Estimado da Energia Utilizada	R\$ 2.855.073,36 /ano

O dimensionamento do sistema de cogeração na INDÚSTRIA A segue abaixo:

Tabela 3: Dados Básicos da Cogeração

Fonte: COPEL (2008)

DADOS BÁSICOS DA CO-GERAÇÃO	
ENERGIA ELÉTRICA	
Demanda de Energia Elétrica	3.000 kW
Demanda Média Fornecida	2.434 kW
Consumo Produzido (8.424h/ano)	19.243,8 MWh/ano
Custo Evitado Previsto	R\$ 2.051.004,20 /ano
Demanda Suplementar	2.650 kW
Consumo Suplementar	294,32 MWh/ano
Custo de Demanda Suplementar (A3a (30 a 44 kV) H S V	R\$ 466.582,34 /ano
ENERGIA TÉRMICA	
Produção de Vapor	25,00 t/h
Energético	Cepilho
Poder Calorífico Inferior Estimado	2.100 kcal/kg
Consumo de Biomassa Previsto	7,18 t/h
Custo Evitado Previsto	R\$ 772.652,40 /ano

Receita Total	R\$ 2.892.234,92 /ano
Custo com Combustível (R\$ 13,50 /t)	R\$ 816.538,32 /ano
Custo de Manutenção (R\$ 5,00 /MWh)	R\$ 102.537,21 /ano
Custo de Operação	R\$ 105.600,00 /ano
Custo Total com O & M	R\$ 1.491.257,87 /ano

Tabela 4: Retorno Sobre Investimento em Cogeração INDÚSTRIA A

Fonte: COPEL (2008)

RETORNO DO INVESTIMENTO			
INVESTIMENTO			
1.1	Investimento total	R\$	4.075.726,39
1.2	Investimento evitado, com a instalação da geração	R\$	0,00
1.3	ICMS dos equipamentos, creditado na emissão da nota fiscal	R\$	314.920,25
1	Investimento líquido	R\$	3.760.806,14
ENERGIA ELÉTRICA GERADA			
2.1	Potência média gerada	kW	2.434
2.2	Energia disponível para fornecimento à fábrica	MWh/ano	19.244
2.3	Energia evitada com a instalação da geração	MWh/ano	0
2.4	Energia excedente para fornecimento à concessionária	MWh/ano	1.264
2	Energia Total Gerada (2.2) + (2.4)	MWh/ano	20.507,4
TARIFAS			
3.1	Custo da tarifa de venda de energia da concessionária	R\$/MWh	106,58
3.2	Tarifa de compra de energia excedente pela concessionária	R\$/MWh	0,00
RECEITAS			
4.1	Custo evitado com compra de energia (2.2)x(3.1)	R\$/ano	2.051.004,20
4.2	Custo evitado em energia, c/ a instalação da geração (2.3)x(3.1)	R\$/ano	0,00
4.3	Custo evitado com Produção de Vapor	R\$/ano	772.652,40
4	Receita total com energia elétrica (4.1)+...+(4.3)	R\$/ano	2.823.656,60
CUSTOS			
5.1	Custo com combustível para geração	R\$/ano	(816.538,20)
5.2	Custo médio de manutenção + lubrificação	R\$/ano	(102.537,21)
5.3	Custo com operação	R\$/ano	(105.600,00)
5.4	Custo anual com contrato de Energia Emergencial	R\$/ano	(466.582,34)
5	Custo total com operação, por ano (5.1)+...+ (5.4)	R\$/ano	(1.491.257,75)
LUCRO			
6.1	Lucro Bruto da operação (4) - (5)	R\$/ano	1.332.398,85
6.2	Contribuição + Imposto de Renda Social	R\$/ano	(276.568,52)
6	Lucro Líquido da operação (6.1) - (6.2)	R\$/ano	1.055.830,33
TEMPO DE RETORNO			
7.1	Tempo de retorno, sem juros (1):(6)	anos	3,56
7.2	Tempo de retorno, com juros ((1)+ juros):(6)	anos	3,85

7.3	Taxa Interna de Retorno (IRR) antes dos impostos, 15 anos (%)		11,30%
CUSTO DA ENERGIA GERADA			
8.1	Amortização anual, sem juros (1):6 (amortização em 6 anos)	R\$	626.801,02
8.2	Custo anual da geração, sem juros (5) + (8.1)	R\$	2.118.058,77
8.3	Custo da energia gerada, sem juros (8.2):(2.2)	R\$/MWh	103,28
8.4	Amortização anual, com juros ((8.1)+juros)	R\$	671.930,70
8.5	Custo anual de geração, com juros (5) + (8.4)	R\$/MWh	2.163.188,45
8.6	Custo da energia gerada, com juros (8.5):(2.2)	R\$/MWh	105,48
8	Custo da energia, após amortização (5):(2.2)	R\$/MWh	72,72
	Custo da tarifa venda de energia pela concessionária	R\$/MWh	106,58

A interpretação da tabela supracitada juntamente com as conclusões a que a COPEL (2008) chegou acerca do estudo de caso na INDÚSTRIA A nos permite afirmar que a cogeração se apresenta como uma grande alternativa energética, haja visto o baixo tempo necessário para que o investimento retorne (3,85 anos). Vemos também que a venda da energia poderia representar redução de cerca de 32% nas contas da empresa, considerando o combustível a R\$ 13,50/t.

Para efeito contextual a COPEL (2008) na mesma publicação destaca que o preço médio para retorno sobre investimento em cogeração no Brasil é de 05 anos. Há um comparativo com usinas hidrelétricas o qual mostra que o tempo médio de retorno sobre investimento destas no Brasil é de 15 anos e que empreendimentos com este perfil normalmente levam ao menos 10 anos para serem implantados ao passo que usinas com sistemas de geração combinada são implantados em 02 anos, na média.

Tavares (2006), apresentando argumentos favoráveis para investimentos em cogeração a partir do bagaço de cana salienta que os preços da energia elétrica, relacionados ao custo marginal de operação que apontam os preços de curto prazo da energia, mostrados abaixo, exprimem tendência de elevação, o que justifica a elevação da oferta de energia a partir da cogeração.

A figura também mostra que a produção de excedente ocorre em um período de hidrologia desfavorável, o que significa escassez de energia no mercado nacional, e, portanto, elevação do preço. Isso se apresenta como uma oportunidade para o setor sucroalcooleiro.

Figura 12: Risco de déficit em na cogeração

Fonte: Opiniões (2006)

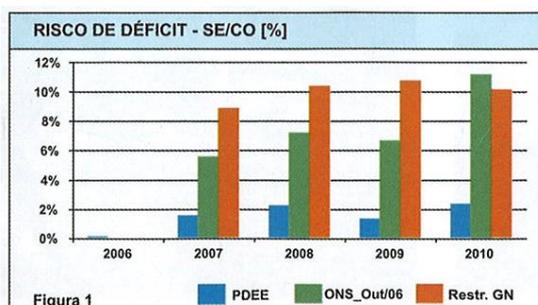
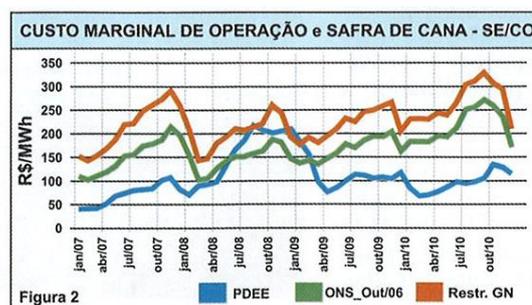


Figura 13: CMO e Safra de Cana

Fonte: Opiniões (2006)



6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA COGERAÇÃO NO BRASIL

Segundo a Associação de Indústrias de Cogeração de Energia (COGEN) a principal vantagem do sistema de cogeração é a economia que ele proporciona em termos de investimentos em transmissão e distribuição de energia, além da elevada eficiência energética quando comparado a outros sistemas. Os fatores levados em consideração pela COGEN para analisar o sistema são:

- Menor custo de energia (elétrica e térmica);
- Maior confiabilidade de fornecimento de energia;
- Melhor qualidade da energia produzida;
- Evitar custos de distribuição e transmissão de eletricidade;
- Maior eficiência energética;
- Menor emissão de poluentes;

A União de Produtores de Cana-de-Açúcar (UNICA) em 2008 apresentou a cogeração de energia como vantagem no sistema de produção de cana por ser um “combustível” assegurado, estar sempre disponível, ter implantação em menor prazo devido a possuir projetos de médio porte e diversificar a matriz energética.

Entretanto, a cogeração no setor sucroalcooleiro é vista como subproduto; o negócio das usinas atualmente é a produção de etanol e de açúcar. Desta forma, não há como existir repasse de energia para o Brasil advinda deste setor se o preço destes produtos de “primeira importância econômica” não favorecer a manutenção da cultura de cana-de-açúcar. Se terminar a lavoura, termina o combustível para a cogeração.

Outra desvantagem presente já evidenciada acima neste estudo e que deverá continuar freando o potencial de exploração da cana enquanto combustível para a cogeração é o impasse sobre quem vai investir no sistema como um todo. São poucas as usinas atualmente dispostas a investir fora de sua cerca, ou mesmo em equipamentos e

infraestrutura adequados dentro da planta. A razão de acordo com a ÚNICA seriam os altos custos inerentes à conexão com a linha de transmissão (responsabilidade dos empreendedores); os preços altos das máquinas e equipamentos indispensáveis nas centrais de cogeração (usinas brasileiras são muito antigas e não estão adaptadas ainda); além destes a ÚNICA aponta que a alta no preço de terras, insumos e mão de obra gera ressalvas nos usineiros.

7. LEGISLAÇÃO

Até o início da década de 1980 a legislação referente à auto-produção de energia elétrica era genérica e não viabilizavam uma maior produção. Além disso, não havia distinção entre a cogeração e a geração exclusiva de eletricidade (VELÁZQUEZ, 2000).

Somente em julho de 1995 é criada uma lei que trata da produção independente de energia elétrica. Essa lei garante o uso das redes de distribuição e transmissão mediante pagamento definido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (VELÁZQUEZ, 2000)

Segundo o artigo 3 da lei 9.648 de 1998 cabe a ANEEL regular as tarifas e estabelecer as condições gerais do acesso e uso dos sistemas de transmissão e de distribuição.

Na resolução 281/1999 da ANEEL, o Art. 18 diz que: os encargos de conexão aos sistemas de transmissão ou de distribuição serão de responsabilidade dos usuários.

Sendo que os encargos de conexão serão objeto de negociação entre as partes deverão cobrir os custos incorridos com o projeto, a construção, os equipamentos, a medição, a operação e a manutenção do ponto de conexão.

Não existem procedimentos de distribuição regulados pela ANEEL, o que gera obrigações cruzadas. Para o gerador, construir linhas e redes é uma desvantagem, uma vez que os custos são altos e os investimentos poderiam ser usados para melhorar a eficiência na produção de energia. Sendo as linhas e redes construídas pelo distribuidor, os investimentos e as tarifas são regulados pelas ANEEL, gerando menos custo ao consumidor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Segundo Brito, J. (2004), a utilização concentrada de formas de energia (petróleo, grandes hidrelétricas e energia nuclear) exige uma economia de escala, a criação de

complexos sistemas centralizados de produção, o transporte, a distribuição e a realização de pesados investimentos. Há de considerar-se o enorme impacto de qualquer obra de grande porte para o fornecimento de energia.

A partir desse ponto de vista, a busca de uma maior eficiência energética seja na produção de bioeletricidade ou outros setores deve ser uma constante da iniciativa pública.

O setor energético brasileiro tem demonstrado uma atividade planejada para essa direção com aumento da oferta de eletricidade dos setores privados com a distribuição pelo SIN (Sistema Integrado Nacional) e intermediação da EPE pelo sistema de leilões.

Contudo, se as formas descentralizadas de energia como a madeira e cana-de-açúcar representa menor investimento de implantação e menores custos operacionais, as iniciativas público-privadas nesse setor representam a diminuição da influência do governo em um setor estratégico.

Outro ponto relevante é a questão tecnológica. Segundo Brito J. (2004), a experiência brasileira na siderurgia a carvão vegetal demonstrou que as formas renováveis de energia só se tornam viáveis, em larga escala, se puderem evoluir gradativamente de uma situação de base tecnológica mais primitiva e rudimentar para

a incorporação de tecnologias avançadas, de forma a assegurar maior eficiência energética e a se tornarem ecológica e economicamente viáveis.

A cogeração, como inovação tecnológica mostra-se viável econômica e ambientalmente. Seja como solução para o bagaço de cana, para o licor negro ou a demanda crescente de energia.

Ainda, porém, no caso do setor sucroalcooleiro as usinas ainda demonstram baixo interesse na produção de grandes excedentes de energia para venda devido à opção por caldeiras de 42 bar. No caso da cogeração para madeira, os escassos dados aqui fornecidos a maior necessidade de investimento no estudo da lixívia negra para a indústria de celulose. Para as termelétricas à base de carvão vegetal é relevante citar o uso da reserva legal para manejo, como previsto em lei, e de utilidade tanto econômica quanto ambiental.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 10 jun. 2010.
- ASSOCIAÇÃO DA INDÚSTRIA DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. Disponível em: <<http://www.cogensp.com.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2010.
- BALESTIERI, J.A.P. Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor. Florianópolis: UFSC, 2002. 279 p.
- BRASIL. Lei n. 9648 de 27 de maio de 1998. Altera dispositivos das Leis no 3.890-A, de 25 de abril de 1961, no 8.666, de 21 de junho de 1993, no 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, no 9.074, de 7 de julho de 1995, no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e autoriza o Poder Executivo a promover a reestruturação da Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS e de suas subsidiárias e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 27 mai. 1998.
- CARVALHO, F.R.; NOGUEIRA, L.A.H.; TEIXEIRA, F.N. Cogeração e geração distribuída. In: LORA, E.E.S.; NASCIMENTO, M.A.R.(2004). Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 1296 p.
- CLEMENTINO, L.D. A conservação de energia por meio da co-geração de energia elétrica. São Paulo: Érica, 2001. 172 p.
- FILIPINI, F.A.; NAKAMURA, S. Curso de capacitação de multiplicadores em eficiência energética: módulo VIII. COPEL Distribuições. Disponível em: <<http://146.164.33.61/termo/cogeracao/cogera%20biomassa/cogeracao%20%20copel%2008.pdf>>. Acesso em 10 jun. 2010.
- GANIM, Antônio. Setor elétrico brasileiro: aspectos regulamentares e tributários. Rio de Janeiro: Canal Energia, 2003. 255 p.
- LEAL, M.R. Cogeração na expansão: Estimativa do potencial de energia na expansão. Opiniões – out/dez, p. 28-29, Ribeirão Preto, 2006.
- NOGUEIRA, L.A.H.; MARTINS, A.L.S. Introdução à cogeração. Itajubá: Escola Federal de Engenharia de Itajubá, 1997.
- PRESS, F. et al. Para entender a Terra. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: os autores, 2009.
- SILVESTREIN, C.R. Potencial para cogeração no Brasil: oportunidades de investimentos e negócios na cogeração gás natural e bioeletricidade. Disponível em: <<http://www.cogensp.com.br>>. Acesso em: 10 jun. 2010.
- TAVARES, P.C.C. Cogeração na expansão: A expansão sob a ótica da cogeração de energia. Opiniões – out/dez, p. 30, Ribeirão Preto 2006.
- TEIXEIRA, M.A.; Milanez, L.F. Caracterização energética do babaçu e análise do potencial de cogeração. 2003. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de

Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em:
<<http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 14 jun. 2010.

VELÁZQUEZ, S.M.S.G. A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil. 2000. 205 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.