

USO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR PARA CO-GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, NO ESTADO DE SÃO PAULO E A COMERCIALIZAÇÃO DO EXCEDENTE DA ENERGIA GERADA

THE USE OF SUGAR CANE TO CO-GENERATE ELECTRIC POWER IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL, AND THE TRADE OF ELECTRIC POWER SURPLUS

Solange Gomes Botão
Pedro Magalhães Lacava

Departamento de Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté

RESUMO

Co-geração é um processo simultâneo de energia mecânica e térmica, a partir de uma mesma fonte primária. O processo de co-geração de energia elétrica consiste em aproveitar o vapor produzido pela queima de combustível (biomassa) para movimentar as turbinas e gerar energia. Nas usinas de açúcar e álcool o bagaço da cana-de-açúcar é usado como combustível para caldeiras, gerando vapor para as turbinas que pode se transformar em eletricidade ou movimentar as moendas. Um dos fatores de maior importância para o setor sucroalcooleiro é a sazonalidade, ou seja, a safra de cana-de-açúcar coincide com os períodos de pouca chuva e quando os rios estão com seus níveis baixos. O objetivo do presente trabalho é avaliar o uso do bagaço da cana-de-açúcar na co-geração de energia elétrica por meio de sua queima e mostrar a importância da comercialização do excedente da energia gerada, para o setor sucroalcooleiro, no Estado de São Paulo. É uma energia limpa e renovável.

PALAVRAS-CHAVE: co-geração, vapor, bagaço, biomassa, energia renovável

INTRODUÇÃO

Energia elétrica ou eletricidade pode ser gerada através de fontes renováveis (a força das águas e dos ventos, o sol e a biomassa) ou não renováveis (combustíveis fósseis e nucleares). No Brasil, onde é grande o volume de recursos hídricos, é a opção mais utilizada e somente pequena parcela é produzida a partir de outras fontes de geração, sobretudo de origem termelétrica.

A Energia Renovável é obtida de fenômenos físicos naturais que, por sua abundância, podem ser considerados ilimitados (energia eólica, energia solar),

ou de processos que empregam materiais orgânicos (biomassa), que podem ser repostos, tornando possível a repetição do ciclo, em número indefinido de vezes. Seu conceito se opõe ao das fontes esgotáveis e, quantitativamente limitadas, cujo principal exemplo são os combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão).

O interesse pela energia renovável começou a ser estimulado, na década de 60, pelos crescentes movimentos ecológicos e, nos anos 70, pelo aumento do preço do petróleo.

De acordo com os cálculos da ONU - Organização das Nações Unidas, estima-se que a Terra tenha reservas de petróleo para somente mais 75 anos,

considerando como ponto de partida o ano 2000, de gás natural para os próximos 100 e de carvão mineral para mais dois séculos. Porém, estes estudos estão baseados somente no consumo atual desses produtos, sem levar em consideração sequer, o crescimento da população e o consumo crescente de energia, provocado pelo avanço tecnológico e econômico mundial, os quais podem reduzir em mais da metade o tempo restante destas fontes.

Segundo Souza (1999), os cálculos do setor energético indicam que o Brasil precisaria produzir mais de 2% de energia para cada ponto percentual de crescimento do PIB - Produto Interno Bruto. Existe um detalhe importante, o país depende de recursos hídricos para produzir mais de 90% da eletricidade que consome e precisaria receber investimentos anuais em torno de R\$ 8 bilhões. Um estudo feito pela instituição francesa, *Banque Paribas*, mostra que o Brasil, que é o quarto maior mercado de energia elétrica do planeta, praticamente triplicou o consumo energético entre 1970 e 1999, apresentando um crescimento anual da ordem de 4,36%.

A falta de energia é uma realidade, porém, parte da solução existe e é 100% nacional. Precisa somente do desenvolvimento de novas matrizes energéticas renováveis a partir da biomassa, principalmente na co-geração de energia utilizando o bagaço da cana-de-açúcar, assinalando que a biomassa é a energia do futuro, e que as termelétricas representam entre 7 e 8% da matriz energética em médio prazo.

A capacidade de um equipamento realizar trabalho, através da utilização de energia elétrica, é chamada **demand**a, sendo medida em Watt (W), e seus múltiplos mais comuns são os seguintes: 1 KW (Quilowatt) = 1000 Watts; 1 MW (Megawatt) = 1000 KW; 1 GW (Gigawatt) = 1000 MW; 1 TW (Terawatt) = 1000 GW.

A unidade de tempo (geralmente, expressa em horas) de uso de uma unidade de demanda (W) é um Watt-hora (Wh), caracterizando o **consumo** de energia elétrica, sendo seus múltiplos comuns: KWh, MWh, GWh e TWh.

Co-geração de Energia

Co-geração é uma palavra de origem americana, definida como a produção combinada de calor e potência com uso seqüencial da energia liberada por

uma mesma fonte de combustível. É quando se utiliza um fluxo efluente de energia, que de outra forma, seria rejeitado pelo meio ambiente. Os sistemas de co-geração podem operar eficiência maior do que aquela encontrada em sistemas que produzem separadamente calor e trabalho, esta eficiência de conversão pode ser da ordem de 75 a 90%.

França (2000) comenta que o bagaço de cana pode produzir cerca de 2000 MW. Atualmente, as usinas brasileiras produzem em média 700 MW de energia e vendem às operadoras somente 40 MW, o excedente de sua produção. Considera-se que o bagaço da cana-de-açúcar é uma excelente alternativa para gerar energia, principalmente no Estado de São Paulo. Uma das grandes vantagens da energia produzida pelas usinas de açúcar e álcool é a sua sazonalidade, a safra coincide com o período em que há pouca chuva e os rios estão com os seus níveis bem abaixo do normal.

Todo método de produção de energia que não envolva usinas hidrelétricas é considerado alternativo pelo governo federal. A co-geração é a energia produzida por indústrias e vendida para as operadoras.

Além do desenvolvimento de diferentes equipamentos e sistemas térmicos, existe uma preocupação especial no melhoramento e na elevação da eficiência desses sistemas, estimulada, também, pelo avanço na indústria química, no setor metalúrgico e siderúrgico, no processamento e conservação de alimentos, na eletrônica, no controle de processos. Hoje, há uma preocupação com a depredação dos recursos naturais ligada à sua utilização como fonte energética, dando origem a métodos variados para avaliação destes processos industriais, tanto do ponto de vista termodinâmico, como econômico.

Utilização da Cana-de-açúcar crua

Planejamentos e procedimentos estão sendo disponibilizados para cada vez mais se utilizar a cana crua em virtude do material estranho, que também chega junto. Os estudos estão sendo direcionados ao recebimento da cana crua inteira ou picada na usina. Dois modelos foram propostos.

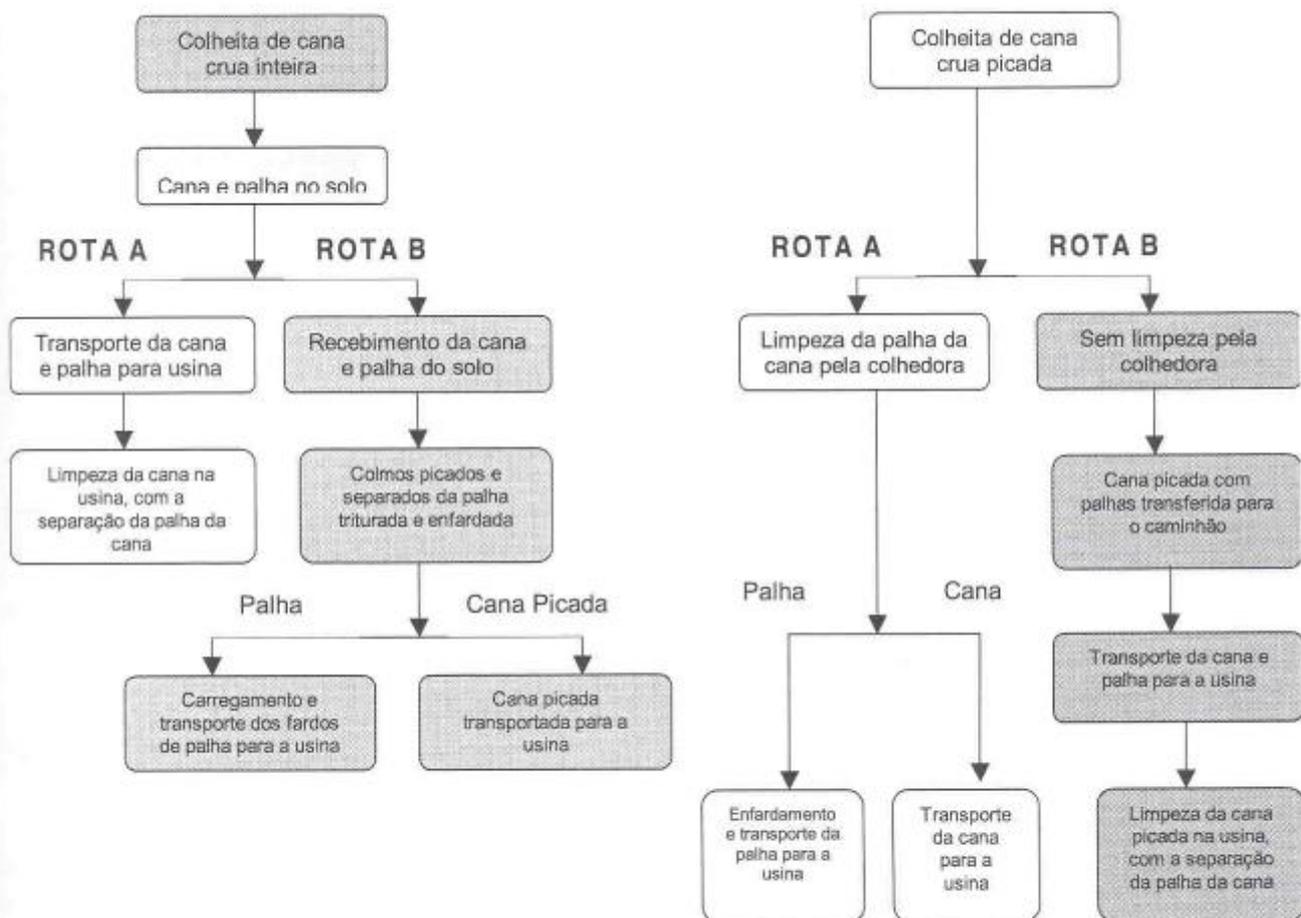


Figura 1 - Sistemas selecionados para colheita da cana crua

Desvantagens na colheita crua e recolhimento do palhicho: teores elevados de terra = 7%; teores elevados de umidade ponteiros = 76%; folhas verdes = 65% e palha seca = 7%; material de baixa densidade = 25 Kg/cm³.

A composição em peso seco: pontas verdes = 9%; palhas = 25%; tocos = 4%; raízes = 13% e cana = 49%.

Percentual das plantas e folhas: matéria seca = 26%; açúcares totais = 2,18%; sacarose = 0,0%; fibras = 19,80%; Água = 74%; outros componentes = 2,43%.

Tabela 1 - Quantidade de nutrientes na cana e na planta (kg de elementos/100 t de colmos verdes)

Elementos	Colmos	Folhas
Nitrogênio	92	62
Fósforo	10	08
Potássio	64	89
Cálcio	59	48
Magnésio	34	17
Enxofre	28	19

Para Nogueira, Bortolaia e Nascimento (1995), o processo de co-geração de energia elétrica consiste em aproveitar o vapor produzido pela queima de combustível (biomassa) para movimentar os equipamentos da própria indústria, e, simultaneamente, acionar conjuntos geradores de energia elétrica. Essa energia é usada para consumo próprio e quando há excedente, este é comercializado junto às distribuidoras e concessionárias do setor elétrico. A co-geração é uma tecnologia, normalmente, implantada em indústrias de açúcar e álcool, de madeira e de papel e celulose, dentre outras.

De acordo com Walter, Bajay e Nogueira (1994), os tipos de ciclos geradores de energia elétrica são:

Rankine - ciclo de conversão termomecânica que emprega turbina a vapor, cujo objetivo é a geração de eletricidade e/ou potência mecânica para acionamento de equipamentos, muito usado em usinas de açúcar e álcool. Sua eficiência média gira em torno de 45%.

Combinado - ocorre quando associamos dois ciclos de potência em série, ou seja, o rejeito de um deles, é insumo do outro, objetivando o uso do insumo energético, consumido pelo primeiro, para melhorar o rendimento global dos dois ciclos, usualmente, aplicado em termelétricas. Sua eficiência média chega a 80%.

Brayton, de turbina a gás, está se tornando um método cada vez mais utilizado na geração de energia. Neste tipo de máquina o ar atmosférico é, continuamente, succionado pelo compressor, onde é comprimido para uma alta pressão. O ar comprimido entra na câmara de combustão (ou combustor), é misturado ao combustível onde ocorre a combustão, resultando em gases com alta temperatura. Os gases provenientes desta se expandem através da turbina e descarregam na atmosfera. Parte do trabalho desenvolvido pela turbina é usada para acionar o compressor, o restante é utilizado para acionar um gerador ou um dispositivo mecânico. Seu rendimento é de, aproximadamente, 35%, porém, existem atualmente turbinas que alcançam um rendimento de 41,9%, segundo o *Gas Turbine World Handbook*.

A co-geração no Ciclo de Brayton, é implementada através da adição de uma caldeira de recuperação de calor. Neste caso, os gases de exaustão da turbina, são direcionados para ela, de modo a gerar vapor. Este vapor é, então, utilizado no processo industrial ou para acionamento de uma turbina a vapor combinado.

Tecnologias de produção disponíveis no Brasil

A produção de eletricidade a partir da biomassa em centrais termelétricas, que operam segundo o ciclo *Rankine*, já é realidade em alguns países. No entanto, as centrais, hoje, existentes operam com baixa eficiência e não são competitivas com outras opções de geração. A baixa eficiência é devido ao fato de que os custos unitários (\$/kW instalado), são muito influenciados pelo efeito escala.

Walter (1994) informa que avanços têm sido propostos, sobretudo, no que diz respeito à geração de vapor a partir de biomassa. Na Europa e nos EUA, a combustão da biomassa, em leito fluidizado, é utilizada com grande sucesso. No Brasil, existem apenas dois sistemas deste tipo, instalados em indústrias de papel e celulose: Aracruz e Klabin e em grelhas vibratórias resfriadas a água já ocorre em algumas centrais, permitindo aumentar a eficiência da combustão e, conseqüentemente, a eficiência global da central.

Entretanto, a maior parte das empresas do setor sucroalcooleiro utiliza, ainda, tecnologias ineficientes para co-geração, apesar da disponibilidade comercial de equipamentos mais eficientes.

Caldeiras são utilizadas em sistemas de co-geração, em que se produz vapor para uso em processos industriais, aproveitando-se o excedente para geração de eletricidade. Nas usinas de álcool e açúcar, o bagaço de cana é usado como combustível em caldeiras, gerando vapor para turbinas, que podem se transformar em eletricidade ou movimentar as moendas.

Para se aquecer uma caldeira de grande porte, com partida a frio, leva-se, aproximadamente, 10 horas. Este fato requer uma programação antecipada da operação da unidade, impedindo o seu funcionamento imediato em condições de emergência.

Ramos e Ennes (1994) afirmam que em termos ambientais, a presença de enxofre no óleo combustível proporciona o aparecimento de óxidos de enxofre nos gases que passam pela caldeira. A temperatura destes gases deve ser mantida acima do ponto de orvalho para evitar a formação do ácido sulfúrico dentro das tubulações. Esta temperatura, muitas vezes, chega próximo de 190°C, representando uma grande perda de energia, jogada na atmosfera através da chaminé. Além disso, fora da caldeira, o contato com o ar atmosférico provoca o esfriamento destes gases, dando origem às chuvas ácidas.

Sistema BIG/STIG

De acordo com Balbo e Padovani Neto (1987), a figura 6, a seguir, mostra uma proposta de formulação do sistema BIG/STIG para uma indústria sucroalcooleira. O gaseificador de leito fluidizado, pressurizado ou não, (1), é alimentado com bagaço de cana-de-açúcar, mais o agente de gaseificação (ar + vapor), obtendo como resultado da conversão termo-química deste energético, um gás combustível de baixo poder calorífico, que é composto por CO , H_2 , CH_4 , N_2 , CO_2 , O_2 e hidrocarbonetos.

O sistema de limpeza do gás quente obtido (2) permite eliminar através do emprego de catalizadores, separadores ciclônicos e filtros, os materiais particulados, os compostos alcalinos e o alcatrão, que afetam a operação da turbina a gás, pois causam erosão e corrosão das pás da turbina.

O gás limpo é conduzido para uma câmara de combustão (3) da turbina a gás (4), onde se injeta, também vapor, o que permite a elevação da potência de eixo, em função do aumento mássico e da injeção de um fluido de maior calor específico do que o dos gases de combustão. Outra vantagem adicional disto está na diminuição do nível de emissores de NO_x da turbina a gás. (BALBO; PADOVANI NETO, 1987)

Segundo Larson e Willians (1990), os gases quentes (500 a 550°C) após saírem da turbina a gás, são conduzidos até uma caldeira de recuperação de calor (5), onde se produz vapor para o gaseificador, para a injeção na câmara de combustão da turbina a gás (o que provoca um aumento de sua potência e rendimento no ciclo) e para o processo tecnológico da produção de açúcar e álcool. Entretanto, devido ao elevado custo dos ciclos combinados, inferiores a 150 MW, por causa do alto custo das turbinas a vapor de escala, não é interessante, no momento, a associação da tecnologia BIG com o ciclo combinado.

Para a Eletrobras (1993a), a principal vantagem para o emprego desta tecnologia na indústria sucroalcooleira é sua substancial economia na demanda de vapor de processo, de 480 kg vapor/tc das atuais usinas e destilarias, para menos de 280 kg vapor/tc. Isto é possível porque parte do vapor produzido na caldeira de recuperação de calor (cerca de 30% de 400 kg vapor/tc), destina-se ao processo de gaseificação do bagaço, restando 70% do vapor produzido para o processo

industrial, o que eleva sua disponibilidade para a produção de energia elétrica excedente.

A Eletrobras, (1993b), afirma que esta tecnologia BIG/STIG poderá contribuir significativamente (com cerca de 3.976 MW médio) para a redução do déficit de energia garantida do Estado de São Paulo em quase a sua totalidade no final do período.

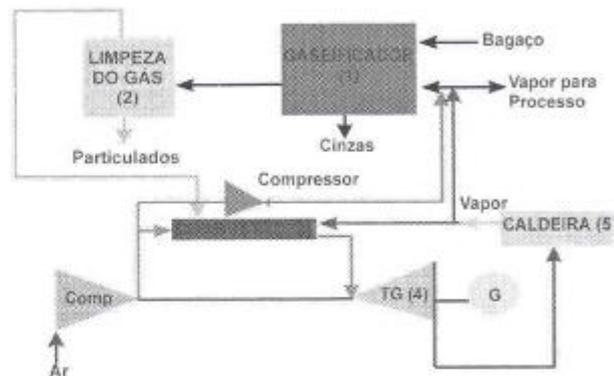


Figura 2 - Sistema BIG/STIG Proposto para Co-geração em Usina Sucroalcooleira

O processo de desenvolvimento da tecnologia BIG/STIG

Segundo Trindade (1997), o desenvolvimento da tecnologia BIG/STIG é uma adaptação para a indústria sucroalcooleira, da tecnologia BIG-GT - *Biomass Integrated Gasification - Gas Turbine*, que se encontra, no momento, em um estágio de desenvolvimento tecnológico. No entanto, este desenvolvimento da tecnologia BIG-GT faz parte de um projeto, conhecido como Fundo de Desenvolvimento Global (GEF), coordenado pela ONU - Organização das Nações Unidas e pelo BIRD - Banco Mundial de Reconstrução e Desenvolvimento, com a participação de vários países, entre eles, o Brasil.

O autor ainda comenta que a participação do setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, através da co-geração via sistema BIG/STIG - *Biomass Integrated Gasifier / Steam Injected Gas Turbine* (Gaseificação Integrada da Biomassa Associada à Turbina a Gás com Injeção de Vapor), pode ser uma alternativa viável para contribuir para futuro próximo com um aumento considerável na oferta de eletricidade. Isto permitirá uma

redução do déficit previsto de energia garantida, bem como pode provocar um novo surto de desenvolvimento na região do interior do Estado, onde se concentra a produção de açúcar e álcool.

Walter, Bajay e Nogueira (1993) afirmam que isto é possível porque existe o grande potencial energético da biomassa (bagaço de cana-de-açúcar), ainda, praticamente inexplorado para fins de geração de eletricidade no Estado, o que foi responsável pelo processamento de 149 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, correspondendo à cerca de 53% da safra nacional em 1994 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 1996; SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1996).

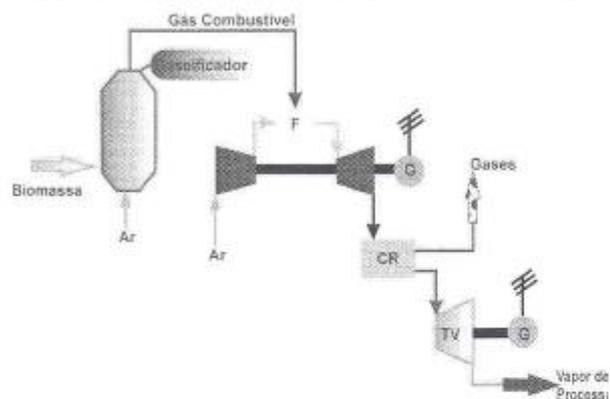


Figura 3 - Esquema do Ciclo BIG/GT

Para Trindade (1997), a outra possibilidade é a necessidade do setor sucroalcooleiro diversificar a sua produção para que seja possível a redução dos custos de seus produtos tradicionais: açúcar e, principalmente, o álcool bem como a reestruturação do setor elétrico, tanto em nível Federal, como Estadual, possibilitando um espaço maior para a geração descentralizada.

CARACTERÍSTICAS DO SETOR ELÉTRICO

A indústria elétrica foi fortalecida no Pós-Guerra como uma estrutura centralizada. O Estado, então, assumiu em vários países o papel de coordenador e promotor da reestruturação, uma vez que o capital privado não tinha condições e, talvez, nem tivesse interesse em viabilizar a expansão necessária à sustentação do processo de desenvolvimento econômico.

De maneira geral, o padrão centralizado de organização da indústria elétrica persistiu até o fim da

década de 70, quando a alteração do cenário macroeconômico impôs o seu questionamento e induziu a proposição de novas fórmulas. Naquela época, como consequência da drástica elevação dos preços do petróleo no mercado internacional, a economia mundial entrou em um período recessivo, com a consequente redução das taxas de crescimento da demanda.

Nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, o setor elétrico passou, a partir dos anos 70, por transformações que levaram à reestruturação da organização e da operação de seus sistemas. Esse processo ganhou abrangência e se alastrou para outros países, inclusive no contexto de movimentos que defendem uma maior descentralização política e uma menor participação do Estado na economia. Em um certo sentido, embora não seja a questão principal, a reestruturação do setor elétrico, também, tem certa associação com os esforços de racionalização do uso dos recursos naturais e de preservação da natureza. (BRUN, 1989)

A geração descentralizada, na forma de autoprodução, com ou sem venda de excedentes, e a produção independente são alternativas importantes dentro do processo de reorganização dos sistemas elétricos. Nos países desenvolvidos, o principal fator indutor da reestruturação tem sido a busca de maior competição no âmbito da geração, com vistas à redução dos custos de atendimento. Já, para os países em desenvolvimento, a questão fundamental tem sido colocada na viabilização de novas opções de geração dentro de um contexto de fortes restrições financeiras que impedem a expansão do sistema, segundo as alternativas convencionais.

Os dados da Tabela 2 indicam a evolução da autoprodução e a participação da co-geração em relação à produção total de energia elétrica em alguns países. Essa diversidade reflete as diferentes políticas energéticas e distintas formas de estruturação do setor elétrico. É importante salientar que esta co-geração não é feita somente com o bagaço de cana, existem outras fontes como gás natural, madeira e outros.

Outro ponto que merece destaque é o importante papel que a autoprodução representa no segmento industrial em vários países europeus, tendo mantido essa importância, mesmo quando o contexto não era favorável para tanto.

Na França, a co-geração não tem tradição histórica, porque o modelo energético é caracterizado

pela centralização estatal e fortemente baseado na energia nuclear. O único setor em que a co-geração, atualmente, representa possibilidades de crescimento sustentado, ainda que pouco expressivo, restringe-se à atividade de tratamento de lixo e resíduos diversos. No setor terciário, a co-geração pode encontrar um cenário mais favorável e promissor, através de políticas tarifárias que penalizem consumidores com grandes variações de carga, caso dos hospitais e “shopping centers”.

Na Holanda e Países Baixos, mais de 3000 MW de potência provêm de sistemas de co-geração, baseados nos conceitos de calor distrital, em que o governo

promove a atividade e oferece subsídios de 17,5% sobre o custo de capital instalado em plantas de até 20 MW.

Na Alemanha, que deve ser analisada por sua importância na economia européia, a participação na co-geração na matriz energética é expressiva, principalmente pelas elevadas tarifas elétricas praticadas pelas concessionárias. Entre as décadas de 30 e 50, a co-geração industrial atendia a 50% das necessidades de energia elétrica do país. Não obstante, com o passar dos anos a co-geração industrial perdeu espaço. Em 1985, 14% do consumo nacional de energia era atendido pela co-geração industrial (WALTER, 1994).

Tabela 2 - Participação da autoprodução e da co-geração sobre a geração elétrica total (%) – diversas fontes de energia

Países	1970	1980	1988	1988*	1988**	1988***
Alemanha	33,0	19,2	15,2	26,2	7,1	10,2
Dinamarca	2,1	1,4	1,9	2,9	1,7	26,7
Espanha	6,8	2,9	2,9	6,9	2,0	2,0
França	20,0	13,6	8,2	17,8	1,5	1,7
Grã-Bretanha	8,7	6,5	6,3	18,8	2,3	2,3
Holanda	15,8	10,1	15,5	33,4	14,1	28,9
Itália	24,3	17,3	12,6	22,1	6,4	6,7
EU - total dos 12 países	19,7	12,0	9,5	20,3	4,3	6,2
Estados Unidos	7,5	2,5	3,6	-0-	-0-	-0-

NOTAS: * autoprodução industrial / consumo industrial de eletricidade;
 ** co-geração industrial / geração elétrica total;
 *** total da co-geração (industrial + redes de calor) / geração elétrica total

FONTE: Paoli, *In* Percebois (1991); ONU, *in* Kock (1991) Krause (1992)

Houve no final dos anos 80, um maior empenho do governo alemão para melhoria da situação da co-geração, mostrando a importância desta tecnologia. A porcentagem de eletricidade consumida na indústria proveniente da co-geração em 1988 era de 26,2%. Em 1995, 14% de toda a energia elétrica gerada no país era proveniente da co-geração (GEORGE, 1991).

No sudeste asiático, a co-geração mostra um cenário mais favorável, praticamente, em todos os segmentos da economia.

No Japão, a co-geração é plenamente difundida no setor terciário e industrial, sendo neste último de forma

bastante diversificada, por meio de associações de empresas com interesses em comum, principalmente na forma de redes de calor. Já, no setor terciário, o momento é de franca expansão, no qual cerca de 400 MW são acrescido em média a cada ano (GUARINELO, 1997).

Os excedentes gerados são tratados com grande importância no sistema elétrico japonês, pois representam uma alternativa de caráter emergencial.

As concessionárias japonesas não são obrigadas a comprar os excedentes gerados e, por sua vez, as regulamentações não determinam a implantação de dispositivos de segurança e proteção da rede elétrica na

operação em paralelo, acarretando então uma redução nos custos de geração. A importância relativa da co-geração sobre a produção total de energia elétrica em outros países é demonstrada graficamente através da Figura 1.

Na América Central, o destaque é para Cuba, onde existe um esforço incessante na busca de novas fontes energéticas e um uso mais racional dos recursos, fomentado em anos mais recentes devido à sua difícil situação econômica.

Dentro do conjunto das possíveis soluções, a indústria açucareira continua sendo um foco de atenção na busca de produtos combustíveis e de fonte de matéria-prima para a indústria química, com a valiosa característica da renovabilidade.

A cana fornece, em forma de biomassa, depois de colhida, de 2,7 a 5,4 vezes, a energia empregada na sua produção, dependendo do grau de mecanização da colheita (PEDRAJA *et al.*, 1990), que é destinada fundamentalmente à alimentação humana e animal, e ao uso como combustível.

Para se ter uma idéia, uma tonelada de cana produz: $43,12 \times 10^4$ kcal como açúcar; $9,10 \times 10^4$ kcal como mel; $45,60 \times 10^4$ kcal como bagaço e $14,90 \times 10^4$ kcal como palha.

O bagaço tem sido a principal fonte de energia na produção de açúcar. Por seu calor de combustão, 5,8 toneladas de bagaço com 50% de umidade equivalem aproximadamente a uma tonelada de petróleo. (PEDRAJA *et al.*, 1990)

Todos os sistemas de co-geração existentes em Cuba empregam turbinas a vapor e estão localizadas principalmente na indústria açucareira, sendo que na indústria básica, que compreende a petroquímica, alimentícia, têxtil, etc., têm sido realizados esforços no sentido de sua implementação.

Em Cuba, costuma-se dizer que o bagaço da cana adquiriu status de produto principal das usinas. Deixou de ser resíduo e é usado ainda na fabricação de ração animal, móveis, papel, etc. (GUARINELO, 1997).

Em virtude do consumo de petróleo ser cerca da terça parte do que se consumia no país há dois anos, tendo ainda em conta que em Cuba a produção de eletricidade se realiza em centrais termoelétricas, que utilizam hidrocarbonetos como combustível, a co-geração se reveste de uma importância extraordinária. No entanto, em decorrência da crise econômica, não há

recursos para investir no aumento da capacidade de co-geração, embora muito se faça para racionalizar visando um aumento da eficiência (GUARINELO, 1997).

Apesar dos problemas, Cuba mostra uma experiência que não se pode subestimar na exploração de sistemas de co-geração, fundamentalmente no setor açucareiro, onde invariavelmente se concentram. Aliada a isto está a vivência na obtenção de energia elétrica a partir desses sistemas, com 83 usinas interligadas à rede energética nacional (GUARINELO, 1997).

Na América Latina, a Argentina foi a pioneira na liberação do seu sistema elétrico ao mercado aberto, o que acabou provocando um processo de rápida modernização. Atualmente, para que uma empresa possa despachar sua eletricidade co-gerada dentro do sistema integrado argentino, seu preço deve ser da ordem de US\$ 21/MWh, ou menor, dado o excesso de oferta no mercado. Uma das causas desta situação de superoferta é a grande disponibilidade de gás natural, que culminou na adoção de incentivos ao seu uso em usinas termelétricas, aliada à economicidade dos ciclos combinados, já explicados anteriormente (WALTER *et al.* 1995).

A co-geração no Brasil, diferente do que ocorre nos países citados não tem amparo legal que a incentive, embora ocorra desde 1981, a prática de comercializar os excedentes de energia, com concessionárias de distribuição. Em 1989, foram regulamentadas as condições de compra de excedentes de energia, através de contrato de curto prazo (um ano), no qual o autoprodutor só poderia ser remunerado pela componente de energia, recebendo tão somente pelo menor valor entre o montante contratado e o efetivamente suprido à concessionária. (WALTER, 1994).

Aspectos produtivos

No Brasil, onde sempre foi grande o volume de recursos hídricos, a opção hidráulica foi a mais utilizada e somente pequena parcela é produzida a partir de outras fontes de geração, sobretudo, de origem termelétrica.

Em uma usina termelétrica, existe a combinação diferente: formalha - onde é queimado o combustível (óleo, gás, biomassa, etc); caldeira - onde é produzido o vapor. O jato de vapor extraído da caldeira gira a turbina que, por estar interligada ao eixo do gerador, faz com que este, entre em movimento, gerando eletricidade.

A usina termelétrica tem as vantagens ambientais de redução da emissão de gases do efeito estufa, além da vantagem de colaborar na garantia da demanda de eletricidade.

A energia elétrica precisa ser produzida e consumida ao mesmo tempo, ou seja, ela é um bem não-estocável, salvo a eletricidade produzida em corrente contínua, como a armazenada em bateria, mas, que segundo Hochstetler (1998), não pode ser conservada nas quantidades requeridas de modo econômico. Assim, concluída sua geração, a energia elétrica é conduzida por cabos até uma subestação elevadora, onde transformadores aumentam o valor da tensão elétrica, expressa em Volt (V), para compensar as perdas advindas do transporte da energia elétrica. Desse modo, em um nível de tensão extremamente elevado, a eletricidade pode percorrer longas distâncias pelas linhas de transmissão, sustentadas por torres, até chegar nas proximidades de onde será consumida, sem perder as qualidades desejadas para o consumo.

O Setor Elétrico Nacional

Os baixos custos marginais das grandes usinas hidrelétricas foram devido às escalas de produção e pelas economias de escopo observadas com a interligação através dos sistemas de transmissão.

Segundo Oliveira (1997), o sistema elétrico Sul/Sudeste/Centro-Oeste é caracterizado por extensa malha de transmissão, moderado número de grandes produtores de eletricidade, grande número de consumidores e elevado consumo *per capita*, com pequenas taxas de crescimento. No sistema Norte/Nordeste, o consumo é inferior ao sistema Sul/Sudeste/Centro-Oeste, a produção de energia elétrica é concentrada em poucas empresas geradoras e possui pequena malha de transmissão. Concluindo, os sistemas isolados do Norte apresentam elevados custos e baixo consumo. Dessa maneira, por esses sistemas serem bastante peculiares entre si, conferem heterogeneidade ao setor elétrico, apesar da preponderância de uma única fonte de geração de energia elétrica, a hidráulica.

Tabela 3 - Produção de Energia Elétrica, por Fonte Geradora, 1998 (em GWh)

Fontes Geradoras	GWh	% do Total
Bagaço de cana-de açúcar	3.979	1,25
Carvão vapor	4.902	1,54
Gás natural	1.171	0,37
Gás de cozinha	440	0,14
Hidrelétrica	291.371	91,53
Lenha	687	0,22
Lixívia	2.526	0,79
Óleo combustível	4.863	1,53
Óleo diesel	5.211	1,64
Outros resíduos	1.947	0,61
Outras fontes secundárias	1.226	0,39
Urânio contido no UO ₂	3.265	1,03
TOTAL	318.323	100,00

FONTE: Ministério das Minas e Energia (1999)

A importância de cada sistema elétrico no consumo de eletricidade no País é mostrada pela Tabela 4. Outro aspecto interessante é a questão da co-geração de energia. Em países onde há oferta de gás natural e com uma industrialização semelhante à do Brasil, a co-geração representa entre 10 e 20% da potência instalada (ISTITUTO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 1998).

Devido à sazonalidade do fluxo de água (períodos chuvosos *versus* períodos secos) e aos custos marginais mais elevados, geralmente, as usinas termelétricas (sobretudo, as movidas a óleo, carvão e urânio), são complementares ao abastecimento feito pelas usinas hidráulicas.

Tabela 4 - Participação Regional no Consumo de Energia, 1998-2008 (em %)

Sistema Elétrico	1998	2003	2008
Sul/Sudeste/Centro-Oeste	74,05	69,63	67,29
Norte/Nordeste	18,19	19,13	21,05
Norte Isolado	1,80	2,01	2,48
Consumo do autoprodutor	5,96	9,23	9,18
TOTAL	100,00	100,00	100,00

FONTE: ELETROBRAS (1999b).

Em 1999, para a ELETROBRAS, pôde-se observar um considerável crescimento previsto para a energia termelétrica, conforme se vê na Tabela 5.

Tabela 5 - Capacidade Instalada por Tipo de Fonte, 1998-2008 (em GW)

Tipo de Fonte	1998	2003	2008	Δ % (2008/ 1998)
Hidrelétrica	56,0	68,4	84,6	51,07
Termelétrica	5,3	13,8	20,0	277,36
Interligação c/ Argentina	-o-	2,0	2,0	-o-
TOTAL	61,3	84,2	106,6	73,90

FONTE: ELETROBRAS (1999).

De acordo com os dados fornecidos pelo Ministério das Minas e Energia (1999), no Brasil, a co-geração pelos autoprodutores ultrapassa pouco mais de 6% da energia elétrica produzida, conforme pode se observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Eletricidade produzida por Geradores Públicos e Autoprodutores, Brasil, 1982-1998 (em GW)

Ano	Ger. Pub.	Autoprod.	Total
1982	143.499	8.590	152.089
1983	152.812	9.676	162.492
1984	169.798	9.590	179.388
1985	184.356	9.326	193.682
1986	191.473	10.655	202.128
1987	192.275	11.026	203.331
1988	203.781	11.171	214.952
1989	210.775	10.963	221.738
1990	210.913	11.907	222.820
1991	221.934	12.432	234.366
1992	228.711	13.020	241.731
1993	237.938	14.035	251.973
1994	245.875	14.166	260.041
1995	260.678	14.923	275.601
1996	273.300	17.944	291.244
1997	288.845	19.135	307.980
1998	301.198	20.390	321.588

FONTE: Ministério das Minas e Energias (1999)

Não obstante, medidas de incentivo e regulamentação da atividade de co-geração estão sendo desenvolvidas, objetivando criar um cenário semelhante ao ocorrido nos países que alavancaram a importância da co-geração dentro de sua matriz energética. No caso específico dos produtores sucroalcooleiros de energia elétrica, várias alterações no aparato legal têm sido promovidas.

Observando a demanda, desde a implantação do plano de estabilização econômica, em 1994, denominado Plano Real, o consumo total de eletricidade tem apresentado taxas de crescimento significativas. As classes que mais apresentaram crescimento nesse período foram a comercial e a residencial. A classe comercial cresceu 9,8%, no período entre 1996 e 1997, enquanto a residencial cresceu 7,3%. No entanto, a principal classe de consumo de energia elétrica permanece a industrial, representando 45,1% do total consumido, em 1997, como pode se observar na Tabela 7.

Segundo a ELETROBRAS (1999), no que se refere à questão da oferta de energia no setor elétrico, um programa de investimentos visando a sua expansão, sempre deve estar em desenvolvimento, pelo menos para atendimento ao crescimento vegetativo da população.

A seguir, na Tabela 8, o Plano de Investimentos na expansão da oferta de energia para até o ano 2008.

Um programa de investimento visando à expansão de oferta de energia elétrica sempre deve estar em desenvolvimento e o bagaço da cana-de-açúcar mais uma vez pode contribuir para atingir os objetivos.

O novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro abre novas possibilidades para que o autoprodutor e o produtor independente de energia, transacionem com concessionárias e consumidores livres.

Tabela 7 - Consumo de Energia Elétrica por Classe no Sistema Elétrico Nacional – 1997-1998 (em GWh)*

Classe	1997	% do Total	Δ% (97/96)	1998	% do Total	Δ% (97/96)
Industrial	124.645	45.1	4.75	124.699	43.4	0.04
Residencial	74.071	26.8	7.28	79.353	27.6	7.13
Comercial	38.138	13.8	9.80	41.573	14.5	8.89
Outros	39.290	14.2	5.34	41.767	14.5	6.30
TOTAL	276.186	100,00	-0-	287.392	100,00	-0-

FONTE: BNDES (1998) Exclui o consumo de autoprodutores

Tabela 8 - Plano de Expansão da Oferta de Energia Elétrica, 1998-2008 (em GW)

Sistema	1998	2003	2008
Sul/Sudeste/Centro Oeste	44.7	64.2	78.0
Norte/Nordeste	14.7	17.1	24.9
Norte Isolado	1.9	2.9	3.7
TOTAL	61.3	84.2	106.6

FONTE: ELETROBRAS (1999)

O ESTADO DE SÃO PAULO

O Estado de São Paulo, localizado na região Sudeste, apresenta uma posição destacada dentro do contexto nacional. Em termos demográficos, no ano de 1995, em São Paulo, concentrava-se uma população de 33,7 milhões de habitantes (21,6% do Brasil), distribuída numa área de 248,8 mil km² (2,9% do território brasileiro). O seu Produto Interno Bruto - PIB alcançou o valor de US\$ 260,8 bilhões, o que corresponde a 36,3% do PIB nacional, sendo o valor da renda per capita de seus habitantes em torno de US\$ 7.739,67; 8% maior que a brasileira (US\$ 4.611) (IBGE, 1996; SEADE, 1996).

Em 1995, o consumo energético atingiu 57,3 milhões de tEP/ano², 30,5% do consumo do país e o de eletricidade de 25,6 milhões de tEP/ano, o que corresponde a 44,6% do consumo total de energia do Estado, e cerca de 33,3% do consumo nacional. Quanto à produção de energia a partir de fontes primárias, esta foi de 27,7 milhões de tEP/ano, 16,6% da produção do Brasil, sendo que a eletricidade foi de quase 18,0 milhões

*tEP – tonelada Equivalente de Petróleo

de tEP/ano, o que corresponde a cerca de 64,9 % da produção total de São Paulo, e cerca de 24,4% da produção nacional neste ano. No agregado, o Estado apresenta em 1995 uma auto-suficiência energética de 45,5% e uma dependência de fornecimento externo de 36,3%, em relação à sua demanda de eletricidade (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 1996; SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1996).

No período de 1980 a 1995, o Estado de São Paulo, apresentou uma evolução de consumo energético da ordem de 54,4%, passando de um consumo total de 37.117 mil tEP em 1980, para 57.314 mil tEP, em 1995. Desde 1987, as distribuidoras do Estado vêm adquirindo energia co-gerada pelo setor sucroalcooleiro. Naquele ano foram adquiridos 4,9 MW de demanda e 2,7 GWh de consumo. A evolução da demanda (MW) e do consumo (MWh) co-gerados pelo sucroalcooleiro, fornecidos às distribuidoras paulistas, no período de 1988 a 1995, pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 - Demanda e consumo co-gerados pelo setor sucro-alcooleiro comercializados junto ao sistema elétrico do estado de São Paulo, 1988-1995 (em MW e MWh).

ANO	MW	MWh
1988	4.3	10.400
1989	3.1	7.400
1990	4.5	16.800
1991	8.7	26.100
1992	10.2	27.200
1993	12.1	49.300
1994	17.4	52.100
1995	14.2	57.130

FONTE: Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL (1998)

Em 1996, existiam dez usinas gerando excedentes comercializados junto às distribuidoras (nove, vendiam à Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL e, apenas uma vendia seu excedente à Companhia Energética de São Paulo - CESP). A energia adquirida pela CPFL, naquele ano, foi capaz de suprir o consumo de 55 mil residências no período da safra (maio a dezembro). Em 1997, a CPFL adquiriu 26 MW do setor sucroalcooleiro durante o período da safra 1997/1998. Na Tabela 10, apresenta-se a evolução de aquisição pela CPFL do consumo co-gerado pelo setor sucroalcooleiro entre os anos de 1996 e 1998.

Tabela 10 - Consumo co-gerado pelo setor sucroalcooleiro e vendido à CPFL 1996-1998 - (em MWh)

AUTOPRO-DUTOR	1996	1997	1998
Cia Vale do Rosário	20.608	20.255	75.301
Santa Elisa	21.909	24.836	31.113
Santa Lydia	2.758	6.342	-o-
São Martinho	5.309	5.558	2.087
Ometto Pavan	3.395	2.166	2.219
Corona	704	3.099	2.791
Nardini	1.502	1.340	-o-
São Francisco	-o-	-o-	975
TOTAL	56.185	63.596	114.486

FONTES: 1996 e 1997: Prezado Companheiro - CPFL, n. 113, Jan/Fev/mar/97. 1998: Interface do Co-gerador com a Concessionária - Companhia Paulista de Força e Luz (1999)

³ demanda é a quantidade de potência requerida para determinado equipamento elétrico entrar em operação, sendo medida em W (e seus múltiplos KW, MW, GW, etc.).

⁴ consumo é a quantidade de demanda (W) utilizada por qualquer período de tempo, normalmente, expresso em horas. Assim, o consumo seria dado pela seguinte fórmula: demanda requerida pelo equipamento (W) x nº de horas de utilização (h). Desse modo o consumo é expresso em Wh e seus múltiplos (KWh, MWh, GWh etc).

Tabela 11 - Produção de energia elétrica pelos autoprodutores 1982-1998 - (em GWh)

ANO	BAGAÇO DE CANA ¹	HIDROELÉTRICA
1982	1291	2700
1983	1872	2972
1984	1645	3041
1985	1740	3041
1986	1700	3428
1987	1928	3495
1988	1878	3546
1989	1784	3586
1990	1744	3114
1991	1876	3173
1992	2066	2760
1993	2017	3370
1994	2314	3238
1995	2574	3449
1996	3593	4324
1997	3880	4386
1998	3979	4980

FONTE: Ministério das Minas e Energia (1999)

¹ - O montante de GWh inclui o consumo próprio das usinas sucroalcooleiras e o excedente vendido às concessionárias de energia elétrica.

Tabela 12 - Demanda³ e consumo⁴ co-gerados pelo setor sucroalcooleiro comercializados junto ao sistema elétrico do Estado de São Paulo, 1988-1995 - (em GWh)

ANO	MW	MWh
1988	4,3	10.400
1989	3,1	7.400
1990	4,5	16.800
1991	8,7	26.100
1992	10,2	27.200
1993	12,1	49.300
1994	17,4	52.100
1995	14,2	57.130

FONTE: Companhia Paulista de Força e Luz-CPFL (1998)

Tabela 13 – Consumo co-gerado pelo setor sucroalcooleiro e vendido à CPFL, 1996-1998 - (em MWh)

AUTOPRODUTOR	1996	1997	1998
Cia Vale do Rio Doce	20.608	20.255	75.301
Santa Elisa	21.909	24.836	31.113
Santa Lydia	2.758	6.342	-
São Martinho	5.309	5.558	2.087
Ometto Pavan	3.395	2.166	2.219
Corona	704	3.099	2.791
Nardini	1.502	1.340	-
São Francisco	-	-	-
TOTAL	56.185	63.596	114.486

FONTE: 1996 e 1997: Prezado Companheiro – CPFL, n. 213, jan/fev/mar/97. 1998: Interface do Cogrador com a Concessionária – CPFL (1999).

De acordo com a CPFL, a compra de energia elétrica, durante o ano de 1999, junto aos produtores independentes sucroalcooleiros, é a seguinte,

Tabela 14 - Demanda e consumo co-gerados pelo setor sucroalcooleiro e vendidos à CPFL, 1999 (em MWh e MW)

PRODUTOR INDEPENDENTE	MWh	MW
São Francisco	1.022	0.2
São Martinho	2.712	0.5
Santa Cruz	2.700	0.5
Cia Vale do Rosário	73.800	15.0
Santa Elisa	26.512	6.8
TOTAL	106.746	23.0

FONTE: Interface do Co-gerador com a Concessionária - CPFL (1999)

Apesar da evolução positiva do volume co-gerado ao longo dos últimos anos, o montante de MW comercializado atualmente pelo setor sucroalcooleiro (23 MW) representaria menos de 4% do potencial co-gerado existente no Estado de São Paulo, dados analisados pela própria CPFL.

A tabela 15 a seguir ilustra o volume de investimento e número de projetos no setor de infraestrutura previstos para o período de 1999-2003, destacando a vantagem relativa prevista para o setor elétrico.

Tabela 15 - Investimentos previstos em setores de infraestrutura, 1999-2003 (em US\$ bilhões)

SETORES	VALOR	Nº DE PROJETOS
Energia elétrica	90,8	785
Petróleo/ gás/ petroquímica	38,1	149
Transportes/portos	50,4	243
Saneamento ambiental	14,5	46

FONTE: Associação Brasileira de Infra-estrutura e Indústria de Base – ABDIB (1999)

Potencial do Estado de São Paulo

O potencial termodinâmico (teórico) avaliado da produção de eletricidade via tecnologia BIG/STIG, junto ao setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, é feito neste trabalho para um período de dez anos, tendo início somente em 2006, quando esta tecnologia entrará em fase de operação comercial. Entretanto, admite-se para esta avaliação, a hipótese de um cenário, no qual somente 10% das usinas e destilarias deste Estado usariam este processo neste ano. Já para o ano 2015, este índice de inserção desta tecnologia pelo setor passaria para 85%. Por isso, para a determinação deste potencial, existem duas condições básicas:

a) a projeção da moagem de cana para o período de 2006 e 2015;

b) o índice específico de eletricidade excedente, que depende principalmente das características químicas e físicas do bagaço utilizado e do tipo de tecnologia empregado neste processo, o que varia de 130 kWh/tc até 400 kWh/tc; este último com tecnologia dificilmente disponível a custos competitivos (ZYLBERSZTAJN; COELHO, 1992).

No que tange à primeira condição, segundo Walter (1994), a produção de cana-de-açúcar deverá crescer a uma taxa de 1,7% ao ano, e a moagem desta passará de 149 milhões de toneladas/ano em 1994, para cerca de 212,3 milhões de toneladas/ano, em 2015.

Quanto à segunda condição, segundo a Eletrobras (1993b), a disponibilidade líquida de produção de energia elétrica usando a tecnologia BIG/STIG para uma indústria sucroalcooleira está em torno de 193 kWh/tc. Portanto, para uma produção em torno de 149 milhões de toneladas de cana em 1994 (SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1996), teremos, então, um potencial teórico de 28.757 GWh por safra, o que corresponde a uma energia firme de 3.283 MW médio, isto, sem levarmos em consideração a utilização de pontas e folhas da cana-de-açúcar (o que praticamente, duplica este potencial), conforme mostra a Tabela 16.

Tabela 16 - Disponibilidade de Energia Firme Excedente para o ESP via Tecnologia BIG/STIG

CICLO	Ef(1) Total	Produção Total (2)	Consumo (3)	Excedente Líquido	Safra de Cana	Geração Total	Energia Firme (4)
BIG/STIG	0.36	238 kWh/tc	45 kWh/tc	193 kWh/tc	149* 10 ⁶ 1on	28.57 GWh	3.283 MW

(1) Ef- Eficiência - Ef do Gaseificador (80%) x Ef da Turbina (45%)

(2) Uma tonelada de cana, com 15% de umidade (PCI=3272 kcal/kg), corresponde à cerca de 173,5 kg de bagaço peletizado, o que equivale a 567.692 kcal. Multiplicando este valor pela eficiência total de cerca de 36% e dividindo por 860 kcal, temos então a produção de 238 kWh por tonelada de cana processada de energia excedente.

(3) Considerando um consumo interno médio de energia elétrica na indústria sucroalcooleira de 30 kWh/tc, mais o consumo do peletizador de 15 kWh/tc.

(4) Operando com 8.760 horas/ano.

De acordo com o índice específico de eletricidade excedente verificado na tabela e da expansão na produção de cana-de-açúcar para o período de 1996 a 2015, é calculado o potencial teórico de produção de energia elétrica para o Estado de São Paulo em MW médio (sem levar em consideração a utilização das pontas e folhas da cana-de-açúcar), isto conforme o cenário estabelecido anteriormente.

Mercado de Eletricidade – previsão para o período de 1996 a 2005

A previsão do mercado de eletricidade do Estado de São Paulo no período de 1996 a 2005, refere-se ao fornecimento de energia elétrica firme aos consumidores, ou seja, não estão computados os atendimentos de energia interruptíveis (ETST, EST e Portaria 1063), condicionados a situações hidrológicas favoráveis.

Para a classe residencial, o Estado previu um acréscimo médio anual de 4,9% neste período, de 1996 a 2005, sendo que o consumo passará de 22.132 GWh

para cerca de 34.204 GWh. Na industrial, previu-se uma expansão média de 3,1% ao ano, devendo o consumo passar de 38.620 GWh para 50.750 GWh, neste período (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 1995).

O setor de Co-geração da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) informou, por meio de sua assessoria de imprensa, que a empresa irá aumentar sua potência ativa co-gerada através da queima do bagaço da cana de 20 megawatts (MW) para 400 MW, no prazo de cinco anos.

A CPFL é a empresa pioneira na compra de energia das usinas paulistas e, hoje, tem contratos com doze unidades produtoras de energia, sendo dois deles de longo prazo, cada um, por dez anos. A potência de 20 MW disponíveis já representa cerca de 1% de toda a energia fornecida pela empresa e é capaz de abastecer um município de 10 mil habitantes o ano todo.

Assim como a CPFL, outras empresas como a Companhia Energética de São Paulo - CESP e a Companhia Geral de Distribuição de Energia - CGDE, de origem portuguesa, que entrou, recentemente no

mercado, já acertam contatos com seis usinas para colocar mais 100 MW na rede a partir do próximo ano (COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ, 2001).

Atualmente, existem cerca de 150 unidades co-geradoras do Estado de São Paulo. Desse total, 12 têm contrato de fornecimento com a CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz. Juntas geram 20 MW/hora no horário considerado fora do pico, das 6 às 18h.

O uso da biomassa como alternativa de energia, ainda reduz a emissão de poluentes no meio ambiente. O nível de poluição atmosférica do bagaço é inferior a outras fontes de energia, como o carvão e o óleo combustível. Além de estratégica, essa fonte de energia elétrica gera uma receita adicional para a empresa de aproximadamente 2 milhões de dólares a cada safra.

SETOR SUCROACOOLEIRO E O MAE MERCADO ATACADISTA DE ENERGIA

Os produtores independentes de energia elétrica (PIE's) do setor sucroalcooleiro são importantes para a consolidação do novo modelo proposto para o setor elétrico brasileiro. Seus empreendimentos são caracterizados, geralmente, por serem de pequena escala e curto prazo de maturação, quando comparados às grandes usinas hidrelétricas; e por estarem localizados, quase que em sua totalidade, no maior mercado consumidor do sistema elétrico brasileiro: o Estado de São Paulo. Assim, os PIE's conferem maior confiabilidade ao sistema elétrico e, também, competitividade ao elevar o número de *players* dessa indústria. Em vista disso, e dentro do âmbito do processo de reestruturação do setor elétrico, os agentes reguladores têm implementado diversas medidas objetivando o desenvolvimento da atividade de co-geração no setor sucroalcooleiro.

O Ministério de Minas e Energia, pela edição da Portaria 227, de 2 de julho de 1999, chamou a atenção dos empresários co-geradores da intenção de implantar diretrizes específicas para a compra dos excedentes co-gerados no curto prazo. Para tanto, a ANEEL realizou, durante o mês de outubro de 1999, uma chamada pública para identificar os excedentes de energia elétrica co-gerada, objetivando a sua comercialização a curto prazo.

Tabela 17 - Maiores Capacidades Instaladas no Estado de São Paulo de Co-geração de Energia (em MW)

UNIDADE	PRODUÇÃO (MW)
Costa Pinto*	177,8
Vale do Rosário	51,0
Santa Elisa	31,0
Colombo	27,5
Nova América	22,5
São Martinho	19,0
Da Barra	15,8
Bonfim	14,8
Iracema	14,0
São João (Araras)	12,0
Moema	12,0
Santa Cruz	11,4
Maracá	11,0
Guarani (Cruz Alta)	10,5
Alta Mogiana	10,0
São Luiz (Dedini)	10,0
MB	9,4
Catanduva	9,0
Nova União	8,0
Zanin	8,0
Guarani (Severinia)	8,0
N. Sra. Aparecida (B.C.)	8,0
Alcoazul	8,0
São Domingos	8,0
Santa Adélia	8,0
São Carlos	6,8
Santo Antônio	6,6
São José da Estiva	6,4
Campestre	6,3
Santa Luzia	6,0
Virálcool	6,0
Santa Cândida	5,6
Cresciumal	5,6
CLEALCO	5,0
Mandu	4,8
Floralco	4,7
Santa Isabel	4,7

FONTE: JornalCana (2000)

A citada portaria incumbia, ainda, a Eletrobras de criar, diretamente ou através de suas controladas, os mecanismos adequados para a compra dos excedentes inventariados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A ANEEL promulgou a Resolução 281, em 1 de outubro de 1999, na qual estabelecia as condições gerais de contratação do acesso, compreendendo o uso e a conexão, aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, permitindo, desse modo, a efetivação do disposto no Decreto n. 2003.

Os produtores independentes devem firmar, conforme o caso, o contrato de uso dos sistemas de transmissão com o Operador Nacional do Sistema (ONS) e o contrato de conexão com a distribuidora de transmissão no ponto de acesso, estabelecendo as responsabilidades pela transmissão, operação e manutenção das instalações de conexão e os respectivos encargos. São responsáveis, ainda, por estudos, projetos e a execução das instalações de uso exclusivo e a conexão com o sistema elétrico da distribuidora onde será feito o acesso. No que tange ao acesso aos sistemas de distribuição, tanto os PIE's, quanto os consumidores devem firmar os contratos de uso dos sistemas de distribuição e conexão com a distribuidora local.

De acordo com a Portaria 33/DNAEE, de 11/2/88, o horário de ponta compreende três consecutivas de um dia útil, definidas pela distribuidora, situadas no intervalo entre 17 e 22h. O horário fora de ponta é o conjunto de horas complementares ao horário de ponta. A ANEEL tem um tratamento diferenciado que favorece às Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's), que terão incentivos quanto aos encargos do uso e da conexão às redes de transmissão e distribuição, através da Lei 9.427, artigo 26, Inciso I, de 26 de dezembro de 1996; chegando a uma redução não inferior a 50%, alegando essa vantagem como forma de garantir competitividade à energia ofertada por esses empreendimentos. Contudo, se as PCH's iniciarem sua operação até 31 de dezembro de 2003, o percentual estabelecido será de desconto de 100%.

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética, (INEE), não existe uma justificativa que

tenha sido citada na Lei, para que esse incentivo seja restrito apenas às PCH's.

Quanto à formação dos preços, note-se que a estratégia dominante para a distribuidora é a aquisição de energia elétrica através do PIE sucroalcooleiro a um valor inferior a R\$ 71,50 por MWh. Os Valores Normativos deverão ser reajustados em periodicidade anual, com base na variação de três fatores: o Índice Geral de Preços Médios (IGP-M); nos custos dos combustíveis e na variação cambial.

Conforme mostra a Tabela 18, o Valor Normativo acordado para fonte de geração biomassa é de 41,26% superior à fonte de geração competitiva. Desse modo, haverá incentivos fortes para as distribuidoras, cujo mercado cativo é o mais representativo em contratar o fornecimento de energia elétrica com fonte de geração especificada, como sendo a biomassa, uma vez que as derivadas de usina cólica e solar foto-voltaica não apresentam relevância dentro da matriz energética brasileira.

Tabela 18 - Valor Normativo por Tipo de Fonte de Geração, 1999 (em R\$/MWh)

TIPO DE FONTE DE GERAÇÃO	VALOR NORMATIVO (R\$/MWh)
Competitiva ¹	57,20
Termelétrica Carvão Nacional	61,80
Pequena Central Hidrelétrica – PCH	71,30
Termelétrica Biomassa ²	80,80
Usina Eólica	100,90
Usina Solar Foto-voltáica	237,70

FONTE: ANEEL (1999)

¹ O Valor Normativo da linha competitiva inclui a geração hidrelétrica, térmica a gás térmica a carvão importado.

² Na fonte de geração por biomassa incluem-se, também as fontes que utilizam gás natural.

Assim, arquiteta-se um cenário propício à expansão da co-geração semelhante ao ocorrido em países que iniciaram o processo de reestruturação de seu setor energético, anteriormente ao brasileiro, e encontra-se em estágios mais avançados.

MATERIAL E MÉTODO

Em virtude do tema pesquisado, Uso do Bagaço da Cana-de-Açúcar para Co-geração de Energia Elétrica, ser relativamente novo, encontramos alguma dificuldade na pesquisa bibliográfica restrita ao Brasil, entretanto algumas dissertações e teses permitiram o início do projeto. (COELHO, 1992; DEL CAMPO, 1999; LEMOS, 1996; TRINDADE, 1997; WALTER, 1994)

Após o levantamento bibliográfico em bibliotecas e na rede de Internet, passamos à pesquisa de campo, por intermédio de contato com pequenas, médias e grandes usinas do Estado de São Paulo, agendando visitas para a coleta de material, análise e conhecimento dos diferentes equipamentos usados. É importante salientar que as visitas foram feitas somente às usinas que vendem o seu excedente de energia para empresas distribuidoras.

As visitas ocorreram no período de julho a setembro de 2001 e seu maior objetivo era conhecer *in loco* como se desenvolve o processo no todo: o plantio, o espaçamento, a queima, a colheita, o maquinário, mão-de-obra e custos, para definição da eficiência dos equipamentos na co-geração.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenrolar deste trabalho sob o título – Uso do Bagaço da Cana-de-Açúcar para a Co-Geração de Energia Elétrica no Estado de São Paulo, e a Comercialização do Excedente de Energia Gerada – chegou-se à conclusão de que é uma alternativa de potencial expressivo. Porém, várias barreiras, ainda, precisam ser superadas para que uma fração mais significativa desse potencial possa ser viabilizada num horizonte de prazo médio.

Uma das restrições, que pode ser colocada a essa alternativa de geração descentralizada de energia elétrica, vem de uma atitude conservadora por parte dos segmentos econômicos que estão envolvidos diretamente. Observa-se que o setor elétrico não tem sido capaz de se antecipar aos fatos e agir para evitar o transtorno que poderá ocorrer com o racionamento de energia elétrica.

A geração e a comercialização de energia elétrica excedente a partir de subproduto da cana (bagaço, pontas e folhas), além de ter condições de ser

competitiva em relação a outras formas de geração, é, ainda, uma opção de investimento que pode ser de baixo risco, porque pode ser viabilizada através de parcerias. Mais uma vez, o poder público, por meio da ANEEL não tem desempenhado a contento o papel que lhe cabe na criação de condições mais adequadas de co-geração e à produção independente, por meio da elaboração e implementação de mecanismos de fomento, ou mesmo, da adoção de uma postura isenta na definição das ações regulamentadoras e da intermediação objetiva entre as partes.

Mesmo a produção de energia elétrica excedente, em larga escala a partir de subprodutos da cana-de-açúcar, não tem condições de resolver, sozinha, problemas como a expansão da capacidade de geração de eletricidade ou o aumento do álcool em paridade com a gasolina. No entanto, a sua contribuição para com esses e outros problemas pode ser significativa. Nesse sentido e, principalmente, em função dos benefícios que podem ser identificados para o conjunto da sociedade, suas perspectivas a médio e longo prazos são ótimas, desde que as restrições, hoje, mostradas na pesquisa, possam ser superadas.

Este potencial será mais bem aproveitado quando forem introduzidas junto ao setor sucroalcooleiro, no Brasil, tecnologias que aumentem a oferta de biomassa, através da mecanização da colheita, melhoria da produtividade e, ainda a produção de eletricidade, também, no período da entressafra. O desenvolvimento da tecnologia da gaseificação dos subprodutos da cana e o conseqüente emprego de turbinas a gás, como máquinas motrizes, permitem o aumento do potencial em pelo menos 50%, em relação ao potencial associado aos sistemas a vapor com turbinas de extração-condensação.

No desenvolvimento da pesquisa descobriram-se alguns passos que foram chamados de os *caminhos da eficiência*, são eles:

- a) redução do consumo de vapor;
- b) aumento da pressão das caldeiras para 42 a 64 kg/cm², tirando o melhor proveito do fogo;
- c) troca das grelhas fixas por grelhas basculantes;
- d) transformação das turbinas simples em turbinas de múltiplos estágios;
- e) balão de *flasheamento* para reaproveitar o vapor de escape;
- f) para a fabricação do açúcar o caldo deve ser muito

bem decantado, necessitando de apenas um cozimento ao invés de duas massas;

g) co-geração na entressafra.

Argumenta-se, que considerando um potencial de 2.000 MW para a energia de co-geração sucroalcooleira, esse potencial representaria apenas 3,26% da capacidade instalada no setor elétrico nacional, no caso da ordem de 61.300 MW. Todavia, quando se considera a capacidade instalada apenas do Estado de São Paulo, estimada pela Secretaria de Energia do Estado de São Paulo (1999) como sendo 12.145 MW, em 1998, esse potencial de co-geração do setor sucroalcooleiro representaria cerca de 16,5%, mostrando a importância dessa energia renovável para a matriz energética paulista. A co-geração, ou energia limpa, é uma das possibilidades mais doces na geração de energia elétrica do Estado.

Um resumo geral da pesquisa apresenta as seguintes considerações: o bagaço da cana-de-açúcar é biomassa disponível; é uma fonte de energia renovável; o bagaço da cana-de-açúcar, depois da madeira (lenha), é o tipo de biomassa com maior importância e potencial como combustível; a biomassa dá oportunidade para o desenvolvimento de tecnologia e equipamentos sem o vínculo de dependência de tecnologia importada; é possível desenvolver um programa destinado ao aumento gradativo da contribuição do bagaço de cana junto à co-geração de energia; com o incentivo ao PRO-ÁLCOOL teremos maior quantidade e disponibilidade de bagaço de cana para a queima; poderá, ainda, contribuir com o seu excedente para a geração de energia elétrica.

O Brasil precisa se convencer de que o processo de desenvolvimento requer um planejamento energético, portanto, a cana-de-açúcar "verdadeiras plantações de energia", pode participar com uma matriz energética limpa e segura com a tecnologia já disponível.

ABSTRACT

Co-generation is a simultaneous process of mechanical and thermal energy, coming from a same primal source. The process of co-generation of electric energy consists of exploiting the steam produced by the burning of combustible material (biomass) to put the turbines into motion and generate energy. At the sugar and alcohol mills, the bagasse of sugar cane is used as fuel for the boilers, generating steam for the turbines that can be transformed into electricity or put the millstones into

motion. One of the issues of major importance for the sugar/alcohol sector, it is seasonal, that is, the harvest of the sugar cane coincides with periods of sparse rains, when the rivers are at low levels. The purpose of present study is to evaluate the use of sugar cane bagasse in the co-generation of electric energy by means of its burning and to show the importance of commercialization of the excess energy generated, to the sugar/alcohol sector in the State of São Paulo. It is a clean and renewable energy.

KEY-WORDS: co-generation, vapor, bagasse, biomass, renewable energy

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, J. M.; PADOVANI NETO, A. Excedentes de Energia Elétrica e Sobre de Bagaço para Diferentes Concepções de Conversão e Utilização de Energia Aplicáveis à Indústria Sucroalcooleira. STAB, v. 6, n. 2, nov./dez. 1987, p. 52-58.

BOTÃO, S. G. *Uso do Bagaço da Cana-de-Açúcar para co-geração de energia elétrica, no Estado de São Paulo e a Comercialização do Excedente da Energia Gerada*. [Dissertação de Mestrado] UNITAU, 2002, 161 p.

BRASIL. Decreto nº 2.655, de 4 de julho de 1998. Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica, define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico, de que trata a Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998, e dá outras providências.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução nº 149, de 09 de junho de 1999. Homologa as Tarifas de Fornecimento e Suprimento de Energia Elétrica para Companhia Paulista de Força e Luz - CPFL..

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 245, de 31 de julho de 1998. *Estabelece os Critérios para Composição da Rede Básica dos Sistemas Elétricos Interligados*.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 249, de 11 de agosto de 1998. *Estabelece as condições de participação dos Agentes no Mercado Atacadista de Energia – MAE e Diretrizes para o Estabelecimento do Mecanismo de Realocação de Energia – MRE.*

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 264, de 13 de agosto de 1998. *Estabelece as condições para a contratação de energia elétrica por consumidores livres.*

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 266, de 13 de agosto de 1998. *Estabelece limite ao repasse, para tarifas de fornecimento, dos preços livremente negociados na aquisição de energia elétrica, por parte dos concessionários e permissionários de distribuição.*

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 271, de 19 de agosto de 1998. *Dá nova redação aos artigos 2º e 7º da Resolução 249, de 11 de agosto de 1998.*

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução nº 94, de 30 de março de 1998. *Estabelece condições relativas à participação dos Agentes de Geração e de Distribuição de Serviços e Atividades de Energia Elétrica.*

BRASIL. Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia – MME. Portaria nº 227, de 2 de julho de 1999.

BRUN, M. J. *La Cogénération dans le Monde.* Institut Français de L'Énergie, Paris, 1989.

COELHO, S. T. *Avaliação da Co-geração de Eletricidade a partir do Bagaço de Cana em Sistemas de Gaseificador/Turbina a Gás.* 1992. ... f. Dissertação (Mestrado em ?) - Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 1992.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL. *Avaliação do Potencial de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro na área de concessão da CPFL: elementos para uma análise de médio e longo prazo.* Fev./87.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL. *Projetos Estratégicos – Administração Estratégica.* In: FÓRUM DE CO-GERAÇÃO. Campinas, abr 1999. Disponível em: <<http://www.ax.apc.or/~inee>>. Acesso em: 5 ago. 1999.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL. *Manual de Co-geração.* Campinas, SP, 1997.

COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ – CPFL. *Avaliação do Potencial de Co-geração no Setor Sucroalcooleiro na área de Concessão da CPFL: Elementos para uma análise de médio e longo prazo.* 1995.

COOPERSUCAR. *Seminário sobre o Bagaço de Cana.* Centro de Tecnologia Coopersucar e Assessoria de Diretoria, 07/02/1983.

COPERSUCAR, *Gaseification Technology Report.* Relatório Técnico COPERSUCAR RT-687-94-95, Piracicaba, 1994.

DEL CAMPO, E. R. B. *Avaliação Termoeconômica do Sistema de Co-geração da Usina Vale do Rosário.* 1999. 306 f. Tese (Doutorado em ?) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.

ELETROBRAS. *Plano 2015 – Estudo de Oferta e Demanda / Estratégia de Expansão do Sistema.* Rio de Janeiro, 1993.

ELETROBRAS. *Plano 2015 – Projeto 4: A Oferta de Energia Elétrica / Tecnologia, Custos e Disponibilidade; Sub-projeto “Resíduos da Cana-de-Açúcar”,* Rio de Janeiro, 1993.

ELETROBRAS. *Geração de Eletricidade nas Usinas de Açúcar e Alcool.* Relatório Anual, 1999.

- ELETRONBRAS. *Plano Decenal de Expansão 1999 – 2008*. ELETRONBRAS, 1999.
- FRANÇA, R. O Brasil Precisa de Novas Fontes de Energia para Evitar Crise Futura. VEJA, ano 33, n. 34, 2000.
- GEORGE, J. P. La Cogeneration: Le gas naturel au service de la performance économique. *Rev. de L'Energie*. n. 430, p. 318-321, maio 1991.
- GUARINELO, J. F. F. *Avaliação Termoeconômica de um Sistema de Co-geração Proposto para um Pólo Industrial*. 1997. ... f. Dissertação (Mestrado em ?) - Universidade Estadual de Campinas, 1997.
- HOCHSTETLER, R. L. *A reforma do setor elétrico no Brasil: as perspectivas de introdução de competição no segmento geração*. 1998. 168 f. Tese (Doutorado em ?) - Faculdade de, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1996
- INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). *Co-geração: legislação específica e correlata*. In: FÓRUM DE CO-GERAÇÃO, São Paulo, 1998. Disponível [On-line] em <http://www.ax.apc.org/~inee>, 29 de dezembro de 1998.
- JORNALCANA. Perspectivas melhores exigem manutenção mais ampla e detalhada. Novembro de 2000. Disponível [On-line] em <<http://www.jornalcana.com.br/Edicoes/Atualidades>>. ed. 80. 5 fls. 11/02/01.
- LARSON, E. D.; WILLIAMS, R. H., Biomass-Gasifier Steam-Injected Gas Turbine Cogeneration. *ASME Journal Engineering for Gas Turbines and Power*. v. 112, p. 157-163, 1990.
- LEMONS, A. A. S. *Energia Elétrica no Brasil e a Co-geração como Fonte Energética Alternativa*. 1996. 68 f. Monografia (Graduação em ?) - Faculdade de Ciências Econômicas, Instituição Moura Lacerda, Ribeirão Preto, 1996.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). *Balço Energético Nacional 1996*. Brasília, DF: Eletrobras/MME, 1996.
- MME – Ministério de Minas e Energia, *Balço Energético Nacional – Ano Base 1995*, Brasília, 1996, p. 150.
- NASCIMENTO, J. G. A. do; RIBEIRO FILHO, A. P.; ISHIHARA, C. A. A. *A Defesa da Concorrência no Setor Elétrico Brasileiro e a Introdução da Competição*. Brasília, DF: ANEEL, 1999.
- NOGUEIRA, L. A. H.; BORTOLAIA, L. A.; NASCIMENTO, M. A. R. Ciclos Térmicos com Biomassa Gaseificada: Configurações e Desempenhos. SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA – GRUPO II, 13., Florianópolis, SC, 1995.
- OLIVEIRA, A. de. *Reforma do Setor Elétrico. Que Podemos Aprender com a Experiência Alheia?* Rio de Janeiro: UFRJ/Grupo de Energia, 1997.
- OLIVEIRA, R. de. Subprodutos elevam a renda das usinas. *Agrofolha*. 20/11/96.
- PEDRAJA, R. E. et al. *Azucarera*. ENPES, La Habana, 1990.
- RAMOS, D. S; ENNES, D. A. W. A Competitividade Térmica no Parque Gerador Interligado Sul/Sudeste Brasileiro: O Caso do Gás Natural. *Revista Brasileira de Energia*, v. 4, n. 1, 1994.
- Ranking das 50 maiores Capacidades Instaladas de Co-geração de Energia da Região Centro-Sul. *Anuário JornalCana*. Safra 2000/2001.
- SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. Anuário Estatístico do Estado de São Paulo, São Paulo, 1996.

SEESP – SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Balanço Energético Estadual – Ano Base 1995*. CESP, São Paulo, 1996, p. 208.

SEESP – SECRETARIA DE ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Balanço Energético Estadual. Ano Base 1995*, CESP, São Paulo, 1997, p. 208.

SOUZA, Z. J. de. *Uma Avaliação das Formas de Comercialização da Energia Co-gerada pelo Setor Sucroalcooleiro*, 1999.

TRINDADE, L. F. M. *Perspectivas da Expansão da Oferta de Eletricidade no Estado de São Paulo. Fontes Renováveis e Não-Renováveis de Energia*. 1997. ... f. Tese (Doutorado em ?) - Faculdade de , Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

WALTER, A. C. S. *Viabilidade e Perspectivas da Co-geração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucroalcooleiro*. 1994. ... f. Tese (Doutorado em ?) - FEM, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

WALTER, A. C. S., BAJAY, S. V. e NOGUEIRA, L. A. H. Co-geração e Produção Independente de Eletricidade nas Usinas de Açúcar e Alcool: Sua Viabilidade Segundo a Ótica de Diferentes Atores Envolvidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 6. SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE ENERGIA, 1., v. 3, Rio de Janeiro, 1993, p. 731-737.

ZYLBERSZTAJN, D.; COELHO, S. T. Potencial de Geração de Energia Elétrica nas Usinas de Açúcar e Alcool Brasileiras Através de Gaseificação da Cana e Emprego de Turbinas a Gás. *Revista Brasileira de Energia*, v. 2, n. 2, 1992.