

COGERAÇÃO EM USINAS SUCROALCOOLEIRAS DE MÉDIO PORTE E SUA INSERÇÃO NO PARQUE GERADOR NACIONAL

Silas Vieira

CESP – Cia. Energética de São Paulo/EPUSP - Escola Politécnica da USP
Rua da Consolação, 1875 15º andar - 01301-100 - São Paulo, SP, Brasil

Maria Cristina Pellegrini

CESP – Cia Energética de São Paulo /IEE-USP - Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP
Rua da Consolação, 1875 15º andar - 01301-100 - São Paulo, SP, Brasil

Resumo. Este trabalho apresenta um estudo de caso onde foi analisada a repotenciação de usinas de açúcar e álcool de médio porte, localizadas na região Sudeste do país. Para tanto, partiu-se de uma unidade padrão característica que processa dez mil toneladas de cana por dia. Através de simulações utilizando-se um modelo matemático denominado Modelo de Despacho Hidrotérmico, utilizado pelo Setor Elétrico como balizador no processo decisório da expansão de empreendimentos para oferta de energia elétrica, foi possível chegar aos padrões de despacho expressados por um fator de capacidade médio de 89%, demonstrando, desta forma, a significativa participação que estas usinas poderão ter no Parque Gerador onde estão inseridas.

Palavras-Chave: Cogeração, Planejamento energético, Setor sucroalcooleiro

1. INTRODUÇÃO

A significativa participação da biomassa na expansão da geração termoelétrica dentro do parque gerador interligado brasileiro, se constitui numa opção bastante atraente, quer por parte do setor sucroalcooleiro pela utilização do bagaço de cana, quer através da geração em outros setores industriais. A questão observada é a necessidade de investimento da iniciativa privada, o que até agora tem se dado de forma ainda incipiente, uma vez que se exige do Setor elétrico regras claras e políticas tarifárias realistas, que remunerem o capital investido. Dentre as agroindústrias, o setor sucroalcooleiro apresenta uma liderança por processar grandes montantes de biomassa combustível em instalações segmentadas, podendo contribuir significativamente, num horizonte de médio a longo prazo, com o Sistema Elétrico Nacional, ao injetar energia excedente gerada através da cogeração termoelétrica.

A quantidade de bagaço produzida no setor sucroalcooleiro na safra de 1996/97 foi de 76 milhões de toneladas com um poder calorífico inferior de 7,74 MJ/kg, para 50% umidade. Em geral, admite-se 5% de perdas na produção de bagaço e um excedente de 12% na produção de etanol e 5% na produção de açúcar. A utilização do bagaço como combustível, contudo, não é feita de forma eficiente quando queimado em caldeiras a baixa pressão (21 kgf/cm²) e em turbinas de contra-pressão.

O consumo de bagaço nas usinas pode ser também bastante reduzido pelo uso de vapor com maior pressão tanto na geração de vapor pelas caldeiras a 40, 60 ou 80 kgf/cm² ao invés

de 20 kgf/cm², como no processo de destilação a 7,5 kgf/cm² ao invés de 2,5 kgf/cm². Tecnologias existentes e mais eficientes poderiam aumentar a cogeração de eletricidade nas usinas de álcool dos atuais 14-16 kWh/t de cana para 100 kWh/t de cana, ao se utilizar turbinas a vapor tipo extração-condensação, ou até 280 kWh/t de cana, utilizando os resíduos da cana se as queimadas forem evitadas.

Para aumentar a eficiência do ciclo de energia do sistema, prevê-se a instalação de centrais de cogeração próximas, ou mesmo fazendo parte de indústrias cujas atividades gerem como excedentes materiais que apresentam características combustíveis.

O número elevado de usinas e destilarias existentes, com uma grande diversidade de idades em suas instalações, os diferentes estágios tecnológicos e condições de contorno de coleta de dados e as diretrizes adotadas pelos grupos empresariais envolvidos, dentre outras constatações, se refletem na constante discrepância encontrada nas determinações destes potenciais. No Estado de São Paulo, onde se concentra o maior potencial de cogeração do setor sucroalcooleiro, estima-se que a potência atualmente instalada é de 611 MW, em um universo de 131 usinas.

2. SETOR SUCROALCOOLEIRO: OFERTA DE CENTRAIS DE MÉDIO PORTE

No Brasil, a prática da cogeração encontra-se bastante difundida, em função da significativa quantidade de energia elétrica que pode ser injetada no sistema, principalmente, aquela originada do setor sucroalcooleiro.

No Estado de São Paulo, a viabilidade da introdução da cogeração no sistema elétrico, ocorreu após a publicação das Portarias do DNAEE n^o 246 de 26/12/88 e, n^{os} 94 e 95 de 13/06/89, que implementaram as condições gerais de suprimento do Autoprodutor (AP), regulamentando a aquisição do seu excedente de energia elétrica pela concessionária, em contratos de longo prazo.

Cabe ressaltar que é característica do AP do setor sucroalcooleiro, cuja curva de carga tem perfil sazonal, gerar energia elétrica no período de safra, em grande parte buscando sua auto-suficiência durante este período, porém com total dependência de energia elétrica do sistema da concessionária, no período de entre-safra.

A garantia de energia durante o período da entre-safra, pode ser conseguida através de métodos como a estocagem do bagaço da própria usina, ou da sua compra de terceiros. No primeiro caso, a potência total final será menor. Se houver, contudo, a possibilidade da compra de bagaço excedente de terceiros, esta potência não será modificada. Outra opção a ser considerada é o aproveitamento das palhas e pontas da cana como combustível.

Em virtude do crescente interesse na cogeração, as concessionárias de São Paulo assinaram um acordo em julho de 1992 (Protocolo/1992), com os produtores de açúcar e álcool com o propósito de comprar eletricidade excedente até um total de 300 MW de capacidade ao custo marginal de geração. Quando da assinatura do mesmo, este valor era de 41US\$/MWh. Mais recentemente, esse valor foi revisado pelas concessionárias para 32US\$/MWh, valor considerado baixo pelos empresários do setor, e insuficiente para atrair novas adesões.

Isso ainda tem sido um obstáculo a ser resolvido, porém o montante de energia disponível não pode ser desprezado, principalmente no Estado de São Paulo que é o maior produtor de cana de açúcar do país, conforme os indicadores apresentados na Tabela 1 a seguir.

TABELA 1 - DADOS DE PRODUÇÃO REFERENTES AO SETOR SUCRO-ALCOOLEIRO DE SÃO PAULO E DO BRASIL PARA A SAFRA DE 1996/97

	São Paulo	Brasil	SP/BR
Cana (milhões de toneladas)	170	273	62,3%
Área plantada (milhões de toneladas)	1,8	3,9	4,2%
Produtividade (t de cana/ha)	94	70	-
Emprego (milhões de trabalhadores)	0,5	1,3	38,5%
Unidades industriais	132	339	38,9%
Açúcar (milhões de toneladas)	7,9	13,6	58,1%
Produtividade (kg/t de cana)	90,4	86,4	-
Álcool (bilhões de litros)	9,0	13,7	67,5%
Produtividade (litros/t de cana)	80,6	78,3	-
Bagaço para fins energético (milhões de toneladas)	42,6	71,8	59,3%
Capacidade elétrica instalada (MW)	620	n.d.	-

Fonte: Coelho (1998)

Uma das concessionárias do Estado com maior concentração de usinas sucroalcooleiras em sua área de concessão, que compreende parte das regiões Noroeste, Nordeste e Sudeste do Estado, é a CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz. Em 1997, das 84 usinas e destilarias existentes, representando uma potência instalada de aproximadamente 465 MW, a CPFL adquiria, através de contratos de compra de energia, cerca de 18 MW gerados por 11 destas usinas. Existem, contudo, projetos de expansão que pretendem agregar uma potência de cogeração de 180 MW ao parque gerador. Esta nova capacidade de produção de eletricidade decorre do aperfeiçoamento do processo e da redução das perdas nos sistemas já existentes, sempre considerando a adoção de tecnologias amplamente conhecidas.

2.1 O Processo de Cogeração

Existem diversas indústrias que utilizam instalações de geração que fornecem tanto potência mecânica (ou elétrica) como potência térmica, simultaneamente. No entanto, nem sempre se buscou uma otimização no uso dos combustíveis empregados, muitas vezes ocorrendo perdas nesses sistemas. Numa planta industrial a ocorrência de eventuais desequilíbrios entre os requisitos de potência mecânica e térmica poderá acarretar perdas indesejáveis.

Estas perdas podem ser assim explicadas: se o vapor remetido para o processo, após passagem por uma turbina de contrapressão, de uso bastante difundido, for insuficiente, é comum liberar diretamente a quantidade desejada por um "by-pass", sem, evidentemente, aproveitar a potência mecânica obtida com esse fluxo de vapor pela turbina.

Inversamente, se o requisito de potência mecânica (ou eletricidade) é elevado em relação à potência térmica, poderá ocorrer excesso de vapor, eventualmente liberado para a atmosfera. A situação ideal, em termos de busca de eficiência na utilização de energia dos combustíveis, é procurar minimizar essas perdas. Na interligação com as concessionárias de distribuição de energia elétrica essa otimização fica facilitada.

Assim, em situações em que o processo demandar, relativamente, mais potência mecânica do que térmica, é desejável recorrer a compras da concessionária, reduzindo-se ou evitando-se as perdas de vapor para a atmosfera. Inversamente, quando a demanda de potência térmica for maior em relação à potência mecânica, torna-se possível aumentar a geração de potência mecânica na turbina, comercializá-la na forma de eletricidade com a concessionária e, simultaneamente, atender as necessidades térmicas da planta. Com isso, torna-se possível usufruir a principal vantagem da cogeração, ou seja, a otimização global do uso de

combustíveis, assim como, a garantia na geração de energia elétrica e energia elétrica excedente.

A representatividade do setor sucroalcooleiro pode ser sentida através da Tabela 2 a seguir, onde este segmento representa mais da metade da energia total gerada quando comparada aos outros segmentos industriais, podendo desta forma, contribuir significativamente com o parque elétrico na oferta de energia, atendendo aos padrões de qualidade e confiabilidade praticados pelas concessionárias.

TABELA 2 - POTÊNCIA INSTALADA DE COGERAÇÃO ESTRATIFICADA POR RAMO DE ATIVIDADE NO ESTADO DE SÃO PAULO (Dez/96)

SETOR	POTÊNCIA INSTALADA (MW)
Siderúrgico	27,0
Químico/Petroquímico	141,0
Alimento/Bebidas	65,0
Papel e Celulose	93,0
Sucroalcooleiro	611,0
TOTAL GERAL	937,0

Fonte: Cury (1997)

Para atender à comercialização desta energia gerada ou excedente através dos Autoprodutores e Produtores Independentes de Energia (PIE), foram adotadas políticas de incentivo para uma melhor ocupação da transmissão existente, assegurando o livre acesso à rede, para todos os participantes da indústria. Desta forma, na localização de novas instalações geradoras, deve-se procurar sítios que acrescente benefícios advindos do acesso adequado à rede, além das considerações usuais de localização dos empreendimentos.

As condições para o acesso aos sistemas de transmissão e distribuição estão regulamentadas através da Portaria 459/97, que procura viabilizar novos investimentos bem como, fazer a divisão da rede atual de transmissão em zonas geo-elétricas de modo a simplificar a análise regional dos mecanismos de incentivo à oferta de energia elétrica. Para o caso da distribuição, convencionou-se, através desta mesma Portaria, que a cobrança da tarifa seja feita através do selo postal para cada par gerador/carga atendida, independente da localização espacial dos participantes.

Mais recentemente, a Portaria 227/99 resolve determinar em um dos seus Artigos, que a Eletrobrás “estabeleça mecanismos adequados à compra, direta ou através de suas controladoras, dos excedentes de energia elétrica produzidos por cogeneradores”, além de determinar que a Secretaria de Energia “elabore diretrizes específicas de política energética para estimular as atividades de cogeração no país”.

3. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO

3.1 Característica do Empreendimento

O presente trabalho apresenta um estudo de repotenciação de usinas de açúcar e álcool, para geração de excedente de energia elétrica a ser comercializada com a concessionária.

Tais usinas estão localizadas no interior do Estado de São Paulo e apresentam capacidade de processamento de 10.000 toneladas de cana por dia, considerando um período de safra de 210 dias corridos ou 178 dias úteis.

Foram adotados ainda neste estudo arranjos nas instalações de uma usina padrão em

questão, que consistiu na instalação de caldeiras novas, e na adequação do sistema turbogerador para os níveis de pressão estabelecidos.

Vale ressaltar que a avaliação econômica correspondente à aquisição e/ou adaptação dos equipamentos necessários à operação da usina de açúcar e álcool, não foi considerada, uma vez que o objetivo deste estudo ficou restrito às possibilidades de geração de eletricidade e as quantidades de energia disponíveis para a sua comercialização.

A configuração típica atual desta usina apresenta a caldeira operando com pressão de 20 bar e temperatura de 380°C, produzindo 208 t/h de vapor. Este vapor, antes de ser utilizado no processo a pressão de 2,5 bar, passa por 2 turbinas produzindo 6 MW de trabalho elétrico, e 8,5 MW de trabalho mecânico. Todo trabalho produzido é consumido na própria usina.

Dentro das premissas adotadas para a repotenciação, ou seja, utilizando uma caldeira operando a uma pressão de 66 bar e temperatura de 480°C, e considerando uma eficiência de 85 %, tanto para a caldeira como para a turbina, os resultados calculados são os seguintes:

- bagaço total	104,15	t/h
- bagaço disponível (95%)	99,00	t/h
- consumo de vapor no processo	146	t/h
- consumo de vapor na turbina de contrapressão	6	kg/kWh
- energia elétrica produzida na turbina de contrapressão	24.333	kWh
- produção total de vapor	212.850	kg/h
- vapor disponível para geração	66.850	kg/h
- consumo de vapor na turbina de condensação	3,7	kg/kWh
- energia elétrica produzida na turbina de condensação	18.067,5	kWh
- energia total produzida	42.400,5	kWh

Todo o vapor produzido passa por uma turbina de contrapressão gerando uma potência elétrica máxima de 30 MW, que descontando o consumo próprio da usina de 6 MW, ter-se-á um excedente de 24 MW disponível para comercialização junto a concessionária de energia elétrica. Os 8,5 MW de trabalho mecânico consumidos pela usina são obtidos por turbinas de menor porte alimentados com vapor a 22 bar extraídos da turbina principal

Ressalte-se que o dimensionamento do potencial de geração a partir dos valores identificados para a usina em questão, requer um melhor conhecimento do perfil de obsolescência das instalações passíveis de serem incorporadas ao processo de cogeração, bem como da evolução tecnológica dos equipamentos e processos operativos, já que os mesmos poderiam minimizar os custos de aquisição e maximizar as quantidades de energia ofertadas.

As alternativas de potencialização da geração de eletricidade, através da produção fora do período de safra, poderiam ainda ser consideradas. Isso no entanto, implicaria na ampliação da estocagem de bagaço, na compra de excedentes de bagaço de terceiros, ou ainda, na adoção do uso de palhas e pontas da cana verde como combustível. Estas práticas não são usuais atualmente, embora acessíveis aos profissionais do setor sucroalcooleiro.

3.2 Utilização do Modelo MODDHT

O planejamento da expansão do setor elétrico tem como objetivo principal a determinação da melhor seqüência para a construção de novas usinas, sejam elas hidroelétricas ou termoeletricas, além das linhas de transmissão e de distribuição, que tendam minimizar os custos de investimentos e de operação.

No processo decisório, o setor elétrico se utiliza de modelos matemáticos para efetuar um tratamento sistemático e coerente das diversas fontes de incerteza. Estas incertezas, tais como,

a taxa de crescimento do mercado a ser atendido ao longo do período em que se estuda, o custo dos combustíveis das usinas termoeletricas, o tempo de implantação do empreendimento, restrições ambientais, financeiras ou socio-econômicas, estão fortemente ligadas a aspectos econômicos, sociais e políticos, impondo, portanto, tratamento mais específico em relação às tradicionais incertezas referentes a hidrologia e ao risco de falha de equipamentos.

Deste modo, a fim de se estabelecer uma estratégia de expansão, o BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento, financiou o desenvolvimento do modelo de planejamento denominado SUPER - Sistema Unificado de Planejamento Energético Regional, que foi coordenado pela OLADE - Organização Latino Americana de Desenvolvimento Energético, e contou com o apoio técnico de concessionárias, empresas e universidades do Brasil, Colômbia, Costa Rica, Equador e Peru.

O módulo MODDHT - Modelo de Despacho Hidrotérmico, parte integrante do SUPER, se baseia em conceitos de programação dinâmica estocástica e análise de decisão, que permitem representar de maneira explícita as incertezas dos diversos fatores que afetam o plano de expansão, tais como: demanda, custo de combustível, atraso de obras, etc. Este módulo permite simular as condições de um despacho ótimo do parque gerador formado por usinas hidroelétricas e termoeletricas. Na categoria das usinas hidroelétricas, estas são subdivididas em usinas com reservatório e usinas a fio d'água.

Na simulação do modelo é possível obter, como resultado, o estabelecimento da melhor estratégia de operação das usinas termoeletricas, além dos cálculos das configurações hidráulicas e térmicas equivalentes e dos custos marginais de operação. É possível ainda estabelecer os benefícios marginais das interligações entre sistemas.

Como limitação do MODDHT, pode-se apontar que a usina candidata não pode ser avaliada isoladamente, mas sim em termos do sistema. Em outras palavras, o benefício de uma usina hidroelétrica ou termoeletrica depende das outras usinas existentes ou planejadas, da demanda, da política operativa, das condições hidrológicas, entre outras.

Uma das características mais atraentes do MODDHT é justamente formular e analisar estratégias de expansão como um todo, levando em conta as influências mútuas entre os diversos componentes do plano de expansão.

Além disto, o MODDHT representa de maneira adequada as particularidades de sistemas hidrotérmicos (operação cronológica, representação dos limites dos reservatórios, modelagem estocástica de afluências, etc.), que têm sido uma limitação reconhecida de outros modelos utilizados.

Devido a estes aspectos, o MODDHT vem sendo considerado uma ferramenta adequada para o planejamento da expansão do sistema brasileiro. Nos estudos de expansão, o MODDHT representa de maneira apropriada o despacho hidrotérmico para uma determinada estratégia de expansão, embora o número de equipamentos candidatos representados no módulo de investimento é limitado por razões de esforço computacional.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

A preparação dos dados de entrada para a simulação das usinas sucroalcooleiras, no modelo MODDHT, consistiu dos seguintes parâmetros:

- entrada em operação de 2 usinas a cada ano, à partir de 2001.
- mês de entrada da usina no sistema: maio
- mês de saída da usina do sistema: novembro

Ao adotar-se tais parâmetros, teve-se a intenção de caracterizar o melhor possível a configuração destas unidades e, principalmente, a sazonalidade peculiar deste tipo de indústria,

que utiliza o bagaço de cana como combustível.

O resultado do modelo que simula a geração térmica esperada destas usinas, está apresentada na Tabela 3, a seguir:

TABELA 3 – SIMULAÇÃO DA GERAÇÃO TÉRMICA ESPERADA

ANO	GERAÇÃO ESPERADA (GWh)	FATOR DE CAPACIDADE (%)
2001	187,1	0,890
2002	375,1	0,892
2003	562,0	0,891
2004	751,1	0,893
2005	939,8	0,894
2006	1129,1	0,895
2007	1317,1	0,895
2008	1505,3	0,895
2009	1693,5	0,895
2010	1881,7	0,895

Os valores da ordem de 89% de fator de capacidade, demonstram que estas usinas serão sempre despachadas no sistema. Em outras palavras, estas usinas sempre estarão sendo utilizadas para suprir o mercado de energia, em detrimento de outra classe de usina térmica.

Esta escolha preferencial está ligada, principalmente, ao custo do combustível, fator preponderante para o modelo MODDHT operando da escolha da melhor usina a ser colocada para acrescentar a oferta, uma vez que, como dito no item anterior, o despacho é feito levando-se em conta o melhor empreendimento que proporcione o menor custo de geração.

Outras considerações que podem ser observadas da simulação deste modelo é que, embora seja, no total, um acréscimo de oferta significativo, uma vez que são 25 unidades de 24 MW cada, perfazendo um total de oferta de 600 MW, a entrada escalonada destas usinas, tem pouca influência na percentagem dos riscos de déficits observados para os períodos de análise.

Vale ressaltar aqui, que o risco de déficit nada tem a ver com o risco de atendimento de mercado. O risco de déficit é definido como a probabilidade da ocorrência de eventos desfavoráveis nas seqüências hidrológicas, o que provocará a impossibilidade do atendimento de energia no mercado estimado para o futuro.

5. CONCLUSÕES

A abordagem simplificada da questão da oportunidade de inserção de usinas termoelétricas no atual parque gerador paulista aqui analisada, mostra que a preocupação com a expansão da oferta de energia elétrica ainda será balizada pelo critério de mínimo custo.

Essas premissas são obtidas através de modelos matemáticos que a partir da configuração técnica e econômica do empreendimento, fornecerá o melhor regime otimizado de operação previsto para o Sistema. Entre esses modelos, o atualmente utilizado pelo Setor Elétrico no planejamento da expansão é o Modelo de Despacho Hidrotérmico, ou MODDHT.

Da simulação efetuada, constata-se que as usinas de açúcar e álcool, embora apresentem um regime sazonal de operação, típico do setor sucroalcooleiro, poderão ser empreendimentos bastante interessantes do ponto de vista da expansão do Sistema Elétrico.

O que se conclui é que, através das simulações de despacho, onde o custo do combustível é um fator decisivo, este setor poderá participar ativamente não só no reforço de oferta local de energia elétrica como também no Sistema Interligado.

6. REFERÊNCIAS

Brasil, 1997, Ficha técnica para usinas termelétricas do setor de açúcar e álcool, Ministério das Minas e Energia.

Brito, R. B. S., 1994, Proposta de participação do setor elétrico no desenvolvimento da produção independente de energia, Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Unicamp, pp. 43-47.

Cury, L. A. B., 1997, O desenvolvimento e as perspectivas da cogeração no Estado de São Paulo, XIV SNPTEE, Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belém.

Coelho, S. T., 1998, A cogeração de eletricidade a partir de biomassa no setor industrial, ANEEL & Parcerias - Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas, vol. 1, n^{os} 1 - 8, Edição Comemorativa do 1^o Aniversário da ANEEL, Dezembro.

Eletrobrás, 1998, Estimativa do potencial de cogeração no Brasil, CESG - Comissão Permanente de Estudos sobre Cogeração, Julho.

Instituto Nacional de Eficiência Energética - INEE, 1998, Fórum de cogeração, Cogeração e Geração Distribuída, Rio de Janeiro, Maio.

INSERTION OF MEDIUM LOAD COGENERATION SUGARCANE PLANT IN THE NATIONAL GENERATING SYSTEM

Summary. This work introduces a study case where it was analysed the repowering of medium load sugar and alcohol plants located in the Southeast area of the country. For this purpose, it was taken a standard characteristic unit that processes ten thousand tons of sugarcane per day. Through simulations using a mathematical model denominated Modelo de Despacho Hidrotérmico, used by the Electric Sector as a help in the decision process for the expansion of enterprises to offer electrical energy, it was possible to arrive the standard dispatch expressed by a medium capacity factor of 89%, demonstrating, in this way, the significant participation that these plants can have in the Generating System where they are inserted.

Keywords: Cogeneration, Energy planning, Sugarcane industry