

## USO DO GÁS NATURAL NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA: SISTEMAS DE CO-FIRING

### Luiz Felipe Pellegrini

Escola Politécnica da USP – Av. Prof. Mello de Moraes, 2231  
[luiz.pellegrini@poli.usp.br](mailto:luiz.pellegrini@poli.usp.br)

### Alessandro Aparecido Zanetti

Escola Politécnica da USP – Av. Prof. Mello de Moraes, 2231  
[alessandro.zanetti@poli.usp.br](mailto:alessandro.zanetti@poli.usp.br)

### Silvio de Oliveira Júnior

Escola Politécnica da USP – Av. Prof. Mello de Moraes, 2231  
[silvio.oliveira@poli.usp.br](mailto:silvio.oliveira@poli.usp.br)

**Resumo:** O setor sucroalcooleiro apresenta um grande potencial de geração de eletricidade, mas devido à tecnologia de cogeração utilizada atualmente, apresenta baixa eficiência exergética nos processos de geração de vapor e eletricidade. Assim, a quantidade de eletricidade produzida é muito baixa, sendo utilizada principalmente para suprir a demanda da usina. Tendo como meta aumentar a eficiência do processo e, com isso, aumentar a oferta de eletricidade, diversas configurações de sistemas com novas tecnologias são propostas. O presente trabalho apresenta um sistema de cogeração com utilização de bagaço de cana-de-açúcar e gás natural, visando-se maximizar a produção de eletricidade. Para esse sistema são propostas diversas estratégias de operação para uma mesma planta de utilidades, são elas: operação utilizando todo o bagaço na gaseificação e complementação de gás natural na turbina a gás de forma a atender a demanda de vapor da usina (sem queima adicional de bagaço na caldeira de recuperação); operação enviando uma determinada quantidade de bagaço ao gaseificador de forma a operar um determinado modelo de turbina e o excedente de bagaço é queimado na caldeira de recuperação de forma a maximizar a quantidade de vapor produzida e potencializar a produção de eletricidade no sistema a vapor.

*Palavras chave:* co-geração, exergia, usina de açúcar e álcool, gás natural, sistemas híbridos.

### 1. Introdução

Diversificar a matriz energética a partir da utilização de combustíveis mais limpos e fontes renováveis tem recebido crescentes esforços por parte de vários governos no mundo todo. Têm-se como meta principal introduzir novos insumos energéticos, isolados ou combinados com os já existentes de forma a flexibilizar a matriz energética (European Commission – Energy, 2006). No caso brasileiro podemos citar o crescente uso do gás natural em substituição ao óleo combustível e o aumento da geração de eletricidade através da cogeração no setor industrial.

Nesse aspecto um setor tem ganhando destaque nos últimos anos, o setor sucroalcooleiro, que tem buscado novas estratégias competitivas após ter passado por recorrentes crises desde meados da década de 80 e pela desregulamentação da década seguinte (Vian, 2003). Esse novo cenário deve-se a vários fatores externos ao setor: crescente aumento do preço do petróleo, fortalecimento do agronegócio brasileiro, aumento do preço do açúcar no mercado internacional e, devido a uma nova visão mundial sobre o uso de combustíveis limpos, como bagaço e álcool; e internos: diversificação da produção.

O gás natural tem aumentado bastante sua oferta após a construção e importação desse insumo através do gasoduto Brasil-Bolívia. Hoje, podemos destacar os crescentes esforços por parte da PETROBRAS para aumentar a exploração em bacias nacionais. Esses investimentos também compreendem o desenvolvimento de tecnologias como o gás natural liquefeito (GNL).

Quanto à matriz energética, outro fator de destaque, é a crise de abastecimento de energia elétrica que o país enfrentou em 2001, devido à falta de investimentos na infra-estrutura nacional e o crescente aumento da demanda energética, nos anos anteriores. Esta crise, além de limitar o desenvolvimento econômico do país, também provocou conseqüências no campo social (CNI, 2005).

Na tentativa de integrar esses três aspectos, propõe-se o seguinte trabalho: “Avaliação comparativa de sistemas de cogeração com utilização de bagaço de cana-de-açúcar e gás natural”. O trabalho consiste em desenvolver um sistema de cogeração baseado em sistemas combinados de geração de energia com gaseificação de biomassa (“BIGCC – Biomass Integrated Gasification Combined Cycle”) para aplicação no setor sucroalcooleiro.

Este novo sistema permitiria a geração de um excedente de eletricidade na usina, o qual poderia ser comercializado com as indústrias vizinhas ou com a concessionária local. Assim, tem-se a geração de uma receita adicional, a qual poderia trazer benefícios em toda a cadeia produtiva desse agronegócio.

Para a concessionária local isso é vantajoso, pois propicia a geração de energia elétrica de forma distribuída e próxima aos centros consumidores (Walter, 1994). Dessa forma, os gastos com longas redes de distribuição são

evitados. Os investimentos na geração de energia elétrica são efetuados pelos usineiros, ou seja, sem custo para concessionária. Por outro lado, as concessionárias devem sinalizar o interesse pela compra dessa energia.

O uso destes sistemas em usinas traz dificuldades com relação à demanda de vapor delas, pois o sistema BIGCC sozinho não consegue atendê-la, o que poderia prejudicar a produção de açúcar e álcool (Pellegrini et al, 2005).

A fim de eliminar este entrave, duas possibilidades podem ser consideradas: alteração da estrutura produtiva do processo e/ou utilização de um combustível complementar. A primeira alternativa requer políticas de uso racional de energia e alteração nos processos de troca de calor na usina. A segunda alternativa, ao contrário, não requer essas alterações, apenas modificações na planta de utilidades.

O termo “*co-firing*” corresponde aos sistemas que utilizam a biomassa aliada a um combustível fóssil, nesse caso o gás natural, como insumos energéticos.

Devido à disponibilidade do gás natural não ser sazonal como é o caso do bagaço (disponível apenas nos períodos de safra<sup>1</sup>), essa configuração poderia operar durante o ano todo, tendo uma oferta permanente de energia<sup>2</sup>.

As Figuras 1 e 2 mostram a localização das usinas paulistas e o trajeto do gasoduto Brasil-Bolívia, respectivamente.

Portanto, o sistema de *co-firing* proposto não só aumentaria a oferta de energia elétrica, como também o mercado consumidor de gás natural.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (MME, 2005) a situação atual do setor quanto ao potencial de geração elétrica é o apresentado na Tab. 1.

Analisando os dois cenários da tabela, pode-se constatar que houve um aumento da capacidade instalada de geração elétrica no setor sucroalcooleiro. Esse aumento de capacidade de geração é reflexo das estratégias adotadas por parte do setor para a diversificação da produção, nesse caso, produção de energia elétrica. Nesse aspecto, destaca-se os investimentos na substituição de velhos equipamentos por tecnologias mais modernas e eficientes, a fim de diminuir a demanda de energia da usina e, conseqüentemente, aumentar o excedente de energia que eventualmente pode ser comercializado.

Tabela 1. Capacidade instalada de geração elétrica de autoprodutores (MME, 2005).

Setor/Ano	Açúcar e Álcool / 2003			Açúcar e Álcool / 2004		
	Hidro	Termo	Total	Hidro	Termo	Total
Norte	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nordeste	2,2	101,5	103,7	2,2	101,5	103,7
Sudeste	0,6	1266,6	1267,2	0,6	1326,6	1327,2
Sul	0,0	90,4	90,4	0,0	96,4	96,4
Centro-Oeste	2,0	153,9	155,9	2,0	153,9	155,9
Brasil	4,8	1612,4	1617,3	4,8	1678,4	1683,3

## 2. Breve histórico dos sistemas de *co-firing*

Devido a localização do gasoduto Brasil-Bolívia ser próxima das áreas de maior concentração das usinas sucroalcooleiras de São Paulo, foi trabalhada a idéia de aproveitar o gás natural nessas usinas a fim de se aumentar o potencial de geração elétrica do setor. Esses primeiros sistemas híbridos foram propostos por Zamboni et al (2005) e, apresentam uma primeira tentativa de introduzir o gás natural no setor. Em seu trabalho, Zamboni et al (2005) propõe a introdução de uma turbina a gás, a fim de potencializar a geração elétrica e, aliada a este, uma caldeira de recuperação com queima adicional de bagaço, proveniente do processo de moagem da cana, para suprir uma certa demanda de vapor de processo. Com o objetivo de potencializar ainda mais a geração de eletricidade da usina por meio de processos mais eficientes, uma comparação entre diferentes configurações de plantas de utilidades é realizada por Zanetti et al (2004) e têm-se como resultado que a introdução da gaseificação ao setor aumenta a quantidade de energia eletro-mecânica produzida, dos atuais 33 kWh/tc, para cerca de 100 kWh/tc (considerando apenas eletricidade). No entanto, utilizando a tecnologia de gaseificação na usina é necessário integrar esse processo à planta de utilidades de tal forma que a demanda de vapor da usina seja atendida. A fim de verificar quais os parâmetros de operação do sistema BIGCC que não comprometiam o processo da usina Pellegrini et al (2005) estudaram esse sistema e propuseram a configuração mostrada na Fig. 3.

<sup>1</sup> O custo de estocagem do bagaço ainda torna esta técnica indisponível. Isso devido ao fato de a quantidade de energia requerida para a secagem do bagaço ainda ser elevada e possuir um custo-benefício muito baixo. Seus índices de contaminação também são elevados caso sejam mal estocados (Camargo, 1990).

<sup>2</sup> Um dos principais problemas enfrentados pelas usinas junto às concessionárias locais de energia é quanto ao fato de a disponibilidade da oferta de energia ainda ser sazonal, apenas nos períodos de safra, o que diminui a atratividade dessa oferta do ponto de vista das concessionárias (Pellegrini, 2003).





#### 4. Resultados

Na Fig. 5 é apresentado o modelo simplificado das diferentes etapas que compõem os passos e, a seqüência destes, para a simulação do sistema. O software utilizado para simulação foi o "Engineering Equation Solver" (Klein e Alva

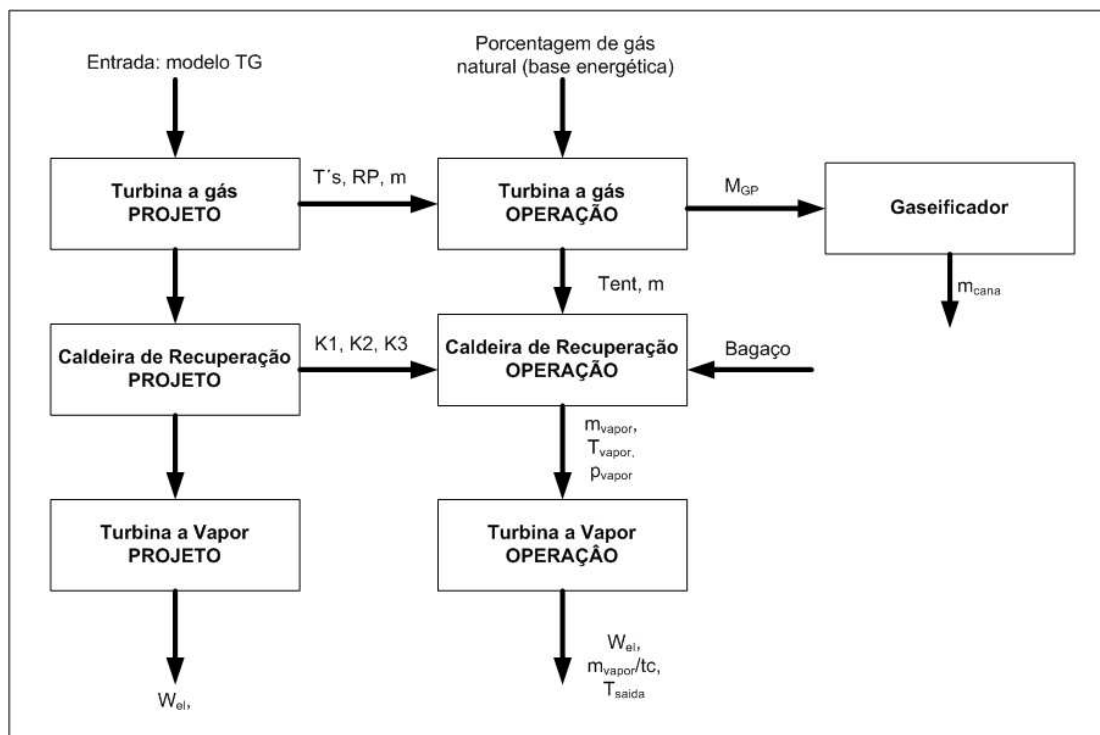


Figura 5. Algoritmo de simulação do sistema.

A primeira etapa da simulação do sistema combinado é escolher o modelo de turbina no qual o sistema combinado será baseado. A partir dessa escolha é possível encontrar quais são os parâmetros de projeto daquele modelo escolhido (vide Tab. 2). Com esses parâmetros calculados é possível encontrar a caldeira de recuperação que deve ser acoplada para operação do sistema. Para o projeto dessa caldeira são escolhidos os parâmetros apresentados na Tab. 3.

Na Tab. 4, são apresentadas as constantes e características de operação dessa caldeira na situação de projeto. Essas constantes apresentadas serão utilizadas para a simulação da condição de operação da caldeira tanto na condição de queima como não queima. A metodologia para essa simulação e cálculo dessas constantes é proposta por Ganapathy (1991). Essa leva em consideração não só as condições de operação da caldeira como também as características geométricas dos seus principais equipamentos (economizador, evaporador e superaquecedor). Nessa metodologia, as variações na condição de entrada dos gases de exaustão da turbina a gás alteram tanto a vazão de vapor produzida, como a temperatura do vapor gerado. A pressão de geração do vapor é mantida a mesma (20 bar).

Um importante fator a ser definido é a porcentagem em base energética de gás natural a ser queimada na turbina a gás. Essa é uma importante variável de entrada da turbina a gás. É a partir dela que é determinada a quantidade de gás natural consumida pelo sistema de *co-firing*. A porcentagem energética de gás natural é definida como a quantidade de energia fornecida pelo gás natural em relação ao total fornecido na câmara de combustão da turbina a gás (some entre a energia do gás produzido e do gás natural).

Uma vez escolhida a porcentagem energética de gás natural que irá operar o sistema, é possível calcular as características de operação na condição de operação da turbina a gás (Tab. 6) e assim, calcular a vazão de cana-de-açúcar necessária para produzir a quantidade de gás produzido para operar essa turbina. Essas características serão as entradas para a simulação da caldeira de recuperação na condição de operação.

A partir da simulação da caldeira de recuperação temos como resultado as entradas (pressão, temperatura e vazão de vapor) do sistema a vapor (Tab. 7) para a condição sem queima adicional de bagaço e com queima adicional de bagaço (Tab. 8). As vazões para queima adicional de bagaço são calculadas do seguinte forma: a partir da situação em que a turbina opera somente com gás produzido no gaseificador, temos uma determinada quantidade de bagaço de cana-de-açúcar requerida para produzir essa quantidade. A partir do momento que a porcentagem energética de gás natural é aumentada, a quantidade de bagaço de cana-de-açúcar para operar o gaseificador é menor, e a diferença entre a massa de bagaço para a condição de projeto (porcentagem energética igual zero) e a que se está trabalhando (valor escolhido) é que determina o coeficiente de vazão de bagaço de cana-de-açúcar a ser queimada.

Com essas entradas é possível calcular os valores de operação desse sistema (potência elétrica produzida). Nesse sistema tem-se a liberdade de atender ou não a uma determinada vazão de vapor de processo. Para as simulações

apresentadas, foi utilizada uma vazão de vapor de processo a 140°C e 2,5 bar de 550 kg de vapor/tc, valor de acordo com Zanetti et al (2005). Uma vez atingida essa vazão de vapor de processo, o excedente de vapor é enviado para um segundo estágio da turbina para condensação e produção de eletricidade.

Tabela 2. Características de operação de modelos de Turbinas a Gás.

Modelo	Temperatura de exaustão (°C)	Vazão de exaustão (kg/s)	Potência (kW)	Rend. Térm.	Heat Reat (Btu/kWh)	RP	Rend. Exerg.
LM2500	799	69	22800	0,38	9273	18,00	0,36
LM6000	724	126	43315	0,43	8198	29,00	0,41
GT 8	781	197	56200	0,36	10098	17,60	0,35
GT 11	804	399	115400	0,34	10150	15,50	0,33
GT 24	885	445	187700	0,42	9251	32,00	0,40

Tabela 3. Dados de projeto para a Caldeira de Recuperação.

Temperatura de alimentação da água	120 °C
Pressão de geração de vapor	20 bar
Temperatura de saída do vapor	350 °C
Pinch Point	20 °C
Approach Point	20 °C
Coeficiente de perda energética nos gases	1%
Coeficiente de purga no evaporador	2%
Perda de carga no evaporador	0,5 bar
Perda de carga no superaquecedor	0,7 bar

A partir de Ganapathy (1991) são calculados os parâmetros de operação da Caldeira de Recuperação calculados para a situação de projeto e as constantes (K1, K2 e K3) que são utilizadas para a simulação da situação de operação do sistema.

Tabela 4. Parâmetros de operação da Caldeira de Recuperação na condição de projeto.

	K1	K2	K3	Vazão de vapor (kg/s)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de exaustão (°C)	Rendimento exergético (%)
LM2500	24	351	110	9,69	526	191,6	75
LM6000	34	391	91	12,99	451	202,7	78
GT 8	36	496	145	25,85	508	194,3	76
GT 11	44	652	207	56,94	531	190,9	75
GT 24	43	735	311	82,61	612	178,6	72

Tabela 5. Parâmetros de operação do sistema na condição de projeto. Combustível: Gás Natural.

Modelo	Vazão de vapor (kg/s)	Pressão do vapor (bar)	Temperatura vapor (°C)	Potência líquida (kW)	Potência total do <i>co-firing</i> (kW)	Rendimento Exergético <i>Co-firing</i> (%)
LM2500	9,69	20	350	7410	30200	47
LM6000	13,00	20	350	9930	53200	49
GT 8	25,80	20	350	19800	76000	44
GT 11	56,90	20	350	43500	159000	45
GT 24	82,60	20	350	63100	251000	48

A seguir são apresentados os principais resultados para um sistema de *co-firing* montado a partir de uma GE LM 2500. Nas Tabs. 6, 7 e 8 podemos visualizar os resultados do sistema para diferentes valores de operação. Esses valores de desempenho são definidos a partir da porcentagem energética de gás natural.

Tabela 6. Características de operação da Turbina GE LM2500.

GE LM 2500								
Taxa de energia	Temperatura de exaustão (°C)	Vazão exaustão (kg/s)	Vazão Gás Produzido (kg/s)	Vazão Gás Natural (kg/s)	Potência compressor de Gás Produzido (kW)	Rendimento Exergético (%)	Vazão equivalente de cana enviada para gaseificação (tc/dia)	Vazão equivalente de cana disponível para queima (tc/dia)
0.0	717	77,36	9,64	0,00	5687	34	2492,31	0,00
0.1	723	76,63	8,80	0,11	5193	34	2275,13	217,17
0.2	730	75,87	7,94	0,22	4684	34	2052,79	439,51
0.3	737	75,10	7,05	0,33	4160	34	1822,69	669,61
0.4	744	74,30	6,13	0,45	3620	34	1580,00	912,31
0.5	751	73,48	5,19	0,57	3063	35	1340,00	1152,31

Tabela 7. Características de operação (Desempenho) da caldeira de recuperação – sem queima adicional.

	Porcentagem de GN (base energética)	Vazão de vapor (kg/s)	Pressão vapor (bar)	Temperatura vapor (°C)	Potência líquida (kW)	Potência total do <i>co-firing</i> (kW)	Rend. Exerg. Cofiring	Vazão de vapor processo (kg vapor/tc)
DE-RATING LM 2500	0,0	8,13	20	327	2760	24000	0,40	282
	0,1	8,26	20	329	2840	24100	0,41	314
	0,2	8,40	20	331	2920	24300	0,41	353
	0,3	8,53	20	333	3004	24410	0,42	404
	0,4	8,68	20	335	3094	24575	0,43	473
	0,5	8,82	20	337	3190	24700	0,44	568

Tabela 8. Características de operação da caldeira de recuperação – com queima adicional.

	Porcentagem de GN (base energética)	Vazão de vapor (kg/s)	Temperatura vapor (°C)	Potência líquida (kW)	Potência total do <i>co-firing</i> (kW)	Rend. Cofiring LM 2500 - com queima (%)	Vazão equivalente de cana enviada para gaseificação (tc/dia)	Vazão equivalente de cana disponível para queima (tc/dia)	Vazão de vapor processo (kg vapor/tc)
DE-RATING LM 2500	0,0	8,1	327	2760	24000	39,70	28,8	0	282
	0,1	9,70	339	3540	24800	31,20	26,3	2,5	368
	0,2	11,30	349	4370	25700	25,90	23,9	5,1	471
	0,3	12,90	359	5740	27200	22,50	21,1	7,8	550
	0,4	14,50	367	7870	29400	19,70	18,3	10,5	550
	0,5	16,20	376	10100	31600	17,70	15,6	13,3	550

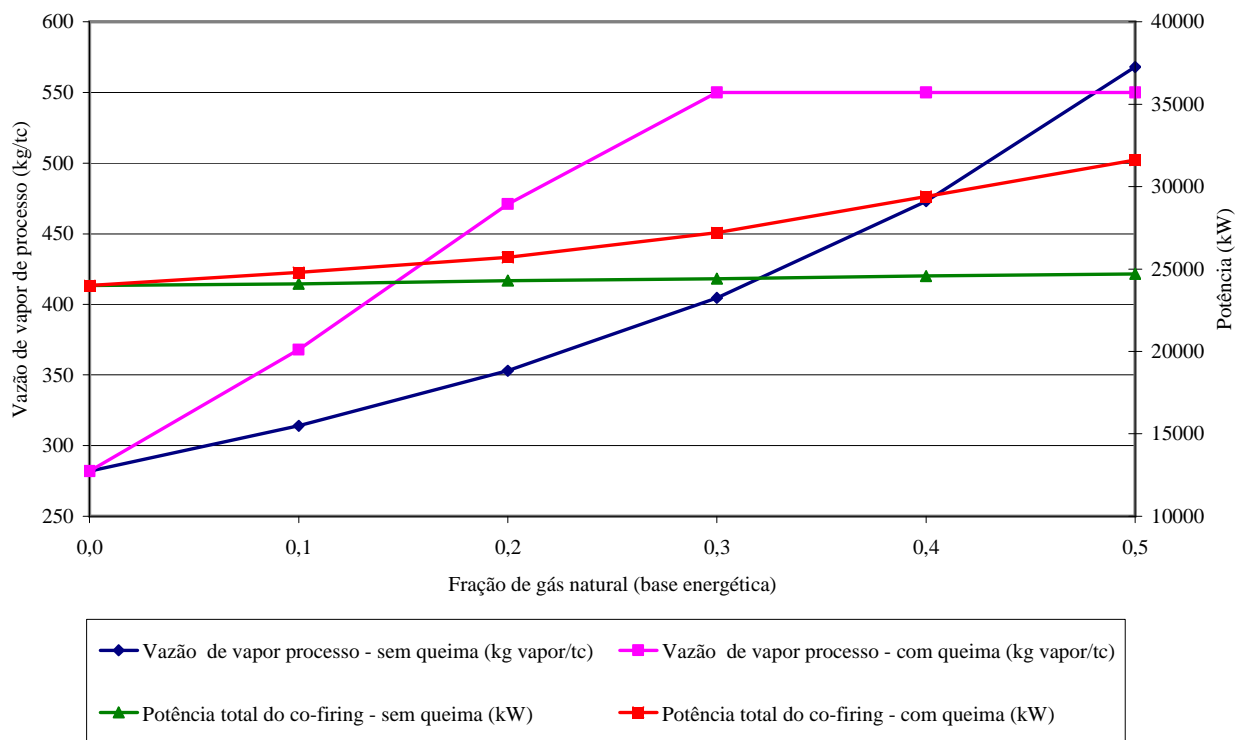


Figura 6. Principais resultados para o sistema combinado utilizando para LM 2500.

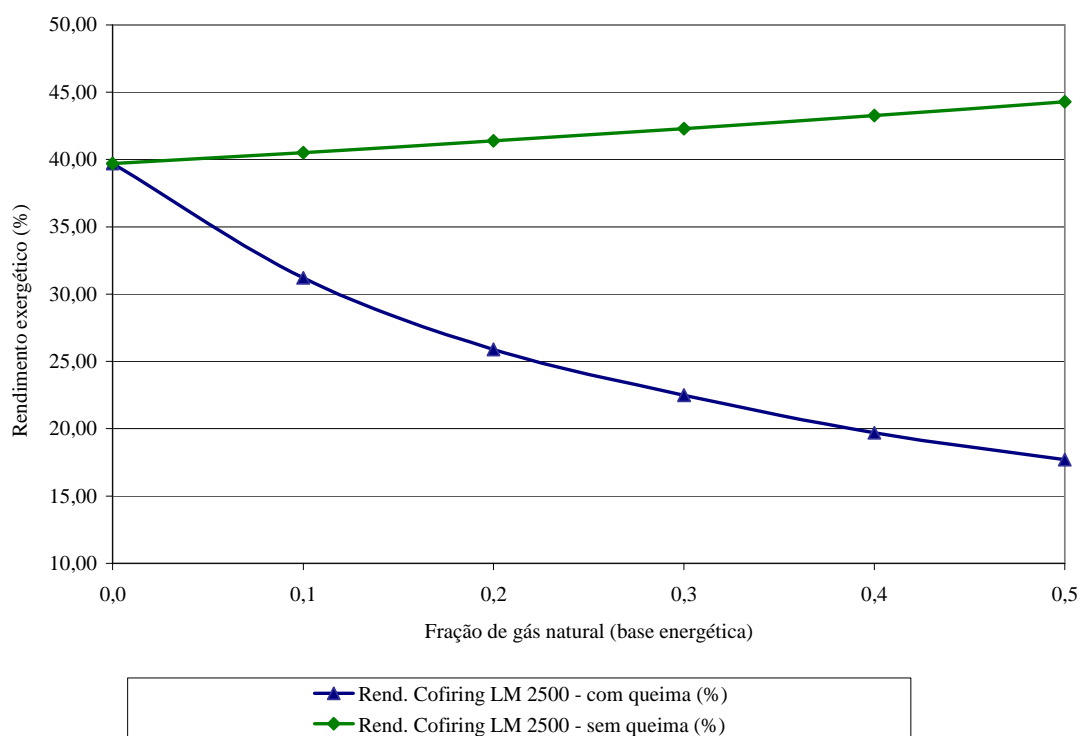


Figura 7. Rendimento Exergético para LM 2500.

Analisando os dados apresentados na Fig. 7 é possível verificar que para potencializar a produção de eletricidade no sistema a vapor e, conseqüentemente, do sistema de *co-firing*, deve-se comprometer o rendimento exergético do conjunto. Assim, ao introduzir a queima adicional de bagaço na caldeira de recuperação tem-se que a vazão de vapor produzida é maior, no entanto, devido a essa reação de combustão adicional na caldeira de recuperação (altas diferenças de temperatura que acarretam elevadas irreversibilidades), o rendimento exergético do ciclo diminui.



Ao realizar essa mesma metodologia de simulação para o sistema, baseada em outros modelos de turbinas tem-se o seguinte resultado (Fig. 8) para os rendimentos exergéticos desses sistemas.

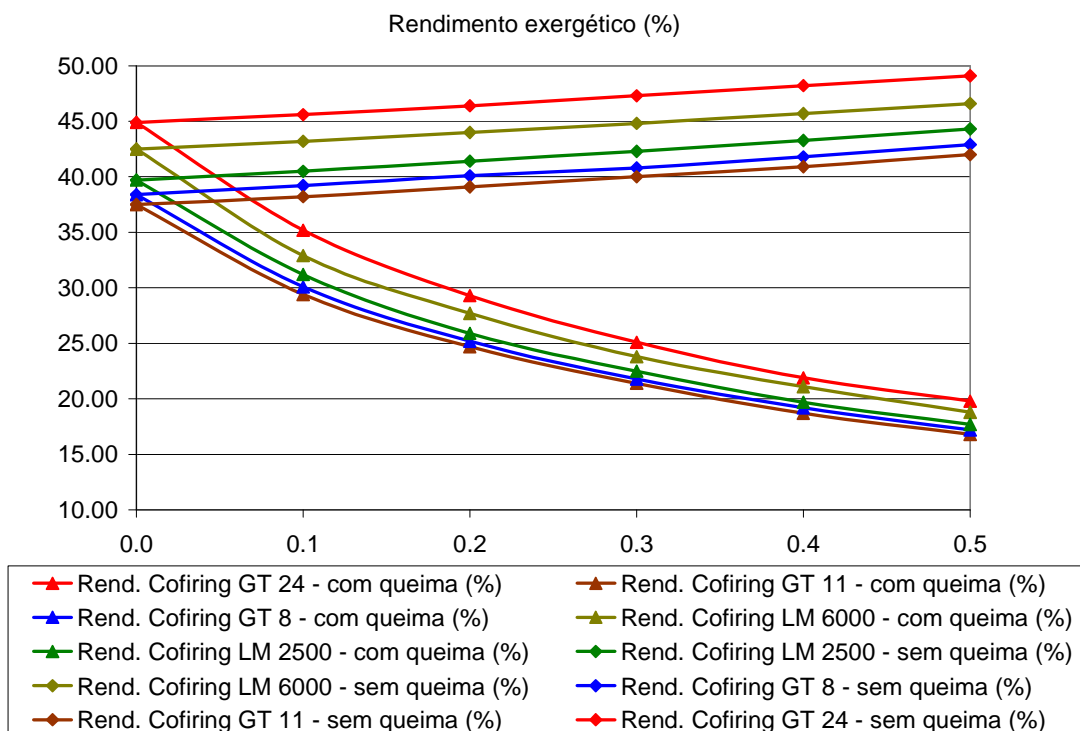


Figura 8: Rendimento Exergético do sistema de *co-firing* para os modelos simulados

Analisando a Fig. 8 acima pode-se inferir que quanto maior a potência do modelo de turbina utilizado, maior é o rendimento exergético do sistema, ou seja, maior é a produção de eletricidade do mesmo. Essa constatação vale tanto para as turbinas da série LM da GE quanto da série GT da Alstom.

## 5. Conclusões

Com os resultados obtidos até o momento é possível inferir que para se maximizar a potência elétrica do sistema é preciso comprometer o rendimento exergético do sistema. Isso ocorre porque as grandes irreversibilidades que ocorrem na queima do bagaço na caldeira, no entanto, essa queima adicional potencializa a geração de vapor na caldeira de recuperação e, conseqüentemente a potência elétrica gerada por este.

Outro fator de destaque é que quanto maior a potência da turbina a ser utilizada, maior é a produção de eletricidade do conjunto. Isso ocorre, pois os equipamentos de maior porte promovem um rendimento exergético do sistema maior e, conseqüentemente, uma maior produção de eletricidade.

## 6. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Agência Nacional do Petróleo (ANP) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro recebido, e à Usina Iracema pelas informações técnicas fornecidas.

## 7. Referências

- Camargo, A. C. (como coordenador), 1990, "Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Álcool", Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, Brazil, 796 p.
- CANASAT, 2006, "Mapeamento de da cana via imagens de satélite de observação da terra", Acessado em Abril de 2006.
- CNI, 2005, "Confederação Nacional das Indústrias", disponível em <http://www.cni.org.br>, acessado em Abril de 2005.
- CSPE, 2005, "Comissão de Serviços de Energia", disponível em <http://www.cspe.sp.gov.br>, acessado em abril de 2005.
- European Commission – Energy, 2006, disponível em [http://www.ec.europa.eu/energy/index\\_en.html](http://www.ec.europa.eu/energy/index_en.html), acessado em Janeiro de 2006.

- Ganapathy, V., 1991, "Waste heat Boiler Deskbook", The Fairmount Press – Prentice Hall, Lilburn, Estados Unidos, 399 p.
- Klein S. A., Alvarado F. L., 2005, "EES – Engineering Equation Solver for Microsoft Windows Operating Systems", F-Chart Software.
- MME, 2005, "Balanço Energético Nacional (ano base 2004)", Ministério de Minas e Energia, disponível em <http://www.mme.gov.br>.
- Pellegrini, L. F., 2003, "Estudo da cogeração em ciclos combinados com gaseificação de bagaço de cana-de-açúcar", Trabalho de Formatura, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Pellegrini, L. F., Zanetti, A. A., Zamboni, L. M., Oliveira Jr., S., Tribess, A., 2003, "Integration of BIGCC based-systems to sugarcane mills", Proceedings of the 18<sup>th</sup> Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, Brasil, em CD-ROM (em inglês).
- PETRÓLEO BRASILEIRO S. A. <http://www.petrobras.com.br>, acessado em Abril de 2005.
- Vian, C. E. F., 2003, "Agroindústria Canavieira: estratégias competitivas e modernização", Editora Átomo, Campinas, Brasil, 216 p..
- Walter, A. C. S., 1994, "Viabilidade e Perspectivas da Cogeração e da Geração Termoelétrica Junto ao Setor Sucroalcooleiro", Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.
- Zamboni, L. M., Pellegrini, L. F., Tribess, A. and Oliveira Jr., S., 2005, "Comparative Evaluation of Natural Gas and Sugarcane Bagasse Based Cogeneration Systems", Proceedings of th 18<sup>th</sup> International Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Vol. 3, Trondheim, Norway, pp. 1105-1112 (em inglês).
- Zanetti, A. A., Oliveira Jr., S., Pellegrini, L. F., 2004, "Avaliação de desempenho exergetico de planta de utilidades de usinas de açúcar e álcool", 12<sup>o</sup> Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo (SIICUSP), São Paulo, Brazil.
- Zanetti, A. A., Oliveira Jr., S., Pellegrini, L. F., 2005, "O uso do gás natural na integração térmica de ciclos BIGCC à usinas sucroalcooleiras", Anais do XII CREEM, Ilha Solteira, Brasil, em CD-ROM.

## 8. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

### USE OF NATURAL GAS IN THE SUGARCANE INDUSTRY: CO-FIRING SYSTEMS

Luiz Felipe Pellegrini  
Polytechnic School of University of Sao Paulo  
luiz.pellegrini@poli.usp.br

Alessandro Aparecido Zanetti  
Polytechnic School of University of Sao Paulo  
alessandro.zanetti@poli.usp.br

Silvio de Oliveira Jr.  
Polytechnic School of University of Sao Paulo  
silvio.oliveira@poli.usp.br

#### Abstract

Current technology used for power and heat generation in sugarcane mills presents low exergetic efficiency (around 20%) when compared to other technologies. The technology employed is based on back-pressure steam turbines that use steam generated at 300°C@21 bar in bagasse-fired boilers. These turbines are used to provide electro-mechanical energy to the process and back-pressure steam (127°C@2.5 bar), used in heating processes. In most cases, the electricity generation intends to attend only the internal demand, since the price paid by the grid for this electricity is not considered advantageous for the mills. However, in perspective to changes in the electric sector, many studies have been done in order to demonstrate the techno-economical feasibility of sugarcane-based electricity. In this sense, the introduction of biomass gasification based systems is the option with the greatest potential for electricity generation. On the other hand, it is known that its use is restricted to mills, which require less than 350 kilograms of steam per ton of cane crushed cane. One way to overcome this problem is to use a complementary fuel. In the state of São Paulo, most of sugarcane mills are near the Brazil-Bolivia gas duct, so natural gas could be used to ease the introduction of gasification based systems. This work presents a cogeneration system based on the use of sugarcane bagasse and natural gas. This paper brings a discussion of different strategies for the operation of the system: all bagasse sent to gasification, and natural gas is used to complement the heating

needs of the mill; part of the bagasse is sent to gasification, and part is burnt in the heat recovery steam generator, increasing the potential of steam system, natural gas may be used to increase the power and heat generation..

Keywords: cogeneration, exergy, sugar/alcohol mills, natural gas, hybrid systems.