



ANÁLISE TERMODINÂMICA DE UMA USINA DE AÇÚCAR E ÁLCOOL COM O PROPÓSITO DE EXPANSÃO DO SISTEMA DE COGERAÇÃO PARA COMERCIALIZAÇÃO DA ENERGIA EXCEDENTE

Ricardo Agudo Romão Júnior

UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil, 56, Bairro Centro, Caixa Postal 31, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP
e-mail: kadocontiero@gmail.com

David José Saran

e-mail: dadim113@yahoo.com.br

Fernando Henrique Dib

e-mail: fernandib@hotmail.com

Flávio Moreti Campitelli

e-mail: fmcampitelli@gmail.com

Ricardo Alan Verdú Ramos

e-mail: ravramos@gmail.com

Resumo: *No presente trabalho, foram realizadas análises energética e exergética de duas configurações de plantas a vapor de uma usina de açúcar e álcool, sendo que a primeira é a planta original e a segunda uma proposição de ampliação do sistema de cogeração para a comercialização de eletricidade excedente. Através da primeira e segunda lei da termodinâmica, foi possível avaliar a eficiência e a geração de calor e potência para cada componente que compunham as plantas avaliadas, bem como o aproveitamento global de energia de cada uma delas, além disso, foram calculados índices de desempenho dos sistemas de cogeração, como também, os custos necessários para a implementação do novo sistema.*

Palavras-chave: *energia, exergia, cogeração, usina de açúcar e álcool.*

1. INTRODUÇÃO

Há alguns anos atrás, a crise energética decorrente da falta de água em reservatórios das hidrelétricas e o aumento do consumo de energia acima da capacidade do setor público em responder ao crescimento dessa demanda, levaram o Brasil a um panorama de incertezas quanto à garantia de oferta de energia. Uma das alternativas para suprir o déficit de eletricidade é o estímulo à geração independente e descentralizada e a participação de capital privado no sistema através da construção de pequenas centrais hidrelétricas e termelétricas, além do aumento da geração de energia elétrica através da cogeração em indústrias, com destaque para as sucroalcooleiras.

Com esse advento da cogeração e a possibilidade de exportação de energia elétrica, além da competitividade do mercado, as usinas passaram a se preocupar com a eficiência das suas máquinas térmicas, já que nessa situação, além de atender a demanda térmica e eletromecânica, o excedente de energia pode ser vendido.

Na maioria das indústrias sucroalcooleiras brasileiras, o atendimento das necessidades energéticas como energia mecânica, elétrica e vapor de processo se fazem utilizando como energético o bagaço de cana de açúcar. Neste aspecto a indústria sucroalcooleira apresenta um

importante diferencial em relação aos demais setores produtivos brasileiros que seria o auto-atendimento quase integral das demandas energéticas de seu processo produtivo. Alguns fatores determinam essa realidade como, por exemplo, a necessidade de eliminar o subproduto da produção, ou seja, o bagaço da cana de açúcar.

Há alguns anos vem sendo discutido o melhor aproveitamento do potencial econômico da biomassa da cana-de-açúcar, tanto o bagaço de cana-de-açúcar como a biomassa que compõe a planta no campo, suas folhas, pontas e palhas.

No entanto, foi nos últimos anos que o setor elétrico brasileiro sofreu várias mudanças estruturais que geraram uma série de inovações, quer seja de ordem institucional ou em nível de regulamentação, que alteraram sensivelmente o panorama, até então estável e controlado pelo governo, para um ambiente competitivo. Assim, foram criadas a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 1996, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e o Mercado Atacadista de Energia (MAE) em 1998, a Câmara de Gestão da Crise Energética (CGCE) em 2001, dentre outras agências e órgãos, que passaram a regular o sistema elétrico dentro de um novo contexto, cujo objetivo maior foi passar de um mercado de energia elétrica onde predominam os consumidores cativos, para um mercado de livre negociação.

Corrêa Neto (2002) descreve que as transformações estruturais do setor elétrico brasileiro em meados da década de 90 vêm seguindo as tendências mundiais, cujo caráter é eminentemente descentralizador, com maior espaço para a produção de eletricidade em geradores independentes das concessionárias com relações comerciais de exportação integral ou de excedente, o uso mais intensivo de fontes energéticas renováveis, a autoprodução energética e a geração distribuída, contexto no qual no qual a via tecnológica da cogeração se destaca.

A partir da biomassa produzida pelo seu processo produtivo o potencial de geração de energia elétrica excedente possui como principais determinantes a alternativa tecnológica adotada para o ciclo termoeletrico de cogeração, o crescimento da cultura da cana de açúcar, as alterações técnicas para redução dos consumos específicos de energia mecânica, térmica e elétrica no processo produtivo de açúcar e álcool e o método de colheita adotado.

O potencial de mercado para a comercialização do excedente de energia elétrica depende fundamentalmente da estrutura do setor elétrico, do interesse das empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica em agregar esta fonte a seu portfólio, da disposição dos empresários do setor sucroalcooleiro em investir nesta geração de energia elétrica e a disposição das concessionárias em remunerar adequadamente a energia elétrica contratada.

2. CONCEITOS E METODOLOGIA APLICADA

Bejan (1988) descreve que para a análise termodinâmica de sistemas são aplicadas as equações de conservação da massa, conservação de energia (Primeira Lei da Termodinâmica), balanço de entropia (Segunda Lei da Termodinâmica) e o balanço de exergia baseado nas duas leis anteriores, considerando um volume de controle para cada um dos equipamentos que compõem a planta a ser analisada. A análise exérgica é útil para a avaliação de desempenho dos componentes e do sistema em seu conjunto. É importante também para quantificar as irreversibilidades termodinâmicas verificadas nos diversos processos.

Adotou-se para esse trabalho que todo volume de controle analisado, seja pela primeira lei da termodinâmica ou pela segunda, considerará uma operação em regime permanente. Portanto, nas análises não serão incluídas as fases transitórias de entrada em operação, parada ou qualquer variação no tempo, mesmo em operação normal.

2.1. Análise Energética

2.1.1. Análise Pela Primeira Lei Da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica baseia-se na conservação da massa e da energia para a análise de processos e sistemas. As equações que representam os processos são mostradas a seguir:

$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = 0 \quad (1)$$

$$\sum \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_s h_s = 0 \quad (2)$$

Onde, \dot{m}_e é o fluxo de massa que entra no volume de controle (kg/s), \dot{m}_s fluxo de massa que sai do volume de controle (kg/s), h_e entalpia específica na entrada do volume de controle (kJ/kg); h_s entalpia específica na saída do volume de controle (kJ/kg), \dot{Q}_{vc} taxa de transferência de calor para o volume de controle (kW) e \dot{W}_{vc} potência referente ao volume de controle (kW).

2.1.2. Análise Pela Segunda Lei Da Termodinâmica

As irreversibilidades num processo são quantificadas pela Segunda Lei da Termodinâmica, por meio da propriedade chamada entropia. Para processos em um volume de controle, considerando que o processo seja em regime permanente o balanço de entropia é definido como:

$$\dot{S}_{ger, v.c.} + \sum \left(\frac{\dot{Q}_{v.c.,i}}{T_i} \right) + \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_s s_s = 0 \quad (3)$$

Onde, s_e é a entropia específica na entrada do volume de controle (kJ/kg·K), s_s entropia específica na saída do volume de controle (kJ/kg·K), T_j temperatura superficial do volume de controle (K) e $\dot{S}_{ger, v.c.}$ geração de entropia no volume de controle (kJ/kg·K).

2.2. Análise Exergética

O conceito de exergia, segundo o critério de Szargut et al. (1988), é definido como o parâmetro termodinâmico que corresponde à quantidade de trabalho máxima obtida, quando alguma matéria é trazida de seu estado inicial para um estado de equilíbrio termodinâmico com os componentes comuns da natureza circunvizinha por meio de processos reversíveis de troca de calor e matéria, exclusivamente com o ambiente.

Assim, para sistemas energéticos cujos fluxos operam com parâmetros fora das condições do ambiente de referência, a exergia pode ser entendida como a parte da energia que pode ser transformada em trabalho mecânico de forma reversível e útil, sendo a destruição de exergia o resultado direto das irreversibilidades de um sistema.

Szargut et al. (1988), Kotas (1985) e outros autores propõem a seguinte relação para o cálculo da exergia:

$$b_t = b_{fis} + b_{qui} \quad (4)$$

Onde, b_{fis} é a exergia física específica (kJ/kg) e b_{qui} exergia química específica (kJ/kg).

A exergia física de um fluxo é calculada com base num estado de referência restrito (P_0, T_0) onde há equilíbrio térmico e mecânico com o meio, através da seguinte equação:

$$b_{fis} = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \quad (5)$$

Para haver equilíbrio completo com o meio, o sistema deve estar também em equilíbrio químico com ele. O trabalho que pode ser obtido através de um processo reversível que leva o sistema do

estado de referência restrito até o estado de referência onde há equilíbrio completo (“estado morto”), é a exergia química, definida por:

$$b_{qui} = \sum (\mu_i - \mu_{0,i}) x_i \quad (6)$$

Onde, $\mu_{0,i}$ é o potencial químico de referência do elemento (T_0, P_0); μ_i potencial químico do elemento na mistura (T_i, P_i); x_i fração do componente na mistura.

Logo, a exergia total (b_t) pode ser representada por:

$$b_t = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \sum (\mu_i - \mu_{0,i}) x_i \quad (7)$$

2.3. Irreversibilidade Dos Equipamentos

A irreversibilidade mostra a quantidade de exergia que é destruída em cada equipamento do ciclo, ou seja, mostra o quanto o equipamento é eficiente em aproveitar a exergia que nele é introduzida, assim como mostra a equação 8.

$$\dot{I} = T_0 \dot{S}_{ger} \quad (8)$$

Onde, \dot{I} é a irreversibilidade do equipamento.

2.4. Eficiências Térmicas Pela Primeira E Segunda Lei Da Termodinâmica

A eficiência termodinâmica baseada na primeira lei (η_I) relaciona o trabalho realizado no volume de controle com o trabalho produzido em um processo hipotético isoentrópico desde o mesmo estado de entrada até a mesma pressão de saída. A Equação (9) mostra a eficiência com base na primeira lei:

$$\eta_I = \frac{\dot{W}_{v.c.}}{\dot{m} \Delta h_{iso}} \quad (9)$$

Onde, Δh_{iso} é a diferença entre as entalpias de entrada e saída do volume de controle, para processo isoentrópico (kJ/kg), \dot{W}_{vc} potência produzida no volume de controle e \dot{m} vazão mássica (líquido ou vapor) no volume de controle (kg/s).

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{v.c.}}{\dot{m}(b_e - b_s)} \quad (10)$$

No caso específico das caldeiras, as eficiências de primeira e segunda lei são calculadas, respectivamente, pelas seguintes equações:

$$\eta_I = \frac{\dot{m}_s h_s - \dot{m}_e h_e}{\dot{m}_{comb} PCI_{comb}} \quad (11)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}_s b_s - \dot{m}_e b_e}{\dot{m}_{comb} b_{comb}} \quad (12)$$

Onde, b_s é a exergia específica na saída da caldeira (kJ/kg), b_e exergia específica na entrada da caldeira (kJ/kg), b_{comb} exergia específica do bagaço da cana (kJ/kg), \dot{m}_{comb} vazão mássica de combustível consumido na caldeira (kg/s) e PCI_{comb} poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg).

2.5. Índices De Desempenho De Sistemas De Cogeração

2.5.1. Fator De Utilização De Energia (FUE)

$$FUE = \frac{\dot{W} + \dot{Q}_U}{\dot{m}_{comb} PCI_{comb}} \quad (13)$$

Onde, \dot{Q}_U é o fluxo de calor útil para o processo (kW); \dot{W} potência produzida (kW);

2.5.2. Índice De Poupança De Energia (IPE)

$$IPE = \frac{\dot{m}_{comb} PCI}{\frac{\dot{W}}{\eta_{term_ref}} + \frac{\dot{Q}_U}{\eta_{cald_ref}}} \quad (14)$$

Sendo, η_{term_ref} a eficiência térmica de uma planta de potência de referência (adotada 40%); η_{cald_ref} eficiência térmica de caldeiras que produzem apenas vapor saturado (adotada 77%).

Segundo a Equação (14), quanto menor o IPE do combustível, melhor será o desempenho do sistema tendo como referência as eficiências adotadas. Logo, a quantidade de Energia a Economizar (EEC), devido à cogeração, é dada pela equação:

$$EEC = 1 - IPE \quad (15)$$

2.5.3. Índice De Geração De Potência

$$IGP = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_{comb} PCI - \dot{Q}_U / \eta_{cald}} \quad (16)$$

Onde η_{cald} é a eficiência térmica das caldeiras da unidade.

2.5.4. Razão Potência / Calor

$$RPC = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_U} \quad (17)$$

2.6. Estimativa Do Capital Total Investido

2.6.1. Custo Dos Equipamentos Adquiridos (CEA)

Os custos dos novos equipamentos adquiridos para a formulação da nova planta térmica esta na Tabela 1.

Tabela 1: Custo estimado dos equipamentos

Equipamento	Custo estimado (R\$)
Caldeira (170 tvapor/h; 43 kgf/cm ² ; 420 °C)	7.000.000,00
Caldeira (150 tvapor/h; 43 kgf/cm ² ; 410 °C)	6.500.000,00
Turbo Gerador 1 (9 MW)	3.375.000,00
Turbo Gerador 2 (25 MW)	9.375.000,00
Turbobomba	450.000,00
Turbina do Picador	500.000,00
Turbina do Desfibrador	500.000,00
Turbinas dos Ternos	650.000,00
Processo Industrial	1.500.000,00
Desaerador	1.300.000,00
Bomba	100.000,00

2.6.2. Custo De Instalação Dos Equipamentos Adquiridos.

O custo de instalação abrange o frete e seguro para o transporte, custos de mão de obra, descarga, manejo, fundação e todos os outros dispêndios com construções diretamente relacionadas com a instalação do equipamento. Em geral, os custos de instalação variam de 20 a 90% do CEA.

2.6.3. Custo Das Tubulações

O custo para tubulações inclui os custos de material e mão de obra para a completa instalação de toda a tubulação utilizada no sistema. Esse custo varia de 10 a 70% do CEA

2.6.4. Custo Do Controle E Instrumentação

Segundo Bejan et al. (1996), uma faixa típica dos valores do fator do custo para controle e instrumentação é de 6 a 40% do custo do equipamento adquirido. Para plantas convencionais de potência a vapor, a faixa de 6 a 10% é aplicada. Na ausência de outras informações, o valor de 20% pode ser assumido para este fator.

2.6.5. Custo Dos Materiais E Equipamentos Elétricos

Este custo, que inclui materiais e mão de obra para instalação de subestações, linhas de distribuição, centro de controle, iluminação, e assim por diante, é geralmente de 10 a 15% do custo dos equipamentos adquiridos, sendo o valor de 11% o mais usual.

2.6.6. Custo De Partida

Estes custos estão associados a diversos processos que ocorrem após o encerramento da construção da planta e antes do início de sua operação definitiva, tais como: pequenos ajustes no projeto, materiais, equipamentos e mão de obra, utilizados no processo de partida da instalação. Estes custos podem variar de 5 a 12% do capital total investido fixo.

3. Planta Atual E A Proposição De Planta Para Comercialização De Energia Excedente.

Para simplificar a notação, daqui por diante as situações estudadas serão denominadas por Caso 1 para a planta atual e Caso 2 para a proposta de planta para comercialização de energia excedente.

A Figura 1 representa o Caso 1 analisado e apresenta a configuração da planta a vapor atual que esta em funcionamento, com os seus respectivos equipamentos.

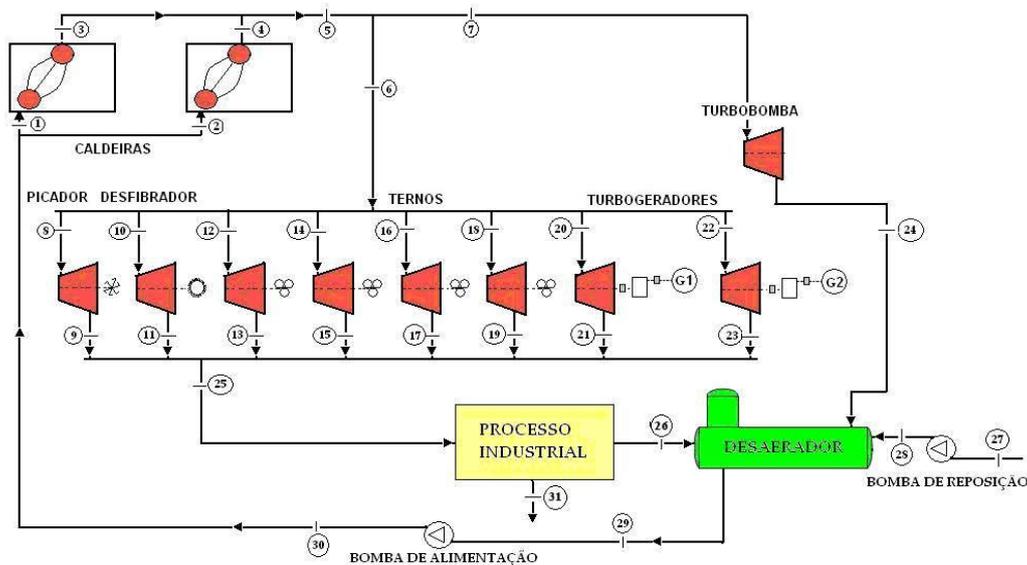


Figura 1: Planta a vapor atual da Usina Sucroalcooleira

A Figura 2 representa o caso 2 analisado e consiste na aquisição de 3 caldeiras novas (2 de 150 tvapor/h – 43 kgf/cm² – 410 °C; 1 de 170 t vapor/h – 43 kgf/cm² – 420 °C), sendo que as antigas seriam descartadas ou vendidas, com esses novos parâmetros de pressão e temperatura existe a necessidade de adquirir novas turbinas, pois as antigas não suportariam esses novos parâmetros. Dois geradores novos um de 9 MW e outro de 25MW seriam comprados para que haja um excedente de mais ou menos 25 MW para comercialização, sendo que o resto da energia seria consumida pelos processos.

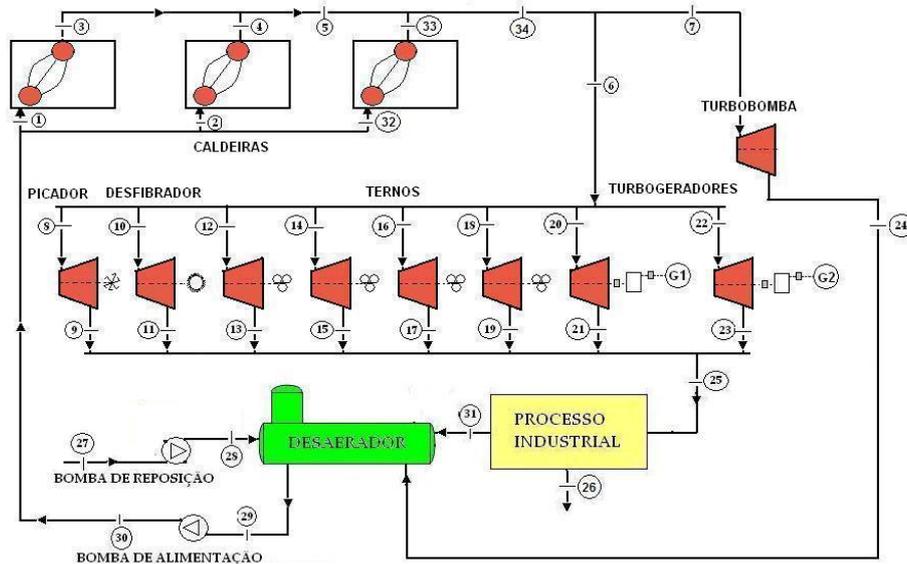


Figura 2: Planta a vapor atual da Usina Sucroalcooleira

4. Resultados

A avaliação do desempenho de uma planta de cogeração baseado na Primeira Lei da Termodinâmica é um procedimento que implica na comparação de produtos de diferentes propriedades termodinâmicas, tais como calor e potência produzida.

Na Tabela 2 serão apresentados os índices de desempenho de sistemas de cogeração, assim como a potência elétrica produzida e a eficiência térmica do ciclo.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados termodinâmicos estudados como, as eficiências pela 1ª e 2ª Lei da termodinâmica, potência e calor, assim como as irreversibilidades dos equipamentos.

Tabela 2: Índices de desempenho, potência produzida e eficiência térmica do ciclo

Índice	Casos	Valor
FUE	Caso 1	0,6650
	Caso 2	0,6746
IPE	Caso 1	1,0400
	Caso 2	0,9978
IGP	Caso 1	0,3250
	Caso 2	0,4035
RPC	Caso 1	0,1302
	Caso 2	0,1843
EEC	Caso 1	-0,0400
	Caso 2	0,0022
Potencia Elétrica Produzida	Caso 1	7.400,00 kW
	Caso 2	33.486,00 kW
Ef. Térmica do ciclo	Caso 1	66,43%
	Caso 2	67,36%

Tabela 3: Resultados Termodinâmicos para os casos estudados

Componente	Casos	Eficiência 1° Lei (η_I %)	Eficiência 2° Lei (η_{II} %)	Potência ou Calor (kW)	Irreversibilidades Dos Equipamentos [KW]
Picador	Caso 1	55,12	83,88	1.100,00	211,40
	Caso 2	68,24	67,28	1100,00	534,90
Desfibrador	Caso 1	53,64	83,64	1.300,00	254,30
	Caso 2	65,31	64,40	1250,00	691,40
1° Terno	Caso 1	40,90	85,24	1.050,00	181,90
	Caso 2	50,01	49,53	1085,00	1105,00
2° Terno	Caso 1	40,90	85,24	1.050,00	181,90
	Caso 2	53,85	53,09	1085,00	958,60
3° Terno	Caso 1	40,90	85,24	1.050,00	181,90
	Caso 2	53,85	53,09	1085,00	958,60
4° Terno	Caso 1	40,90	85,24	1.050,00	181,90
	Caso 2	53,85	53,09	1085,00	958,60
Gerador 1	Caso 1	77,90	92,00	5.000,00	434,70
	Caso 2	86,43	85,34	8930,00	1534,00
Gerador 2	Caso 1	84,07	92,53	2.400,00	193,70
	Caso 2	86,43	85,34	24556,00	4220,00
Turbo Bomba	Caso 1	35,05	81,92	700,00	154,50
	Caso 2	77,48	73,30	450,00	164,00
Bomba de Reposição	Caso 1	70,00	70,68	0,1079	0,2606
	Caso 2	70,00	6,03	0,57	10,02
Bomba de Alimentação	Caso 1	70,00	95,52	137,10	41,14
	Caso 2	70,00	85,15	580,00	173,70
Caldeira 1	Caso 1	67,30	48,11	107552,00	-----
	Caso 2	70,00	51,16	123828,00	-----
Caldeira 2	Caso 1	67,30	48,11	84356,00	-----
	Caso 2	70,00	51,16	123828,00	-----
Caldeira 3	Caso 1	-----	-----	-----	-----
	Caso 2	70,00	51,16	139306,00	-----

Tabela 4: Estimativa do capital total investido

Tipos de Custo	Valor Total dos Custos (R\$)
Custo dos Equipamentos Adquiridos	39.800.000,00
Custo de Instalação dos Equipamentos Adquiridos	17.910.000,00
Custo das Tubulações	11.940.000,00
Custo do Controle e Instrumentação	3.980.000,00
Custo dos Materiais e Equipamentos Elétricos	4.378.000,00
Custo de Partida	2.675.000,00
Custo Total Gasto pela Usina	80.683.000,00

5. Conclusões

O presente estudo consistiu em desenvolver uma planta térmica a vapor para uma Usina Sucroalcooleira onde haja excedente de eletricidade para a comercialização, já que sua planta atual (Caso 1) só produz energia elétrica para consumo próprio.

O estudo teve como objetivo gerar um excedente de energia de mais ou menos 25 MW, e como observado na Tabela 2 este índice foi alcançado ocorrendo uma produção total de 33,5 MW, sendo que 7,7 MW são para consumo próprio.

Com relação aos resultados termodinâmicos, verifica-se na Tabela 3 as eficiências de primeira e segunda lei, as potências e/ou o calor gerado e/ou consumido nos principais equipamentos das plantas do Caso 1 e 2.

As eficiências de primeira lei dos equipamentos para o Caso 2 foram todos maiores que para o Caso 1, sendo apenas iguais para as Bombas de Alimentação e Reposição que foram pré-estabelecidos, já as eficiências de segunda lei para o Caso 2, mesmo sendo menores que do Caso 1 são mais condizentes com a realidade podendo ter ocorrido uma má troca de informações (dados), entre a Usina e a Universidade, já que a metodologia aplicada é igual para os dois Casos.

Um importante parâmetro a ser observado na análise termodinâmica é a irreversibilidade em cada equipamento. A irreversibilidade mostra a quantidade de exergia que é destruída em cada equipamento do ciclo, ou seja, mostra o quanto o equipamento é eficiente em aproveitar a exergia que nele é introduzida, desta forma pode-se observar que o aproveitamento no Caso 1 é bem superior ao do Caso 2, pois as eficiências de segunda lei são maiores, já que boa parcela que resta para o equipamento atingir 100% de eficiência é graças as irreversibilidades.

A eficiência térmica do ciclo aumentou do Caso 1 para o Caso 2, demonstrando que a aplicação de novas tecnologias e equipamentos de altos índices de desempenhos melhora a eficiência total, sendo de 66,43% para 67,36%, sendo que existem equipamentos com melhores desempenhos no mercado, podendo aumentar ainda mais a eficiência do ciclo.

Com relação aos índices de desempenho, nota-se que todos eles do Caso 2 são bem melhores que os encontrados no Caso 1, isso porque a planta considerada utiliza equipamentos mais modernos e eficientes, permitindo uma melhor utilização da energia, uma alta geração de potência eletromecânica, como era de se esperar devido a seu propósito de geração de excedente de eletricidade.

Comparando-se cada um dos índices de desempenho, em função do caso estudado, verifica-se o *FUE* embora seja superior no Caso 2, é bastante próximo ao do Caso 1. Com relação ao *IPE*, verifica-se que o Caso 2 poupa mais energia que o Caso 1, tendo um valor abaixo de 1,0, de modo que a energia economizada devido à cogeração (*ECC*) no Caso 2 é maior que no Caso 1. O *IGP* do Caso 2 é superior ao do Caso 1, isso porque a quantidade de energia elétrica produzida aumentou, devido a necessidade de excedente para a comercialização.

A *RPC* no Caso 2 é superior a do Caso 1, embora a quantidade de energia térmica útil tenha aumentado à produção de energia elétrica aumentou em maiores proporções.

Com estes novos equipamentos adquiridos para obter uma melhor eficiência global do ciclo e para que ocorra excedente de eletricidade para a comercialização seria necessário um investimento

de mais ou menos R\$ 80 milhões, sendo que para este caso não foi incluso gastos como do tipo, custo do terreno, custo de trabalho estrutural e arquitetônico, custo de instalações auxiliares, custo da engenharia e supervisão, custo da construção civil, entre outros, pois a Usina já existe e não depende destes custos. Uma Usina de um porte intermediário hoje no Brasil custa em torno de R\$ 350,00 milhões para ser construída e entrar em funcionamento, sendo que as melhorias realizadas no caso 2 corresponderiam a 22,85 % de uma Usina completa.

Adicionalmente, para complementação do trabalho, pode ser realizado o análise termoeconômico e econômico para analisar a viabilidade do projeto considerado.

6. Referências

- Bejan, A., 1988, “Advanced Engineering Thermodynamics”, John Wiley & Sons, New York, 850 p.
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. & Moran, M., 1996, “Thermal Design & Optimization”, John Wiley & Sons, Inc., New York, 542 p.
- Corrêa Neto, V., 2002, “Análises de Opções Tecnológicas para Projetos de Cogeração no Setor Sucroalcooleiro”, SETAP – Sustainable Energy Technology Assistance Program, 116p.
- Kotas, T.J., 1995, “The Exergy Method of Thermal Plant Analysis”, Ed. Krieger Publishing Co., Florida, USA, 328 p.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF SUGAR CANE INDUSTRIES PLANT WITH THE INTENTION OF EXPANSION OF COGENERATION SYSTEM FOR COMMERCIALIZATION OF EXCEEDING ENERGY

Ricardo Agudo Romão Júnior

UNESP, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Brasil, 56, Bairro Centro, Caixa Postal 31, CEP 15385-000, Ilha Solteira, SP
e-mail: kadocontiero@gmail.com

David José Saran

e-mail: dadim113@yahoo.com.br

Fernando Henrique Dib

e-mail: fernandib@hotmail.com

Flávio Moreti Campitelli

e-mail: fmcampitelli@gmail.com

Ricardo Alan Verdú Ramos

e-mail: ravramos@gmail.com

***Abstract:** In the present work, energetic and exergetic analyses of two configurations of steam plants had been carried through of a sugar cane industry, being the first one the original plant and the second one a proposal for magnifying the system of cogeneration for the commercialization of exceeding electricity. Through first and the second law of the thermodynamics, it was possible to evaluate the efficiency and the generation of heat and power for each component that composed the evaluated plants as well as the global exploitation of energy of each one of them. Moreover, indexes had been calculated of performance of the cogeneration systems and the necessary costing for the implementation of the new system.*

***Keywords:** energy, exergy, cogeneration, sugar cane industry*