



## **ANÁLISE TERMoeCONômICA APLICADA EM SISTEMAS DE COGERAÇÃO EM INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA**

Bruna Menchon Endlich (PIBIC/CNPq/UEM), Marcio Higa (Orientador),  
e-mail: bruna.inovatech@gmail.com

Universidade Estadual de Maringá/Centro de Tecnologia/Maringá, PR.

**Área e subárea do conhecimento:** Engenharia Mecânica, Termodinâmica

**Palavras-chave:** Cogeração, termoeconomia, exergia.

### **Resumo**

Um meio promissor de elevar as eficiências térmica e econômica de plantas industriais alimentícias é a implementação de sistemas de cogeração, especialmente no setor sucro-alcooleiro. Neste caso, atualmente o consumo do vapor de escape de turbinas como fonte de calor no equipamento utilizado na concentração do caldo na produção de açúcar, o evaporador de múltiplos efeitos, ocorre apenas em seu primeiro estágio. Aplicando-se a análise exergética e termoeconômica, este trabalho propôs-se a avaliar a viabilidade técnica e econômica do consumo do vapor de escape em diferentes estágios do evaporador. Os resultados obtidos demonstram que a proposta é viável, possibilitando um aumento de 26% na geração de potência e redução de 32% na destruição de exergia.

### **Introdução**

Além da produção de açúcar e álcool, a indústria açucareira tem um grande potencial como produtora de energia. Por esta razão, é importante avaliar propostas de alterações no sistema de cogeração que visam melhorar desempenho termodinâmico, aplicando-se a análise energética, exergética e econômica. Neste contexto, a substituição de caldeiras por outras de pressão e temperaturas mais elevadas e de turbinas de vapor de simples estágio por outras de múltiplos estágios ou por motores elétricos são implementações consideradas por Pazian (2004). Entretanto, o rearranjo dos componentes do processo devem ser avaliados para garantir uma maior eficiência e melhor desempenho econômico.





A evaporação é um processo com um intenso consumo de energia em vários processos industriais. Por esse motivo, os evaporadores podem ser associados para obter um processo com maior eficiência, como é o caso da evaporação de múltiplo efeito. O objetivo deste trabalho é verificar possíveis alterações como essa integração pode ser feita em um estudo de caso aplicado em usinas de açúcar e álcool, buscando-se maior eficiência termoeconômica e menor utilização de insumos.

## Materiais e métodos

A planta da indústria selecionada foi avaliada utilizando a análise termoeconômica nos programas Matlab 2015 e EES<sup>TR</sup> (*Engineering Equation Solver*). Os cálculos e fundamentações foram baseados na 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> Leis da Termodinâmica, aplicando-se os balanços de energia e exergia apresentados por MORAN (2002) e FERREIRA (2005). A Figura 1 demonstra a configuração do sistema, contendo um gerador de vapor, uma turbina de simples estágio, uma turbina de duplo estágio e uma válvula redutora de pressão. A proposta foi a substituição da válvula por uma terceira turbina de duplo estágio para analisar a geração de potência e a destruição de exergia na planta.

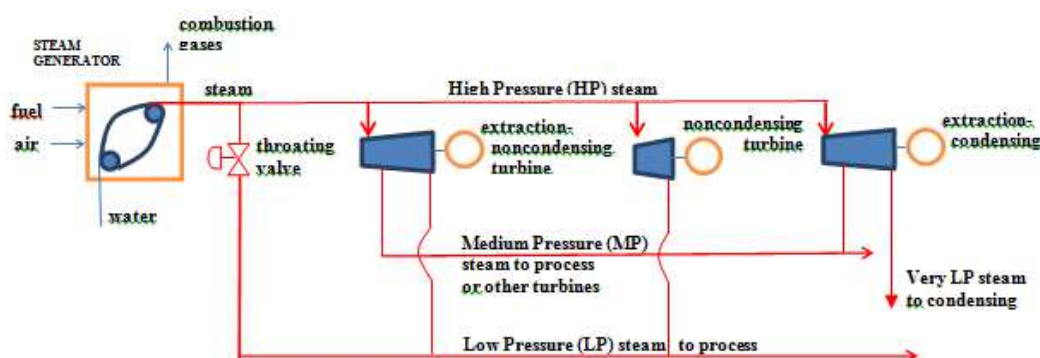


Figura 1 – sistema de geração de vapor.

Normalmente o vapor de escape da turbina é destinado apenas ao primeiro estágio do sistema de evaporação de múltiplos efeitos, mas neste trabalho a adição do novo turbo gerador fará com que seu vapor de escape esteja disponível aos diferentes estágios do sistema com 6 efeitos. Assim, nessa planta foi feita uma otimização da utilização do vapor e da potência mantendo as concentrações iniciais e finais de caldo.





## Resultados e Discussão

Para os componentes da Figura 1 foram determinados as exergias e destruições de exergia de cada elemento. Assim, determinou-se as destruições de exergia totais no sistema atual (com a válvula) e no proposto (com o novo turbo gerador), e as gerações de potência. Observa-se que o sistema proposto gerou uma maior potência com uma menor destruição de exergia (Tabela 1).

Tabela 1 – Destruição de exergia, geração de potência das plantas e eficiências energéticas e exergéticas.

| Sistema  | Geração de potência (W) | Destruição de exergia (kJ/kg) | $\eta_{SG}$ | $\epsilon_{SG}$ | $\eta_{plant}$ | $\epsilon_{plant}$ |
|----------|-------------------------|-------------------------------|-------------|-----------------|----------------|--------------------|
| Atual    | 45570                   | 16526                         | 0,77        | 0,2556          | 0,6715         | 0,2106             |
| Proposto | 57675                   | 11244                         | 0,77        | 0,2556          | 0,6907         | 0,2258             |

Os resultados finais para eficiência energética ( $\eta_{SG}$ ) e exergética ( $\epsilon_{SG}$ ) do gerador de vapor e do sistema como um todo ( $\eta_{plant}$ ,  $\epsilon_{plant}$ ) também estão demonstrados na Tabela 1. No caso do sistema, as eficiências energéticas e exergéticas tendem a subir com o aumento da geração de potência, uma vez que a exergia fornecida pelo gerador de vapor é a mesma.

Em relação aos custos exergéticos observa-se na cogeração que o custo do vapor e do processo foi reduzido mesmo durante o período de *payback* do investimento no novo turbogerador (Tabela 2).

Tabela 2 – Custos exergéticos.

|                         | Situação |                                     |                          |
|-------------------------|----------|-------------------------------------|--------------------------|
|                         | Atual    | Período de <i>payback</i> (4 meses) | Depois do <i>payback</i> |
| $C_{fuel}$ (R\$/kWh)    | 0,04579  |                                     |                          |
| $C_{HP}$ (R\$/kWh)      | 0,17280  |                                     |                          |
| $C_{process}$ (R\$/kWh) | 0,1832   | 0,1746                              | 0,1746                   |
| $C_{power}$ (R\$/kWh)   | 0,1965   | 0,2622                              | 0,1957                   |

No sistema de evaporação, a maximização da potência da turbina em relação à utilização de vapor implicou na introdução do vapor de escape da turbina nos 3 últimos efeitos de acordo com a Tabela 3.





Tabela 3 – Utilização do vapor de escape da turbina ( $M_{turb}$ ) e consumo de vapor por efeitos ( $M_{vap}$ ).

| Vazões            | 2º efeito | 3º efeito | 4º efeito | 5º efeito | 6º efeito | $W_{total}$ (W) |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------|
| $M_{turb}$ (kg/s) | 0         | 0         | 3,043     | 3,089     | 14,87     | 6,28E+07        |
| $M_{vap}$ (kg/s)  | 22,29     | 23,32     | 18,23     | 19,47     | 21,22     |                 |

## Conclusões

Na alteração do sistema de cogeração, verificou-se que o sistema proposto irá reduzir a destruição de exergia e aumentar a geração de potência em comparação com o sistema atual. A eficiência energética e exergética também aumentará devido ao maior poder de geração, viabilizando a substituição desses componentes em apenas 4 meses. O custo exergético do vapor e do processo são reduzidos mesmo durante o período de retorno do investimento. Nos evaporadores, observou-se que o vapor de escape da turbina será mais bem aproveitado, gerando uma maior eficiência e potência, quando inserido nos últimos efeitos.

## Agradecimentos

Ao CNPQ e à Universidade Estadual de Maringá (UEM).

## Referências

PAZIAN, J. A. **Desenvolvimento de uma metodologia para análise do potencial de cogeração de energia elétrica em usina de açúcar e álcool**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2004.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. **Princípios de Termodinâmica para a Engenharia**, 4ª Edição, Rio de Janeiro: Ed. LTC, 2002.

FERREIRA, J. A. M. Eficiência energética na operação de evaporadores de múltiplo-efeito. 2005. Disponível em <<http://goo.gl/BYk3Ut>>. Acesso em: 3 jun. 2016.

