

# METODOLOGIA PARA ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO USANDO O EES

C.M.S. Santos (1), E.A. Torres (1)

(1) Escola Politécnica Laboratório de Energia, LEN, Universidade Federal da Bahia, Rua Prof. Aristides Novis nº2, Federação. Salvador –BA, cep: 40210-630.

**Palavras chave: Análise energética e exergética, Refrigeração por absorção.**

## RESUMO

A geração de frio é uma necessidade da sociedade que depende deste que seja para a conservação de alimentos, conforto térmico, controle de condições ambientais dentre outras, porém esta geração é altamente consumidora de energia elétrica. Com a inserção do gás natural na matriz energética brasileira um grande potencial térmico estará disponível, que pode ser aproveitado para a geração de frio através de sistemas de refrigeração por absorção.

A geração de frio através de sistemas de absorção reduz o consumo energia elétrica para alimentar sistemas de refrigeração, como é comumente feito na compressão de vapor. A refrigeração por absorção freqüentemente é citada como ineficiente e custosa quando comparada com a refrigeração a vapor, Tendo em vista que esta comparação é muitas vezes feita com base no coeficiente de performance (COP) que é definido como a razão entre o efeito desejado e a energia que é consumida, no caso frio. Cortez *et. al* (1997) relatam que este não é o parâmetro mais apropriado de comparação de tecnologias onde a energia acionadora é de natureza diferente. Eles ainda apontam como único método consistente para esta comparação, a análise exergética.

Este trabalho mostra uma metodologia para avaliação energética e exergética de um sistema de refrigeração por absorção usando o EES (Engineering Equation Solver) para efetuar os cálculos. Este aplicativo dispõe de uma linguagem própria e possui algumas rotinas de propriedades termodinâmicas, de varias substâncias inclusive para a mistura Água – Amônia que é o fluido de trabalho do sistema estudado.

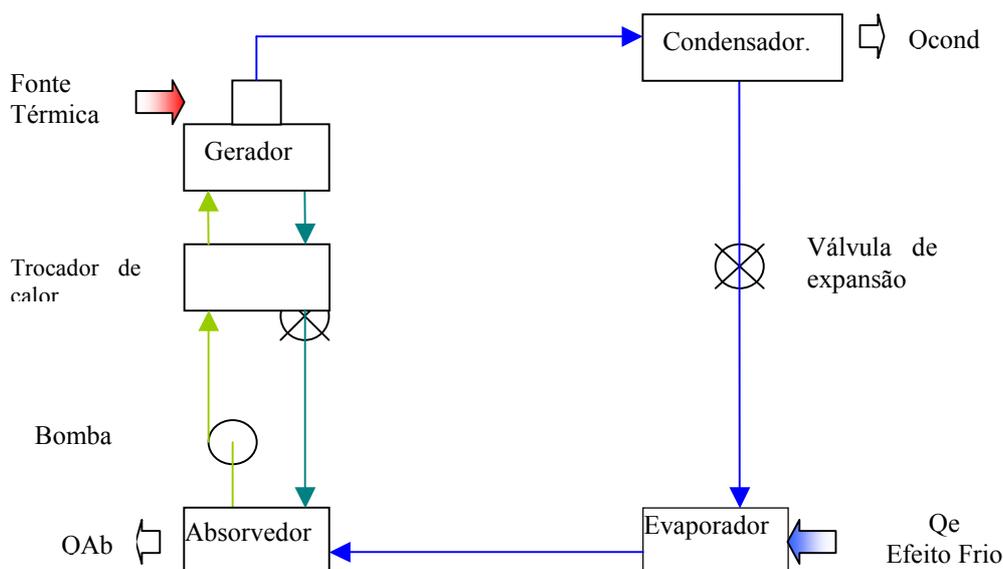
O sistema de refrigeração por absorção estudado esta representado no fluxograma da figura 1, este sistema foi subdividido em sete volumes de controle: Condensador, válvula de expansão, Evaporador, Absorvedor, Trocador de Calor, gerador+retificador e bomba de solução, e adotada as seguintes considerações:

- O volume de controle de cada equipamento envolve apenas os fluidos de trabalho de entrada e saída.
- As trocas de calor com o ambiente, exceto no condensador (absorvedor, condensador e resfriador de solução pobre) foram considerados aforam consideradas nulas.
- Não foram consideradas as perdas de carga nas tubulações.
- Sistema em regime
- Expansão isoentalpica na válvula de amônia,

A partir destas considerações podemos escrever as equações gerais:

- |                                  |  |
|----------------------------------|--|
| 1. Equação da continuidade       | $\sum m_e = \sum m_s$  |
| 2. Conservação da Energia        | $Q_{v.c.} + \sum (m_e \times h_e) = \sum (m_s \times h_s) + W_{v.c.}$    |
| 3. Variação de exergia           | $\Delta ex = \sum (m_e \times ex_e) - \sum (m_s \times ex_s) + W_{v.c.}$ |
| 4. Calculo da irreversibilidade  | $I = W_{v.c.} - \Delta EX_{v.c.} - \Delta EX_{v.c.(Q)}$                  |
| 5. Calculo da exergia especifica | $ex_i = (h_i - h_o) \times T_o (s_i - s_o)$                              |

Figura 1 – Fluxograma do ciclo de refrigeração por absorção



A partir desta modelagem as equações gerais foram aplicadas a cada um dos volumes de controle e escritas no EES para a realização da análise termodinâmica do sistema. O software fornece, através de suas funções internas, as propriedades termodinâmicas, dos fluidos envolvidos no ciclo sistema (Vapor d'água, amônia, e a mistura água Amônia) estes dados serão tratados no próprio EES fornecendo toda a análise energética e exergética do sistema.

Os resultados do balanço energético e exergético dos volumes de controles do obtidos para o sistema que funciona com temperatura da fonte acionadora de 130°C atingido temperatura de evaporação de 0 °C pode encontrado na tabela 1 e tabela 2 respectivamente.

Tabela 1- Balanço energético por volume de controle

<b>Balanço Energético</b>			
Equipamentos	Q(+) (kJ/h)	Q (-) (kJ/h)	W (kJ/h)
Gerador	208.565		
Condensador		87.662	
Evaporador	75.597		
Absorvedor		121.726	
Bomba			1.989
<b>TOTAL</b>	<b>284.162</b>	<b>209.388</b>	<b>1.989</b>

Tabela 2- Fluxos de exergia e irreversibilidade por volume de controle

<b>Exergias e irreversibilidades</b>						
Equipamentos	Ex		I		Ex (útil)	
	(kJ/h)	%	(kJ/h)	%	(kJ/h)	%
Gerador	54.691	94,97	25.936	39,43		
Trocador de Calor			16.038	24,38		
Absorvedor			7.396	11,24		
Evaporador			6.289	9,56	6223	8,89
Condensador			2.746	4,17		
Bomba de solução	2.899	5,03	839,2	1,28		
Válvula de Expansão			316,7	0,48		

<b>TOTAL</b>	<b>57.590</b>	<b>100</b>	<b>59.560,9</b>	90,54	<b>6.223</b>	<b>8,89</b>
--------------	---------------	------------	-----------------	-------	--------------	-------------

Calculando também o valor para a eficiência energética e exergetica para o sistema encontramos o valor para o COP com definido anteriormente, pela razão  $Q_{\text{frio}} / Q_{\text{calor}}$  de 36% para a eficiência exergetica bruta definida por Kotas (1985) como a razão  $Ex_{\text{frio}} / Ex_{\text{calor}}$  igual a 11%.

<b>Eficiências do sistema de refrigeração por absorção</b>		
<b>Energética</b>	<b>Equação</b>	<b>Valor</b>
COP <sub>(Bruto)</sub>	$\frac{\dot{Q}_{\text{frio}}}{\dot{Q}_{\text{Calor}}}$	0,362
	$\frac{\dot{Q}_{\text{frio}}}{\dot{Q}_{\text{Calor}} + \dot{W}_{\text{total}}}$	0,358
<b>Energéticas</b>	<b>Equação</b>	<b>Valor</b>
$\Psi_{\text{Bruto(Kotas)}}$	$\frac{Ex_{\text{frio}}}{Ex_{\text{calor}}}$	0,113
$\Psi_{\text{(Kotas)}}$	$\frac{Ex_{\text{frio}}}{Ex_{\text{calor}} + \dot{W}_{\text{total}}}$	0,109

Observando os resultados encontrados podemos identificar os equipamentos que contribuem para o baixo desempenho do ciclo, vemos que o gerador (39,43%) Trocador de Calor (24,38%) e o absorvedor (11,24%) são os maiores causadores de irreversibilidades do sistema o que confirma o que é citado por Silva (1994).

Portanto o EES se confirma com uma boa ferramenta para a análise energética e exergetica para sistemas de refrigeração por absorção usando o par água-amônia como fluido de trabalho, primeiro por fornecer facilmente as propriedades do fluido de trabalho, segundas por estas propriedades poderem ser usadas diretamente nas equações de balanço de energia e massa por fim fornecer os resultado de forma ordenada e clara e precisa.

Agradecimentos: os autores agradecem a FEP Fundação Escola Politécnica pela bolsa de Iniciação Científica.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

Cortez, L.A.B., Larson, D.L., Silva A. - Energy and Exergy Evaluation of Ice Production by Absorption Refrigeration, ASAE Transaction vol 40(2) pp 395-403, 1997.

Kotas, T. J. – The Exergy Method of Thermal Analysis, Great Britain, 1985

Silva, A. da 1994, “Avaliação energética e exergetica de uma instalação experimental de refrigeração por absorção (água - amônia) para a produção de gelo a partir de vapor de processo” tese (de mestrado) FEM/UNICAMP São Paulo Brasil