

# **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO DE DUPLO EFEITO UTILIZANDO A SOLUÇÃO DE BROMETO DE LÍTIO-ÁGUA E GÁS NATURAL COMO FONTE DE CALOR**

**Paulo Henrique Dias dos Santos**

(\*) Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba (LES/UFPB), Cidade Universitária - Campus I, João Pessoa/PB, CEP: 58.0059-900  
e-mail: paulohenriqueles@uol.com.br

**Carlos A. Cabral dos Santos**

(\*), e-mail: cabral@les.ufpb.br

**Celina Maria Ribeiro Varani**

(\*), e-mail: celina@les.ufpb.br

**Carlos Alberto de Souza**

(\*), e-mail: engetecs@uol.com.br.

**Hugo Lima Moreira**

(\*), e-mail: hugolimabr@yahoo.com.br

**Resumo:** O presente trabalho mostra a simulação de um Sistema de Refrigeração por Absorção de Duplo Efeito, para produção de frio, com a solução brometo de lítio e água. Para isto, foi desenvolvido um código computacional na plataforma **EES** (Engineering Equation Solver) como extensão da simulação elaborada em **FORTRAN 90**, do sistema de refrigeração por absorção de simples efeito, em fase de testes no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba (LES/UFPB). O modelo teórico faz a análise termodinâmica dos processos em cada componente do ciclo, tendo sido tomado como parâmetro principal de entrada a disponibilidade energética no gerador de vapor de alta pressão, oriunda de um sistema de geração de energia elétrica tendo como fonte de alimentação o gás natural (cogeração). Os componentes do sistema de refrigeração de duplo efeito foram dimensionados com os resultados obtidos da simulação, cujos parâmetros de entrada, além do calor disponível no gerador de alta pressão, são: pressão no gerador de alta pressão, temperatura de condensação, temperatura de evaporação, diferença de temperatura nos dois trocadores de calor da solução, concentrações da solução, temperaturas de entrada e saída da água gelada, temperatura de entrada da água de resfriamento no absorvedor e temperatura de saída da água de resfriamento no condensador, temperaturas de entrada e saída dos gases de combustão. Para as propriedades da solução de brometo de lítio e água foram utilizadas relações matemáticas específicas em vez de ábacos. O sistema simulado usa relações matemáticas específicas para as propriedades da solução de brometo de lítio e água ao invés de diagramas e apresenta um coeficiente de desempenho igual a 1,225. A unidade desenvolvida terá uma capacidade máxima de refrigeração de 9,5 TR, e será parte de um sistema de cogeração que produzirá energia elétrica e frio para um setor do LES.

**Palavras-chave:** Refrigeração por Absorção, Simples e Duplo Efeito, Cogeração.

## 1. INTRODUÇÃO

Diferentemente do ciclo de compressão de vapor que utiliza energia elétrica, os sistemas de refrigeração por absorção utilizam energia térmica como alimentação de entrada para obtenção de frio. A disponibilidade de potência térmica a custo reduzido (aproveitamento de resíduos energéticos, utilização do gás natural em queima direta ou em sistemas combinados de potência e calor (cogeração), etc.), tem representado a forma mais atrativa de implementação do sistema de absorção a despeito de seu reduzido coeficiente de performance. Estes sistemas favorecem à economia de energia elétrica em comparação ao sistema de compressão de vapor e, ainda, na colaboração para a diminuição dos efeitos maléficos da aplicação dos fluídos frigorígenos que destroem a camada do Ozônio.

Estudos recentes mostram análises sobre sistemas de refrigeração por absorção de duplo efeito para a verificação do comportamento desses sistemas com a finalidade de otimização dos mesmos, tendo em vista que apresenta um coeficiente de desempenho mais elevado do que o do sistema de simples efeito. Deng e Ma (1995) fizeram um estudo teórico de um sistema alimentado por uma fonte quente a baixa temperatura e mostram que seus resultados podem reproduzir um sistema real e que podem ser utilizados em futuras pesquisas sobre o assunto. Xu et al.(1996) realizaram estudos teóricos para sistemas de duplo efeito em série. Ele estudaram os efeitos de parâmetros de projeto, incluindo recuperação de calor e taxa de circulação da solução no desempenho do sistema e apresentam sugestões de otimização. Outros autores (Martinez et al. (2003), Berlitz et al. (1997), Yoon et al. (2003), Siddiqui (1996), mostram análises de sistemas com modificações de projetos, com vistas à melhoria do desempenho desses sistemas, alguns incluindo análises exegética e econômica.

O presente artigo mostra o desenvolvimento, através de simulação, de um sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito para produção de frio, com a solução brometo de lítio e água, o qual significa o desenvolvimento de tecnologia própria para o projeto de unidades de refrigeração de baixa capacidade que possa atender às necessidades de economia de energia em pequenas indústrias, bem como para plantas de pequeno porte.

Para isto, foi desenvolvido um código computacional na plataforma **EES** (Engineering Equation Solver) como extensão da simulação, elaborada em FORTRAN 90, do sistema de refrigeração por absorção de simples efeito (Andrade (2000), Andrade (2001), Varani (2001)) em fase de testes no Laboratório de Energia Solar da UFPB (LES/UFPB).

O modelo teórico desenvolvido para o sistema de duplo efeito, como no de simples efeito, faz a análise dos processos em cada componente do ciclo, tendo sido tomado como parâmetro principal de entrada, a disponibilidade energética no gerador de vapor oriunda de um sistema de geração de energia elétrica que utiliza um motor estacionário a gás natural, sendo os gases de exaustão utilizados como fonte térmica (COGERAÇÃO), cujo esquema encontra-se mostrado na Fig. (1). A utilização do gás natural nesses sistemas como fonte energética apresenta uma alternativa na implementação de combustíveis que não agridam a camada de Ozônio considerando também a expansão do mercado de gás natural no Brasil.

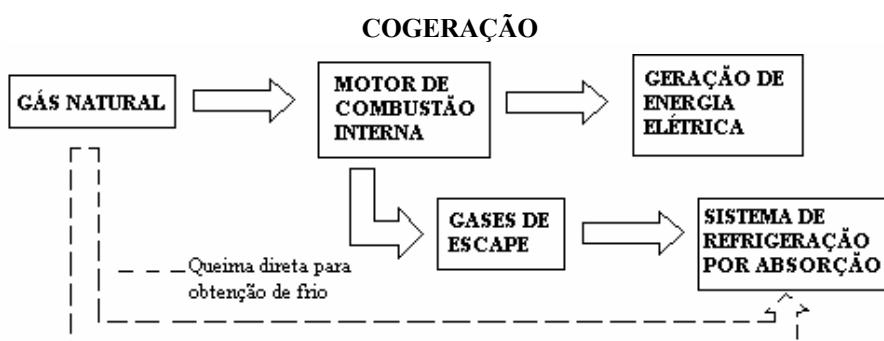


Figura 1 – Esquema para produção de energia elétrica e produção de frio para climatização.

## 2. UNIDADE EM DESENVOLVIMENTO

O sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito em desenvolvimento será integrado a uma planta de cogeração, que produzirá energia elétrica e frio para o LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR da UFPB. A unidade piloto completa de cogeração é constituída de sistema de absorção, sistema de geração de energia elétrica e sistema de água gelada/fan-coil. **Sistema de absorção:** O sistema de absorção de duplo efeito consta de: gerador de vapor a pressão alta ( $g_1$ ), gerador de vapor a pressão intermediária ( $g_2$ )/condensador 1 ( $c_1$ ), condensador 2 ( $c_2$ ) (também no nível de pressão intermediária), absorvedor (a), evaporador (e) , tubos em “U”, trocador de calor da solução a nível de pressão alta, trocador de calor da solução a nível de pressão intermediária, ejetor e bombas. Será acoplado a uma torre de refrigeração (ANNEMOS, 1999). **Sistema de geração de energia elétrica:** O sistema de geração de energia elétrica é composto de um motor estacionário de combustão interna com a potência de 240 hp, que funciona a ciclo OTTO tendo como combustível o gás natural. Em seu eixo fica acoplado um gerador de energia elétrica assíncrono de indução, trifásico, de 100kVA e 380V. **Sistema de água gelada:** O sistema de água gelada é composto de duto de tomada de ar externo, caixa de mistura de ar, fan-coil com manta filtrante classe G1, duto de insuflamento, duto de retorno de ar, damper e difusor.

## 3. METODOLOGIA

O modelo termodinâmico é baseado na Primeira Lei e fornece valores numéricos para todos os pontos do sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito, identificados na Fig. (2), com os quais foi dimensionado o sistema.

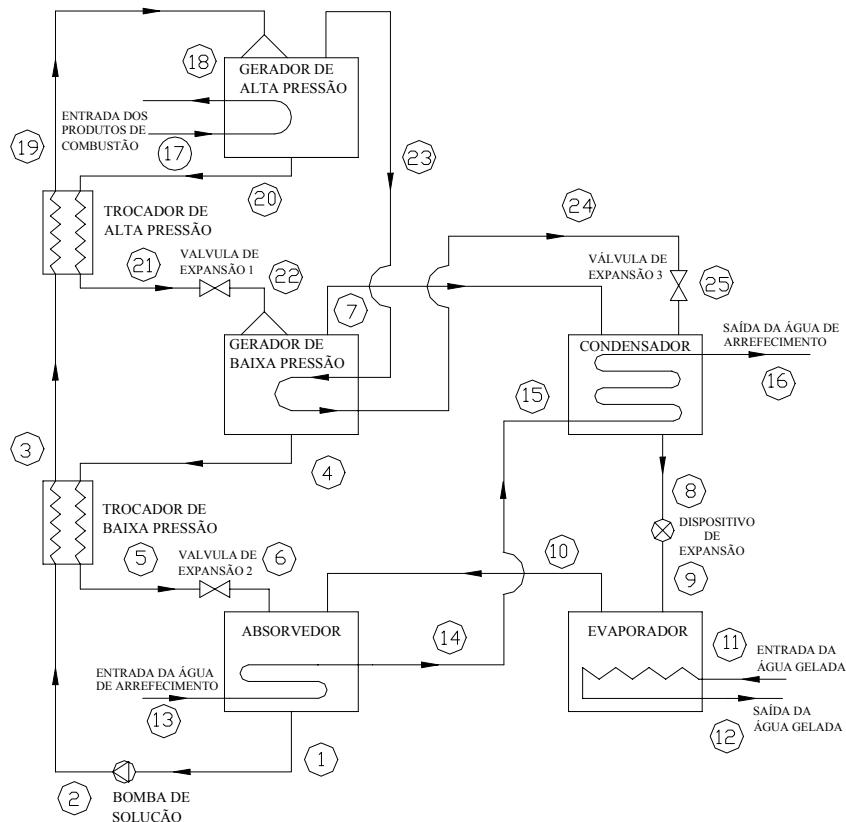


Figura 2 - Esquema do ciclo de refrigeração por absorção de LiBr e água de duplo efeito, em série (Dorgan et al., 1995).

As seguintes suposições foram feitas:

- Todos os componentes deverão operar em regime permanente;
- As contribuições de energia provenientes das variações de energia cinética e potencial são consideradas desprezíveis;
- Na saída do evaporador e do condensador o refrigerante é suposto em condição de saturação;
- A potência da bomba da solução é considerada desprezível;
- A solução de brometo de lítio tem condição de equilíbrio na saída do absorvedor, do gerador de alta pressão e do gerador de baixa pressão;
- Não ocorre transferência de calor entre os trocadores de calor e sua vizinhança;
- As perdas de carga por atrito nos trocadores de calor e nas tubulações são consideradas desprezíveis.

A simulação teve como parâmetro principal de entrada o calor disponível no gerador de alta pressão, diferentemente do observado em outros trabalhos publicados que usam a capacidade de refrigeração como base inicial (King, 1971). Os outros parâmetros (apresentados na Tab. (1)) são: pressão no gerador de alta pressão, temperatura de condensação, temperatura de evaporação, diferencial de temperatura nos dois trocadores de calor da solução, concentrações da solução, temperaturas de entrada e saída da água gelada, temperatura de entrada da água de resfriamento no absorvedor e temperatura de saída da água de resfriamento do condensador, temperaturas de entrada e saída dos produtos de combustão oriundo do sistema de geração de energia elétrica.

Tabela 1 – Parâmetros de entrada utilizados na simulação.

Calor disponível no gerador de alta pressão	7,7TR	Concentração solução diluída em 1	55%
Pressão no gerador de alta pressão	77,52KPa	Temperatura entrada produtos de combustão	300°C
Temperatura do condensador	37°C	Temperatura saída produtos de combustão	200°C
Temperatura do evaporador	5°C	Temperatura entrada da água gelada	12°C
Diferença de temperatura no trocador de calor de alta pressão ( $\Delta T_1$ )	38°C	Temperatura entrada da água de resfriamento no absorvedor	29,5°C
Diferença de temperatura no trocador de calor de pressão intermediária ( $\Delta T_2$ )	20°C	Temperatura saída da água de resfriamento do condensador	35°C
Concentração solução forte em 20	59%	Temperatura saída da água gelada	7°C
Concentração da solução forte em 4	64%		

O equacionamento utiliza as correlações citadas no trabalho de Varani (2001) para o sistema de simples efeito, com o acréscimo dos balanços de massa, energia e concentração para o sistema de duplo efeito. A análise utiliza correlações específicas para a determinação das propriedades (temperatura de ponto de orvalho, calor específico e entalpia) do par brometo de lítio e água (Kaita (2001), Sun (1997)) em vez da utilização de ábacos, também citadas em Varani(2001). As equações são validadas para uma faixa de temperaturas entre 40°C a 210 °C.

Os níveis de pressão no gerador de pressão intermediária e no absorvedor são fixados a partir da temperatura da saturação da água no condensador 2 (nível de pressão intermediária) e no evaporador, respectivamente (ASHRAE, 1981):

$$\log_{10} P = c + \frac{d}{(t_{TD} + 273,15)} + \frac{e}{(t_{TD} + 273,15)^2} \quad (1)$$

onde:  $c = 10,04999$ ,  $d = -1.603,5405556$  e  $e = -104.095,512346$ .

O vapor d'água que sai do gerador de alta pressão é superaquecido, pois sua temperatura é maior que a temperatura de saturação a este nível de pressão. O mesmo acontece com o vapor d'água que sai do gerador de pressão intermediária. Assim, a entalpia do vapor é a soma da entalpia de saturação e a parcela de superaquecimento (Bogart, 1982):

$$h_{23} = h_{sat} + C_{p_{sup}} (T_{23} - TD_{g1}) \quad (2)$$

$$h_7 = h_{sat} + C_{p_{sup}} (T_7 - TD_{g2}) \quad (3)$$

onde:  $h_{sat}$  é a entalpia do vapor d'água saturado a uma temperatura de saturação (TD);  $C_{p_{sup}}$  é o calor específico do vapor d'água superaquecido.

A temperatura da solução que chega ao gerador de vapor de alta pressão e passa através dos dois trocadores de calor é dada por:

$$t_{19} = t_3 + \Delta T_1 \quad (4)$$

onde:

$$t_3 = t_2 + \Delta T_2 \quad (5)$$

com  $t_2$  calculado pela Equação (3), explicitando a temperatura da solução.

$\Delta T_1$  e  $\Delta T_2$  são os acréscimos de temperatura nos respectivos trocadores de calor.

A temperatura do gerador de alta pressão ( $t_{20}$ ) é calculada em função da pressão a partir da Eq.(1), de onde determina-se a temperatura da água naquele nível de pressão. Com ela tem-se a temperatura da solução que é a temperatura na saída do gerador.

A vazão da solução forte que sai do gerador de alta pressão é calculada a partir de um balanço de concentração, que resulta em:

$$\dot{m}_{20} = \dot{m}_{19} \left( \frac{X_{19}}{X_{20}} \right) \quad (6)$$

onde:  $\dot{m}$  é a vazão mássica e  $X$  as concentrações nos respectivos pontos na Fig.(2).

A vazão da solução forte que sai do gerador de pressão intermediária é calculada a partir de um balanço de concentração, que resulta em:

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_{20} \left( \frac{X_{22}}{X_4} \right) \quad (7)$$

A vazão da solução diluída, que passa pela bomba, é obtida por um balanço de energia no gerador de alta pressão:

$$m_{19} = \frac{Q_{g1}}{h_{23}\left(1 - \frac{X_{19}}{X_{20}}\right) + h_{20}\left(\frac{X_{19}}{X_{20}}\right) - h_{19}} \quad (8)$$

Visto que as vazões da solução forte e fraca foram calculadas, a vazão de vapor (refrigerante) é determinada a partir de um balanço de massa no gerador:

$$m_7 = m_{22} - m_4 \quad (9)$$

A taxa de transferência de calor no condensador 2 é determinada a partir de um balanço energético:

$$Q_c = m_7 h_7 + m_{25} h_{25} - m_8 h_8 \quad (10)$$

onde:  $h_7$  é a entalpia de vapor superaquecido quem vem do gerador e  $h_8$  é a entalpia de água saturada que sai do condensador.

A carga térmica do evaporador é calculada também baseada num balanço de energia:

$$Q_e = m_9(h_{10} - h_9) \quad (11)$$

onde:  $h_{10}$  é a entalpia de vapor saturado a temperatura de evaporação.

A taxa de transferência de calor no absorvedor é calculada por:

$$Q_{ab} = m_6 h_6 + m_{10} h_{10} - m_1 h_1 \quad (12)$$

A potência mínima para o acionamento da bomba da solução, citada em Threlkeld (1978), é dada por:

$$Pot = m_1 v_1 (P_{19} - P_1) \quad (13)$$

onde:  $v_1$  é o volume específico da solução na saída do absorvedor,  $P_{19}$  é a pressão do gerador de alta pressão e  $P_1$  é a pressão no absorvedor.

O coeficiente de desempenho do sistema é a razão entre a energia obtida no evaporador e a energia fornecida ao gerador de alta pressão pelos gases de combustão:

$$COP = \frac{Q_e}{Q_{g1}} \quad (14)$$

O coeficiente de desempenho ideal é determinado em função de temperaturas absolutas do sistema:

$$COP_{ideal} = \frac{T_{10}(T_{17} - T_8)}{T_{17}(T_8 - T_{10})} \quad (15)$$

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros obtidos do modelo termodinâmico, apresentados nas Tabs. (4) e (5)) são: temperaturas de processo (geradores e absorvedor), pressões, vazões da solução, do refrigerante, da água de resfriamento e da água gelada, entalpias, taxas de transferência de calor, potência mínima para acionar a bomba da solução e coeficientes de desempenho (real e ideal).

Tabela 4. Parâmetros para o dimensionamento do sistema de duplo efeito (pontos da Fig.(2)).

	T (°C)	P (kPa)	m (kg/s)	x (% de LiBr)	h (kJ/kg)
1	30,83	0,87	0,09816	52,9	70,25
2	30,85	77,52	0,09816	52,9	70,3
3	50,85	77,52	0,09816	52,9	110,5
4	86,54	6,275	0,08375	62	214,2
5	66,54	6,275	0,08375	62	176,7
6	77,57	0,87	0,08375	62	176,7
7	80,58	6,275	0,007347	0	2651
8	37	6,275	0,01441	0	154,9
9	4,959	0,87	0,01441	0	154,9
10	5	0,87	0,01441	0	2510
11	12	-	1,622	0	50,24
12	7	-	1,622	0	29,31
13	29,5	-	2,783	0	123,5
14	32,45	-	2,783	0	135,9
15	32,46	-	2,783	0	135,9
16	35	-	2,783	0	146,5
17	300	-	0,1229	-	290,6
18	170	-	0,1229	-	151,5
19	88,85	77,52	0,09816	52,9	195,7
20	139,6	77,52	0,0911	57	302,3
21	177,6	77,52	0,0911	57	228,1
22	75,46	6,275	0,0911	57	228,1
23	134,5	77,52	0,007061	0	2743
24	92,64	77,52	0,007061	0	388
25	36,99	6,275	0,007061	0	388

Tabela 5 – Taxas de transferência de calor de cada componente do sistema.

Calor do gerador de vapor de alta pressão	27,7kW
Calor do gerador de vapor de baixa pressão	16,63kW
Calor do Condensador	19,98 kW
Calor do Evaporador	33,93 kW
Calor do Absorvedor	44,06kW
Calor do Trocador de calor de alta pressão	8,36kW
Calor do Trocador de calor de baixa pressão	3,945kW
Potência mínima da bomba da solução	0,0065HP
Coeficiente de desempenho	1,225
Coeficiente de desempenho ideal	6,673

A temperatura na saída da bomba (Ponto 2, Tab.(4)) foi calculada considerando as propriedades da solução saturada iguais às de líquido comprimido, devido à escassez de literatura contendo valores da solução aquosa de brometo de lítio comprimida. Isso pode ser considerado como uma boa aproximação já que as propriedades da maioria dos líquidos comprimidos variam pouco em relação ao seu estado saturado à mesma temperatura.

Para a determinação dos valores das propriedades termofísicas viscosidade e densidade, necessárias ao cálculo dos trocadores de calor da solução de brometo de lítio e água, nas concentrações definidas e nas temperaturas encontradas, foi consultado o site do Institute for Systems Research, University of Maryland. Foram considerados, também, os gráficos das referidas propriedades na ASHRAE (1981) e em Perry e Chilton (1973).

Os parâmetros obtidos do modelo termodinâmico são usados para o dimensionamento, a seleção e o projeto dos componentes do sistema.

## 5. CONCLUSÃO

O modelo termodinâmico desenvolvido apresentou resultados compatíveis com as informações encontradas na literatura aberta a respeito (Herold et al. (1996), Deng e Ma (1995)), na faixa de capacidade do sistema refrigeração por absorção de duplo efeito desenvolvido, cujo COP teórico encontrado é de 1,225. A simulação será usada para comparação teórico-experimental.

O desenvolvimento de um sistema de refrigeração por absorção de duplo efeito para produção de frio, mostrado no presente artigo, tem a finalidade de produzir parâmetros de interesse prático de engenharia que possam posteriormente serem estendidos a diferentes situações reais, e deverá favorecer a análise de sua aplicação em indústrias que possuam fontes de calor disponíveis, e sua ampliação para a faixa de capacidade entre 5 a 50 TR. Significa o desenvolvimento de tecnologia própria para o projeto de unidades de refrigeração de baixa capacidade que possa atender às necessidades de economia de energia em pequenas indústrias, bem como para plantas de pequeno porte.

## 6. AGRADECIMENTOS

Apresentamos os nossos agradecimentos à FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos e à PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro, pelo suporte financeiro ao presente projeto, bem como ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC/UFPB/CNPq.

## 7. REFERÊNCIAS

- Andrade, J. C. V., Santos, C. A. C., Varani, C. M. R., Rego, T. B., Marques, A. S., Souza, C. A., 2002, “Desenvolvimento de um Sistema de Refrigeração por Absorção Utilizando a Solução de Brometo de Lítio e Gás Natural como Fonte de Calor”, Anais do CONEM2002, João Pessoa/PB, Agosto.
- Andrade, J. C. V., Santos, C. A. C., Varani, C. M. R., 2000, “Simulação Computacional Baseada na Disponibilidade de Resíduos Energéticos para a Produção de Frio”, Anais do CONEM2000, Natal/Rn, Agosto.
- ANNEMOS , 1999, “Catálogo de Torre de Resfriamento de Água”.
- ASHRAE , 1981, “Handbook Fundamentals Volume”(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), Atlanta/Ga.
- Bogart, M. J. P., 1982, “Lithium Bromide Absorption Refrigeration - A Calculator Program”, ASRHRAE Journal, pp.23-28, August.
- Berlitz, T., Lemke, N., Satzger, P. and Ziegler, F., 1997, “Cooling Machine with Integrated Cold Storage”, International Journal of Refrigeration (21) pp. 157-161.
- Dorgan, C. B., Leight, S. P. and Dorgan, C. E., 1995, “ Application Guide for Absorption

- Cooling/Refrigeration Using Recovered Heat”, ASHRAE Research Project 773-RP by Dorgan Associates, Inc.
- Gordon, V. W., Richard S., Claus B., 1995, “Fundamentos de Termodinâmica Clássica”, Ed. Edgard Blucher Ltda..
- Herold, K.E., Radermacher, R. And Klein, A.S., 1996, “Absorption Chillers and Heat Pumps”, CRC Press, USA.
- Kaita, Y., 2001, “Thermodinamic Properties of Lithium Bromide Water Solutions at High Temperatures”, International Journal of Refrigeration, Vol. 24, pp. 374-390.
- King, G. R., 1971, “Modern Refrigeration Practice”, McGraw-Hill Book Company.
- Ma, W. B. and Deng, S. M., 1995, “Theoretical Analysis of Low-Temperature Hot Source Driven Two-Stage LiBr/H<sub>2</sub>O absorption Refrigeration System”, Internacionial Journal of Refrigeration (19) pp. 141-146.
- Martínez, P. J., García, A. and Pinazo, J.M., 2003, “Performance Analysis of an Air Conditioning System Driven by Natural Gas”, Energy and Buildings, (35) pp. 669-674.
- McNeely, L. A., 1979, “Thermodynamic Properties of Aqueous Solutions of Lithium Bromide”, ASHRAE Transactions, Part 1, ASHRAE Inc., N.Y., pp. 413-434.
- Ng K.C., Chua H. T., Tu K., Chong N.M. ,1997, “Performance Study of Water-LiBr Absorption Chillers: Thermodynamic Modeling and Experimental Verification”, Proceedings of the International Symposia on Transport Phenomena in Thermal Science and Process, Kyoto/Japan, Nov. 30-Dec.
- Perry, R.H. E Chilton, C.H. , 1973 “Chemical Engineers' Handbook”, McGraw-Hill Book Company.
- Siddiqui, M. A., 1995, “Economic Analysis of Absorption Systems: Part B – Optimization of Operating Parameters”, Energy Convers (38) pp. 905-918.
- Sun, D. W. , 1997, “Thermodynamic Design Data and Optimum Design Maps for Absorption Refrigeration Systems”, Applied Thermal Engeneering, Vol.17, N0. 3, pp.211-221.
- Threlkeld, J. L., 1978, “Thermal Environmental Engineering”, Prentice-Hall, Inc.
- Varani, C. M. R., 2001, “Avaliação Energética e Exergética de uma Unidade de Refrigeração por Absorção Água/Brometo de Lítio Utilizando Gás Natural”, Tese de Doutorado, CPGE/CT/UFPB.
- Xu, G. P., Daí, Y. Q., Tou, K. W. and Tso, C. P., 1996, “Theoretical Analysis and Optimization of a Double-Effect Series-Flow-Type Absorption Chiller”, Applied Thermal Engineering, (16) pp. 975-987.
- Yoon J., Choi, K., Moon, C., Kim, Y. J. and Kwon, O., 2003, “A Study on the Advanced Performance of an Absorption Heater/Chiller with a Solution Preheater Using Waste Gas”, Applied Thermal Engineering, (23) pp. 757-767.

# **DEVELOPMENT OF AN DOUBLE EFFECT ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM USING THE LITHIUM BROMIDE-WATER SOLUTION AND NATURAL GAS AS SOURCE OF HEAT**

**Paulo Henrique Dias dos Santos**

(\*) Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba (LES/UFPB), Cidade Universitária - Campus I, João Pessoa/PB, CEP: 58.0059-900  
e-mail: paulohenriqueles@uol.com.br

**Carlos A. Cabral dos Santos**

(\*), e-mail: cabral@les.ufpb.br

**Celina Maria Ribeiro Varani**

(\*), e-mail: celina@les.ufpb.br

**Carlos Alberto de Souza**

(\*), e-mail: engetecs@uol.com.br.

**Hugo Lima Moreira**

(\*), e-mail: hugolimabr@yahoo.com.br

**Abstract:** This work presents the simulation of an double-effect series flow vapor absorption refrigeration system for cold production, using the lithium bromide-water solution. For this, a computational code, at platform EES (Engineering Equation Solver), was developed as extension of the simulation, elaborated in FORTRAN 90, for the single-effect absorption refrigeration system in phase of tests at the Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba (UFPB/LES). A theoretical model developed make analysis of the processes in each component of the cycle, having as main parameter of entrance the energy readiness in the high pressure generator, proceeding of electric power generation system having as energetic source a natural gas (cogeneration). The components of the double-effect system were seized with the obtained results of the simulation, whose entrance parameters are, besides the available heat in the generator of high pressure, condensation temperature, evaporation temperature, temperature differencial in the two heat exchangers of the solution, pressure in the generator of high pressure, concentrations of the solution, entrance and exit temperatures of the chilled water, entrance temperature of the cooling water in the absorber and exit temperature of the cooling water from the condenser, entrance and exit temperatures of the combustion gases. The system simulation uses specific mathematical relationships for the properties of the lithium bromide-water solution, instead of diagram, and presents an coefficient of performance equal to 1.20. The unit developed will have a cooling capacity of 9.5 RT and will be part of an cogeneration system that will produce electric power and cold for an section of the LES.

**Keywords:** *Absorption Refrigeration, Single and Double Effect, Cogeneration.*