ANÁLISE EXERGÉTICA DE UM CHILLER DE ABSORÇÃO UTILIZANDO O PAR ÁGUA/BROMETO DE LÍTIO COMO FLUIDOS DE TRABALHO

Igor M. G. Almeida[1], Cleiton R. F. Barbosa[2], Francisco de A. O. Fontes[2]

[1]Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campi Santa Cruz-RN, Brasil
*igormarcel2002@yahoo.com.br
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Mecânica, S/N, Natal-RN, Brasil.

Área Temática: Termotecnia - Termodinâmica

RESUMO

A segunda lei da termodinâmica trata da qualidade da energia. Mais especificamente, trata da degradação de energia durante um processo, a geração de entropia, e as perdas de oportunidade da realização de trabalho, o que oferece muita margem para melhorias. O objetivo deste trabalho é identificar os principais fatores que afetam o desempenho de um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito (chiller) que usa o par água/brometo de lítio e tem como fonte térmica rejeitos provenientes de um grupo motor/gerador elétrico, localizado em Natal no estado do Rio Grande do Norte. O sistema tem capacidade de refrigeração entre 4 a 16 TR. A análise exergética foi realizada de modo que a eficácia dos componentes do sistema pôde ser estimada e classificada, permitindo direcionar os esforços no sentido de melhorar e identificar os principais pontos de perda de eficiência no ciclo. As análises revelaram que o gerador e o absorvedor apresentam as maiores fontes de perdas no sistema e os esforços devem ser direcionados de modo a aprimorar o desempenho destes componentes.

PALAVRAS CHAVE: cogeração, refrigeração por absorção, análise exergética, irreversibilidades

INTRODUÇÃO

A cogeração corresponde à produção simultânea de diferentes formas de energia útil, como as energias eletromecânica e térmica, para suprir as necessidades de uma unidade de processo a partir de uma mesma fonte energética primária, resultando em um aumento da eficiência global do ciclo térmico. Tecnicamente, a cogeração se destaca dentre as demais formas de geração, principalmente por ser uma tecnologia ecológica, apresentando menores índices de emissão de poluentes, ser uma prática cuja tecnologia pode ser facilmente dominada além de garantir maior confiabilidade na geração de insumos energéticos [1]. Existem diversas configurações de centrais de cogeração, uma das mais utilizadas consiste na interligação de uma unidade geradora de energia elétrica, geralmente um motor de combustão interna e um gerador elétrico, e um sistema de refrigeração por absorção, que aproveita os rejeitos térmicos do motor de combustão para a produção de frio.

Como se sabe, os sistemas de refrigeração por absorção apresentam coeficiente de performance (COP) muito baixo, entre 0,4 a 0,8 para sistemas de simples estágio. Desta forma, diversas pesquisas têm sido realizadas no intuito de localizar as principais fontes de perda de eficiência destes sistemas. A análise pela segunda lei da termodinâmica (exergia) tem sido a principal aliada para a busca do aperfeiçoamento destes ciclos, a qual está preocupada com a degradação da energia, a geração de entropia e, consequentemente, as perdas de oportunidade da realização de trabalho, identificando os pontos críticos que requerem os esforços principais no sentido de aprimorar a performance de sistemas. O método da exergia, conhecido como análise pela segunda lei, calcula a perda de exergia causada pelas irreversibilidades, sendo assim uma importante propriedade termodinâmica, pois indica o trabalho útil que pode ser produzido por uma substância ou a quantidade de trabalho necessária para concluir um determinado processo, fornecendo informações a respeito da ocorrência de ineficiências do sistema [2].

Aphornratana e Eames [3] foram os pioneiros na utilização da análise exergética e desenvolveram uma metodologia de fácil aplicação para o uso da análise pela segunda lei em ciclos de refrigeração por absorção de simples efeito que utilizam o par água/brometo de lítio (H_2O/LiBr). Os autores apresentam ainda um método simples para determinação da entropia de soluções de água/brometo de lítio. Talbi e Agnew [2] calcularam as perdas de exergia inerentes a um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito utilizando água/brometo de lítio, os autores concluíram que as trocas de calor à temperaturas consideravelmente superiores a ambiente são as maiores fontes de de perda de exergia nos componentes do sistema. O absorvedor apresentou a maior taxa de perda de exergia, cerca de 59%. Lee e Sherif [4] analisaram com base na primeira e segunda lei da termodinâmica um sistema de absorção utilizando água/brometo de lítio para aplicações de aquecimento e resfriamento. Os autores determinaram o COP e a eficiência exergética do sistemas sob diferentes condições de operação e avaliaram os fatores de maior influência na performance do ciclo. Fornecem ainda uma metodologia para determinação da entropia e exergia de soluções de H_2O/LiBr. Sencan *et al.* [5] aplicaram o método da exergia em um ciclo de absorção de simples efeito operando com H_2O/LiBr, o autores avaliaram a perda de exergia, entalpia, entropia, temperatura, vazão mássica e fluxo de calor em cada componente do sistema. Os resultados obtidos mostraram que as perdas de exergia no condensador e evaporador são menores que no gerador e no absorvedor. Os autores atribuem este fato ao calor envolvido durante a mistura das soluções que ocorrem nestes componentes e que não está presente nos fluidos puros, como é o caso do estado dos fluidos no condensador e evaporador. Kilic e Kaynakli [6] citam que a aplicação da segunda lei da termodinâmica em sistemas de refrigeração por absorção facilita a identificação de componentes com grande perda de exergia, permitindo direcionar os esforços de se obter sistemas com alta eficiência da segunda lei.

Neste sentido, com base nos trabalhos teóricos e computacionais disponíveis na literatura, o objetivo deste trabalho é aplicar o método da exergia em um chiller de absorção de simples efeito para fins de climatização a partir de rejeitos térmicos de uma unidade de cogeração. A análise será realizada em cada componente do sistema, estimando as perdas de exergia que existem no ciclo com o auxílio de uma plataforma desenvolvida no EES (Engineering Equation Solver) para determinação das propriedades termodinâmicas da solução H_2O/LiBr em todo o ciclo. Este trabalho consiste em um estudo de caso da análise exergética aplicada à sistemas de refrigeração por absorção.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ABSORÇÃO

A central de cogeração é composta basicamente por um grupo gerador movido a gás natural, caldeira de recuperação de calor dos gases de combustão, trocador de calor para a água das camisas do motor, sistema de refrigeração por absorção de simples estágio de 16 TR (capacidade máxima), caldeira a gás natural, torre de arrefecimento de água e outros componentes auxiliares como bombas, trocadores de calor, válvulas e torre de arrefecimento. A central opera no regime *topping,* no qual a energia elétrica é gerada com prioridade sobre a térmica. O calor dos gases de exaustão e das camisas do motor é recuperado a partir de uma caldeira recuperadora de calor que fornece calor necessário para acionamento do chiller, obtendo-se água gelada que em seguida é direcionada para um sistema de condicionamento de ar do tipo fan-coil. O sistema de refrigeração por absorção utiliza água quente como fonte térmica para o gerador. A figura 1 apresenta a configuração utilizada na central de cogeração.

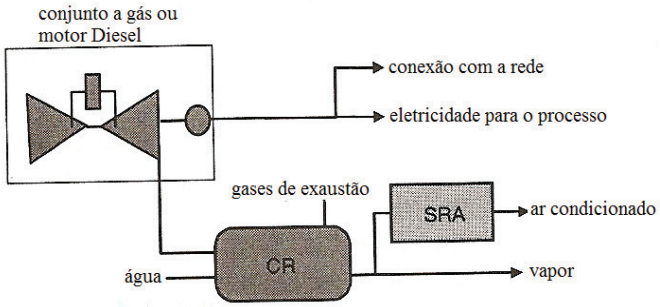

Fig.1. Configuração da central de cogeração, com sistema de refrigeração por absorção (SRA) e caldeira de recuperação de calor (CR).

O objetivo da presente análise é aplicar o método da exergia apenas ao sistema de refrigeração da central de cogeração. Uma representação do ciclo de refrigeração proposto é mostrada na figura 2 abaixo.

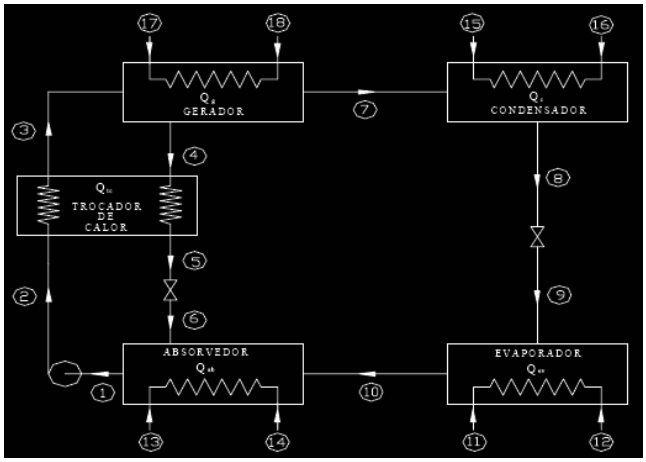

Fig.2. Representação do sistema de refrigeração por absorção.

O sistema é composto por bomba de circulação da solução, trocador de calor, gerador, absorvedor, condensador, evaporador e válvulas de expansão. Observando a figura 2, os pontos 17 e 18 se referem ao fornecimento e rejeição da água quente no gerador, proveniente da caldeira de recuperação de calor. No absorvedor, condensador e evaporador utiliza-se água como meio de troca de calor. A água utilizada previamente no absorvedor é em seguida fornecida ao condensador, sendo depois enviada à torre de arrefecimento. No evaporador utiliza-se água fria, obtendo-se a diminuição de temperatura desta e seu posterior fornecimento ao circuito de ar condicionado (sistema fan-coil). A tabela 1 apresenta os pontos característicos do ciclo e seus parâmetros funcionais proposto por Santos *et al*. [7].

Tabela 1. Pontos característicos do sistema de refrigeração por absorção.

Ponto	P (kPa)	T (°C)	m (kg/s)	x (%)	Ponto	P (kPa)	T (°C)	m (kg/s)	x (%)
1	0,87	34,44	0,05473	54,9	**10**	0,87	5	0,007782	-
2	6,275	34,44	0,05473	54,9	**11**	101,3	12	0,8772	-
3	6,275	63,6	0,05473	54,9	**12**	101,3	7	0,8772	-
4	6,275	91,13	0,04695	64,0	**13**	101,3	29,5	1,823	-
5	6,275	52,13	0,04695	64,0	**14**	101,3	32,45	1,823	-
6	0,87	52,13	0,04695	64,0	**15**	101,3	32,45	1,823	-
7	6,275	80,59	0,007782	-	**16**	101,3	35	1,823	-
8	6,275	37	0,007782	-	**17**	101,3	300	0,2143	-
9	0,87	5	0,007782	32,0	**18**	101,3	200	0,2143	-

ANÁLISE TERMODINÂMICA

A primeira lei da termodinâmica afirma que a energia é conservada, desta forma, não demonstra a ocorrência de irreversibilidades em um sistema, como a originada, por exemplo pela perda de pressão do fluido refrigerante. De acordo com a primeira lei, todas as formas de energia são convertidas em outras. No entanto, a segunda lei impõe limitações a essa conversão de energia. Todos os processos reais são irreversíveis, devido a alguns fatores, como:

- Atrito fluido, dissipando trabalho na forma de calor;

- Transferência de calor de um corpo a alta temperatura para um corpo a baixa temperatura;

- Expansão e perda de pressão em processos adiabáticos;

Neste trabalho, o modelo matemático adotado é o proposto por Aphornratana e Eames [3]. As propriedades termodinâmicas dos fluidos de trabalho em todos os pontos do ciclo foram obtidas mediante modelo computacional proposto por Talbi e Agnew [2] e Chua *et al.* [8], utilizando o software EES (Engineering Equation Solver). A tabela 2 apresenta as propriedades termodinâmicas obtidas a partir da simulação para todos os pontos do ciclo.

Tabela 2. Propriedades termodinâmicas dos sistema de refrigeração por absorção.

Ponto	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)	Ponto	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kgK)
1	0,87	34,44	81,847	0,20895	**10**	0,87	5	2511,0	9,0270
2	6,275	38,21	89,651	0,22312	**11**	101,3	12	50,49	0,1805
3	6,275	63,6	142,277	0,41230	**12**	101,3	7	29,48	0,1062
4	6,275	91,13	232,396	0,49650	**13**	101,3	29,5	123,8	0,4299
5	6,275	52,13	161,484	0,26341	**14**	101,3	32,45	136,1	0,4705
6	0,87	52,13	161,484	0,26341	**15**	101,3	32,45	136,1	0,4705
7	6,275	80,59	2651,0	8,56300	**16**	101,3	35	146,7	0,5052
8	6,275	37	155,1	0,53220	**17**	101,3	300	3074,0	8,2100
9	0,87	5	155,1	0,53220	**18**	101,3	200	2875,0	7,8280

Exergia

É definida como a máxima quantidade de trabalho reversível que pode ser obtida por um fluido, e é dada por

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \tag{1}$$

Os termos h_0 e s_0 representam a entalpia e entropia do fluido a uma condição de referência, adotou-se a temperatura ambiente de 25ºC e pressão de 101,3 kPa. A variação de exergia (perda de exergia) é expressa por

$$\Delta\psi = \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e - \dot{Q}\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) - W \tag{2}$$

Os dois primeiros termos são os somatórios (balanços) de exergia nas entradas e saídas dos componentes. O terceiro termo é a exergia do calor Q que é transferido a uma temperatura constante T. A exergia do calor é igual ao trabalho obtido por um motor de Carnot operando entre T e $T_{0.}$. O último termo é o trabalho mecânico transferido para o sistema ou pelo o sistema.

Balanço de energia e exergia nos componentes

Para cada componente do sistema de absorção mostrado na figura 2, os balanços de energia e exergia são calculados abaixo.

Condensador

$$\dot{Q}_{con} = \dot{m}_7(h_7 - h_8) = \dot{m}_{15}(h_{16} - h_{15}) \tag{3}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{con,água} = \dot{m}_{15}(\psi_{16} - \psi_{15}) \tag{4}$$

Considera-se que o calor Q_{con} é rejeitado para a água de resfriamento a uma temperatura constante T_{con}. A irreversibilidade que occore durante a troca de calor é mensurada pela diferença entre a exergia do fluxo de calor Q_{con} e a variação de exergia na água de resfriamento:

$$\Delta\dot{\psi}_{con,calor} = \dot{Q}_{con}\left(1 - \frac{T_0}{T_{con}}\right) - \dot{m}_{15}(\psi_{16} - \psi_{15}) \tag{5}$$

Irreversibilidade interna é definida como a diferença entre a variação de exergia do fluido de trabalho (refrigerante ou solução) e a exergia do fluxo de calor Q_{con}:

$$\Delta\dot{\psi}_{con,in} = \dot{m}_7(\psi_7 - \psi_8) - \dot{Q}_{con}\left(1 - \frac{T_0}{T_{con}}\right) \tag{6}$$

Para os demais componentes, os balanços de energia e exergia são obtidos de forma similar, as equações são demonstradas abaixo:

Evaporador

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_9(h_9 - h_{10}) = \dot{m}_{11}(h_{12} - h_{11}) \tag{7}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{evap,calor} = \dot{Q}_{evap}\left(1 - \frac{T_0}{T_{evap}}\right) - \dot{m}_{11}(\psi_{12} - \psi_{11}) \tag{8}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{evap,in} = \dot{m}_9(\psi_9 - \psi_{10}) - \dot{Q}_{evap}\left(1 - \frac{T_0}{T_{evap}}\right) \tag{9}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{evap,água} = \dot{m}_{11}(\psi_{12} - \psi_{11}) \tag{10}$$

Absorvedor

$$\dot{Q}_{abs} = \dot{m}_{10}\,h_{10} + \dot{m}_6\,h_6 - \dot{m}_1\,h_1 = \dot{m}_{13}(h_{14} - h_{13}) \tag{11}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{abs,calor} = \dot{Q}_{abs}\left(1 - \frac{T_0}{T_{abs}}\right) - \dot{m}_{13}(\psi_{14} - \psi_{13}) \tag{12}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{abs,in} = \dot{m}_{10}\,\psi_{10} + \dot{m}_6\,\psi_6 - \dot{m}_1\,\psi_1 - \dot{Q}_{abs}\left(1 - \frac{T_0}{T_{abs}}\right) \tag{13}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{ab,água} = \dot{m}_{13}(\psi_{14} - \psi_{13}) \tag{14}$$

Gerador

$$\dot{Q}_{ger} = \dot{m}_3 h_3 - \dot{m}_4 h_4 - \dot{m}_7 h_7 = \dot{m}_{17}(h_{17} - h_{18}) \tag{15}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{ger,calor} = \dot{Q}_{ger}\left(1 - \frac{T_0}{T_{ger}}\right) - \dot{m}_{17}(\psi_{17} - \psi_{18}) \tag{16}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{ger,in} = \dot{m}_3 \psi_3 - \dot{m}_4 \psi_4 - \dot{m}_7 \psi_7 - \dot{Q}_{ger}\left(1 - \frac{T_0}{T_{ger}}\right) \tag{17}$$

$$\Delta\dot{\psi}_{ger,água} = \dot{m}_{17}(\psi_{17} - \psi_{18}) \tag{18}$$

Trocador de calor (solução)

$$\Delta\dot{\psi}_{tc,calor} = \dot{m}_4 \psi_4 + \dot{m}_2 \psi_2 - \dot{m}_3 \psi_3 - \dot{m}_5 \psi_5 \tag{19}$$

Válvula de expansão (refrigerante)

$$\Delta\dot{\psi}_{valv,ref} = \dot{m}_8(\psi_8 - \psi_9) \tag{20}$$

Razão de circulação da solução

$$SCR = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_{10}} \tag{21}$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aplicando as equações e propriedades termodinâmicas do sistema em uma plataforma computacional do software EES, obtiveram-se os resultados mostrados nas tabelas abaixo. Para simplificar a simulação e análise da transferência de calor entre o sistema e o ambiente, o trabalho fornecido à bomba de circulação da solução e as perdas por atrito no sistema foram negligenciados. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos pela aplicação da primeira lei da termodinâmica nos principais componentes do sistema.

Tabela 3. Fluxos de energia nos componentes do sistema.

Componente	Símbolo	Fluxo de energia (kW)
Gerador	Q_g	23,755
Condensador	Q_c	19,432
Evaporador	Q_e	18,333
Absorvedor	Q_a	22,422
Coeficiente de Performance	COP	0,771

A análise exergética foi realizada em cada componente. As perdas de exergia são obtidas utilizando basicamente as Eqs. (1) e (2). As perdas de exergia nos vários componentes do ciclo são dadas na tabela 4. A perda de exergia é uma quantidade de disponibilidade consumida em um determinado processo. As irreversibilidades em sistemas de absorção reduzem o COP e a eficiência exergética a valores abaixo de um ponto ideal devido às diversas 'não-idealidades" que existem nos processos. Esta análise enfatiza como as perdas e irreversibilidades impactam a

performance do sistema, sendo uma importante ferramenta de avaliação e aperfeiçoamento do projeto dos componentes dos sistemas de refrigeração por absorção. A exergia fornecida representada na coluna 2 da tabela 4 diz respeito ao somatório das exergias dos fluxos que entram em cada componente (volume de controle). A exergia recuperada consiste no somatório das exergias dos fluxos que saem de cada componente.

Tabela 4. Perdas de exergia do sistema de refrigeração por absorção.

Componente	Exergia fornecida (kW)	Exergia recuperada (kW)	Perda de exergia (kW)
Gerador	135,376	118,403	16,973
Condensador	1,438	1,111	0,327
Evaporador	1,021	0,6474	0,373
Absorvedor	-0,7257	-2,409	1,683
Válvula de expansão	0,00746	0,00746	-
Trocador de calor	0,6083	0,3350	0,273
Sistema	137,725	118,094	19,631

Nos sistemas de absorção as principais fontes de irreversibilidades são as relacionadas aos processos de mistura de dois fluidos que ocorrem no absorvedor e no gerador, com a evaporação do refrigerante no gerador a uma determinada concentração, que requer uma grande quantidade de calor para evaporar a um estado puro. O superaquecimento excessivo da água que ocorre no gerador se constitui como uma fonte de perda termodinâmica, levando à necessidade de uma maior quantidade de resfriamento no condensador. De acordo com a tabela 4, o absorvedor e o gerador apresentaram as maiores perdas de exergia justamente devido às perdas decorrentes do processo de mistura e separação dos fluidos nestes componentes. Segundo Sencan *et al.* [5] estas perdas podem ser reduzidas mediante a aplicação de uma fonte de calor com uma temperatura mínima necessária aos processos de absorção e dessorção nestes componentes. Desta forma, é necessária a avaliação das características termodinâmicas e químicas das misturas para se obter uma temperatura mínima da fonte de calor que realize estes processos com a maior eficiência possível. As perdas que ocorrem no absorvedor são também ocasionadas pela diferença de temperatura entre este componente e o ambiente. De acordo com Talbi e Agnew [2], uma forma de reduzir esta fonte de perda é proporcionar um aumento na área de troca de calor do absorvedor. Aphornratana e Eames [3] citam que estas irreversibilidades podem ser reduzidas através da diminuição da razão de circulação da solução e uso de um trocador de calor (solução) de maior efetividade, limitada pela temperatura de cristalização da solução. A razão de circulação da solução é reduzida mediante o aumento da concentração da solução no absorvedor. Esta concentração aumenta com o aumento da temperatura ou da pressão, e vice-e-versa. O aumento da temperatura no gerador resulta em uma razão de circulação da solução menor. No entanto, isto não reduzirá as irreversibilidades no absorvedor, pois as irreversibilidades internas aumentam com o aumento da temperatura da solução que entra no absorvedor. Kandlikar [9] citado por Aphornratana e Eames [3] afirma que o uso do calor rejeitado durante o processo de absorção para pré-aquecer a solução antes da sua entrada no trocador de calor é um método eficiente de redução da perda de exergia no absorvedor. Kaushik e Arora [10] afirmam que a eficiência exergética do sistema aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura do gerador, tendendo a declinar com a progressão do aumento desta temperatura. As perdas que ocorrem no condensador resultam da existência do vapor de água superaquecido que provém do gerador e entra no condensador, onde em seguida ocorre a transferência de calor a uma temperatura relativamente baixa.

A considerável perda de exergia que ocorre no evaporador é ocasionada principalmente pela diferença de temperatura entre o ambiente e a temperatura de evaporação do refrigerante. As irreversibilidades associadas à transferência de calor no evaporador tem efeito muito importante na performance do sistema. De acordo com Aphornratana e Eames [3], para se obter uma melhor performance do ciclo de refrigeração por absorção, a prioridade deve ser dada ao evaporador, seguido do absorvedor. Não foram consideradas as perdas de exergia decorrentes da válvula de expansão (solução) e bomba de circulação da solução, pois as perdas nestes componentes são muito pequenas comparadas às perdas do sistema [6].

CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas a partir da análise termodinâmica aplicada ao sistema de refrigeração são as seguintes:

a) Os esforços no sentido de aperfeiçoamento dos sistemas de refrigeração por absorção devem se concentrar no desenvolvimento de componentes mais eficientes. Principalmente o gerador, absorvedor e evaporador, que apresentaram as maiores perdas de exergia em relação ao sistema.
b) As perdas de exergia que ocorrem no evaporador e condensador são muito influenciadas pela temperatura ambiente.
c) As irreversibilidades no gerador e absorvedor podem ser reduzidas através do projeto de um trocador de calor da solução com alta efetividade e dimensionar o sistema para operar com baixa razão de circulação da solução, neste caso, menor que 7,0.
d) Sistemas de refrigeração por absorção operam de forma mais eficiente quando submetidos a fontes térmicas de temperaturas moderadas em relação a fontes com temperaturas muito elevadas.

REFERÊNCIAS

1. Balestiere JAP. Cogeração: geração combinada de eletricidade e calor. Capítulo 1. Florianópolis: *Ed. da UFSC*, 2002.
2. Talbi MM, Agnew B. Exergy analysis: an absorption refrigerator using lithium bromide and water as the working fluids. *Applied Thermal Engineering*, vol.20, pp. 619-630, 2000.
3. Aphornratana S, Eames IW. Thermodynamics analysis of absorption refrigeration cycles using the second law of thermodynamics method. *International Journal of Refrigeration*, vol.18, pp. 244-252, 1995.
4. Lee SF, Sherif SA. Thermodynamic analysis of a lithium bromide/water absorption system for cooling and heating applications. *International Journal of Energy Research*, vol. 25, pp. 1019-1031, 2001.
5. Sencan A, Yakut KA, Kalogirou SA. Exergy analysis of lithium bromide/water absorption systems. *Renewable Energy*, vol.30, pp. 645-657, 2005.
6. Kilic M, Kaynakli O. Second law-based thermodynamic analysis of water-lithium bromide absorption refrigeration system. *Energy*, vol.32, pp.1505-1512, 2007.
7. Santos PHD, Varani CMR, Santos CAC, Moreira HL. Dimensionamento de um sistema de refrigeração por absorção de simples efeito, água-brometo de lítio, com gás natural como fonte térmica. *IX Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar condicionado, Aquecimento e Tratamento de ar*. São Paulo, 2005.
8. Chua HT, Toh HK, Malek A, Ng KC, Srinivasan K. Improved thermodynamic property field of LiBr–H2O solution. *International Journal of Refrigeration* 23:412–429. 2000.
9. Kandlikar SG,. A new absorber heat recovery cycle to improve COP of aqua-ammonia absorption refrigeration system. ASHRAE Transactions 88, 141-158. 1982.
10. Kaushik SC, Arora A. Energy and exergy analysis of single effect and series flow double effect water-lithium bromide absorption refrigeration systems. *International Journal of Refrigeration*, doi:10.1016/j.ijrefrig.2009.01.017. 2009.

NOMENCLATURA

SCR	razão de circulação da solução
ψ	exergia de uma substância pura (kJ/kg)
P	pressão absoluta (kPa)
h	entalpia (kJ/kg)
s	entropia (kJ/kg)
m	vazão mássica (kg/s)
Q	fluxo de calor (kJ/s)
T	temperatura (^{o}C)