

# Construção e Análise da Eficiência de um Sistema de Absorção de Amônia com Energia Renovável

Jeferson Camargo Fukushima, Amarildo Tabone Paschoalini e Natália Michelan

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (UNESP – FEIS)

**Resumo** — O presente estudo é parte de um projeto mais abrangente, destinado a desenvolver a tecnologia de um sistema de refrigeração por absorção (amônia - água). O sistema utiliza como fonte de calor a queima de gás liquefeito de petróleo (GLP). Tem-se por objetivo avaliar o desempenho e eficiência deste sistema. A solução amônia - água recebe calor no vaporizador tornando-se vapor, após passagem pelo condensador torna-se líquida, no evaporador com o hidrogênio produz o resfriamento, no absorvedor junta-se com a água, recomendo o ciclo. Os resultados mostram que o Coeficiente de Performance (COP = 1,05) apresentou baixo valor, porém, não deve ser considerado prejudicial, pois, a energia utilizada é excedente de um sistema e a forma de calor é de baixo valor, o que viabiliza a utilização de sistemas por absorção. Sendo assim, este sistema deve ser utilizado em aplicações de recuperação de calor como fonte de energia.

**Palavras-Chave** — Ciclo de absorção, Refrigeração, Amônia.

## I. INTRODUÇÃO

A energia é um ingrediente essencial para o desenvolvimento, que é uma das aspirações fundamentais da população mundial. Para tanto, se torna necessária a exploração de seus recursos naturais, mas o mundo tem sofrido com a poluição da atmosfera e com a degradação do meio ambiente. A história diz-nos que conforme a evolução tecnológica e o desenvolvimento das sociedades vão surgindo a emergência de novas fontes de energia e novas formas da sua exploração. No âmbito da questão ecológica, as chamadas “fontes alternativas de energia” ganham um espaço cada vez maior. Essas fontes alternativas, além de não prejudicar a natureza, são renováveis, e por isso perene. Nos exemplos de fontes renováveis incluem a energia solar (painel solar, célula fotovoltaica), a biomassa (matéria de origem vegetal), dentre outras.

A refrigeração consiste na ação de resfriar determinado ambiente de forma controlada, para diminuir a temperatura é necessário retirar energia térmica de determinado corpo ou meio. Através de um ciclo termodinâmico, calor é extraído do ambiente a ser refrigerado e é enviado para o ambiente exter-

no. A refrigeração não destrói o calor, que é uma forma de energia. Ela apenas o move de um lugar não desejado para outro que não faz diferença.

Entre os ciclos de refrigeração, os principais são o ciclo de refrigeração padrão por compressão, o ciclo de refrigeração por absorção e o ciclo de refrigeração por magnetismo.

As refrigerações por ciclo de absorção e adsorção já são conhecidas há bastante tempo e ambas têm por principal característica a utilização de fonte de calor para seu funcionamento. A por ciclo de absorção tem sido muito cogitada ultimamente, principalmente em aplicações de cogeração para fornecimento integrado de energia e refrigeração em indústrias e shopping centers.

Há citações que afirmam que dentro de dez anos teremos a refrigeração ambiente solar competitiva a nível comercial. Um grande atrativo é que as variações da disponibilidade da energia solar, em geral, acompanham as de necessidade de refrigeração.

Há hoje uma evidente necessidade de melhor utilização da energia. Globalmente, é natural que as indústrias se obriguem a buscar planejamentos energéticos e a inserir novas tecnologias que assegurem o uso eficiente das várias formas de energia, pois dependem da energia para se desenvolverem.

Quanto mais houver a busca por ações onde a tecnologia propõe soluções ambientalmente corretas, maior será o incentivo a projetos que visam atender estes objetivos, principalmente se forem inovadores. Esses trabalhos sempre serão um estudo multidisciplinar, onde todas as formas de tecnologias e de conhecimentos possam se unir e criar soluções necessárias e sustentáveis.

Pode-se citar a utilização do sistema de absorção no tratamento de ar para refrigeração do Veículo Lançador de Satélite – VLS-1 – onde ocorre o super aquecimento de componentes. O controle de temperatura é sempre um desafio em todas as áreas.

## II. EXPERIMENTO

A amônia é utilizada como refrigerante há mais de 120 anos e, por isso, as suas propriedades e aplicações são bastante conhecidas. No entanto, esta substância apresenta certos inconvenientes, no que diz respeito à segurança, devido a sua toxicidade e por tornar-se explosiva em concentrações de 15% a 30% em volume.

É considerado o único refrigerante natural, ecologicamente correto, por não agredir a camada de ozônio,

J. C. Fukushima, Graduando em Engenharia Mecânica, jefersonfukushima@hotmail.com, A. T. Paschoalini, Professor Doutor do Departamento de Engenharia Mecânica, tabone@dem.feis.unesp.br, Tel +55-18-37431042; N. Michelan, Bióloga Mestranda (Aluna Especial) em Engenharia Mecânica, natmichelan@hotmail.com, Tel. +55-18-37423348.

diferentemente dos CFC's. Com a crescente preocupação com as questões ambientais, a aplicabilidade da amônia como refrigerante tem sido redescoberta.

Vários fluidos de trabalho para sistemas de absorção são apresentados. A Tabela I apresenta alguns dos pares mais conhecidos, entretanto os mais difundidos são os pares de amônia-água e brometo de lítio-água. As aplicações destes fluidos são bem distintas [4]. O ciclo por absorção usa amônia como gás refrigerante e hidrogênio e água como substâncias auxiliares. Esta configuração permite alcançar temperaturas de evaporação mais baixas [4].

TABELA I – PARES MAIS CONHECIDOS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO [4].

Fluido Absorvente	Fluido Refrigerante
Água	Amônia (NH <sub>3</sub> ), Metil amina (CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> ) e outras Aminas alifáticas
Solução de brometo de lítio em água	Água
Solução de cloreto de lítio em metanol	Metanol (CH <sub>3</sub> OH)
Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Água
Hidróxido de potássio (KOH) ou de sódio (NaOH) ou misturas	Água
Sulfocianeto de amônia (NH <sub>4</sub> CNS)	Amônia (NH <sub>3</sub> )
Tetracloroetano (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub> )	Cloreto de etila (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl)
Óleo de parafina	Tolueno (C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> ), pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )
Glicol etílico (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (OH) <sub>2</sub> )	Metil amina (CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> )
Éter dimetílico de glicol tetrartílico (CH <sub>3</sub> (OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> OCH <sub>3</sub> )	Monofluór-dicloro-metano (CHFCl <sub>2</sub> ), diclorometano (CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> )

A amônia pode ser considerada um refrigerante ecológico, pois não causa nenhum dano à camada de ozônio e nem contribui para agravar o efeito estufa [4].

Na fig. 1, o vaporizador recebe solução concentrada de amônia em água. O aquecimento vaporiza a solução e a amônia, por ser mais volátil, é separada da água no separador. Assim, a água que sai do mesmo é uma solução diluída de amônia em água.

O vapor de amônia é liquefeito no condensador e, ao sair, se mistura com hidrogênio. Portanto, a pressão da amônia diminui devido à presença de outro gás na mistura.

A mistura de amônia e hidrogênio passa pelo evaporador, produzindo o resfriamento. Em seguida, se encontra com a água quase pura do separador e ambas passam pela serpentina do absorvedor. A pressão total é teoricamente a mesma em todos os pontos do circuito. O que muda são as pressões parciais. Em um trecho, a pressão parcial da amônia é menor que a do hidrogênio e ao contrário em outro trecho. Assim, ambos os gases circulam pelo sistema. Tal diferença de pressões parciais é produzida pela água, que tem grande afinidade pela amônia e quase nenhuma pelo hidrogênio.

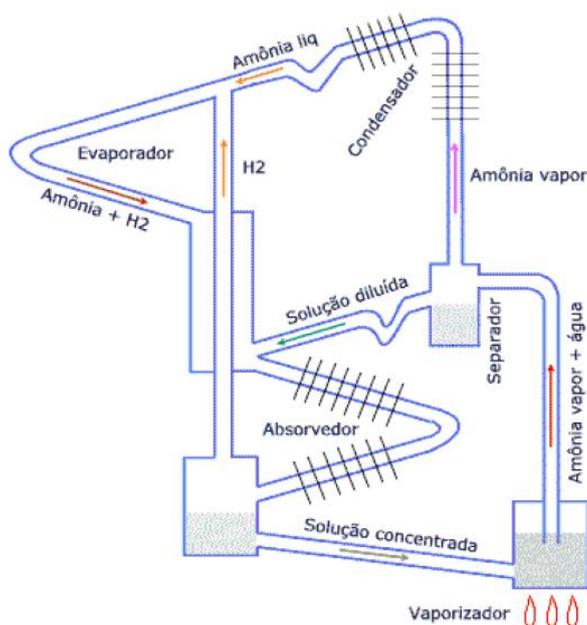


Fig. 1. Geladeira a gás (Fonte: [5]).

Assim, na saída do absorvedor, a amônia está dissolvida na água e o hidrogênio está livre, retornando ao evaporador. A solução concentrada da amônia em água retorna ao vaporizador, reiniciando o ciclo [5].

A fig. 2A exibe o experimento externamente, evidenciando o condensador, gerador e absorvedor e as unidades utilizadas no cálculo do coeficiente de performance (1). A fig. 2B mostra a fonte de calor desenvolvida especialmente para o gás GLP (Gás Liquefeito de Petróleo).

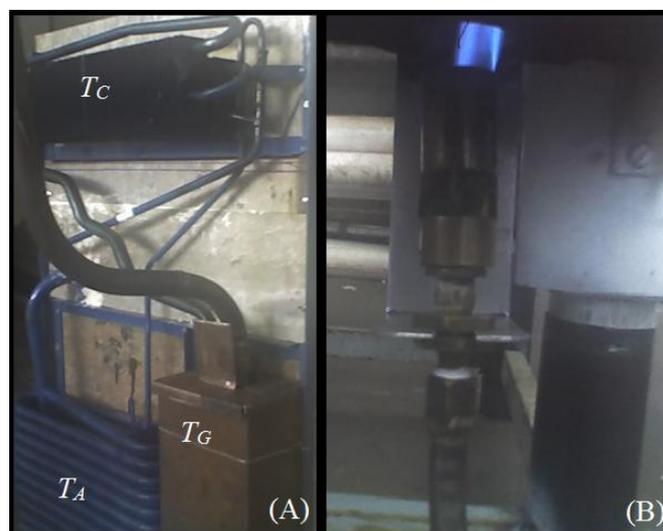


Fig. 2. Geladeira a gás GLP. (A) Absorvedor, gerador de calor e condensador. (B) Detalhe do queimador GLP.

A fig. 3, apresenta o interior do experimento, evidenciando o evaporador e a unidade utilizada no cálculo do coeficiente de performance (Eq. 1).

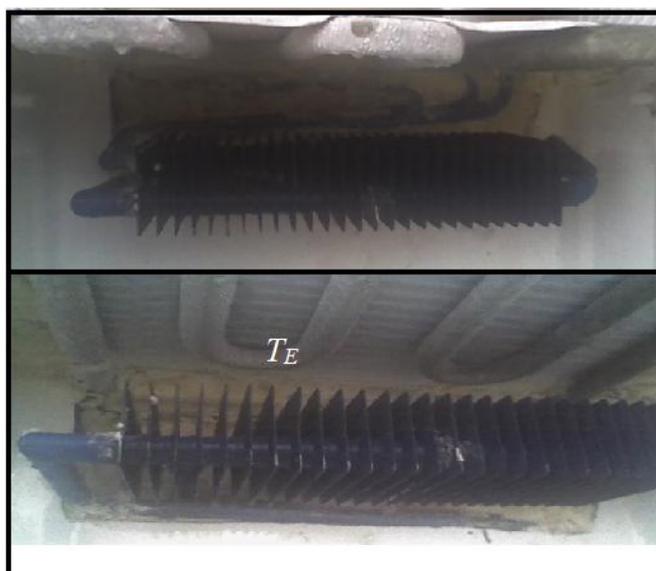


Fig. 3. Interior da geladeira a gás GLP, onde:  $T_E$  - Temperatura do refrigerante no evaporador.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A termodinâmica nos diz que um ciclo ideal é aquele em que todos os processos são reversíveis, ou seja, após terem ocorrido podem ser invertidos sem deixar vestígios no sistema e no meio. Também, define o ciclo de Carnot como sendo um ciclo ideal, de maior rendimento possível, operando entre dois reservatórios de temperatura constante. Tendo como base o conceito do ciclo de Carnot, o Coeficiente de Performance (COP) do ciclo ideal de absorção pode ser representado pelas temperaturas envolvidas no sistema, sendo usual desconsiderar-se o trabalho de bombeamento.

$$\text{COP} = \frac{T_E(T_G - T_A)}{T_G(T_A - T_E)} \quad (1)$$

Na qual  $T_A$  é a temperatura de absorção ou temperatura da solução no absorvedor,  $T_E$  é a temperatura de evaporação ou temperatura do refrigerante no evaporador e  $T_G$  é a temperatura de geração ou temperatura da solução no gerador.

Considera-se que a temperatura da solução no absorvedor é aproximadamente igual à temperatura do refrigerante no condensador ou temperatura de condensação  $T_C$ .

Os valores foram verificados após o sistema atingir o equilíbrio térmico com o auxílio de termômetro digital a laser (tipo pistola) e termopares, obtendo-se:

$$\text{COP} = \frac{266(433 - 327,5)}{433(327,5 - 266)} = 1,05 \quad (2)$$

O valor baixo do COP para o sistema de absorção não deve ser considerado prejudicial, pois, é determinado pela relação entre a refrigeração e a taxa de adição de calor ao gerador. A energia na forma de trabalho é normalmente muito mais valiosa que a energia na forma de calor, o que viabiliza a utilização de sistemas por absorção. Em sistemas comerciais de absorção, alguns componentes são integrados

ao conjunto para melhoria de desempenho e eficiência termodinâmica [3].

Estudos experimentais mostram que o coeficiente de performance (COP) pode ser aumentado em até 60% quando é utilizado um trocador de calor entre o absorvedor e o gerador. Além do mais, o tamanho do absorvedor pode ser reduzido tendo em vista que menor quantidade de energia será rejeitada [3].

O coeficiente de performance (COP) do sistema de refrigeração por absorção por difusão é baixo principalmente por três motivos:

1º) o sistema utiliza fonte de energia com temperaturas da ordem de  $-20^\circ\text{C}$ , o que faz com que o COP de Carnot seja baixo;

2º) o gás auxiliar requer uma parcela da carga de refrigeração;

3º) o retificador perde energia na forma de calor diretamente para o ambiente [2].

Vale destacar que sistemas mais recentes de refrigeração por absorção possuem coeficientes de desempenho de até 1,5 [6], o que coloca estes sistemas em condições interessantes para serem utilizados. Além da possibilidade de utilização de sistemas de refrigeração por absorção mais eficientes, vale lembrar que a energia a ser utilizada pelos mesmos, no caso em estudo, é destacada pelos motores de combustão interna para a atmosfera, ou seja, não representa custos [3].

A fig. 4 mostra a relação das temperaturas em função do tempo. Quando o sistema atinge o tempo de 720 minutos, estabiliza-se, portanto, não apresenta alterações na temperatura e revela o equilíbrio do sistema.

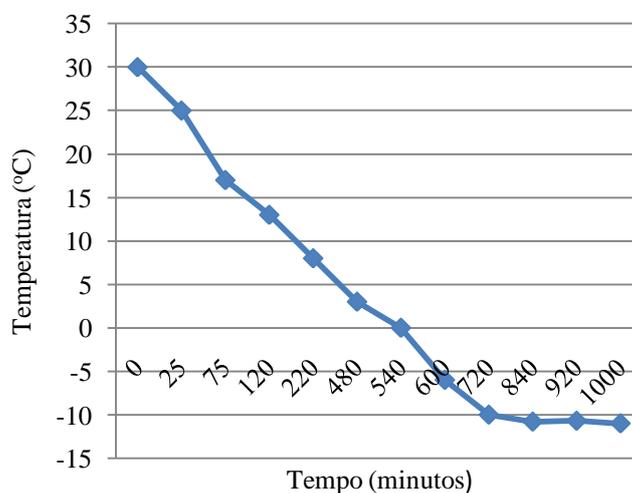


Fig. 4. Gráfico do equilíbrio do sistema, desenvolvimento da temperatura em relação ao tempo.

A fig. 5 representa o consumo de GLP em função da temperatura, a princípio o sistema obteve um consumo elevado, pois, o queimador fabricado necessitava de regulagem da queima, e, posteriormente, vários testes revelaram um consumo adequado.

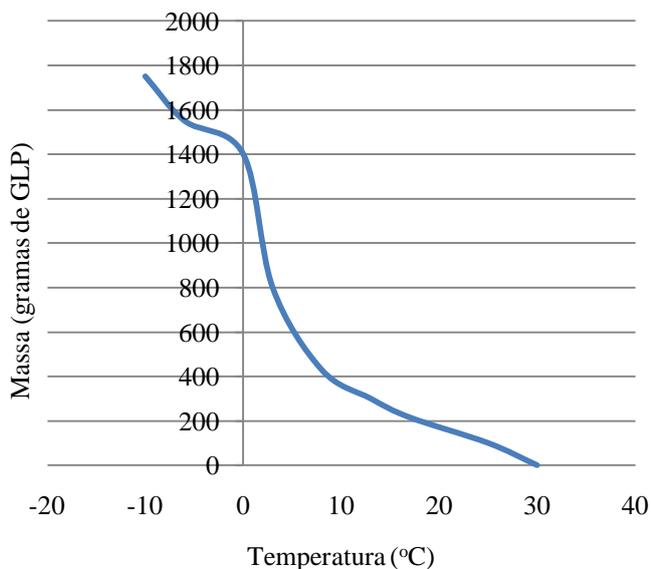


Fig. 5. Gráfico do consumo de GLP em relação ao desenvolvimento da temperatura.

A fig. 6 mostra a relação do consumo de GLP em função do tempo, o sistema apresentou um elevado tempo para entrar em regime, por isso, apresentou um consumo elevado no estágio inicial, apresentando uma redução do consumo próximo da estabilização.

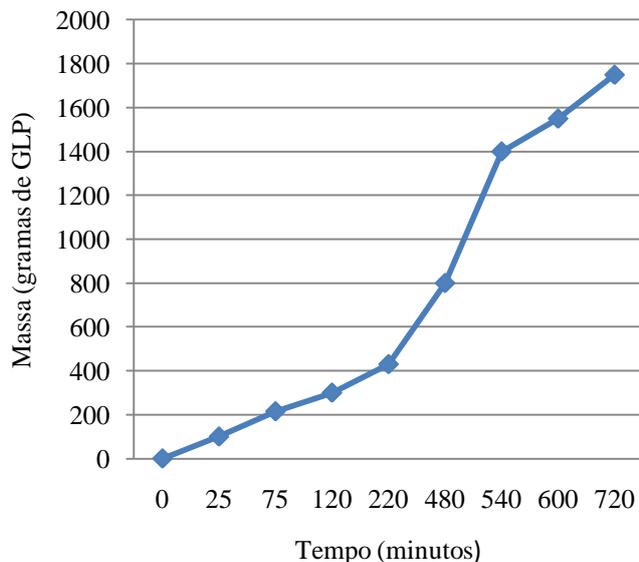


Fig. 6. Gráfico do consumo de GLP até a obtenção do equilíbrio do sistema.

No trabalho realizado por ABREU (1999), cujos objetivos eram idealizar um sistema de absorção de amônia com baixo custo, avaliar e viabilizá-lo econômica e comercialmente, concluíram que o sistema criado é viável para pequenos condicionadores de ar veiculares, com potência frigorífica de cerca de 5 W, pois, obteve-se o COP = 0,1, o que restringe eventuais aplicações. Comparando com o trabalho proposto, os valores obtidos são melhores, podendo ser aplicado em qualquer sistema que necessite de temperaturas de até -10 °C.

Sendo assim, são poucos os estudos recentes que analisam o coeficiente de performance de um sistema de absorção de

amônia, tal fato inspira trabalhos futuros, buscando melhorar cada vez mais a eficiência e desempenho e tornar possível a utilização deste sistema.

#### IV. CONCLUSÃO

Neste estudo experimental do sistema de refrigeração por absorção utilizando como fonte de energia gases de combustão de GLP, avaliou-se a eficiência sob vários aspectos; COP, desenvolvimento da temperatura no espaço de tempo e GLP consumido.

Concluiu-se que este sistema apresentou baixo coeficiente de performance (COP = 1,05), porém, não deve ser considerado prejudicial, pois, este sistema deve ser utilizado em aplicações que utilizam a recuperação de calor como fonte de energia, portanto, excedente de um sistema, no qual seria descartada, e, a energia na forma de calor é de baixo custo, o que viabiliza a utilização de sistemas por absorção. A partir da análise da temperatura em relação ao tempo, podemos concluir que o decréscimo gradual da temperatura apresentou baixo desempenho, equilibrando-se após 720 minutos. O GLP consumido inicial apresentou consumo elevado, porém, somente no primeiro momento, para a calibração do queimador, posteriormente, o consumo entra em equilíbrio, assim, otimizando o seu consumo.

Este sistema apresenta características peculiares, pois, funciona a partir de qualquer fonte de calor, e não possui partes móveis, podendo ser utilizado com uma fonte de energia alternativa.

#### REFERÊNCIAS

- [1] A. F. Abreu, Sistema de refrigeração por absorção intermitente: concepção, dimensionamento, construção, ensaio e considerações econômicas. 1999. 199 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- [2] J. Chen; K. J. Kim; K. E. Herold, Performance enhancement of a diffusion absorption refrigerator, International Journal of Refrigeration, v. 19, n. 3, p. 208 – 218. 1996.
- [3] A. A. Manzela, Estudo experimental da utilização dos gases de exaustão de um motor de combustão interna como fonte de energia de um sistema de refrigeração por absorção. 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- [4] D. A. S. Napoleão, Determinação da entropia de mistura amônia e água para aplicações em processos de refrigeração. 2003. 157 f. Dissertação (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá, 2003.
- [5] E. A. G. Oliveira, Be-cool: refrigerador de bebidas para áreas comerciais. Balneário Camburiú: Universidade do Vale do Itajaí, 2006. 94 p.
- [6] P. Srihirin; S. Aphornratana, Investigation of a diffusion absorption refrigerator. Applied Thermal Engineering, Pathum Thani, ago. 2002. p. 1181-1193.