

Refrigeração SUBZERO a Gás Natural para Supermercados, Hipermercados e Centros de Distribuição

Carolina Furlanetto Mendes¹, Marina Silva Machado¹,
Vernei Gialluca²; Vivaldo Silveira Junior²; Eduardo Dória²; Ricardo Nascimento²;
Joaquim Vitor P Neto²;
1 Comgás
2 Genera

Resumo – Este projeto teve como objetivo a utilização de um módulo de 5 TR de um sistema de refrigeração por absorção, denominado aqui como refrigeração SUBZERO, afim de estudar sua viabilidade técnica e econômica frente aos sistemas de refrigeração por compressão de vapor, atualmente predominantes no setor supermercadista. Para realização do estudo foi utilizado um sistema de absorção da marca Robur, modelo ACF60-00 LB, instalado em uma câmara térmica instrumentalizada no Laboratório de Refrigeração e Instrumentação e Controle da UNICAMP, capaz de monitorar dados de consumo, vazão, temperatura e pressão. A principal meta do projeto é trazer ao mercado um novo produto para geração de frio ao consumidor do segmento comercial, que seja mais econômico e menos prejudicial ao meio ambiente, e que aumente o consumo de gás comercializado dentro da área de concessão da Comgás. Os resultados apresentam viabilidade técnica e econômica para utilização deste sistema no setor supermercadista.

Palavras-chave: refrigeração por absorção; gás natural; refrigeração comercial;

Introdução

Diferentemente dos sistemas de refrigeração por compressão de vapor, que operam através do consumo de energia elétrica, os sistemas de refrigeração por absorção utilizam como principal insumo energético para operar uma fonte de aquecimento, que pode ser tanto um rejeito térmico ou a queima direta de um combustível, como o gás natural.

No Brasil, a participação no mercado dos sistemas de refrigeração por absorção sempre foi muito baixa quando comparada aos mercados norte americano e europeu. Isso deve-se ao histórico do baixo custo de energia elétrica frente ao gás natural. Porém, devido aos crescentes aumentos nas tarifas da energia elétrica, este cenário tende a mudar.

De acordo com (BERECHE, 2007) algumas das principais vantagens dos sistemas de refrigeração por absorção são: a) baixo consumo de energia elétrica; b) funcionamento silencioso e livre de vibração; c) baixo custo com manutenção; d) longo tempo de vida útil; e) eliminação do uso de refrigerantes CFC's e HCFC's. Já como principais desvantagens destes sistemas têm-se: a) maior custo de aquisição; b) baixo coeficiente de desempenho (COP) quando comparados aos sistemas de

compressão; c) equipamentos maiores e mais pesados.

Outra grande vantagem dos sistemas de absorção é a baixa quantidade de perdas com vazamentos do gás refrigerante. Entende-se como perdas, tanto a reposição do gás vazado como a perda de produtos devido ao aumento da temperatura gerado pela menor circulação de gás no sistema.

Sistemas de refrigeração por absorção podem ser utilizados tanto nos setores residências, comerciais ou industriais. Este trabalho tem como foco o uso destes sistemas no setor supermercadista. Este mercado representa um considerável volume de energia a ser explorada pelo setor do Gás Natural. Apresenta carga térmica de 291.738 TR com uma demanda instalada de 1.026 MW, equivalendo a um custo anual de energia de R\$ 2,39 bilhões. Deve, portanto, ser observado como gerador de novas oportunidades no uso do gás natural.

Neste sentido, sistemas de refrigeração por absorção vêm de encontro com as expectativas do setor, oferecendo uma solução que reduz o valor da conta de energia elétrica e que atende às necessidades da área.

Com base no exposto, este projeto tem como principal objetivo realizar uma análise técnica e econômica de um sistema de

refrigeração por absorção amônia/água em uma câmara frigorífica para atender a demanda do setor supermercadista. Uma comparação deste sistema com um sistema de refrigeração por compressão de vapor também é realizada.

Como meta do projeto tem-se: a) trazer um novo produto para geração de frio ao consumidor do segmento comercial, mais econômico e ambientalmente mais correto; b) aumentar o volume de gás comercializado dentro da área de concessão da Comgás; c) redução do consumo de energia elétrica através da substituição de equipamentos menos eficientes.

Aparato Experimental

Para realização dos testes experimentais foi utilizado uma unidade de refrigeração por absorção amônia/água, marca Robur e capacidade de 5 TR (Figura 1). A unidade foi instalada em uma câmara frigorífica de dimensões 4,0 x 4,0 x 3,0 m, presente no Laboratório de Refrigeração e Instrumentação e Controle da UNICAMP.



Figura 1 - Unidade de refrigeração por absorção com amônia/água, marca ROBUR e capacidade de 5 TR.

A unidade resfriará uma solução etílica de 50% (fluido secundário), bombeada por uma bomba hidráulica para um trocador de calor (*fan-coil*) (Figura 2), instalado internamente à câmara frigorífica.



Figura 2 - Fan Coil instalado internamente à câmara frigorífica utilizado para resfriamento com solução alcoólica a baixa temperatura.

A avaliação da capacidade de resfriamento da unidade de refrigeração por absorção será operada a diferentes capacidades ou demandas térmicas que serão impostas artificialmente por uma resistência térmica energizada, instalada no ar de retorno do *fan-coil*, acionado por um variador de potência.

Os ensaios foram propostos para avaliar os comportamentos dinâmico e estabilizado das variáveis de processo, a fim de estimar os rendimentos a diferentes condições, refletindo efeitos das operações reais de uma câmara de estocagem.

Resultados

As condições operacionais obtidas, em regime estacionário, com as respectivas condições operacionais de set-points do sistema e de imposição da resistência elétrica externa, são listadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições operacionais obtidas em regime estacionário para diferentes condições de SP e cargas térmicas.

| Ensaio | CONDIÇÕES | | | RESULTADOS | | | | |
|--------|----------------|--------------|-------|---------------|----------------|----------------------------|-------------------|----------------|
| | Vsol [% / rpm] | Pot Elet (W) | SP | T câmara [°C] | T solução [°C] | Demanda elétrica total [W] | Carga térmica [W] | COP total [-]* |
| 01 | 75 % / 2595 | 0 | 0°C | 4,5 | [-2,0;+2,0] | 1430 | 1500 | 0,5 |
| 02 | 75 % / 2595 | 3750 | 0°C | 12,0 | [-1,5;+3,5] | 1480 | 6000 | 2,0 |
| 03 | 75 % / 2595 | 0 | -5°C | -1,0 | [-7,0;-2,0] | 1480 | 1500 | 0,5 |
| 03B | 75 % / 2595 | 3750 | -5°C | 9,0 | [-10,0;-3,0] | 1480 | 6000 | 2,0 |
| 04 | 75 % / 2595 | 3750 | -10°C | 4,5 | [-10,0;-3,0] | 1480 | 6000 | 2,5 |
| 05 | 75 % / 2595 | 0 | -10°C | -3,5,0 | [-10,5;-5,5] | 1530 | 1500 | 0,7 |

*Valor médio aproximado, devido a intermitência de ligadesliga do sistema de refrigeração.

Propôs-se realizar perturbações individuais nas variáveis independentes (vazão da solução secundária e potência elétrica artificial interna a câmara) para a avaliação do comportamento dinâmico até sua condição pseudo-estacionária (média de condições oscilatórias), a fim de simular distúrbios do tipo degrau. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2.

Já na Tabela 3 são apresentados os resultados dos ensaios onde foram realizadas perturbações simultâneas das variáveis independentes.

Tabela 2 - Condições resultantes de comportamento

do processo sob perturbações individuais nas variáveis independentes.

| Ensaio | Condições | | Parâmetros dinâmicos | | Condições em regime permanente | | | |
|--------|----------------|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| | Vsol [% / rpm] | Pot Elet (W) | τ_s [s] | ΔT câmara [°C] | T câmara [°C] | Demanda elétrica [W] | Carga térmica [W] | COP total [-]* |
| R C | 75% / 2595 | 2000 | -x- | 4,5 | -1,5 | 1555 | 3500 | 1,9 |
| 06 | 75% / 2595 | 592 | 8600 | -15,0 | -2,0 | 1555 | 2000 | 1,0 |
| 07 | 75% / 2595 | 3408 | 7400 | +2,5 | 4,5 | 1555 | 5400 | 2,0 |
| 08 | 75% / 2595 | 4000 | 7400 | +3,5 | 4,5 | 1555 | 6000 | 2,5 |
| 05 | 75% / 2595 | 0 | 5500 | -5,5 | -3,0 | 1555 | 2000 | 2,0 |
| 10 | 57,4 % / 1986 | 2000 | 4500 | -0,7 | 1,0 | 1255 | 3500 | 1,9 |
| 09 | 50% / 1730 | 2000 | 9000 | +3,0 | 5,0 | 1255 | 3000 | 2,0 |
| 11 | 92,6 % / 3204 | 2000 | 7000 | -2,0 | -0,5 | 1855 | 4000 | 1,0 |
| 12 | 100 % / 3460 | 2000 | xxx | +1,0 | 1,0 | 2055 | 4000 | 1,0 |

τ_s = tempo de estabilização; *Valor médio aproximado, devido a intermitência de liga- desliga do sistema de refrigeração.

Tabela 3 - Condições resultantes do comportamento do processo sob perturbações simultâneas nas variáveis independentes.

| Ensaio | Condições | | Parâmetros dinâmicos | | Condições em regime permanente | | | |
|--------|----------------|--------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|----------------|
| | Vsol [% / rpm] | Pot Elet (W) | τ_s [s] | ΔT câmara [°C] | T câmara [°C] | Demanda elétrica [W] | Carga térmica [W] | COP total [-]* |
| 14 | 92,6 % / 3204 | 3408 | 3600 | +3,5 | 2,5 | 1805 | 4000 | 1,5 |
| 15 | 92,6 % / 3204 | 592 | 4300 | -3,2 | -0,7 | 1805 | 3400 | 0,75 |
| 16 | 57,4 % / 1986 | 3408 | 4400 | +3,6 | 4,0 | 1275 | 4000 | 2,0 |
| 17 | 57,4 % / 1986 | 592 | 3300 | -1,4 | -0,2 | 1275 | 3400 | 1,5 |
| 18 | 100 % / 3460 | 2000 | 2800 | -0,2 | 1,2 | 2055 | 4000 | 1,0 |
| 19 | 50 % / 1730 | 2000 | 4500 | +0,8 | 2,0 | 1355 | 3000 | 1,5 |
| 20 | 75 % / 2595 | 4000 | 10000 | +4,4 | 5,5 | 1555 | 5000 | 2,2 |
| 21 | 75 % / 2595 | 0 | 7500 | -6,0 | -3,0 | 1605 | 1750 | 0,75 |

τ_s = tempo de estabilização; * Valor médio aproximado, devido a intermitência de liga-desliga do sistema de refrigeração.

O sistema Robur, por operar com a lógica de controle ON-OFF, apresenta oscilações nas variáveis devido ao liga-desliga da ignição da chama no gerador do sistema de absorção. Entretanto apresenta pequenos tempos mortos de inércias.

Quanto às condições técnicas, nenhum fator

negativo foi detectado para a utilização desta máquina de absorção no mercado alvo deste projeto (setor supermercadista para a classe de consumo “Refrigerados e Congelados”).

Análise econômica comparativa

Abaixo será apresentada a análise econômica entre os sistemas de refrigeração por absorção (ROBUR) e um sistema de compressão de vapor. A análise foi feita considerando três cenários distintos de demanda térmica:

- **Cenário 1:** baseia-se nos resultados de demanda obtidos no Ensaio 8 que obteve uma carga térmica de 6 kW (1,7 TR);
- **Cenário 2:** considera a carga térmica de catálogo de 13 kW (3,7 TR) para uma diferença de temperatura de 30°C do ambiente para -10°C na saída do evaporador.
- **Cenário 3:** considera a mesma situação do cenário 2, porém utilizando 3 módulos Robur. Neste caso a carga térmica utilizada foi de 39 kW (11,08 TR);

Os custos considerados foram:

- Custo de aquisição de ambos sistemas;
- Custos de importação do sistema Robur;
- Consumo de energia elétrica de ambos;
- Consumo de GN do sistema Robur.

Foi considerado um COP de 1,92 para os cálculos do sistema de compressão. Além disso, para a composição final do custo mensal com o sistema de compressão foram realizadas 3 diferentes hipóteses:

- **Hipótese 1:** considera a diferença no custo de manutenção dos compressores para o sistema de absorção;
- **Hipótese 2:** considera a diferença no custo de manutenção dos compressores mais a diferença no custo de reposição de gás;
- **Hipótese 3:** soma o custo com perdas de produtos devido à vazamentos de gás refrigerante às hipóteses anteriores.

O cálculo comparativo foi realizado para os diferentes grupos de tarifa (azul, verde e convencional) e bandeiras (verde, amarela e vermelha). Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.

O ROI mensal foi calculado da seguinte forma:

$$\frac{\text{Custo de aquisição do sistema de absorção} - \text{Custo de aquisição do sistema de compressão}}{\text{Custo mensal de operação do sistema de compressão} - \text{Custo mensal de operação do sistema absorção}}$$

Tabela 4 – Análise do retorno sobre o investimento do sistema de absorção Robur para os cenários propostos.

| Tarifa – Sub Grupo | Hipóteses | Cenário 1 | | | Cenário 2 | | | Cenário 3 | | | |
|--------------------|------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|--------|
| | | ROI (Bandeira Verde) | ROI (Bandeira Amarela) | ROI (Bandeira Vermelha) | ROI (Bandeira Verde) | ROI (Bandeira Amarela) | ROI (Bandeira Vermelha) | ROI (Bandeira Verde) | ROI (Bandeira Amarela) | ROI (Bandeira Vermelha) | |
| Azul | A2 (88 a 138 kV) | 1 | -27,3 | -27,5 | -28,2 | -34,9 | -36,3 | -48,9 | -39,3 | -41,2 | -50,7 |
| | | 2 | -33,1 | -33,3 | -34,4 | -179,2 | -225,7 | 6240,8 | -198,7 | -256,8 | 1510,5 |
| | | 3 | -69,3 | -70,4 | -75,4 | 22,1 | 21,5 | 19,6 | 22,1 | 21,5 | 19,6 |
| | A3 (69 kV) | 1 | -28,5 | -28,7 | -29,5 | -38,1 | -39,8 | -48,7 | -42 | -44,2 | -55,3 |
| | | 2 | -34,8 | -35,1 | -36,3 | -176,1 | -220,7 | 16542,9 | -295,6 | -445,6 | 432,4 |
| | | 3 | -77,6 | -79 | -85,3 | 22,1 | 21,6 | 19,6 | 21,3 | 20,8 | 19 |
| | A3a (30 a 44 kV) | 1 | -27,9 | -28,1 | -28,9 | -52,7 | -56,1 | -75,6 | -52,7 | -56 | -75,3 |
| | | 2 | -34 | -34,3 | -35,4 | 614,2 | 360,2 | 135,7 | 704,3 | 390,8 | 140,5 |
| | | 3 | -73,6 | -74,9 | -80,5 | 19,1 | 18,6 | 17,2 | 19,3 | 18,9 | 17,4 |
| A4 (2,3 a 25 kV) | 1 | -27,9 | -28,1 | -28,9 | -52,7 | -56,1 | -75,6 | -52,7 | -56 | -75,3 | |
| | 2 | -34 | -34,3 | -35,4 | 614,2 | 360,2 | 135,7 | 704,3 | 390,8 | 140,5 | |
| | 3 | -73,6 | -74,9 | -80,5 | 19,1 | 18,6 | 17,2 | 19,3 | 18,9 | 17,4 | |
| Verde | A3a (30 a 44 kV) | 1 | -28,3 | -28,5 | -29,3 | -63,7 | -68,7 | -100,4 | -63 | -67,9 | -98,2 |
| | | 2 | -34,6 | -34,9 | -36,1 | 203,9 | 165,2 | 94 | 221,1 | 176,6 | 97,9 |
| | | 3 | -76,6 | -78 | -84,1 | 17,9 | 17,6 | 16,3 | 18,2 | 17,8 | 16,5 |
| | A4 (2,3 a 25 kV) | 1 | -28,7 | -28,5 | -29,3 | -70,4 | -68,7 | -100,4 | -69,4 | -67,9 | -98,2 |
| | | 2 | -34,6 | -34,9 | -36,1 | 203,9 | 165,2 | 94 | 221,1 | 176,6 | 97,9 |
| | | 3 | -76,6 | -78 | -84,1 | 17,9 | 17,6 | 16,3 | 18,2 | 17,8 | 16,5 |
| Convencional | A3a (30 a 44 kV) | 1 | -26,3 | -26,4 | -27,1 | -32,5 | -33,7 | -39,9 | -32,7 | -34 | -40,2 |
| | | 2 | -31,6 | -31,8 | -32,8 | -98,1 | -110,6 | -225 | -98,3 | -110,7 | -223,3 |
| | | 3 | -63,1 | -64,1 | -68,2 | 24,6 | 23,9 | 21,5 | 24,9 | 24,2 | 21,8 |
| | A4 (2,3 a 25 kV) | 1 | -26,4 | -26,6 | -27,3 | -33,5 | -34,9 | -41,5 | -33,8 | -35,1 | -41,8 |
| | | 2 | -31,8 | -32 | -33 | -108,3 | -123,7 | -286,9 | -108,4 | -123,7 | -283,4 |
| | | 3 | -63,9 | -64,9 | -69,1 | 24 | 23,4 | 21,1 | 24,3 | 23,6 | 21,3 |

Da tabela, ROI negativo significa que o custo mensal do sistema de compressão é maior que o custo do sistema de absorção, ou seja, o investimento nunca será recuperado.

O cenário 1 se mostrou inviável economicamente para todas as tarifas e hipóteses. Já o cenário 2 e 3, considerando a hipótese 3 de custos, mostra-se viável, apresentando retorno entre 16 e 24 meses.

Conclusões e Contribuições

Como principais conclusões trazidas pelo projeto P218, podem ser ressaltadas:

- O sistema de monitoramento das variáveis foi adequado para a coleta de dados em regimes transiente e permanente, perfazendo um conjunto de dados para análise quantitativa dos resultados.
- Dos históricos das variáveis monitoradas (diretas) e calculadas (indiretas) nos ensaios realizados, não foi observado nenhum cenário prejudicial ou restritivo ao uso desta tecnologia para o mercado alvo desta aplicação;
- O sistema de refrigeração Robur apresenta viabilidade econômica quando são considerados todos os benefícios deste

sistema frente ao de compressão de vapor, como a economia de energia elétrica, economia de manutenção, menor perda de gás e de produtos por vazamentos.

Referências

1. BERECHÉ, Reynaldo Palacios. **Avaliação de sistemas de refrigeração por absorção H2O/LiBr e sua possibilidade de inserção no setor terciário utilizando gás natural.** 2007. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.
2. ABRAS - Associação Brasileira De Supermercados. **RAMA 2020 - Tendências e Inovação na Cadeia Produtiva de Alimentos:** [s. L.]: Abras, 2017. Color. Disponível em: <http://abras.com.br/pdf/balanco_rama_2017.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2019.
3. SBVC - SOCIEDADE BRASILEIRA DE VAREJO E CONSUMO. **Custo De Energia Virou 2.ª Maior Despesa De Supermercados.** 2015. Disponível em: <<http://sbvc.com.br/1949495-custo-de-energia-virou-2-maior-despesa-de-supermercados/>>. Acesso em: 14 jan. 2019.