

Estudo comparativo com sistemas de refrigeração para bebedouros de água domésticos de evaporador por contato *versus* de evaporador imerso - EVR2021-00023

Felipe Felix ^{1,*}, Luciano Vambommel ², Daniel Fretta de Souza ²

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia Mecânica
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 88040900

² Nidec Global Appliance, Engenharia de Aplicação
Joinville, Santa Catarina, Brasil, 88219521

* felixfelipe10@gmail.com

Resumo

Este trabalho compara duas concepções de sistema de refrigeração para bebedouros. O objetivo é analisar experimental e numericamente unidades seladas com evaporador imerso na água ou por contato na superfície externa do reservatório. O evaporador imerso opera em reservatório de paredes plásticas e o evaporador de contato opera sobre uma superfície cilíndrica de aço inox. Os sistemas foram avaliados quanto aos requisitos de desempenho de fornecimento de água gelada pelos procedimentos da norma NBR16236 (ABNT, 2013). Confirmou-se a viabilidade dos dois modelos testados, pois estes atenderam à demanda requerida por norma. Verificou-se, entretanto, que o coeficiente de transferência de calor por convecção natural com a água é maior para o tubo imerso e o comprimento de tubo foi o parâmetro escolhido para ajustar as áreas efetivas dos evaporadores e, assim, obter desempenhos equivalentes. Observou-se também que o volume de água do reservatório influencia na aprovação do sistema pelos critérios da norma. Reservatórios com maior volume de água favorecem a aprovação. Foi concluído que para um dado evaporador de contato existe um equivalente evaporador imerso com 70% da área efetiva de troca de calor.

Palavras-chave: unidade selada, bebedouro, evaporador

Introdução

Dada a característica do Brasil de ser um país com épocas do ano extremamente quentes, o uso de bebedouros refrigerados torna-se uma tendência de mercado. Para atender a esta demanda a Nidec Global Appliance, divisão da Nidec Corporation que fabrica e comercializa as soluções de refrigeração da marca Embraco para variados equipamentos, conta com um extenso portfólio de produtos para esta aplicação. As soluções oferecidas vão desde compressores até soluções mais completas como unidades condensadoras e unidades seladas (Nidec Global Appliance, 2020).

O presente trabalho compara a utilização de evaporadores imersos *versus* evaporadores de contato em sistemas de refrigeração para bebedouros. Foram realizados tanto testes experimentais como análise teórica da tecnologia. O sistema de refrigeração que foi utilizado como base para este estudo é o de compressão mecânica de vapor com compressor de pistão recíproco.

Sistemas de refrigeração para bebedouros utilizados na linha doméstica usualmente possuem todos os componentes básicos de um sistema de refrigeração em um único produto comercializado, este item é chamado de unidade selada (Nidec Global Appliance, 2020). O nome se refere à ideia de um sistema em que o fabricante do bebedouro já receba a carga de gás selada dentro do sistema e previamente preparado para a integração ao seu produto.

Dependendo do processo utilizado pela empresa que adquire a unidade selada, o uso de um dos dois modelos de

evaporadores trará menor custos ao fabricante (Lopes, M. A.; 2007). Dessa forma, é necessário entender o efeito das opções para que o bebedouro atenda a norma NBR16236. Surge então um dos principais requisitos de projeto para a unidade selada, que é a capacidade de entregar 1,2 L/h de água a temperatura inferior a 10,5 °C.

O objetivo do trabalho foi partir da concepção de uma unidade selada com evaporador por contato e adaptar o projeto para que uma unidade com desempenho semelhante fosse elaborada, porém com evaporador do tipo imerso no reservatório de água do bebedouro.

Análise Experimental

Foram realizados testes de referência com o evaporador por contato que, na sequência, foram comparados com testes do evaporador imerso. Os sistemas de refrigeração foram instrumentados para se medir: Potência consumida pelo sistema, pressões e temperaturas no fluido refrigerante e vazão e temperaturas na água.

Na Figura 1 apresentam-se as unidades seladas testadas, sem se mostrar os reservatórios para facilitar a visualização dos respectivos evaporadores. O reservatório de contato é de aço inox, cilíndrico e se encaixa internamente ao tubo, enquanto no imerso tem-se paredes plásticas formando um volume em formato de paralelepípedo que permite maior volume de água por espaço ocupado no produto. Em ambas configurações tem-se um volume de 1,5 litros para e foi empregado isolamento térmico com espessuras de 12 mm de poliestireno expandido (EPS) tipo calotas bipartidas encaixadas sobre o reservatório. O condensador é de tubo

aramado em duas camadas com dimensões de 26 cm por 31 cm e vai montado na face traseira do bebedouro.

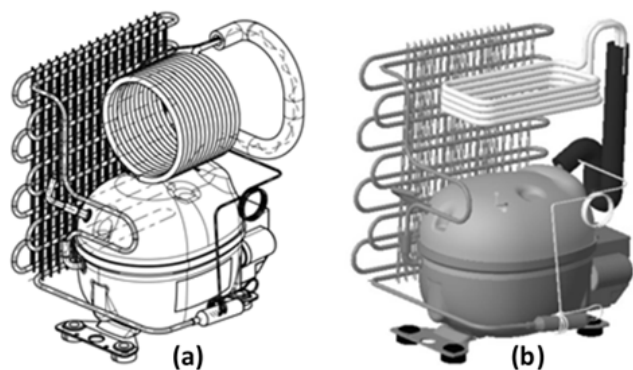


Figura 1 - unidades seladas: (a) por contato; (b) imerso.

As temperaturas foram medidas com termopares do tipo T alocados em pontos estratégicos para a avaliação do comportamento do sistema. São estes pontos: sucção e descarga do compressor e entrada, meio e saída do evaporador e do condensador.

O compressor utilizado é do modelo EMIS 15HBR. Na condição ASHRAELBP32 este compressor apresenta 39 W de capacidade de refrigeração e eficiência de 0,66 W/W. O volume deslocado é de 1,98 cm³ e o fluido refrigerante é o R-134a.

Sabe-se previamente que o evaporador por contato já é amplamente comercializado. Desta forma fixou-se o mesmo compressor deste projeto e foi variado o condensador, evaporador, dispositivo de expansão, carga de fluido refrigerante e o reservatório. Como dispositivo de expansão é empregado um tubo capilar em contato contracorrente com a linha de sucção para esta aplicação. Destaca-se a facilidade de uso, o baixo custo e o baixo consumo por capacidade de refrigeração destes conceitos de sistema de refrigeração. Além disso, para acelerar o processo de ajuste foi colocada uma válvula micrométrica em série com o capilar.

Análise Teórica

Referente à formulação matemática-teórica foi utilizado o software EES (EES, 2020). As equações que regem o fenômeno físico são conservação de massa e energia e transferência de calor em superfícies a temperatura constante. Para a transferência de calor do evaporador imerso foi utilizada a correlação de cilindro imerso e para o evaporador de contato a correlação de placa plana horizontal. A utilização da correlação de placa plana horizontal se deu pois, uma vez que o contato do evaporador é realizado com o reservatório, este torna-se uma aleta para a troca de calor.

Para estimar grandezas como vazão, capacidade de refrigeração e demais grandezas relevantes foi utilizada a abordagem semi-empírica com curvas características de desempenho do compressor obtidas de catálogo técnico da Nidec Embraco (Embraco Compressores, 2016). São dados de entrada dos cálculos os coeficientes regredidos dos testes

da norma ASHRAE32LBP e as medições apresentadas anteriormente.

Resultados

Dado o limite de pressão de descarga deste compressor e as limitações do volume ocupado pelo condensador, o projeto encontrou dificuldade de fazer o sistema operar sempre abaixo de 70 °C de temperatura de condensação. Esta condição foi obtida ao se aumentar a superfície externa do condensador em 15% com reajuste do par carga de fluido refrigerante e restrição do tubo capilar (Boeng, J.; 2012). Ao final desse processo semi-empírico de desenvolvimento e ajuste do sistema, a carga de gás sofreu um decréscimo de 5 g, com a carga final de fluido da unidade selada ficando ajustada em 36,5 g de R-134a.

Com estas alterações, os dois conceitos de unidades seladas conseguiram atender a norma NBR16236 e entregar a vazão de água requerida de 1,2 L/h. Observou-se que o conceito de evaporador imerso, apesar de ter um coeficiente de trocador de calor maior, por estar em contato direto com água, possui uma menor área de contato com a água ao se comparar com o evaporador por contato. Isso ocorre, pois a parede metálica do reservatório atua como uma aleta de prolongamento da área efetiva de troca de calor na situação do evaporador por contato ASHRAE (1994). É necessário ressaltar que nem toda a área do reservatório de inox do conceito de evaporador de contato funciona como aleta, somente as paredes com tubos superficiais.

Das medições e do modelo semi-empírico baseado em relações desenvolvidas por Gosney (Gosney, W. B. 1982), o sistema apresentou como característica: Capacidade de refrigeração = 60 W; Potência consumida = 80 W; Subresfriamento e Superaquecimento de 3 °C; Vazão de fluido refrigerante = 1,67 kg/h. Resultados de medições de temperaturas de condensação, de evaporação e da água no reservatório são apresentados na Figura 2.

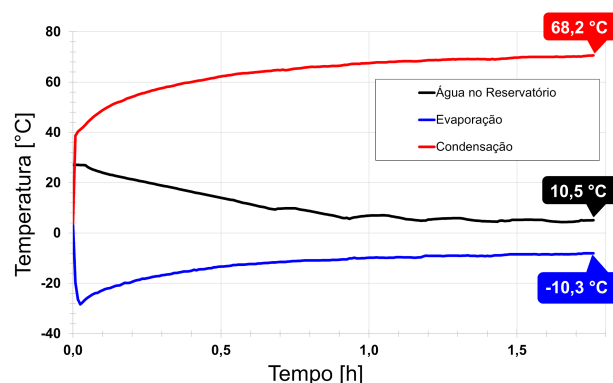


Figura 2 - Resultados de teste para evaporador imerso.

Como a norma exige uma vazão de 1,2 L/h e as condições de entrada e saída da água são de 27 °C e 10 °C respectivamente, sabe-se que a demanda por capacidade de refrigeração para o resfriamento da água é de 23 W. Além deste valor é necessário um acréscimo para compensar a infiltração de calor no reservatório. Este acréscimo é

dependente do isolamento do reservatório, quanto melhor o isolamento menor a demanda por capacidade de refrigeração.

Para a temperatura de água de 10,5 °C e uma temperatura de evaporação de -10,5 °C, os valores dos coeficientes convectivos do evaporador de contato e do imerso são 378 W/m²K e 531 W/m²K, respectivamente (Churchill e Chu; 1992). Isto implica que a área de contato para uma mesma diferença de temperatura precise ser 1,4 vezes maior para se obter o mesmo desempenho quando se utiliza o evaporador por contato. Essa exigência é facilmente atingida ao se considerar a área de contato do reservatório metálico com água.

Observa-se que o volume de água do reservatório é um item importante no projeto, pois como o tempo de abaixamento da temperatura não é um critério da norma isto faz com que durante o período de retirada de água, que é igual a uma hora, a necessidade de capacidade de refrigeração fique menor à medida que o tamanho do reservatório aumenta. E ainda, como a água possui elevado calor específico, o que mais irá influenciar o desempenho do sistema de refrigeração em relação a satisfazer a norma de fornecimento de água gelada é o volume de água do reservatório e não o material utilizado na sua estrutura (paredes, isolamento ou tubos).

Como o evaporador de contato usualmente é um tubo enrolado em formato cilíndrico é possível determinar qual o comprimento necessário para se ter o mesmo coeficiente global de transferência de calor no evaporador imerso. A equação é dada por:

$$L_{imer} = \frac{0,7 \cdot D_{1\ cont} \cdot N_{voltas} \cdot D_{reserv}}{D_{2\ imer}} \quad (1)$$

Esta equação usa como hipóteses simplificativas que a área de troca gerada pelo reservatório de inox é proporcional ao número de voltas (N) que circunda o reservatório. Onde o subíndice 1 remete ao diâmetro do tubo que fica em contato com o reservatório de inox e o subíndice 2 remete ao evaporador que está imerso na água.

Conclusões

As duas concepções de evaporador são viáveis de serem utilizadas. Testes experimentais comprovaram que o sistema atendeu a norma NBR16236. Foi elaborada uma equação para a transição entre os conceitos.

Para se obter resultados semelhantes de capacidade de refrigeração, a área efetiva de troca de calor do evaporador imerso deve ser de 70% da área efetiva de troca de calor do evaporador por contato. Além desta alteração, para aprovação do conceito de evaporador imerso foi necessário alterar dimensões do condensador, carga do fluido refrigerante e características do dispositivo de expansão.

Desta forma, ficou demonstrada a viabilidade do uso de reservatórios plásticos com evaporadores imersos com desempenho semelhante ao reservatório de aço com evaporador de contato em sua superfície externa.

Dos requisitos de projeto referentes a aplicação de sistemas de refrigeração em bebedouros domésticos

destaca-se a forte restrição de área disponível nestes equipamentos para instalação do condensador, o que requer cuidados quanto ao nível de pressão de descarga estabelecido nestes produtos.

Destaca-se a importância das informações de catálogo com dados que permitam ajuste de curvas de desempenho do compressor. Estas informações são fundamentais no projeto e posterior processo experimental semi-empírico de desenvolvimento e ajuste de sistemas de refrigeração como este apresentado para as unidades seladas de bebedouros.

Agradecimentos

Agradecemos a Nidec Global Appliance e Colormaq.

Referências

- ASHRAE (1994). ASHRAE Handbook - Refrigeration, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. Atlanta.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2013). NBR16236: Aparelho de fornecimento de água para consumo humano com refrigeração incorporada: Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro.
- Boeng, J. (2012). Uma Metodologia para a seleção do par tubo capilar - carga de refrigerante que maximiza o desempenho de refrigeradores domésticos, Dissertação de Mestrado, Eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis.
- EES (2020). Engineering Equations Solver. F-Chart software, LLC.
- Embraco Compressores (2016). Catálogo de produtos para a refrigeração comercial. Joinville, 129p.
- Gosney, W. B. (1982). Principles of Refrigeration, Cambridge University Press.
- Incropera, F. P.; Witt, D. P. (1992). Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Editora Guanabara Koogan S.A.
- Lopes, Marco Aurélio (2007). Projeto e Simulação de Resfriadores de Líquidos. Dissertação de Mestrado de Engenharia Mecânica, USP, São Paulo.
- Nidec Global Appliance (2020). Catálogo da linha de compressores de distribuição e revenda. Joinville, 27p.

Aviso de responsabilidade

Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído neste documento.