

# Projeto e Simulação de Resfriadores de Líquidos<sup>1</sup>

**Marco Aurélio Lopes**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária  
05508-900 – São Paulo - Brasil  
E-mail: sepol@directnet.com.br

**Prof. Dr. Arlindo Tribess**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária  
05508-900 – São Paulo - Brasil  
E-mail: atribess@usp.br

**Abstract.** In the last decade, the world passed through an important transformation. The raise in the number of companies and globalization obligated the industry to increase production and quality to be competitive. This scene turns clear the importance of researches in the industrial refrigeration area. The cooling systems allow reduction in the manufacture time cycle, and consequently, rise in productivity, more reliability and quality of the final product. In this work, an analysis of the design, dimensioning and simulation of chillers used for industrial refrigeration is presented. The main aspects of the hydraulic and refrigeration systems and the dimensioning of the components used in the equipment are analyzed. After the analysis of the project, a mathematical model of the system for simulation in steady state conditions is developed. The results of the simulations were compared with the data obtained during the tests and the maximum differences were 3°C in the evaporating temperature, 2°C in condensing temperature and 20% of cooling capacity. Additionally, the results showed that the equipment hasn't achieved the design capacity and changes in the compressor and air cooled condenser were proposed. The equipment has been tested and the data obtained has been compared with the simulation. It is suggested to change the compressor for another model with higher capacity, to increase the heat exchange area and to reduce the number of fins in the air cooled condenser. Finally, the development of this work resulted in a simulation program of liquid coolers, very useful tool for analysis and optimization.

**Key-words:** Refrigeration, Industrial Refrigeration, Chillers, Water Chillers, Simulation, Design.

**Resumo.** Na última década, o mundo passou por uma transformação importante. O aumento do número de empresas e a globalização fizeram com que a concorrência obrigasse os diversos setores da indústria a aumentarem a produtividade e a qualidade para se manterem competitivos. Neste contexto, os sistemas de refrigeração proporcionam redução do tempo de ciclo em diversos processos de manufatura e, conseqüentemente, aumento de produtividade, maior confiabilidade, repetibilidade e qualidade do produto acabado. Neste trabalho é apresentado um estudo do projeto, dimensionamento e simulação de resfriadores de líquidos utilizados em refrigeração industrial. São analisados os principais aspectos relevantes ao projeto do sistema hidráulico e de refrigeração, além do dimensionamento dos principais componentes do equipamento. Após análise do projeto, são desenvolvidos modelos matemáticos para simulação do sistema de refrigeração em regime permanente. Os resultados de simulação foram comparados com resultados obtidos em bancada experimental, verificando-se diferenças máximas de 3°C na temperatura de evaporação, 2°C na temperatura de condensação e 20% na capacidade efetiva de refrigeração. Adicionalmente, os resultados obtidos mostraram que o equipamento não atingiu a capacidade projetada e foram propostas alterações no compressor e no condensador a ar. Foi sugerida a substituição do compressor, o aumento da área de troca do condensador e diminuição do número de aletas por plegadas para aumentar a vazão de ar. Por fim, o desenvolvimento do trabalho resultou em programa de simulação de resfriadores de líquidos, que constitui importante ferramenta de análise e otimização.

**Palavras- chave:**Refrigeração, industrial, Resfriadores de líquidos, água gelada, Simulação, Projeto

---

<sup>1</sup> Artigo extraído da dissertação: “Projeto e Simulação de Resfriadores de Líquidos”, de Marco Aurélio Lopes, apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica sob a orientação do Prof. Dr. Arlindo Tribess.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria da refrigeração apresentou um progresso enorme e se tornou uma indústria gigantesca que movimentava bilhões de dólares todos os anos ao redor do mundo. Essa rápida expansão pode ser explicada por diversos fatores, entre eles, o desenvolvimento da mecânica de precisão e processos de fabricação sofisticados e o surgimento de compressores com motores elétricos de baixa potência; o que possibilitou o desenvolvimento dos refrigeradores e condicionadores de ar domésticos de pequeno porte (Dossat, 2004). Outro fator importante foi a evolução dos fluidos refrigerantes. Os primeiros equipamentos utilizavam refrigerantes à base de éter. Em 1873, surgiu o primeiro ciclo de compressão de amônia e o gás carbônico começou a ser utilizado. Mais tarde surgiria o dicloroetano e em 1926, o cloro de metileno; fluidos altamente tóxicos e inflamáveis. Finalmente, em 1930, foi sintetizado o diclorodifluormetano (CHCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>), conhecido como R-12. Pelo fato de não ser tóxico e nem inflamável, possibilitou um salto significativo no avanço da refrigeração (Nagengast, 1989).

Quando se trata de refrigeração industrial, torna-se difícil resumir em poucas linhas quais são as principais aplicações, porque é utilizada em muitos tipos diferentes de indústrias e em processos de manufatura extremamente diversificados. Entre eles estão: indústria alimentícia, farmacêutica, flexográfica, médica e hospitalar, metalúrgica e de transformação de metais e plásticos, etc. Neste último, o sistema de resfriamento do molde é fundamental para o processo de injeção de plásticos. A temperatura da cavidade do molde tem um impacto direto na produtividade e na qualidade do produto. No processo de extrusão de plástico, a matéria prima é extrudada na forma de um balão vertical de seção circular. O fluxo de ar refrigerado nas superfícies internas e externas desse balão proporciona um filme com maior transparência, mais brilho e maior estabilidade de espessura, além de permitir uma velocidade maior no processo, aumentando também a produtividade da extrusora.

Diante desse cenário, fica evidente a importância de um sistema de refrigeração bem dimensionado e “otimizado”. O objetivo principal do trabalho é o estabelecimento de um modelo para simulação de resfriadores de líquidos. Para verificação da qualidade do modelo desenvolvido, valores obtidos na simulação são comparados com resultados obtidos em bancada experimental. Também é realizada análise da influência de cada componente do sistema na capacidade de refrigeração do equipamento utilizando o programa de simulação desenvolvido. O objeto de estudo é um resfriador de líquidos de 8.000 kcal/h de capacidade, com condensação a ar, reservatório interno, evaporador tipo casco-e-tubo, condensador aletado e bomba centrífuga para circulação de água gelada pelo processo. A motivação de estudo é um processo específico no qual este equipamento é utilizado que é o resfriamento de moldes de injetoras em processos de transformação de termoplásticos. O resfriamento do molde possibilita aumento de produtividade com rápido retorno do investimento e melhora a qualidade do produto final.

## 2. RESFRIADORES DE LÍQUIDOS

Na maioria dos processos industriais o efeito de refrigeração é obtido por meio da circulação de um fluido a baixa temperatura (água, amônia, salmoura ou outros).

Um processo específico no qual a refrigeração é muito importante é a transformação de resinas termoplásticas onde se utiliza água para resfriamento do molde. A matéria-prima para a produção de plástico é estocada a temperatura ambiente, mas tem que ser aquecida para que possa ser moldada de acordo com o produto desejado. Tipicamente, a temperatura chega próximo de 200°C e precisa ser resfriada novamente para ser embalada. A temperatura da água utilizada no resfriamento desses moldes tem um impacto direto na qualidade e na produtividade do processo, uma vez que, quanto mais rápido for o resfriamento, menor será o tempo do ciclo e mais peças poderão ser fabricadas em um mesmo intervalo de tempo. Os resfriadores de líquidos, também chamados de chillers, ou unidades de água gelada, são equipamentos projetados para garantir o fornecimento contínuo de água à temperatura ajustada para o resfriamento de processos industriais.

### 2.1 Princípio de funcionamento

Os Resfriadores de Líquidos utilizam um ciclo por compressão de vapor para refrigerar fluidos em processos com carga térmica. Os principais componentes desse ciclo são:

- a) Evaporador: tem a função de garantir uma superfície de transmissão de calor, através da qual possa haver transferência de calor entre o fluido de processo e o refrigerante em evaporação;

- b) Tubulação de sucção: que conduz o vapor a baixa pressão do evaporador para a admissão do compressor;
- c) Compressor de vapor: para succionar o vapor do evaporador e elevar a pressão e temperatura deste a um ponto tal que ele possa ser condensado com o agente de condensação disponível (sumidouros de calor); normalmente ar ambiente ou água de resfriamento;
- d) Tubulação de descarga: fornece vapor da exaustão do compressor ao condensador;
- e) Condensador: com o objetivo de garantir uma superfície de transmissão de calor, entre o vapor refrigerante aquecido para o agente de condensação;
- f) Tubulação de líquido: conduz o refrigerante até o evaporador;
- g) Válvula de expansão: reduz a pressão do líquido refrigerante para que este evapore ao trocar calor no evaporador.

O esquema que representa o funcionamento desse equipamento é apresentado na figura 1.

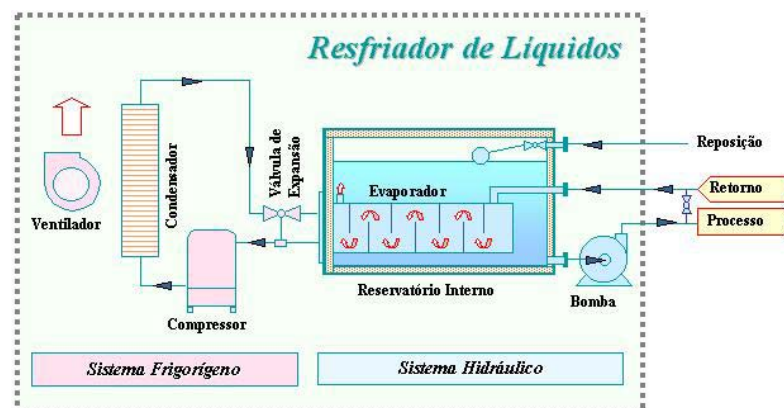


Figura 1 – Esquema de funcionamento

### 3. PROJETO DOS RESFRIADORES DE LÍQUIDOS

Em refrigeração industrial, a necessidade ou oportunidade do projeto é a carga térmica de uma determinada etapa do processo produtivo que precisa ser resfriado. Por exemplo, nos processos de transformação de termoplásticos as resinas plásticas são aquecidas a temperaturas elevadas para serem transformadas. Depois de moldados, os termoplásticos precisam ser embalados à temperatura ambiente. Quanto mais rápido for o processo de resfriamento, maior a produtividade do processo. A regra geral para determinação da carga térmica é muito simples. De acordo com a primeira lei da termodinâmica, a somatória dos fluxos de calor e trabalho que atravessam a fronteira do sistema é igual à variação de energia deste sistema. Essa variação de energia é a carga térmica que tem que ser dissipada.

O volume de controle deve ser convenientemente determinado ao redor do processo de fabricação. Normalmente, os fluxos que são encontrados são: o trabalho na forma de energia elétrica que atravessa a fronteira e os fluxos de massa de matéria-prima e produto acabado.

Para a avaliação da carga térmica gerada pelo fluxo de massa de matéria-prima deve-se levar em consideração o calor específico do material e a temperatura de processo. A regra geral para determinação da carga térmica é muito simples. De acordo com a primeira lei da termodinâmica, a somatória dos fluxos de calor e trabalho que atravessam a fronteira do sistema é igual à variação de energia deste sistema. Essa variação de energia é a carga térmica que tem que ser dissipada.

Para o dimensionamento do evaporador sabe-se a temperatura de entrada da água a ser resfriada e a vazão, mas não se conhece a temperatura de evaporação. Nesse caso, é preferível a utilização do método de NUT -  $\epsilon$ . No entanto, para utilização de método de NUT -  $\epsilon$  é preciso arbitrar um valor de efetividade. (Browne e Bansal, 2001). Para resfriadores de líquidos, se forem utilizados trocadores de calor com  $\epsilon$  alto, o custo do equipamento fica elevado e nem sempre esse ponto agrega valor ao produto. Por outro lado, um equipamento com  $\epsilon$  baixo apresenta custo operacional alto pela menor eficiência do compressor que opera com diferencial de pressão maior. Diante desses fatores, o valor da efetividade dos trocadores de calor deve ser definido de acordo com os valores típicos utilizados pelos equipamentos presentes no mercado. Para se definir esse valor, podem ser utilizados os valores de capacidade nominal e o produto do coeficiente global de transferência de

calor  $U$  pela área de troca de calor  $A$  (produto  $U.A$ ) extraídos de catálogos de fabricantes de trocadores de calor para calcular a efetividade dos trocadores comerciais (Incropera, 1998)

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, o calor total que deve ser rejeitado no condensador é igual ao calor transferido no evaporador mais o trabalho que atravessa a fronteira do sistema na forma de energia elétrica consumida pelo compressor.

A energia consumida pelo compressor depende de uma série de fatores. Como o compressor ainda não foi selecionado, porque não se tem a temperatura de condensação, o trabalho do compressor será calculado pelo COP desejado do sistema.

A próxima etapa do projeto é a seleção do compressor do sistema frigorífico. O tipo de compressor utilizado será scroll pelas vantagens que este oferece; entre elas, baixo nível de ruído e alta eficiência, conforme visto no capítulo 4. O compressor foi selecionado utilizando-se tabelas de capacidade fornecidas pelos fabricantes em função da temperatura de evaporação, temperatura de condensação, superaquecimento e sub-resfriamento do sistema.

A válvula de expansão mais utilizada em instalações frigoríficas é a controlada pelo superaquecimento, ou como é normalmente chamada, válvula de expansão termostática. A temperatura de evaporação e a capacidade do sistema determinam o fluxo de refrigerante necessário e a diferença de pressão disponível entre a entrada e a saída da válvula determina o tamanho do orifício para que se tenha a vazão desejada (Dossat, 2004). Com esses dados, seleciona-se a válvula utilizando catálogos de fabricantes. Nos catálogos, os dados são apresentados na forma de capacidade de refrigeração que equivale ao calor transferido para a vazão de refrigerante pelo orifício da válvula na mudança de fase na temperatura de evaporação desejada.

Tubulações ou linhas de refrigerante são comuns a todas as instalações frigoríficas, tendo como função básica transportar o fluido refrigerante entre os componentes da instalação. Uma preocupação bastante generalizada no dimensionamento de linhas é a de que seu tamanho seja suficientemente elevado. Tal preocupação é, de certo modo, conservadora, uma vez que são poucos os casos em que o tamanho pode representar um problema para a operação da instalação, como ocorre na linha de sucção de sistemas com refrigerantes halogenados em que, para propiciar um arraste adequado do óleo, a velocidade do vapor deve ser limitada inferiormente. Por outro lado, a redução no tamanho, embora seja atraente sob o ponto de vista econômico e de espaço, pode comprometer a eficiência da instalação (Stoecker, 2002).

#### 4. MODELAGEM DO SISTEMA

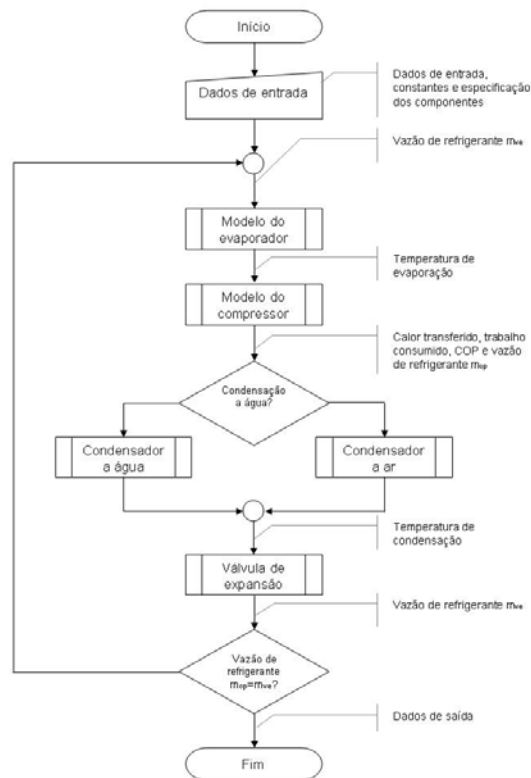
A experimentação para avaliação das condições de operação, bem como, para a determinação de condições ótimas de operação de sistemas e equipamentos térmicos é, de modo geral, muito onerosa, requer instalações laboratoriais complexas e são necessárias muitas horas de equipes de técnicos e de pesquisadores na realização de ensaios. Graças aos recursos computacionais disponíveis hoje, a modelagem e simulação desses sistemas e equipamentos permite avaliações em diversas condições operacionais e diferentes configurações com rapidez e eficiência (Silvares, 1999).

Cada componente do sistema de refrigeração foi analisado separadamente e foram definidos modelos matemáticos que representam os fenômenos que ocorrem nos trocadores de calor, na válvula de expansão e no compressor.

Para que seja possível avaliar o projeto desenvolvido e analisar o comportamento do sistema, foi elaborado um algoritmo que permite a simulação do ciclo de refrigeração nas condições previstas de funcionamento. Esse algoritmo é constituído pelos modelos matemáticos dos componentes e pela interação entre eles.

O fluxograma simplificado, mostrado na figura 2, representa como foi feita a interface entre cada modelo e possibilita uma visão geral de como a simulação foi realizada. O algoritmo definido foi implementado por meio de uma planilha de cálculos computadorizada no software MS-Excel®. Os principais resultados obtidos para temperatura da água variando de 5 a 25°C e condensação a ar são apresentados na tabela 1.

Dos resultados obtidos, destaca-se a capacidade efetiva de refrigeração com água a 10°C. O equipamento não atingiu a capacidade nominal de 8.000kcal/h. Na simulação da capacidade efetiva não está sendo considerada a carga térmica gerada pela bomba centrífuga do próprio equipamento. Todas as simulações convergiram e nenhuma delas atingiu o número máximo de iterações antes que o erro definido fosse alcançado.



**Figura 2** – Fluxograma esquemático da simulação do sistema

**Tabela 1** Resultado da simulação

Temperatura da água	5	10	15	20	25	°C
Temperatura de retorno da água:	8,2	13,7	19,2	24,8	30,4	°C
Temperatura de evaporação:	-3,9	0,2	4,3	8,2	12,2	°C
Temperatura de condensação:	41,9	43,2	44,6	46,1	47,7	°C
Capacidade efetiva:	6457	7435	8494	9635	10860	kcal/h
Potência consumida:	2366	2413	2464	2519	2578	W
COP sistema:	3,17	3,58	4,01	4,45	4,90	
Vazão de refrigerante:	141,7	153,5	165,8	178,7	191,9	kg/h

## 5. TESTES REALIZADOS

Na figura 3 é apresentado o esquema de montagem utilizado na realização dos testes. Foi utilizada uma resistência elétrica de imersão para transferir calor ao sistema. O controle da carga térmica gerada pela resistência foi feito por meio do acionamento individual de cada elemento da resistência. A bancada de testes com o equipamento em funcionamento, montagem dos sensores e sistema de aquisição de dados, é mostrada na figura 4. A carga térmica é gerada por uma resistência de imersão com 9 elementos e 30 kW de potência. A resistência é montada em um skid com quadro elétrico, termostato de segurança, sinalização e comutadores para acionamento dos elementos. Os sensores e instrumentos de medição foram instalados no equipamento, conforme esquema apresentado na figura 5.

A temperatura de evaporação foi calculada utilizando as temperaturas de saturação das pressões, medidas na sucção do compressor (escoamento bifásico). Como a pressão foi medida na saída do evaporador, a temperatura de evaporação corresponde à temperatura final. A temperatura de condensação na entrada do condensador foi calculada utilizando a pressão na descarga do compressor. Como o fluido refrigerante muda de fase no condensador, a temperatura de condensação é a temperatura de saturação para as pressões medidas. Os dados obtidos experimentalmente foram avaliados a capacidade efetiva do equipamento para a água gelada de 5 a 25 °C, por meio da carga térmica gerada pela resistência de imersão e do trabalho consumido pelo motor da bomba centrífuga.

As medições foram feitas com o equipamento em condições de regime permanente, com temperatura da água gelada constante. Nessa condição, a capacidade efetiva do resfriador de líquidos é igual à carga térmica do sistema.

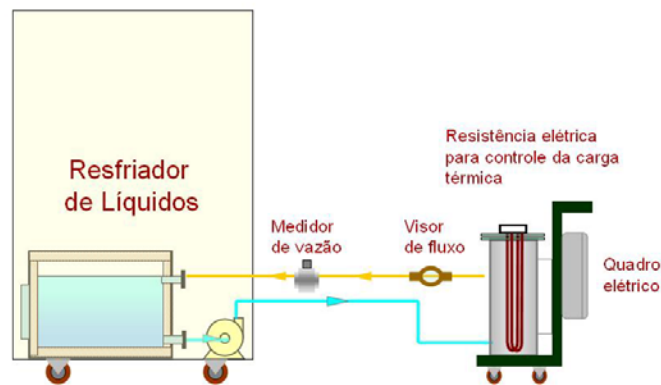


Figura 3 Esquema da bancada de testes.



Figura 4 Bancada de testes

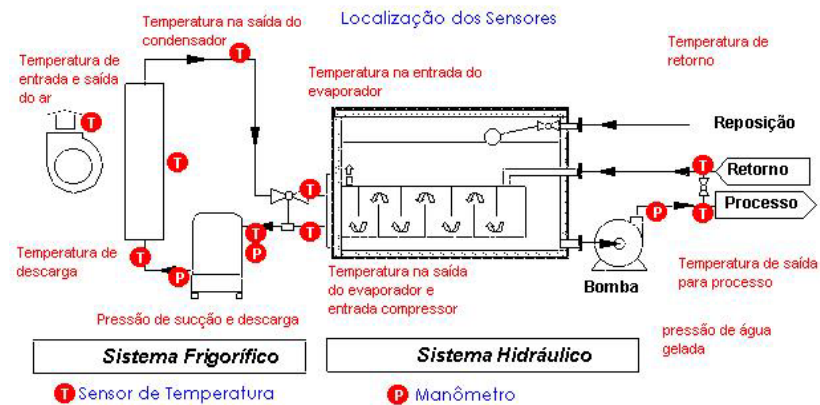
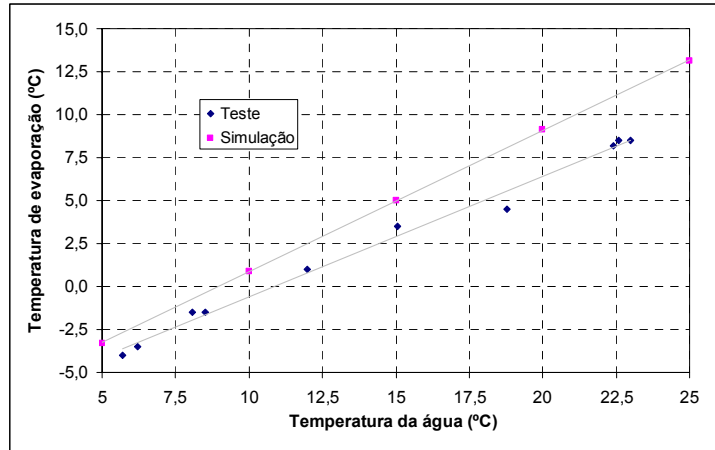


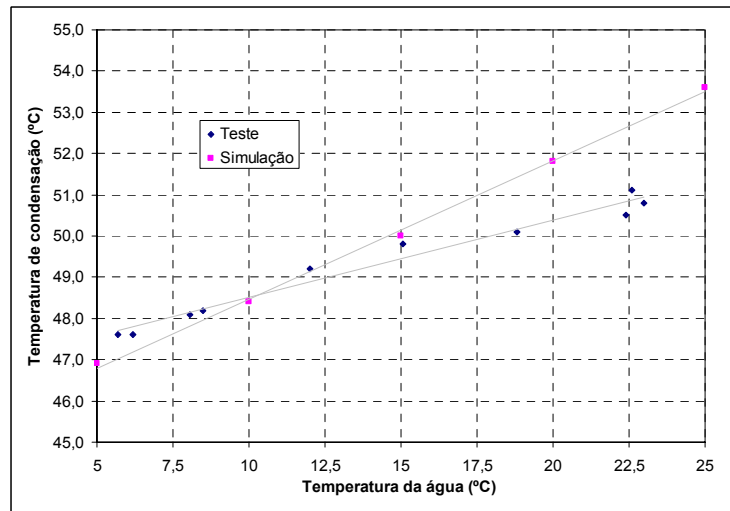
Figura 5 Localização dos sensores na bancada de testes

Os dados obtidos nos testes foram comparados com os dados simulados e são apresentados a seguir. Resultados de comparação entre as temperaturas de evaporação e de condensação são apresentados, respectivamente, nas figuras 6 e 7. Verifica-se na análise da Figura 6 que, para todas as simulações realizadas, a temperatura de evaporação ficou acima da temperatura de evaporação real. E quanto maior a temperatura da água maior a diferença entre o simulado e o real. Para temperatura da água a 5°C a diferença entre a temperatura de evaporação real e simulada é de aproximadamente 1°C e quando a temperatura da água aumenta para 25°C esta diferença aumenta para 3°C.

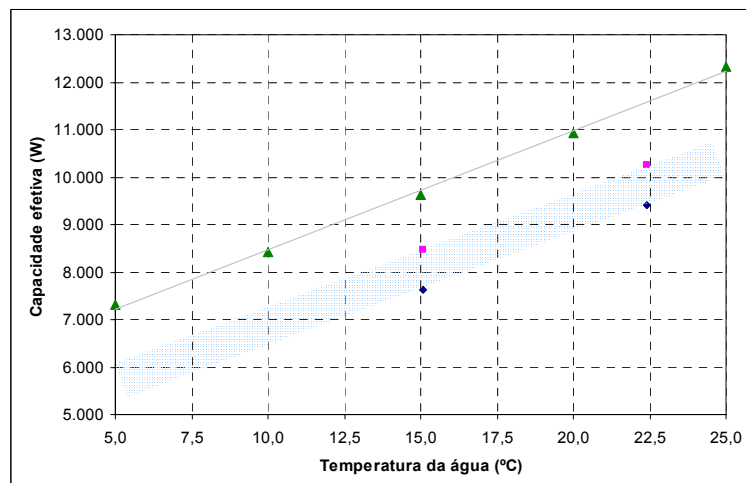
Por outro lado, a temperatura de condensação simulada ficou muito próxima do valor obtido no teste (figura 7). Com a temperatura da água até 17,5°C a diferença entre o real e o simulado foi menor do que 1°C e essa diferença ficou em 2°C com água a 25°C. Na figura 8 são apresentados valores de capacidade de refrigeração, onde se verifica que a capacidade real é menor do que a simulada em todos pontos medidos. Esse resultado era esperado, pois a capacidade de refrigeração depende diretamente da temperatura de evaporação.



**Figura 6** Comparação entre temperatura de evaporação real e simulada



**Figura 7** Comparação entre temperatura de condensação real e simulada



**Figura 8** Comparação entre capacidade efetiva real e simulada

A temperatura de evaporação simulada é constante ao longo de todo o trocador de calor, porque a perda de carga foi desprezada para simplificação do modelo. No entanto, a temperatura de evaporação real foi obtida utilizando a pressão na saída do trocador. O que mostra que a temperatura de evaporação real média no trocador é maior que a considerada nas comparações feitas.

A diferença entre a temperatura de evaporação real e simulada aumenta com o aumento da temperatura da água. Isto ocorre porque, quando a temperatura da água aumenta, aumenta a vazão de refrigerante e, conseqüentemente, aumenta a perda de carga no evaporador.

A temperatura de condensação simulada ficou muito próxima do valor obtido no teste. Como no condensador também não foi considerada a perda de carga para simplificação do modelo, o resultado melhor pode ser explicado pela perda de carga menor no condensador do que no evaporador. No entanto, como a pressão de condensação foi medida na entrada do condensador, a temperatura de condensação simulada deveria ser menor do que a temperatura de condensação obtida no teste.

Na simulação, a capacidade efetiva foi maior que a obtida no teste. Isto era esperado porque a capacidade depende da temperatura de evaporação. Além disso, a capacidade obtida nos testes foi calculada utilizando somente a carga térmica devido à bomba centrífuga e à resistência de imersão, sem considerar a carga térmica relativa às trocas de calor entre as tubulações e reservatórios e o ambiente externo.

## 6. CONCLUSÕES

No presente trabalho foi realizada a modelagem de um resfriador de líquidos e os resultados de simulação foram comparados com valores obtidos em bancada experimental.

As diferenças máximas entre os valores obtidos na bancada experimental, denominados de valores reais, e os simulados foram de 3°C para a temperatura de evaporação e de apenas 2°C para a temperatura de condensação. Considerando as incertezas dos instrumentos utilizados no teste, os resultados de simulação podem ser considerados melhores que o esperado. As diferenças ocorreram, principalmente, por não ter sido considerada a perda de carga nos trocadores de calor, para simplificação do modelo.

Embora tenham sido verificados valores próximos entre os valores reais e simulados nas temperaturas de evaporação e condensação, a capacidade efetiva de refrigeração apresentou uma diferença entre o real e o simulado de 15 a 20%. Essa diferença foi causada por não ter sido considerada a troca de calor com o ambiente no cálculo da carga térmica dos testes; o que sugere ser a capacidade real maior que o calculado.

Adicionalmente, os resultados dos testes e das simulações mostraram que o equipamento não atinge a capacidade de refrigeração nominal de 8.000kcal/h com água a 10°C.

Resultados de simulações com condensação a ar e a água mostraram, corretamente, que os equipamentos com condensação a ar trabalham com temperaturas de condensação mais elevadas em relação à condensação a água; o que diminui o coeficiente de desempenho do sistema. Contudo, a diferença de desempenho global entre os dois tipos de equipamentos é muito pequena. Isto porque, na condensação a ar há consumo de energia somente nos ventiladores e na condensação a água há consumo de energia na bomba e no ventilador da torre de resfriamento.

Nos sistemas com condensação a ar, ficou evidente a influência da vazão de ar pelo condensador. Dessa forma, sugere-se que o condensador seja maior e o número de aletas por polegada seja reduzido; mantendo-se a área de troca e reduzindo-se a perda de carga. Isso levaria a uma maior vazão de ar e aumento da capacidade. A vazão de ar deve ser aumentada para aproximadamente 4.000 m<sup>3</sup>/h. A partir desse ponto a influência na capacidade passa a ser menor.

O evaporador também afeta a capacidade do sistema. Pode-se concluir que uma redução de 1.000 W/°C no UA do evaporador provoca uma redução de mais de 1.000kcal/h na capacidade. Em contrapartida, um aumento na mesma proporção, provoca um aumento de menos de 500 kcal/h. Portanto, sugere-se que o evaporador seja mantido como foi projetado.

Pode-se concluir que o compressor é o principal componente do sistema e o que mais interfere na capacidade efetiva do equipamento. Como o equipamento não atingiu a capacidade nominal, sugere-se alteração do compressor para o modelo ZR40 (Copeland, 2006).

Contudo, com o compressor maior, a temperatura de condensação aumenta e é necessário fazer alterações no dimensionamento do condensador e um aumento do UA do trocador ou aumento da vazão de ar, conforme sugerido anteriormente.

A válvula de expansão também é importante para o equipamento, mas afeta menos a capacidade de refrigeração. Os resultados mostraram que a válvula selecionada está de acordo com o dimensionamento dos outros componentes.

Enfim, o resultado deste trabalho é um modelo para simulação de resfriadores de líquidos, que pode ser utilizado como uma importante ferramenta de análise e otimização.



## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASHRAE, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2005, *Fundamentals*
2. ASHRAE, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2004, *Systems and Equipment*.
3. Browne, M.W., Bansal, P.K., 2001, An elemental NTU-  $\epsilon$  model for vapour-compression liquid chillers. *International Journal of Refrigeration*.
4. Dossat, R. J., 2004. *Princípios de refrigeração*, Editora Hemus, São Paulo.
5. Gruhle, W. D., Isermann, R., 1985, Modeling and Control of a refrigerant Evaporator. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. Vol. 107/235
6. Holman, J.P., 1983, *Transferência de Calor*. Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo.
7. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., 1998, *Fundamentos de transferência de calor e massa*. LTC Editora, 4ª edição, Rio de Janeiro, SP.
8. Nagengast, B., 1989, *A History of Refrigerants. CFCs: Time of Transition*, Atlanta, Georgia,
9. Naterer, G.F., 2003, *Heat Transfer in Single and Multiphase Systems*. CRC Press, Boca Raton, USA.
10. Stoecker, W.F., Jabardo, J.M., 2002, *Refrigeração Industrial*, Editora Edgard Blücher, São Paulo.
11. Silvares, O. M., 1999, *Modelagem Matemática e Simulação Numérica e Experimental de Sistemas e Componentes de Refrigeração*. Trabalho apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para o Concurso de Livre Docência.