



AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO TRANSIENTE DE UM REFRIGERADOR DOMÉSTICO

Roberto Seidel

Cláudio Melo

Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica

NRVA – Núcleo de Pesquisa em Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar

88.040-900, Florianópolis, SC

E.mail: melo@nrva.ufsc.br

***Resumo.** Este trabalho explora a utilização de transdutores de fluxo de calor na avaliação do desempenho de refrigeradores domésticos. Tais dispositivos foram posicionados sobre as paredes externas do refrigerador e sobre as superfícies do evaporador e utilizados durante a realização de testes normalizados de “pull down” e de consumo de energia. A potencialidade do presente trabalho reside na determinação instantânea da taxa de transferência de calor para o interior do gabinete, da capacidade de refrigeração e do coeficiente de performance do sistema, o que lhe confere um caráter inédito.*

***Palavras-chave:** Refrigeração, Energia, Transferência de Calor.*

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o consumo de energia elétrica faz com que os refrigeradores domésticos sejam constantemente aperfeiçoados. Esta preocupação é estimulada pelo governo federal mediante ações que objetivam o controle do crescimento excessivo da demanda de energia elétrica no país e se justifica através da participação do setor de refrigeração neste contexto. Os refrigeradores domésticos são equipamentos que possuem um pequeno consumo individual de energia, embora, no conjunto, representem 11% do consumo total de energia elétrica no país, de acordo com dados fornecidos pelo PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) referentes ao ano de 1998. Além disso, o país se encontra numa situação extremamente crítica quanto à disponibilidade de energia elétrica, inclusive com programas de racionamento, aumentando ainda mais a exigência de produtos com maior eficiência energética, o que justifica todos os esforços no sentido de se reduzir ao máximo o consumo de qualquer equipamento elétrico. O que, a princípio, era uma questão apenas econômica tornou-se também uma questão de ordem prática considerando que a energia elétrica passou a ser um produto em escassez.

O aperfeiçoamento de um refrigerador não deve se limitar apenas ao melhoramento de cada um dos seus componentes básicos (evaporador, compressor, condensador e dispositivo de expansão). Preferencialmente a análise deve ser geral, visto que o desempenho de um componente afeta o desempenho dos demais. Além disso, um cuidado especial deve ser dado à taxa de transferência de calor para o interior do gabinete, pois taxas elevadas exigem compressores maiores e, conseqüentemente, maiores consumos de energia elétrica.

Para atender as necessidades do mercado os fabricantes utilizam técnicas computacionais e experimentais com diferentes níveis de sofisticação. Entretanto, todos, sem exceção, submetem os seus produtos a testes normalizados de “pull down” (abaixamento de temperatura) e de consumo de

energia. Apesar de tais testes fornecerem uma quantidade razoável de informações eles não são capazes de avaliar instantaneamente a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete, a capacidade de refrigeração e o coeficiente de performance.

A proposta deste trabalho consiste na avaliação das taxas de transferência de calor num refrigerador específico, no caso o refrigerador RA-30 fabricado pela Multibrás, através da utilização de transdutores de fluxo de calor (Seidel, 2001). Tais taxas são avaliadas durante testes normalizados de “pull down” (NTB00048, 1992) e de consumo de energia (NBR 8888, 1985) tanto em regime permanente quanto transiente (cíclico). Como resultado obtém-se de maneira instantânea a taxa total e distribuída de transferência de calor para o interior do gabinete, a capacidade de refrigeração e o coeficiente de performance do sistema.

2. METODOLOGIA

Os transdutores de fluxo de calor utilizados no presente trabalho desviam as linhas de fluxo de calor gerando um gradiente de temperatura num plano perpendicular ao plano de medição sendo, portanto, distintos dos transdutores transversais encontrados no mercado (Güths et al., 1995). A Fig. (1) mostra um esquema do transdutor em questão. Por ter espessura reduzida e elevada condutividade térmica este transdutor é adequado à caracterização de fenômenos transientes.

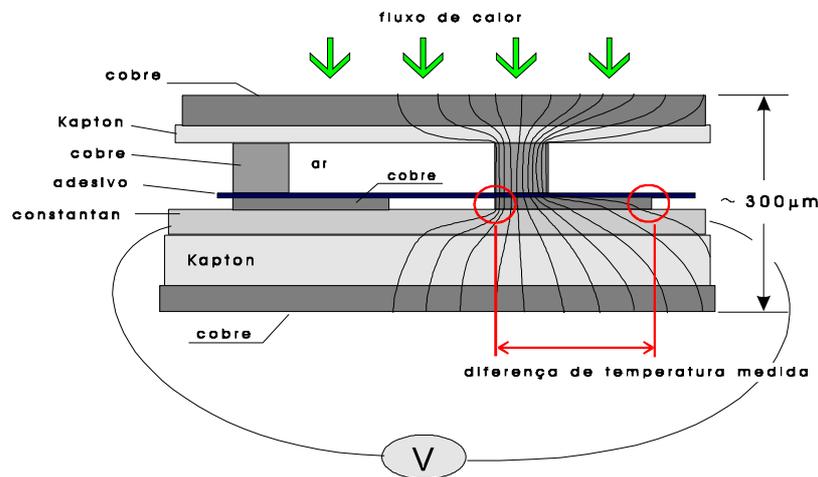


Figura 1. Transdutor de fluxo de calor

Os transdutores foram distribuídos adequadamente sobre as paredes externas do refrigerador para medir instantaneamente a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete (ver Fig. (2)). Fixando os transdutores diretamente sobre as superfícies do evaporador pode-se determinar instantaneamente a capacidade de refrigeração e o coeficiente de performance do sistema. A Fig. (3) mostra a superfície frontal e a superfície posterior do evaporador na forma rebatida já que este possui a forma de um “C”. Os diversos transdutores utilizados na avaliação da capacidade de refrigeração podem também ser vistos nesta figura.

A taxa de transferência de calor para o interior do gabinete e a capacidade de refrigeração do sistema são medidas da mesma forma (Silva, 1998). O sinal de tensão enviado por cada transdutor é transformado em fluxo de calor e posteriormente multiplicado pela área do gabinete/evaporador correspondente a cada transdutor para se obter a taxa de transferência de calor (Eq. (1)). Estas taxas são somadas para se obter a taxa total sobre uma determinada região como, por exemplo, a porta do refrigerador ou uma das superfícies do evaporador (Eq. (2)). Caso se deseje obter o fluxo médio sobre uma determinada região, basta dividir a taxa total pela área total da região. Matematicamente, tem-se:

$$q_{CT} = q_T'' \cdot A_{CT} \quad (1)$$

$$q_G = \sum q_{CT} \quad (2)$$

onde q_{CT} representa a taxa de transferência de calor na área correspondente ao transdutor, q_T' o fluxo de calor indicado pelo transdutor, A_{CT} a área correspondente ao transdutor e q_G a taxa total de transferência de calor numa determinada região.

O coeficiente de performance (COP) do sistema é obtido através da divisão da capacidade de refrigeração pela potência consumida pelo compressor que também é monitorada de forma instantânea. Ou seja:

$$COP = \frac{q_{evap}}{P} \quad (3)$$

onde q_{evap} representa a capacidade de refrigeração e P a potência consumida pelo compressor.

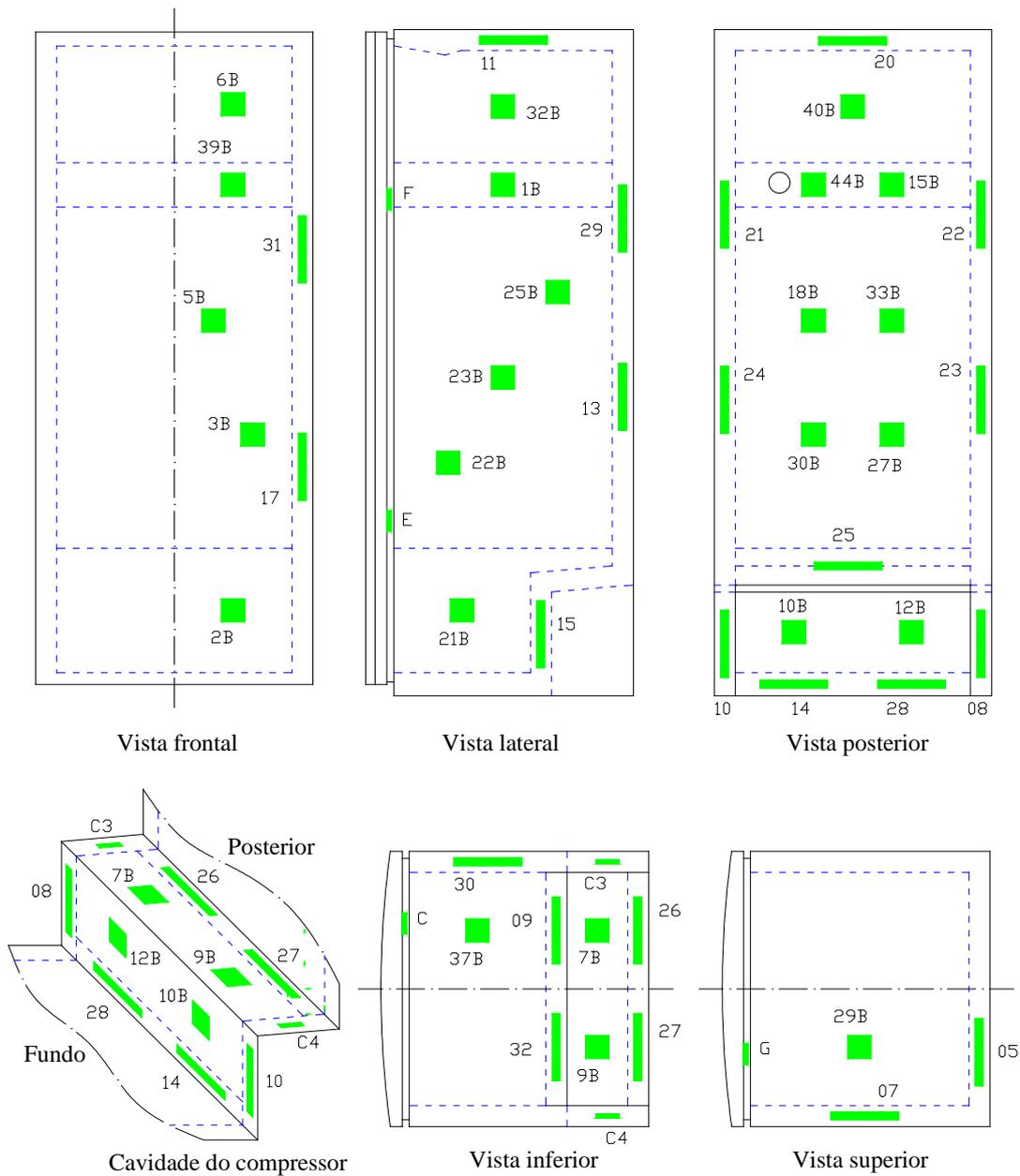


Figura 2. Posição dos transdutores de fluxo de calor sobre o gabinete

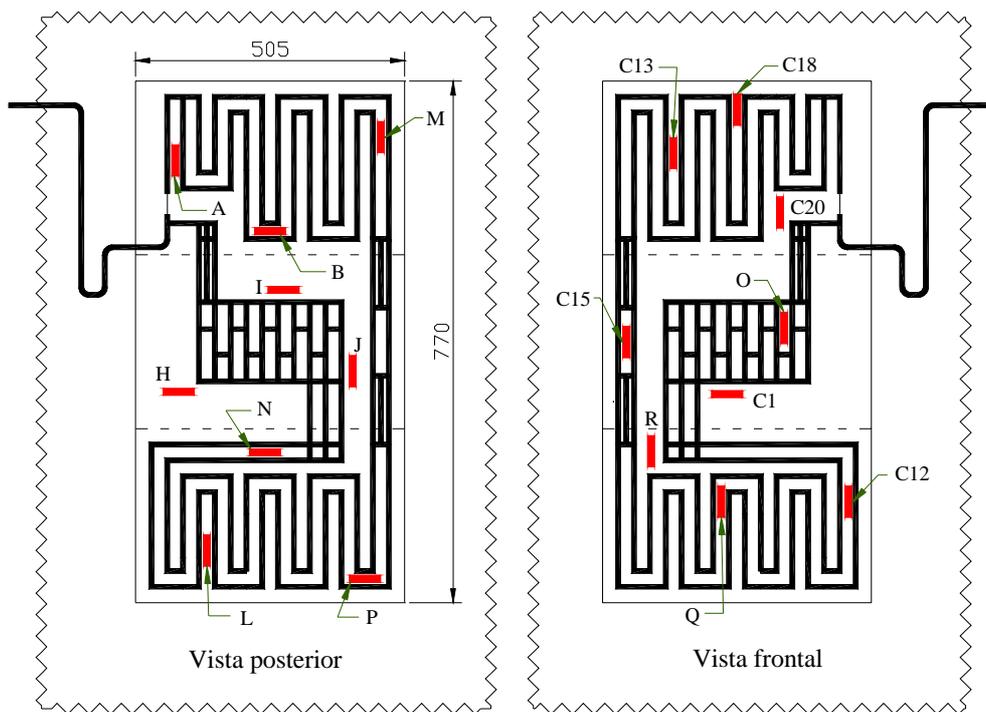


Figura 3. Posição dos transdutores de fluxo de calor sobre o evaporador

3. EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. Teste de “pull down” a 32°C

A Fig. (4) apresenta uma comparação entre a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete e a taxa de transferência de calor no evaporador (capacidade de refrigeração). Verifica-se que após a partida do compressor ocorre uma elevação súbita da capacidade de refrigeração que passa por um ponto de máximo de 157 W e depois tende ao valor de regime permanente de 66 W. Este comportamento é explicado pela variação simultânea da temperatura de evaporação (que diminui rapidamente) e da temperatura do ar nas proximidades do evaporador. Nessa mesma figura percebe-se que existe uma diferença significativa entre a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete e a capacidade de refrigeração nas primeiras horas de operação o que se deve a inércia térmica do sistema. Após 6 horas de operação, quando o regime permanente começa a ser atingido, percebe-se a presença de uma diferença praticamente constante entre a capacidade de refrigeração e a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete. Nesta condição os transdutores indicaram, respectivamente, 66 W e 56 W. Esta diferença de 10 W pode estar associada com eventuais fontes de transferência de calor para o interior do gabinete, não captadas pelos transdutores de fluxo de calor. Como exemplo pode-se citar a condução de calor bidimensional através dos flanges do gabinete e da porta (Klein, 1998).

A partir da capacidade de refrigeração e da potência consumida pelo compressor pode-se calcular a variação instantânea do coeficiente de performance (COP) do sistema, o que é mostrado na Fig. (5). Verifica-se que o coeficiente de performance passa por um valor máximo de 1,35 e tende para um valor de regime permanente de 0,91. Nas mesmas condições de regime permanente (pressão de sucção de 0,97 bar e de descarga de 11,34 bar) o COP do compressor, obtido através de testes calorimétricos é de 1,01. Pode-se concluir, portanto, que numa condição de operação de 32°C não existe uma diferença significativa entre os coeficientes de performance do sistema e do compressor.

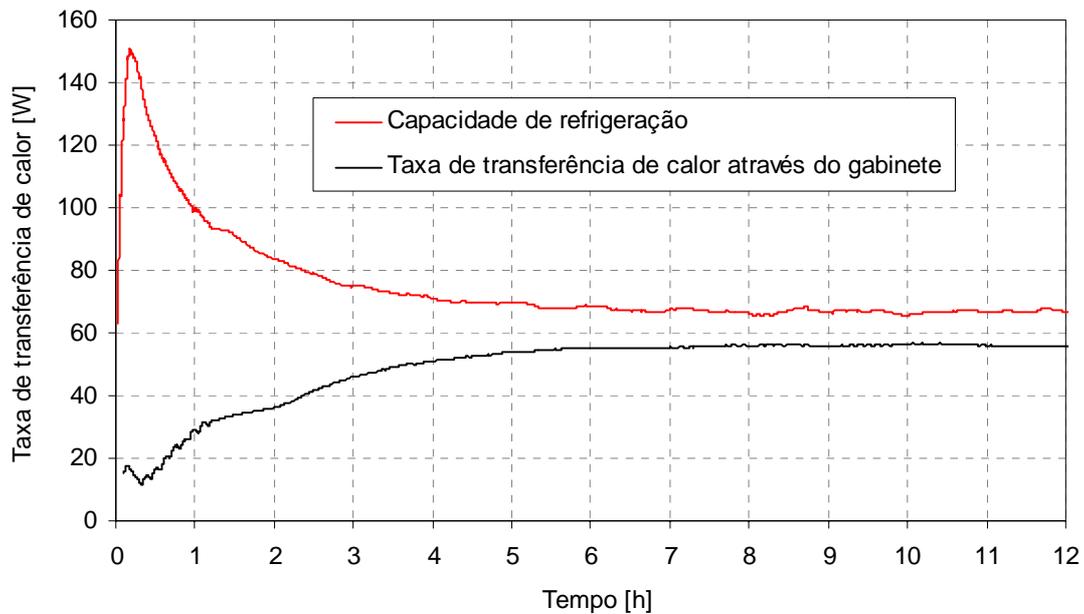


Figura 4. Capacidade de refrigeração e taxa de transferência de calor para o interior do gabinete no teste de “pull down” a 32°C

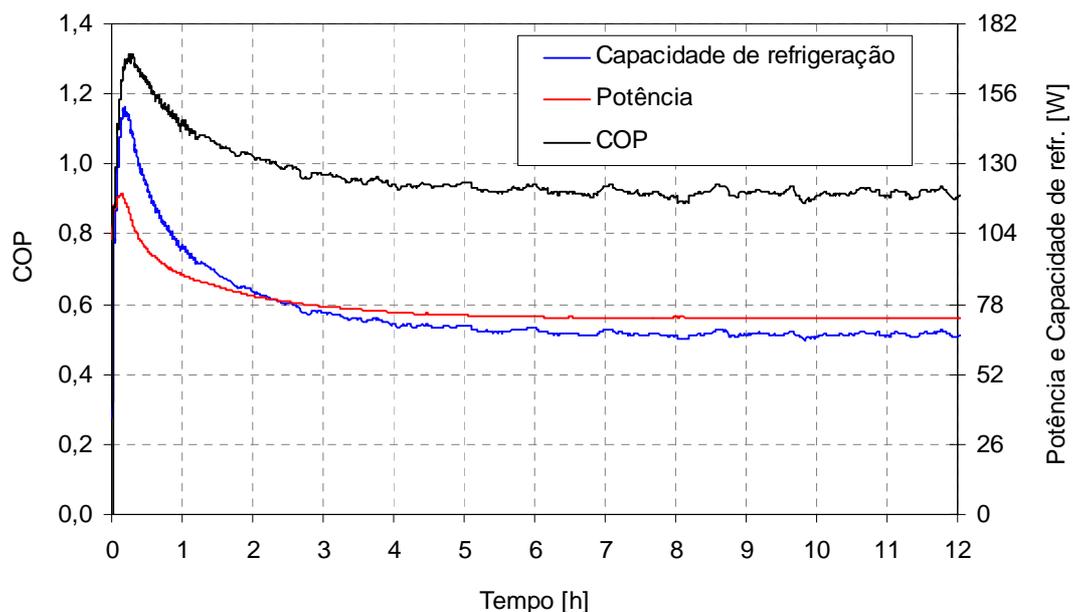


Figura 5. Coeficiente de performance, potência consumida pelo compressor e capacidade de refrigeração no teste de “pull down” a 32°C

3.2. Teste de “pull down” a 43°C

A Fig. (6) mostra a variação temporal da capacidade de refrigeração e da taxa de transferência de calor para o interior do gabinete nos testes realizados a 32°C e 43°C. Verifica-se que o pico de capacidade de refrigeração no teste a 43°C (152 W) é inferior e está defasado, tanto em amplitude quanto no tempo, em relação ao teste a 32°C. Na condição de regime permanente, no entanto, a capacidade de refrigeração é maior no teste a 43°C do que no teste a 32°C. Isso é um reflexo direto da variação da temperatura de evaporação e da temperatura nas proximidades do evaporador nos dois testes. A exemplo do teste a 32°C, verifica-se que o valor de regime permanente da capacidade

de refrigeração no teste a 43°C (69 W) é superior em praticamente 8,5 W ao valor da taxa de transferência de calor para o interior do gabinete.

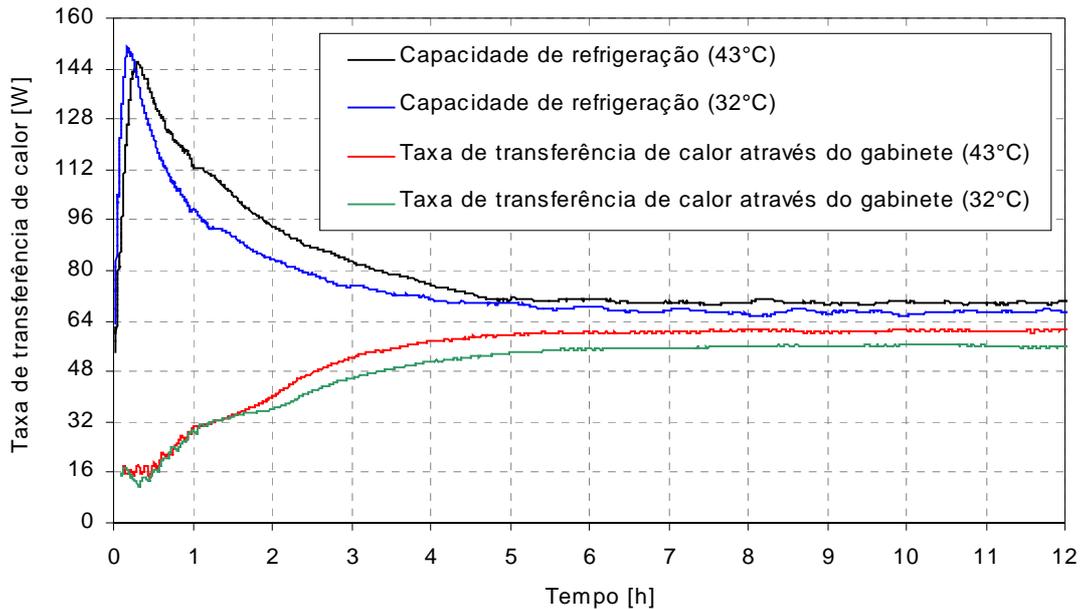


Figura 6. Capacidade de refrigeração e taxa de transferência de calor para o interior do gabinete nos testes de “pull down” a 32°C e a 43°C

A Fig. (7) mostra a variação temporal do coeficiente de performance e da potência consumida pelo compressor nos testes realizados a 32°C e 43°C. É importante observar que a capacidade de refrigeração no teste a 43°C é apenas 3% menor no momento de pico e somente 5% maior na condição de regime permanente em relação ao teste a 32°C. No entanto a diferença entre os consumos de potência é muito mais significativa. A potência no teste a 43°C é 18% maior no momento de pico e 12% maior na condição de regime permanente em relação ao teste a 32°C. A maior variação da potência com a temperatura ambiente em relação a variação da capacidade de refrigeração, explica os menores coeficientes de performance observados no teste a 43°C. No teste a 43°C observou-se um valor de pico de 1,14 e de regime permanente de 0,81. O valor de regime permanente é, aproximadamente, 26% inferior ao valor obtido em calorímetro (1,10) para as mesmas pressões de sucção (1,28 bar) e descarga (15,10 bar). Este comportamento está diretamente associado com a temperatura ambiente que foi mantida em 43°C no teste de “pull-down” e em 32°C no teste calorimétrico.

3.3. Teste em regime cíclico

A Fig. (8) ilustra a variação da capacidade de refrigeração e da taxa de transferência de calor para o interior do gabinete durante o regime permanente cíclico. Percebe-se claramente que a capacidade de refrigeração é superior nos períodos em que o compressor permanece ligado ocorrendo o contrário quando o compressor é desligado. A amplitude de variação da capacidade de refrigeração é também bem superior a da taxa de transferência de calor para o interior do gabinete. Isso se deve a variação das diferenças de temperaturas envolvidas (a temperatura do fluido refrigerante no interior do evaporador, por exemplo, diminui bruscamente no momento da partida do compressor). Após a partida do compressor o sistema se mantém numa capacidade de refrigeração praticamente constante enquanto o compressor permanece ligado. Quando o compressor é desligado percebe-se uma redução abrupta da capacidade de refrigeração, em decorrência do aumento da pressão e da temperatura de evaporação do sistema.

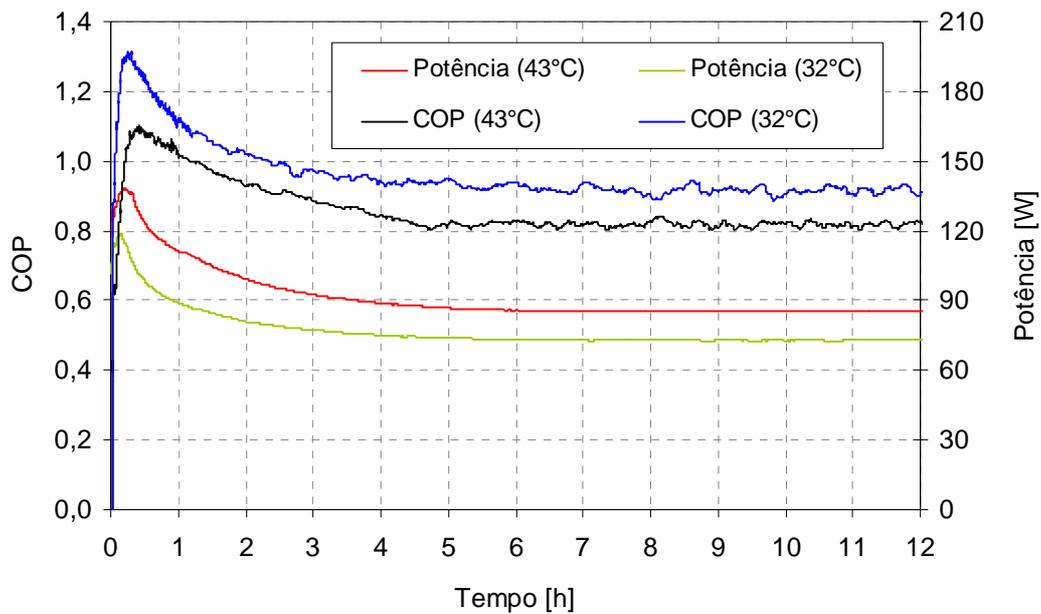


Figura 7. Coeficiente de performance e potência consumida pelo compressor nos testes de “pull down”

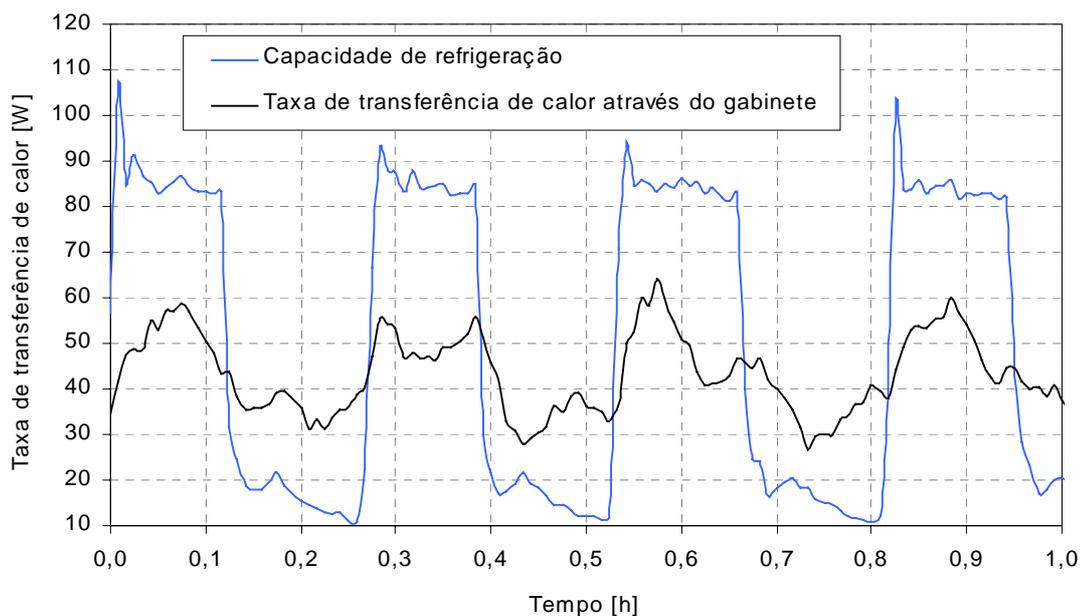


Figura 8. Capacidade de refrigeração e taxa de transferência de calor através do gabinete no teste em regime cíclico

A Fig. (9) mostra a variação do coeficiente de performance e da potência consumida pelo compressor durante o regime permanente cíclico a 32°C. Como a capacidade de refrigeração não varia significativamente enquanto o compressor permanece ligado, conforme já mostrado anteriormente, o coeficiente de performance reflete praticamente o comportamento da potência. É possível notar que uma curva é praticamente o rebatimento da outra em relação a uma linha horizontal imaginária colocada entre elas. Durante os períodos de funcionamento do compressor verifica-se que o coeficiente de performance varia entre os valores de 0,84 e 0,98. Já nos momentos em que o sistema é desligado a potência assume um valor nulo fazendo com que o coeficiente de performance do sistema tenda ao infinito.

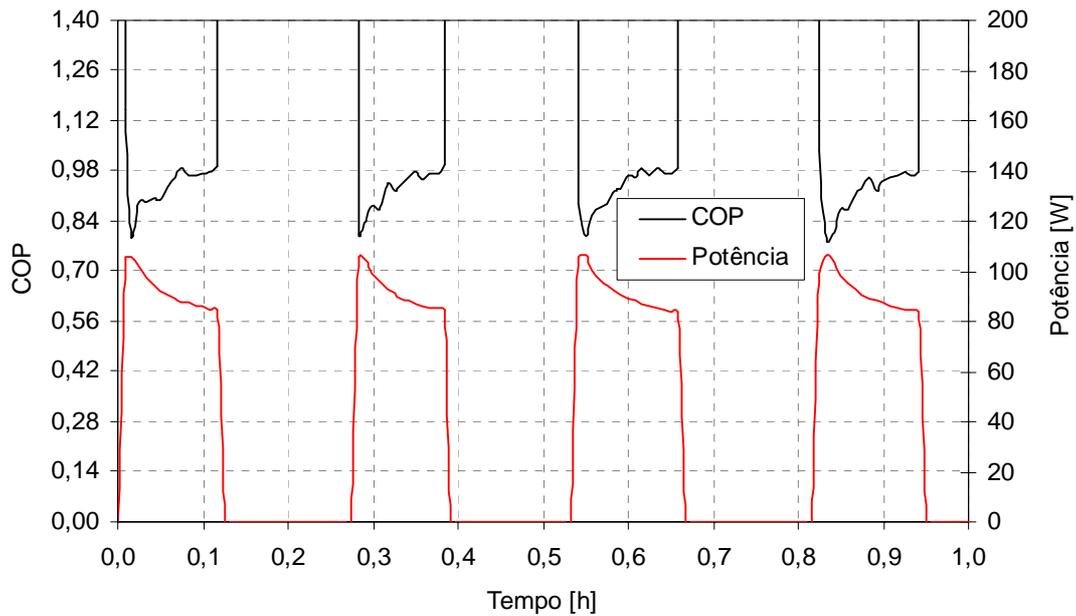


Figura 9. Potência consumida e coeficiente de performance no regime cíclico

4. CONCLUSÕES

Uma nova maneira de investigar o desempenho transiente de refrigeradores domésticos foi introduzida. A metodologia apresentada, além de permitir a determinação instantânea da capacidade de refrigeração e do coeficiente de performance do sistema, permite ainda avaliar o impacto dos elementos quentes do sistema (condensador e evaporador) sobre a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete.

Os testes realizados mostraram que a transposição pura e simples de coeficientes de performance obtidos em calorímetro para uma situação real deve ser feita com bastante cuidado, especialmente quando a temperatura ambiente é diferente de 32°C.

Sugere-se a realização de testes experimentais visando determinar a contribuição da transferência de calor bidimensional pelos flanges do gabinete e da porta, o que poderia explicar as discrepâncias observadas entre a taxa de transferência de calor para o interior do gabinete e a capacidade de refrigeração.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o apoio incondicional da Embraco S. A., através dos eng^{os} Roberto Horn Pereira e Reinaldo Maykot. O apoio recebido da Multibrás S.A., também contribuiu para a realização deste trabalho. A colaboração do eng^o Luis Antônio Torquato Vieira e do acadêmico Samuel João da Silveira, ambos do NRVA, foram fundamentais para a realização deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Güths, S., Philippi, P. C., Gaviot, E., They, P., 1995, “Um Transdutor de Fluxo de Calor a Gradiente Tangencial”, XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Minas Gerais, MG.
- Incropera, F. P., de Witt, D. P., 1992, “Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”, 3^a edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., Rio de Janeiro, RJ, 455 p.
- Klein, F. H., 1998, “Desenvolvimento de um Código Computacional para a Simulação de Refrigeradores Domésticos”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 178 p.

- NBR 8888, 1985, “Refrigeradores e Congeladores Elétricos - Medição do Consumo de Energia - Método de Ensaio”, Norma técnica ABNT.
- NTB00048, 1992, “Refrigeradores, Congeladores e Aparelhos Similares - Abaixamento de Temperatura - Pull down - Método de Ensaio”, Norma técnica Brasmotor, Joinville, SC.
- Seidel, R., 2001, “Análise da Performance e da Distribuição de Fluxo de Calor num Refrigerador Doméstico, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 97 p.
- Silva, L. W., 1998, “Caracterização da Transferência de Calor em Evaporadores Roll-Bond”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 206 p.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE TRANSIENT BEHAVIOR OF A DOMESTIC REFRIGERATOR

Roberto Seidel

Cláudio Melo

Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Engenharia Mecânica

NRVA – Núcleo de Pesquisa em Refrigeração, Ventilação e Condicionamento de Ar

88.040-900, Florianópolis, SC

E.mail: melo@nrva.ufsc.br

***Abstract.** This work explores the use of heat flux transducers to evaluate the thermal performance of household refrigerators. Such devices were placed on the external surfaces of the refrigerator and also on the evaporator surfaces and used during energy consumption and pull down tests. One of the unique potentialities of this work is the instantaneous evaluation of the cooling capacity, system coefficient of performance and of the heat transfer rate from the surroundings to the interior of the cabinet.*

***Keywords:** Refrigeration, Energy, Heat Transfer.*