



Aparato Experimental Para Avaliação Termo-Energética de Refrigerador Doméstico

Igor Marcel Gomes Almeida¹, Cleiton Rubens Formiga Barbosa², Francisco de Assis Oliveira Fontes²

¹Grupo de Estudos em Refrigeração e Ar-Condicionado – IFRN – Campus Santa Cruz. e-mail: igor.almeida@ifrn.edu.br

²Grupo de Estudos em Sistemas Térmicos - UFRN. Departamento de Engenharia Mecânica. e-mail: cleiton@ufrnet.br, francisfontes@uol.com.br

Resumo: Os esforços de pesquisa e desenvolvimento na área de Refrigeração e Climatização aplicados ao uso de fluidos refrigerantes naturais não está associada somente à necessidade de preservação do meio-ambiente em si, mas também apresenta grande importância na necessidade latente do aumento da eficiência energética dos equipamentos. Tal característica é observada na Decisão XIX/6 do Protocolo de Montreal. Neste sentido, identificar fluidos refrigerantes alternativos de longo prazo que satisfaçam todos os requisitos com relação à performance dos sistemas é uma importante área de pesquisa. O objetivo do presente trabalho é analisar as normalizações existentes no Brasil, referentes a ensaios em refrigeradores domésticos, e desenvolver a montagem de um aparato experimental para estudo termo-energético/performance de um refrigerador. Foi desenvolvido um aparato experimental consistindo de um refrigerador doméstico de 219 L instrumentado com sensores de pressão, temperatura e corrente elétrica. Os sensores de temperatura e corrente elétrica são conectados a um sistema de aquisição de dados para o registro dos dados durante todo o tempo de ensaio. As indicações de pressão foram obtidas visualmente através de manifold digital. O aparato é adequado para a avaliação termodinâmica e energética de um equipamento de refrigeração operando com fluidos refrigerantes sintéticos ou naturais (hidrocarbonetos), dentro da estratégia de drop-in, sem alteração dos componentes mecânicos do sistema.

Palavras-chave: aparato experimental, ensaios normalizados, refrigeração doméstica

1. INTRODUÇÃO

A eficiência energética em aplicações residenciais, em particular refrigeradores e freezers, têm recebido uma atenção latente, e, apresentam um potencial elevado de redução substancial do consumo de energia no segmento da refrigeração doméstica.

Muitos países têm desenvolvido políticas para reduzir emissões de gases do efeito estufa e encorajado ao uso mais racional da energia. Neste processo, os selos comparativos de eficiência energética para aparelhos e equipamentos estão exercendo papel fundamental nas estratégias de governo para satisfazer objetivos energéticos e ambientais (Bansal, 2003).

Apesar dos avanços no aumento da eficiência no consumo de energia dos refrigeradores disponibilizados no mercado, o que é indicado pelo selo PROCEL, ainda existem em operação nos domicílios brasileiros muitos equipamentos antigos com tecnologias ineficientes. Estima-se que a participação de refrigeradores com idade superior a 15 anos no estoque em uso seja de aproximadamente 12%. Isso indica prolongamento da utilização de equipamentos com utilização de tecnologias ineficientes e com eficiência degradada. O consumo desses equipamentos pode ser até cinco vezes superior aos equipamentos novos com classificação (A) do selo PROCEL (Melo e Jannuzzi, 2008). Desta forma, observa-se a importância de buscas de alternativas para redução do consumo energético de refrigeradores domésticos no Brasil. Refrigerantes hidrocarbonetos, como o gás liquefeito de petróleo (GLP), são ambientalmente corretos e encontram-se disponíveis na natureza, neste sentido, as utilizações destas substâncias como fluidos refrigerantes em refrigeradores domésticos é muito atrativa. Resultados experimentais demonstram reduções no consumo de energia de 4,3% (Mohanraj et al., 2007), 5% (Wongwises e Chimres, 2005) e de até 20% (Maclaine-Cross, 1997).

Os sistemas de refrigeração doméstica, em geral, consomem uma grande quantidade de energia já que existem centenas de milhões de equipamentos atualmente em uso e dezenas de milhões de novos equipamentos entram no mercado a cada ano. Um entendimento das características operacionais de um



sistema de refrigeração é fundamental para qualquer estudo de otimização energética, não para prever somente seu desempenho, mas também para auxiliar a tomada de decisão durante o processo de desenvolvimento do produto.

A performance de um refrigerador pode ser avaliada por um dos seguintes métodos: i) cálculos simplificados baseados nas características dos componentes; ii) análise de componentes através pacotes comerciais de CFD (Dinâmica dos Fluidos Computacional); e iii) experimentos normalizados. Embora as duas primeiras técnicas desempenhem papel importante no projeto dos componentes, eles não fornecem informações suficientes sobre o comportamento do componente no sistema como um todo, que pode ser obtido unicamente através do teste do refrigerador em uma câmara de ensaios controlada (Gonçalves et al., 2009).

Neste sentido, o objetivo do presente trabalho é analisar as normalizações existentes no Brasil, referentes a ensaios em refrigeradores domésticos, e desenvolver a montagem de um aparato experimental para estudo termo-energético/performance de um refrigerador. Tal estudo é preliminar à realização dos ensaios de avaliação de fluidos refrigerantes, consumo de energia e análise termodinâmica do ciclo de refrigeração que serão descritos em continuidade a este trabalho.

2. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS DE ENSAIO NORMALIZADOS

A norma NBR 12863 (1993) padroniza a construção de câmaras utilizadas nos ensaios de refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico. Esta norma padroniza, também, os meios de controle das condições ambientais das câmaras. A câmara de ensaios consiste basicamente em uma câmara única com temperatura e umidade controladas, e instrumentação que possibilite medir os parâmetros funcionais do aparelho em ensaio. A câmara deve ser equipada com sistemas compensadores, como: aquecedores, refrigeradores, umidificadores e desumidificadores; capazes de manter constantes as condições ambientais.

O equipamento a ser ensaiado deve ser colocado ou protegido de forma que não receba irradiações diretas de equipamentos de aquecimento ou resfriamento presentes na câmara.

A temperatura ambiente deve-se manter constante dentro de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante os períodos de ensaio. A umidade relativa do ar deve ser controlada de acordo com as especificações de ensaio. Quando ela não for mencionada, deve estar entre 45% e 75%.

A norma NBR 12866 (1993) fixa as condições mínimas exigidas para os instrumentos de medição utilizados nos ensaios de refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico. Esta norma especifica as tolerâncias e exatidão dos instrumentos para as leituras aplicadas aos instrumentos. A norma especifica que a temperatura interna dos compartimentos do congelador e do refrigerador deve ser medida com sensores que devem estar inseridos em cilindros de cobre ou latão estanhado.

Os sensores para medição de temperatura podem ser do tipo J ou T, com bitola de $0,20\text{ mm}^2$. Os instrumentos para medição de temperatura devem ter exatidão de $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$. Os instrumentos para medição de umidade relativa deve ter exatidão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Os instrumentos para medição de tensão, corrente e potência devem ter exatidão de $\pm 0,5\%$ do valor medido. O instrumento para medição de pressão deve ter exatidão de $0,1\text{ kPa}$.

A norma NBR 12867 (1993) padroniza a localização de sensores em todos os ensaios de refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico, na medição de temperatura. O sensor deve ser posicionado em diversos pontos ao longo do equipamento de acordo com os arranjos internos dos compartimentos de cada equipamento. O sensor deve ser mantido afastado de qualquer superfície, permitindo-se uma aproximação máxima de 25 mm .

A norma NBR 12868 (1993) prescreve o método utilizado para determinar, sem carga térmica (pacotes de ensaio), a corrente e potência absorvidas, o desempenho e as condições de funcionamento do aparelho, ao abaixar a temperatura interna, quando submetido a condições específicas de temperatura ambiente. A aparelhagem a ser utilizada na execução do ensaio é a seguinte: câmara de ensaios, instrumentos de medição de temperatura, instrumentos de medição de corrente e potência, sensores de temperatura e cronômetro.



O aparelho deve ser sofrer amaciamento de, no mínimo, 24 h, antes do ensaio e em condições normais de uso, sem carga térmica (pacotes de ensaio) e na temperatura ambiente. O aparelho deve ser preparado com todos os seus cestos, prateleiras e acessórios, conforme manual do fabricante, sendo os sensores posicionados conforme a NBR 12867 (1993).

Os sistemas complementares do aparelho (termostato, temporizador de degelo automático e outros), com exceção do protetor térmico do compressor, devem ser desligados para assegurar a continuidade de operação da unidade. O aparelho deve ser posicionado no interior da câmara de ensaios conforme a NBR 12863 (1993). O aparelho deve permanecer desligado, com todas as portas abertas, durante um período de tempo não inferior a 16 h, para que todos os seus componentes entrem em equilíbrio térmico com o ambiente da câmara de ensaio.

As portas do aparelho devem ser fechadas e a unidade acionada simultaneamente com o cronômetro para a contagem do tempo de funcionamento. O aparelho deve continuar operando até que as condições de regime estabilizado sejam alcançadas. Este período de funcionamento normalmente é atingido em 8 h de operação, porém, neste estudo utilizou-se um tempo total de operação de 3 h. Durante o período de ensaio os resultados devem ser registrados até a conclusão do ensaio. O tempo de abaixamento de temperatura é definido como o tempo necessário para reduzir a temperatura do compartimento do freezer da ambiente até a condição final desejada de temperatura (-12°C) de acordo com a norma ISO 8187 (1991).

Os dados e valores que devem ser relatados são os seguintes: data de ensaio, características do aparelho, tensão e frequência de ensaio, temperatura ambiente de ensaio, corrente absorvida, potência absorvida, gráfico de temperatura interna x tempo de ensaio, conclusão.

A norma NBR 12869 (1993) prescreve o método a ser utilizado para verificar, sem carga térmica (pacotes de ensaio), as características de funcionamento da unidade de refrigeração em função da adequação do termostato, o percentual de tempo de funcionamento do compressor, a corrente e a potência absorvidas, quando o aparelho é submetido a condições específicas de temperatura ambiente. A aparelhagem a ser utilizada na execução do ensaio é a seguinte: câmara de ensaios, instrumentos de medição de temperatura, sensores de temperatura, cronômetro, instrumentos de medição de grandezas elétricas.

Para a execução do ensaio o aparelho deve ser preparado com todos os seus cestos, prateleiras e acessórios, conforme manual do fabricante. Devido à diversificação dos dispositivos de controle, os casos a seguir devem ser considerados:

- se o termostato é de posição fixa, este deve ser ensaiado nesta condição;
- se o termostato é do tipo ajustável pelo usuário, este deve ser ensaiado nas posições “frio máximo”, “médio” e “mais quente”;
- nos aparelhos com sistema interno de circulação de ar, o ensaio deve ser conduzido com os difusores de ar posicionados em “mínimo”, “médio” e “máximo”.

Durante o ensaio, o aparelho deve permanecer com as portas fechadas e operar até que as condições de regime estabilizado tenham sido atingidas, antes de se realizarem as leituras e os registros. Todos os valores a serem medidos devem ser registrados em: dois ou mais ciclos completos e, no mínimo, 3 h.

A porcentagem de funcionamento é calculada pela Eq.(1):

$$P = \frac{d}{D} \times 100 \quad (1)$$

Onde P = porcentagem do tempo de funcionamento, d = duração da operação do sistema de refrigeração durante um completo número de ciclos (ligado) (min), D = duração total dos ciclos (ligado e desligado) (min).

A determinação do número de ciclos por hora é calculada pela Eq.(2):

$$C = \frac{60 \times n}{D} \quad (2)$$

Onde C = número de ciclos por hora, n = número de ciclos completos ocorridos durante o período de observação, D = duração total dos ciclos (ligado e desligado) (min).

A diferença nas normas de ensaio e procedimentos se tornam cada vez mais uma barreira significativa ao comércio de refrigeradores entre as diferentes economias do mundo. Resultados de consumo de energia podem diferir significativamente entre padrões de ensaio para um mesmo refrigerador. Isto ocorre devido às diferentes temperaturas ambientais e umidade relativa, temperaturas dos compartimentos internos, requisitos operacionais e de abertura de portas para uma condição de ensaio (Bansal, 2003).

É difícil comparar a eficiência energética de diferentes modelos de refrigeradores/freezers devido a grau variado de utilização destes. Fabricantes de refrigeradores realizam ensaios de consumo de energia em uma amostra aleatória de seu montante e exibe o consumo de energia mensal/anual na etiqueta. O procedimento de ensaio para verificar o consumo de energia nestas etiquetas depende do padrão de ensaio relevante para o país onde os aparelhos são comercializados. No entanto, o consumo de energia indicado na etiqueta do refrigerador difere, em campo, de 25% ou mais (Bansal, 2002).

Como exemplo de discrepância, podem-se citar as normas dominantes no Japão, do Japanese Industrial Standards (JIS), onde são as únicas que preveem o requisito de abertura de portas dos compartimentos durante os ensaios.

As normas brasileiras são baseadas em normas da ISO e ANSI, ou seja, desenvolvidas para as condições ambientais americanas.

3. APARATO EXPERIMENTAL

As atividades experimentais foram realizadas em um equipamento de refrigeração representativo da classe refrigerador doméstico, como mostra a Figura 1. Trata-se de um refrigerador de degelo manual com 219 litros de capacidade projetado para operar com R134a (75 g). Controle por termostato ajustável de sete posições. Evaporador do tipo placas conformadas (*roll-bond*) com convecção natural. Condensador do tipo arame sobre tubos de convecção natural. Compressor do tipo alternativo hermético LST (baixo torque de partida). Os componentes mecânicos do sistema de refrigeração (compressor, condensador, dispositivo de expansão e evaporador) não sofreram alterações, com a finalidade de utilizar o equipamento para avaliar sua performance operando com mistura de hidrocarbonetos dentro da estratégia de *drop-in*.



Figura 1 – Refrigerador doméstico de 219 L e compressor hermético utilizado.

Durante o funcionamento do refrigerador, o compressor succiona o fluido refrigerante do evaporador, reduzindo a pressão nesse componente. O fluido é comprimido pelo compressor e segue para o condensador. No condensador, o fluido refrigerante em alta pressão libera o calor para ambiente e se torna líquido. O próximo componente do circuito é o elemento de controle, que pode ser um tubo capilar ou uma válvula de expansão. O elemento de controle reduz a pressão do refrigerante líquido que foi formado no condensador. Essa redução de pressão permite a evaporação do refrigerante, que volta ao estado gasoso ao passar pelo evaporador.

O sistema de refrigeração usa ainda um filtro secador com dessecante para reter, caso houver, umidade residual existente no sistema. Há sistemas, finalmente, que utilizam um acumulador de sucção para evaporar restos de refrigerante líquido, evitando seu retorno pela linha de sucção. No caso de refrigeradores domésticos, o acumulador se encontra no final do evaporador, internamente ao gabinete.

3.1. Sistemas de Medição

A partir da metodologia proposta nas normas brasileiras e internacionais referentes a métodos de ensaio de refrigeradores, propõe-se a seguinte estrutura básica dos sistemas de medição, apresentada na Figura 2.

A medição, aquisição e registro das temperaturas são realizados com o auxílio de um sistema de aquisição de dados *NI-DAQmx* da marca *National Instruments*. Sua configuração é feita através do *software VI Logger*. Neste estudo foi adotada uma placa de aquisição modelo NI 9211, a placa de aquisição é montada sobre um chassi NI cDAQ – 9172 que pode armazenar até oito placas. A Figura 3 apresenta o sistema de aquisição de dados de temperatura montado.

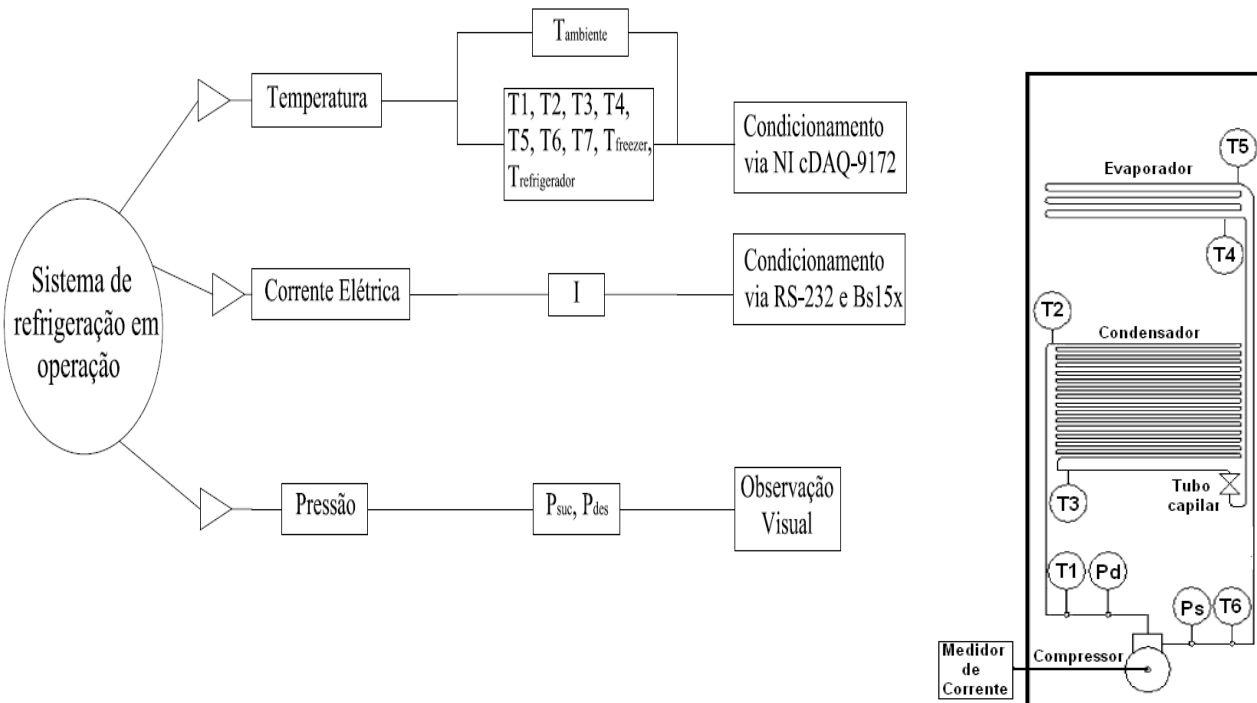


Figura 2 – Representação dos sistemas de medição utilizados no refrigerador e localização dos pontos de medição de temperatura e pressão.

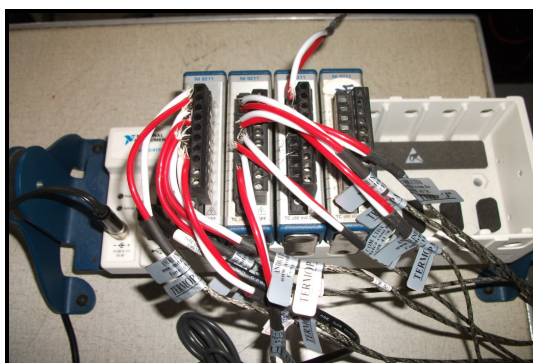


Figura 3 - Sistema de aquisição de dados montado com os termopares.

Todas as medições de temperatura realizadas com o sistema de refrigeração em operação utilizam termopares de ferro-constantan (Tipo J) de acordo com a norma NBR 12866 (1993). Foram utilizados termopares da TEMPAPAR com cabo flexível de 2 metros de comprimento. Ao longo dos pontos estratégicos do circuito de refrigeração, conforme figura 2, as juntas de medição foram fixadas sobre a superfície da tubulação. Nas medições de temperatura do ar no compartimento do freezer e do refrigerador não se utilizaram massas de cobre nos termopares conforme recomendado pela norma NBR 12866 (1993), já que as juntas dos termopares já apresentavam massa metálica envolvendo as mesmas.

A temperatura no compartimento do freezer foi obtida mediante colocação de termopar no centro do compartimento, situado à metade da altura do mesmo. A temperatura do compartimento do refrigerador foi obtida através da colocação de termopar a 1/3 da altura total deste compartimento, de acordo com Kim et al. (1998).

As medições de temperatura ao longo do circuito frigorígeno (6 pontos), nos compartimentos do refrigerador doméstico (2 pontos) e a temperatura ambiente (1 ponto) foram gravadas mediante a utilização do sistema de aquisição de dados juntamente com o *software VI Logger* da *National Instruments*, ver figura 2. A taxa de aquisição de dados utilizada foi de 1 (um) ponto de temperatura a cada minuto, durante o tempo previsto para os ensaios.

Os valores de pressão (sucção e descarga do compressor) foram obtidos mediante observação visual no *display* do *manifold* digital MasterCool com resolução de 1PSI, os dados foram adquiridos manualmente (mediante observação visual no *display*) numa taxa de 1 (um) valor por minuto, durante o tempo previsto para os ensaios. A Figura 4 apresenta o manifold digital utilizado.



Figura 4 - Manômetros digitais.

A carga do fluido refrigerante necessária à operação e avaliação do refrigerador são aplicadas gradualmente utilizando a balança digital de precisão 98210-A *Accu Charge II Electronic Refrigerant Scale* da MasterCool. De modo a programar a quantidade exata de gás refrigerante a ser introduzida no refrigerador utiliza-se um módulo de carga programável da MasterCool. O módulo de carga é conectado à balança digital 98210-A *Accu Charge II* mediante cabo USB. Este equipamento permite o

controle exato da quantidade de fluido refrigerante adicionado ao sistema de refrigeração. O aparelho pode ser utilizado para qualquer fluido refrigerante. A Figura 5 apresenta o aparato para realização da carga de fluido refrigerante utilizando o sistema solenóide (módulo de carga) automático.

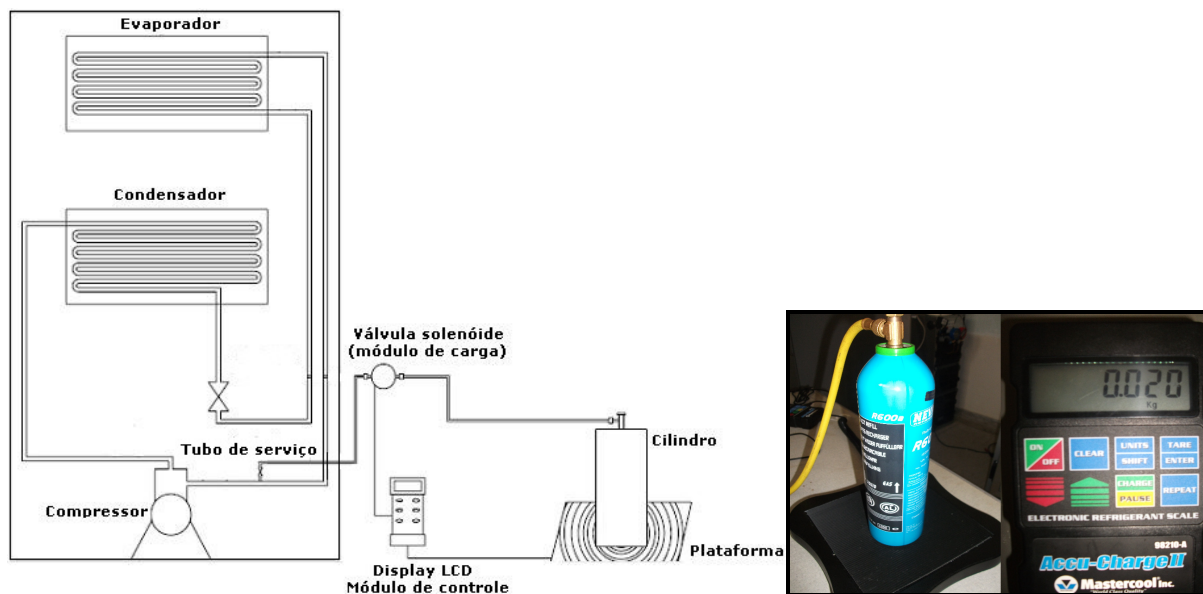


Figura 5 – a) Esquema do aparato utilizado nos processos de carga de fluido refrigerante e b) Exemplo de realização de carga de refrigerante de 20 g.

Para as medições da corrente elétrica consumida pelo motor de acionamento do compressor hermético foi empregado um medidor de potência (wattímetro) Minipa modelo ET-4090. Foi utilizada a interface RS-232 do wattímetro para conexão ao computador e permitir a gravação dos dados medidos mediante utilização do software *Bs15x* fornecido pelo fabricante do equipamento. Os valores de corrente elétrica indicados pelo wattímetro foram adquiridos a uma taxa de 1 (um) valor por minuto. Durante a realização das medições de corrente elétrica o fio fase do compressor (cor azul) é posicionado no interior da garra e alinhado com a seta de indicação marcada sobre a garra. Para evitar interferências na precisão das medidas, a garra deve ser localizada o mais distante possível de dispositivos adjacentes, como motores e fios condutores. A Figura 6 apresenta o wattímetro utilizado no aparato.

6. CONCLUSÕES

Em consonância com o objetivo do presente trabalho, que consistiu em analisar as normalizações existentes no Brasil, referentes a ensaios em refrigeradores domésticos, e desenvolver a montagem de um aparato experimental para estudo termo-energético/performance de um refrigerador, foi desenvolvido um aparato experimental capaz de realizar o mapeamento termodinâmico do ciclo de refrigeração e mensurar a variável de corrente elétrica consumida pelo compressor do sistema. O aparato atende às solicitações das normas quanto aos resultados que devem ser apresentados em cada ensaio (abaixamento de temperatura e ciclagem), ou seja, diagramas de potência/corrente elétrica consumida, variação de temperaturas nos diversos pontos do sistema e nos compartimentos do refrigerador. Tal aparato experimental será utilizado no desenvolvimento da segunda parte deste projeto, que consiste nos ensaios de abaixamento de temperatura e ciclagem do refrigerador utilizando R134a e R290/R600a (50:50), com o objetivo de comparar a performance destes fluidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação do IFRN pela concessão de bolsa de pesquisador e suporte financeiro para o desenvolvimento do projeto.



REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12869**: Refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico - Operação em regime sem carga (Ciclagem). 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12866**: Refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico – Instrumentos de medição. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12867**: Refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico - Localização de sensores – Padronização. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12863**: Câmaras de ensaios para refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico - Construção e controle - Padronização. 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12868**: Refrigeradores, congeladores, combinados e aparelhos similares de uso doméstico - Determinação do abaixamento de temperatura - Método de ensaio. 1993.
- INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION. **ISO 8187**: Household Refrigerating Appliances – Refrigerator-freezers – Characteristics and test methods. 1991.
- BANSAL, P.K. **Impact of different parameters on the energy consumption of household refrigerators**. ASHRAE Transactions 2002;108(1).
- BANSAL, P.K. **Developing new test procedures for domestic refrigerators: hamonisation issues and future R&D needs – a review**. International Journal of Refrigeration 26 (2003), 735-748.
- KIM, M.H., LIM, B.H., CHU, E.S. **The performance analysis of a hydrocarbon refrigerante R-600a in a household refrigerator/freezer**. KSME International Journal, Vol.12, No.4, pp-753-760. 1998.
- MACLAINE-CROSS, I.L. **Why hydrocarbons save energy**. AIRAH Journal 51, pp. 33- 37. 1997.
- MELO, C.A., JANNUZZI, G.M. **O estoque de refrigeradores no Brasil: diferenças e semelhanças regionais por faixas de renda**. Espaço Energia, Número 08, Abril 2008, ISSN: 1807-8575.
- MOHANRAJ, M., JAYARAJ, S., MURALEEDHARAM, C. **Improved energy efficiency for HFC134a domestic refrigerator retrofitted with hydrocarbon mixture (HC290/HC600a) as drop-in substitute**. Energy for Sustainable Development Volume XI, No.4, December 2007.
- WONGWISES, S., CHIMRES, N., 2005. **Experimental Study of Hydrocarbon Mixtures to Replace HFC-134a in a Domestic Refrigerator**. Energy Conversion and Management, Vol.46, pp 85-100.