

# Análise dos refrigeradores e freezers utilizados no Brasil e de novas tecnologias que possam aumentar sua eficiência energética

## *Technical analysis of refrigerators and freezers currently used in Brazil and new technologies that could increase their energetic efficiency*

Mário Henrique da Fonseca Oliveira<sup>1</sup> - Univ. de São Paulo - Escola de Eng. de São Carlos - Dep. de Eng. de Produção  
Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto<sup>2</sup> - Univ. de São Paulo - Escola de Eng. de São Carlos - Dep. de Eng. de Prod.  
Bruno Dantas Yamashita<sup>3</sup> - Univ. de São Paulo - Escola de Eng. de São Carlos - Dep. de Eng. de Produção

**RESUMO** Nos últimos vinte anos o Brasil vive um processo de desenvolvimento econômico, o que resulta em um significativo aumento na demanda por energia no país. Dentre os eletrodomésticos de maior impacto no consumo de energia elétrica residencial, os refrigeradores e freezers destacam-se por mais de 30%. Embora esses produtos tenham bastante impacto no consumo de energia elétrica, desde 2006 nenhuma atualização foi realizada em seus índices de eficiência energética compulsórios. Desta forma, este artigo discute o conceito tecnológico dos refrigeradores e freezers atualmente utilizados no país e analisa a viabilidade do uso de novas tecnologias para aumento de sua eficiência energética. Os resultados encontrados mostram que existe desenvolvimento tecnológico e condições financeiras para melhoria de eficiência desses produtos em curto prazo. Assim, cabe aos órgãos reguladores e ao governo federal mecanismos para promover sua utilização.

**Palavras-chave** Refrigeradores. Eficiência Energética. Eletricidade.

**ABSTRACT** *Over the last twenty years, Brazil has been going through a process of economic development, resulting in a significantly increased demand for energy. Among the appliances with the greatest impact on household electricity consumption, refrigerators and freezers account for more than 30% of consumption. Despite their considerable impact on national electricity consumption, there has been no update aimed at increasing the energy efficiency of these products since 2006. Thus, the main objective of this article is to discuss the technological concept of the refrigerators and freezers currently sold in Brazil, analyzing the feasibility of using new technologies to increase their efficiency. The results showed that the technological developments and financial conditions needed to improve the energetic efficiency of these products in the short term do exist. Thus, it is up to regulatory bodies and the federal government to promote the use of efficient solutions.*

**Keywords** *Refrigerators. Energy-Efficiency. Electricity.*

1. Rua José Mariutti Sepe, 300, Jardim Cardinali, CEP 13569-570, São Carlos, São Paulo, mariohfo@hotmail.com

2. daisy@sc.usp.br

3. bruno.dantas.yamashita@gmail.com

OLIVEIRA, M. H. F.; REBELATTO, D. A. N.; YAMASHITA, B. D. Análise dos refrigeradores e freezers utilizados no Brasil e de novas tecnologias que possam aumentar sua eficiência energética. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 11, nº 3, jul-set/2016, p. 173-189.

DOI: 10.15675/gepros.v11i3.1484

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos o Brasil vive um processo de desenvolvimento econômico, contribuindo para maior inclusão social e aumento do poder aquisitivo da população, resultando em um significativo aumento na demanda por energia no país.

Em 1990, o consumo de energia elétrica no setor residencial foi de 48.666 GWh, já em 2012 o valor consumido foi de 117.646 GWh, representando uma variação relativa de 142% (THE WORLD BANK, 2013). Um aumento substancialmente maior que o crescimento populacional de 34% no mesmo período (UNITED NATIONS, 2012). A grande maioria da energia elétrica consumida no Brasil é gerada por usinas hidroelétricas, entretanto a demanda excessiva, altas temperaturas e os períodos de estiagem prologandas desde de o final de 2012 e intensificados em 2013 vem colocadno em risco o abastecimento nacional, aumentando o uso de termoelétricas para geração adicional de energia, trazendo à tona a discussões sobre um possível racionamento e aumento dos custos de geração (BOADLE, 2013).

Dentre os eletrodomésticos de maior impacto no consumo de energia elétrica residencial no país, os refrigeradores e freezers destacam-se por mais de 30% deste consumo (GHI-SI; GOSH; LAMBERTS, 2007; VENDRUSCULO et al. 2007; CARDOSO; NOGUEIRA; HADDAD, 2010).

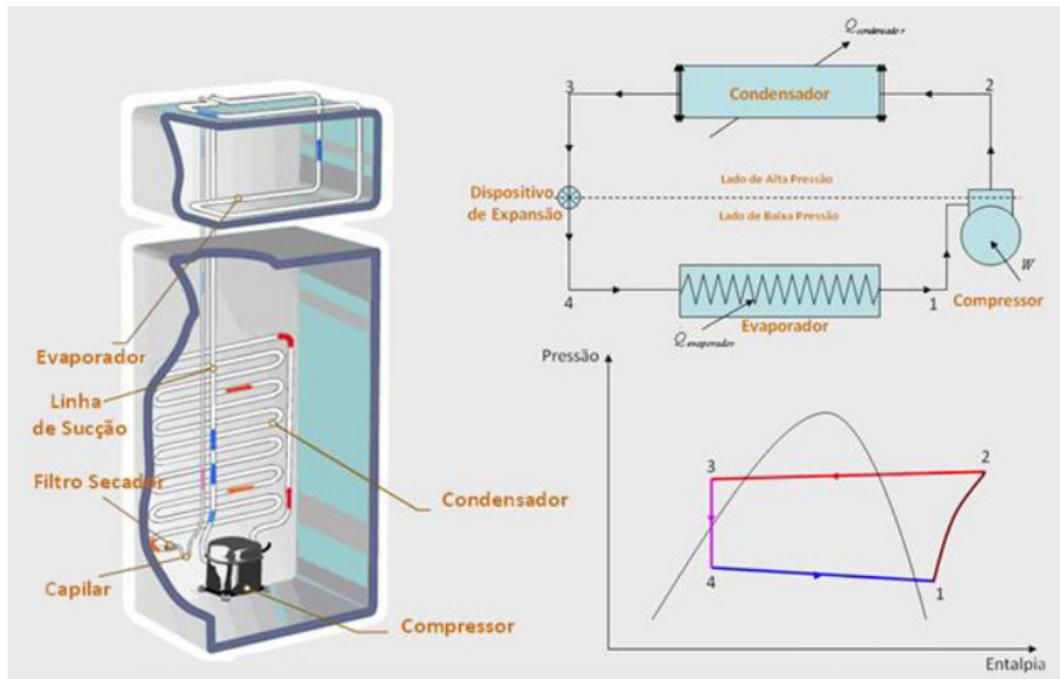
No Brasil, a regulamentação da eficiência energética de refrigeradores e freezers e sua etiquetagem são determinadas pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), conduzido Ministério de Minas Energia (MME), Eletrobrás e Inmetro. Embora a eficiência de refrigeradores e freezers tenham bastante impacto no consumo de energia elétrica nacional, desde 2006 nenhuma atualização foi realizada nos índices de eficiência energética dos produtos comercializados (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2005), o que sugere defasagem frente a outras tecnologias disponíveis ao redor do mundo.

Neste cenário, o objetivo principal deste artigo é discutir o conceito tecnológico dos refrigeradores e freezers atualmente utilizados no Brasil e verificar a viabilidade de utilização de novas tecnologias para aumento de sua eficiência.

## 2. REFRIGERADORES E FREEZERS

Os refrigeradores e freezers encontrados no mercado mundial seguem, em geral, o conceito de ciclo padrão de compressão a vapor. Houve melhorias nos componentes dos produtos atuais, no entanto sua concepção termodinâmica é bastante similar aos fabricados no início do século XX (NAGENGAST, 2004). O fenômeno da refrigeração é resultante de transformações físicas sofridas por um fluido refrigerante durante seu percurso em um sistema fechado. Tal sistema é composto basicamente por um compressor, um evaporador e um mecanismo de expansão (tubo capilar), conforme exposto pela Figura 1.

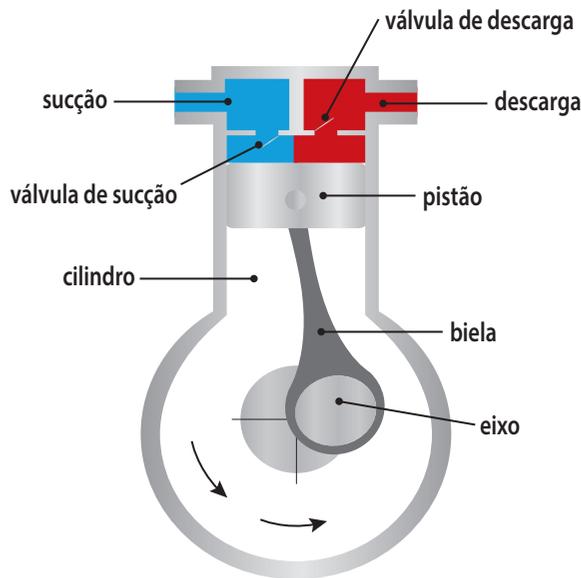
Figura 1 – Representação de um sistema de refrigeração doméstico.



Fonte: Própria.

- a) Compressor: responsável por succionar o fluido refrigerante que retorna do evaporador e comprimi-lo por meio de uma bomba mecânica. Esse processo faz com que o refrigerante eleve acentuadamente suas pressões e temperaturas, chegando ao estado de vapor superaquecido (DINÇER, 2003). O trabalho ( $W$ ) necessário para o fenômeno de compressão nos refrigeradores domésticos advém de um motor elétrico acoplado à bomba mecânica. A Figura 2 apresenta o mecanismo de compressão de um compressor recíproco.

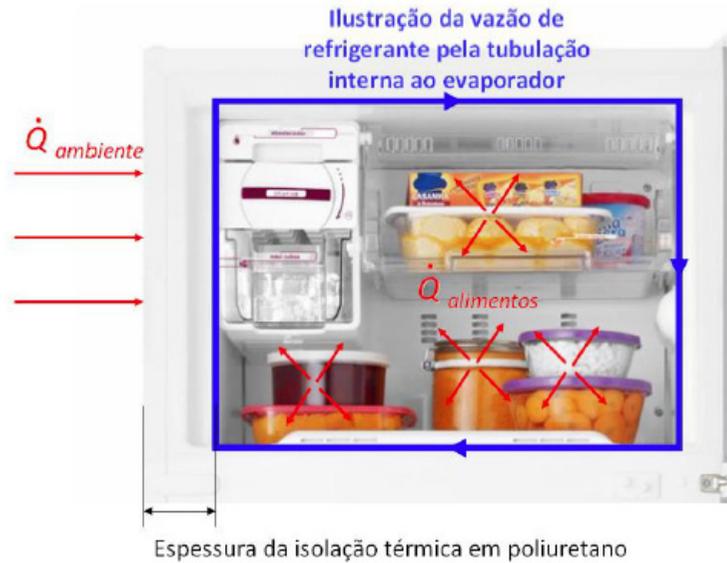
Figura 2 – Representação de um mecanismo de compressor recíproco.



Fonte: Autoria própria.

- b) Condensador: nele o fluido refrigerante em alta pressão e temperatura, proveniente do compressor, realiza trocas térmicas com o meio externo ( $Q_{\text{condensador}}$ ), transformando-se gradualmente em líquido; contudo mantém-se em alta pressão e temperatura. Nos refrigeradores os condensadores são constituídos de tubos aramados na coloração preta.
- c) Válvula de expansão ou capilar: restringe a passagem de fluido refrigerante pelo sistema, fazendo com que sua vazão seja reduzida drasticamente. Esse processo faz com que sua pressão e temperatura também sejam bastante reduzidas. Nos refrigeradores a temperatura de evaporação é por volta de  $-23,3^{\circ}\text{C}$  (DINÇER, 2003).
- d) Evaporador: recebe o fluido refrigerante do capilar e inicia-se um processo de evaporação; por meio da absorção do calor presente na superfície da tubulação, o refrigerante obtém energia para sua evaporação. A fonte de calor ( $Q_{\text{evaporador}}$ ) nos refrigeradores domésticos são os alimentos e demais tipos de cargas térmicas a serem resfriadas ou congeladas ( $Q_{\text{alimentos}}$ ), e também, o próprio calor ambiente ( $Q_{\text{ambiente}}$ ), que tende a vencer ao longo tempo o isolamento térmico do refrigerador. A Figura 3 ilustra este processo.

Figura 3 – Ilustração da troca térmica em um evaporador.



Fonte: Autoria própria.

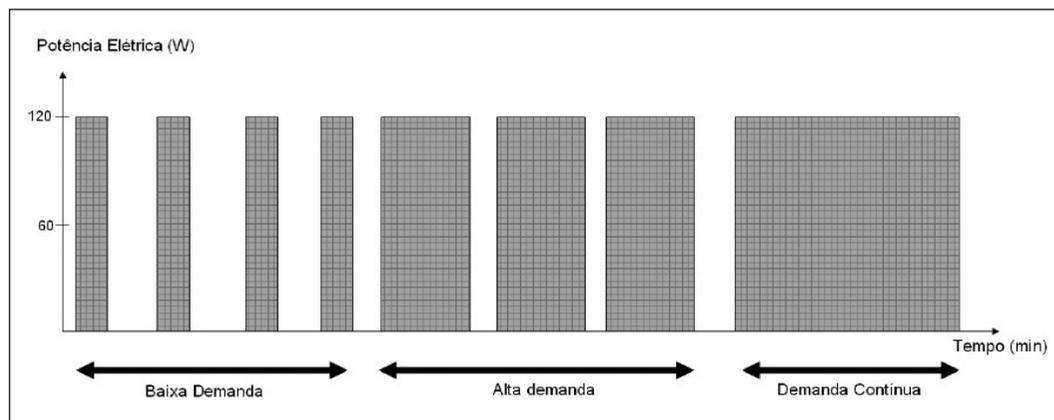
- e) Fluidos refrigerantes: são as substâncias empregadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração. Além de propriedades termodinâmicas adequadas não devem ser tóxicos ou trazarem impactos ao meio ambiente. Rowland e Molina (1975) mostraram que o fluido refrigerante largamente utilizado nos sistemas de refrigeração, o CFC-12 (da família dos cloro-fluor-carbonos), possuía altíssimo índice de depreciação da camada de ozônio, o que fez com que fosse descontinuado na década de 90, embora seus efeitos ainda sejam sentidos (KANG et al. 2011). No Brasil, o fluido mais utilizado em refrigeradores domésticos é o HFC-134a, apesar de sua contribuição na degradação da camada de ozônio ser quase nula, sua contribuição ao efeito aquecimento global é significativa (TEIXEIRA; PIMENTA, 2004).

### 3. NOVAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA NO BRASIL

#### 3.1. Os compressores com velocidade de refrigeração variável

O compressor é responsável por fornecer trabalho ao fluido refrigerante, entretanto, seu funcionamento não é contínuo; existe, no interior dos refrigeradores, termostatos ou sensores eletrônicos (ajustáveis) que controlam seu período ligado e desligado em função da temperatura interna no produto. Muitos são os fatores que afetam o consumo de energia de um refrigerador, entre eles a eficiência do compressor (capacidade de refrigeração em função de seu consumo), o fluido refrigerante utilizado e sua isolamento térmica (à medida que o material é mais isolante, menor é a troca de calor entre o gabinete e o meio externo, fazendo com que o produto fique frio por mais tempo; não sendo necessário o funcionamento do compressor) (DINÇER, 2003). A Figura 4 exemplifica o consumo de energia em um refrigerador.

Figura 4 – Ilustração do consumo elétrico em um refrigerador.



Fonte: Autoria própria.

No período de Baixa Demanda, o refrigerador provavelmente não sofre com muitas aberturas de suas portas para uso, o que propicia menor entrada de calor externo ao seu interior. Assim, o compressor fica em funcionamento por menos tempo, em ciclos espaçados, caracterizando menor consumo de energia.

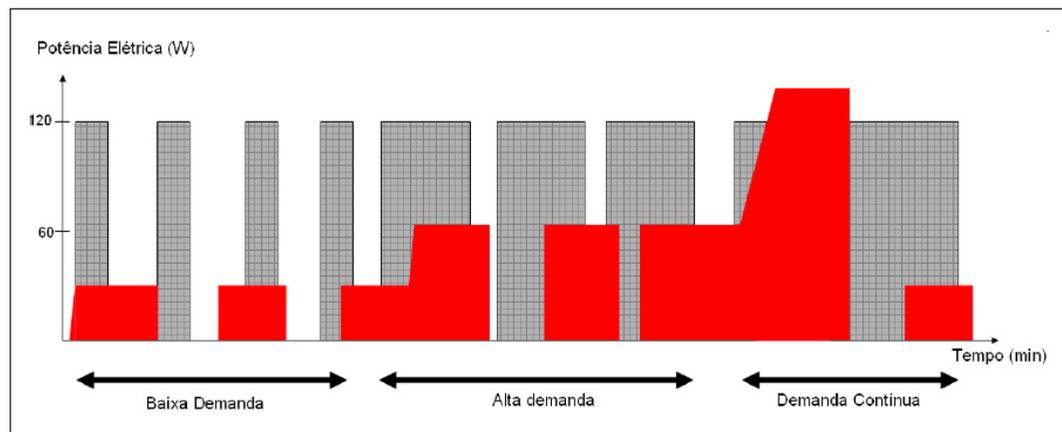
Na Alta Demanda, quando o refrigerador é utilizado mais vezes ocorre, também, uma maior quantidade de carga térmica (alimentos, sucos, refrigerantes, etc.). Observa-se, que o sistema necessita maior tempo de funcionamento para suprir a demanda de calor. No período de Demanda Contínua entende-se, por exemplo, que uma grande quantidade térmica foi inserida no produto, fazendo com que sistema tenha que funcionar continuamente.

O sistema de refrigeração da Figura 4 ilustra o uso de um compressor recíproco com rotação constante; em países como o Brasil, onde a frequência da energia gerada é 60Hz, os compressores funcionam em uma rotação próxima a 3600 RPM. A cada rotação do compressor, o pistão compressor (Figura 3) emite o refrigerante comprimido para os demais componentes do sistema. Desta maneira, a capacidade do compressor é fixa: ou ele está desligado, ou está ligado em sua rotação nominal. Desta forma, o sistema acaba sendo projetado para atender a máxima carga térmica necessária, já que o compressor estará ligado (capacidade máxima) ou desligado (não há bombeamento de fluido refrigerante pelo o sistema).

Ao longo dos anos, percebeu-se que o uso de compressores que pudessem variar sua velocidade de rotação em função da carga térmica exigida pelo sistema poderiam economizar energia. O primeiro conceito deste tipo surgiu na Universidade de Purdue nos Estados Unidos; Cohen et al. (1974) estimaram que uma economia entre 28% a 35% poderia ser obtida pela utilização de compressores que pudessem variar sua capacidade frigorífica. Lida et al. (1982) utilizaram compressores de capacidade variável em bombas de calor, obtendo redução no consumo energético em até 26%, quando comparados a um compressor convencional. Os resultados positivos fizeram com que este tipo de tecnologia evoluísse ao longo dos anos, fazendo com que a partir da segunda metade da última década este conceito fosse bastante aplicado em refrigeradores e freezers de alta eficiência, principalmente no Japão, Europa, Estados Unidos e Canadá (DONLON et al. 2002; MARCINICHEN et al., 2008).

A Figura 5 ilustra em vermelho o consumo de energia de um sistema aplicado com um compressor recíproco de velocidade variável. A rotação do compressor se adequa à necessidade do sistema: em períodos de Baixa Demanda, a velocidade de rotação baixa e, à medida que a demanda por frio se eleva, a velocidade de rotação aumenta, propiciando maior vazão de fluido refrigerante.

Figura 5 – Ilustração do funcionamento de um compressor de velocidade variável.



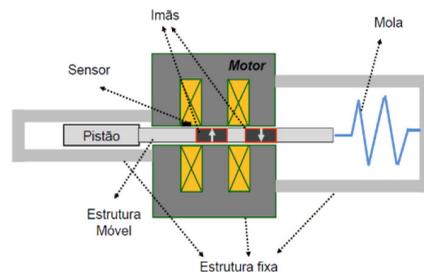
Fonte: MAASS, (2011).

Em termos mecânicos, o conceito de um compressor de velocidade variável é similar ao de um compressor comum. Já quanto ao motor elétrico (que movimenta o *kit* mecânico), existem diferenças consideráveis: os compressores comuns apresentam motores de indução monofásicos que têm alimentação em corrente alternada (AC), fazendo com que sua rotação seja dependente da frequência da geração da rede elétrica; já os compressores de velocidade variável funcionam em corrente contínua (DC), fazendo com que sua rotação seja associada à variação de frequência solicitada por uma placa eletrônica de controle. Percebe-se que este tipo de equipamento necessita de sinais digitais e recurso eletrônico para o funcionamento. Assim, deve se utilizar na alimentação um inversor de frequência para que seja possível alimentar o produto em AC e operá-lo em DC (HA, 2006).

### 3.2. Refrigeradores com compressores com tecnologia linear

Além dos compressores de velocidade variável, nos últimos anos tem se intensificado a pesquisa e uso de compressores lineares, que utilizam um motor elétrico mais simples e não tem a necessidade de uma biela para revolucionar o eixo e o pistão (LEE et al. 2008). A Figura 6 ilustra seu conceito.

Figura 6 – Ilustração um compressor linear.



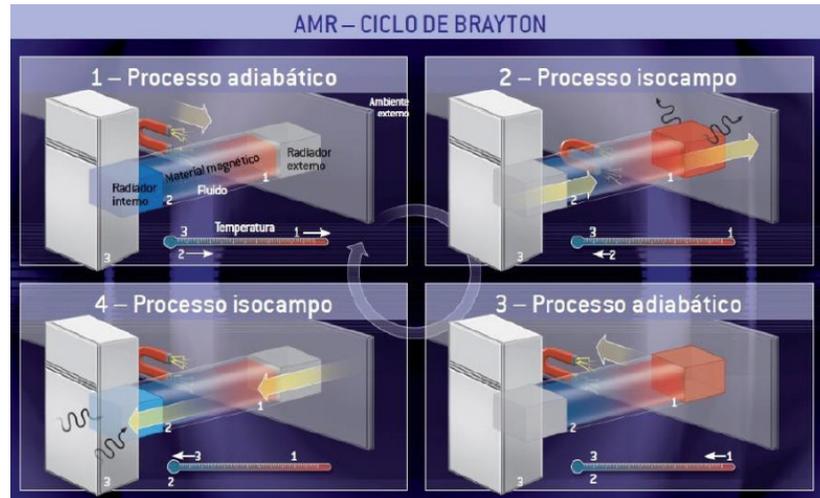
Fonte: MAASS,(2011).

A compressão do refrigerante também é feita por um pistão; no entanto, é a potência gerada pelo motor em “H” que faz com que o pistão se desloque contrapondo uma mola de retorno. À medida que o sistema necessita de maior capacidade térmica, a potência gerada no motor elétrico aumenta, vencendo a força da mola e gerando maior deslocamento. Em uma situação onde há necessidade de refrigeração menor, a potência gerada pelo motor também é menor, gerando menor compressão da mola e menor curso menor do pistão (BAILEY; DADD; STONE, 2011). Assim este tipo de sistema possui capacidade de refrigeração variável, que reduz o consumo de energia em mais de 30% comparada a compressores recíprocos (BROADHURST; ORR, 2010).

### 3.3. Refrigeradores baseados no efeito magneto calórico (EMC)

Em 1881 o físico alemão Emil Warburg percebeu que existiam certos tipos de ligas metálicas que, quando colocados sob a presença de campo magnético (no caso um ímã), ganhavam temperatura (REIS, 2005). O efeito de transmitir calor em função de ondas magnéticas tem sido estudado em várias áreas da engenharia, incluindo área da refrigeração doméstica. Um dos ciclos mais pesquisados é o ciclo de Brayton, descrito na Figura 7.

Figura 7 – Ilustração do Ciclo de Brayton.



Fonte: Reis, (2005).

No Processo Adiabático (1), o material magneto calórico é submetido a um campo magnético externo, que aumenta sua temperatura a um valor superior à temperatura ambiente. No Processo Isocampo (2), um fluido é direcionado ao material, fazendo com que o mesmo troque calor com o ambiente (radiador externo) enquanto o material magnético é resfriado, já que o fluido que advém do refrigerador está a uma temperatura menor do que o material. No Processo Adiabático (3), o campo magnético até então presente junto ao material magnético é retirado, fazendo com que ele perca temperatura. Desta forma, a extremidade esquerda do material tem sua temperatura reduzida a valores menores do que o radiador interno (ou interior do refrigerador). No Processo Isocampo (4), o fluido sai do radiador externo (à temperatura ambiente) em direção ao radiador interno (interior do refrigerador). Neste caminho o fluido cede calor ao material magnético, diminuindo sua temperatura a valores mais baixos que o volume a ser refrigerado. Com a entrada do fluido no radiador interno, ocorre troca de calor com a parte interna do refrigerador. O ciclo permanece em execução de modo que o efeito de refrigeração atenda à necessidade de frigorífica (EGOLF et al., 2007). Protótipos apresentaram consumo de 50% a 60% maior que produtos convencionais (KITANOVSKI et al., 2007).

Em 2010 a empresa inglesa Camfridge e o grupo Whirlpool anunciaram uma parceria no desenvolvimento de refrigeradores baseados no Efeito Magneto Calórico. Conforme informado à imprensa, esperava-se que durante os jogos olímpicos em Londres 2012, seriam apresentados protótipos funcionais desses produtos (PHYSORG, 2010; BARCZA, 2010) o que, no entanto, não se concretizou.

As limitações tecnológicas para a aplicação desta tecnologia em larga escala em refrigeradores domésticos se constituem em problemas de ciência dos materiais. Ainda não se conhece um composto magnético barato e bom condutor térmico que seja eficiente em uma grande faixa de temperatura ambiente (REIS, 2005; FERNANDES, 2007). Seu uso portanto não é considerado viável neste trabalho.

## 4. O CUSTO E A VIABILIDADE DAS NOVAS TECNOLOGIAS

Embora existam tecnologias para redução do consumo de energia, sua utilização em escala não se constitui em uma solução simples. Novas tecnologias muitas vezes estão em estágio desenvolvimento que dificultam sua utilização em grande quantidade, além disso, produtos mais eficientes podem estar associados a maiores custos.

Dentre as tecnologias apresentadas, os compressores recíprocos com velocidade variável são as mais factíveis de aplicação em larga escala em curto prazo, uma vez que alguns fabricantes no Brasil já produzem refrigeradores com este conceito para o mercado *high-end*. A Tabela 1 apresenta refrigeradores fabricados pelas empresas Panasonic e Whirlpool no Brasil. Na tabela são comparados produtos similares que diferem no conceito de velocidade variável. Esses são os únicos modelos comercializados no mercado nacional de velocidade variável que possuem similares comuns, o que permite a comparação de eficiência apenas pela mudança deste item de tecnologia.

Tabela 1 – Comparativo entre refrigeradores comuns e com compressores com velocidade variável.

Produtos	Especificação	Volume Refrigerador (L)	Volume Congelador (L)	Consumo de Eletricidade Mensal (kWh/mês)	Economia de Energia (%)
Panasonic NR-BT48PV1W (inverter)	Vel. Variável	333	102	39,0	18,8
Panasonic NR-BT46VB1W (on/off)	Comum	333	102	48,0	
Brastemp BRE51NB (inverter)	Vel. Variável	302	130	42,0	25,0
Brastemp BRE50NB (on/off)	Comum	302	130	56,0	

Fonte: Instituto nacional de metrologia, qualidade e tecnologia (2015).

A Tabela 2 apresenta o preço e impostos inerentes a estes produtos. A tributação nos refrigeradores e freezers é regida pela NCM 84182100 e NCM 84183000, respectivamente. Cada NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) indica a natureza dos produtos a tributação vigente (RECEITA FEDERAL, 2014). Nesses produtos os impostos obrigatórios são o PIS/Pasep, o Cofins e o IPI (tributos federais). Também é obrigatório o ICMS (tributo estadual).

Tabela 2 – Preço dos produtos e impostos inerentes.

Produtos	Preço médio sem impostos (R\$)	PIS/Pasep (1,65%) (R\$)	Cofins (7,60%) (R\$)	ICMS (12%) (R\$)	IPI (15%) (R\$)	Preço médio com impostos (R\$)
Panasonic NR-BT48PV1W (Velocidade Variável)	1.655,40	34,68	159,76	252,25	315,31	2.417,41
Panasonic NR-BT46VB1W (Comum)	1.356,81	28,43	130,94	206,75	258,44	1.981,37
Brastemp BRE51NB (Velocidade Variável)	1.713,21	35,90	165,34	261,06	326,33	2.501,83
Brastemp BRE50NB (Comum)	1.520,38	31,86	146,73	231,68	289,60	2.220,24

Fonte: Adaptado de Fast Shop (2014), Ricardo Eletro (2014), Wal-Mart (2014) e Ponto Frio (2014).

A Tabela 3 apresenta o custo médio da tecnologia de velocidade variável, que consiste na diferença de preços médio sem impostos entre os produtos de velocidade variável e os produtos comuns.

Tabela 3 – Custo médio da tecnologia de velocidade variável.

Produtos	Especificação	Preço Médio sem Impostos (R\$)	Diferença (R\$)
Panasonic NR-BT48PV1W (inverter)	Capacidade Variável	1.655,40	298,58
Panasonic NR-BT46VB1W (on/off)	Comum	1.356,81	
Brastemp BRE51NB (inverter)	Capacidade Variável	1.713,21	192,83
Brastemp BRE50NB (on/off)	Comum	1.520,38	
Custo Médio da Tecnologia			245,71

Fonte: Autoria própria.

Observa-se comparando as Tabelas 2 e 3 que o valor do IPI por si só é maior que o custo da tecnologia de velocidade variável. Nos produtos Panasonic, a diferença de preços entre o produto comum e equipado com velocidade variável é de R\$ 298,58, enquanto o IPI sobre o produto de velocidade variável é R\$ 315,31. O mesmo ocorre com o refrigerador Whirlpool, cujo custo da tecnologia é de R\$ 192,83 e o valor o IPI para o produto de velocidade variável é R\$ 326,33.

Desta forma, entende-se que caso o governo federal deseje incentivar o uso de refrigeradores de alta eficiência no país, a simples isenção de IPI a esses produtos já os tornariam competitivos em termos de preço, guiando os consumidores a compra de produtos mais eficientes. Do outro lado, a isenção de IPI faria com que os fabricantes buscassem em seu portfólio uma gama maior de produtos mais eficientes para oferecer ao mercado. Na óptica governamental e da gestão energética, produtos mais eficientes nas residências diminuiriam a necessidade de investimentos em geração e distribuição de energia elétrica do país, embora a arrecadação de tributos também diminuísse em vista a isenção.

#### 4. TOTAL COST OF OWNERSHIP (TCO)

A comparação entre o custo da tecnologia é importante para mensurar a economia que sua utilização pode trazer. Entretanto, por se tratarem de tecnologias diferentes, é possível que os custos durante o ciclo de vida do produto, como por exemplo o de manutenção, apresentem valores diferentes ao longo dos anos.

Uma avaliação de TCO oferece idealmente uma indicação final que reflete não somente o custo de compra, mas de todos os aspectos no uso adicional e na manutenção do equipamento, do dispositivo, ou do sistema considerado (ELLRAM, 1993).

Considerando os refrigeradores, o custo que o proprietário terá ao longo dos anos refere-se a potenciais custos de manutenção e o custo pelo uso de energia elétrica para sua operação.

No que se refere aos custos de manutenção, os fabricantes não divulgam detalhes das potenciais falhas das tecnologias em discussão neste trabalho, tão pouco valores de reparo. Desta forma, uma alternativa é avaliar o tempo de garantia entre produtos. É comum que fabricantes meçam o tempo de falhas de seus produtos e organizem tais informações em forma de distribuições de probabilidade (MONTGOMERY; RUNGER, 2012).

Por exemplo, é comum que a quantidade de defeitos aumente em função do tempo de uso de um produto. Desta forma, os períodos de garantia normalmente são compreendidos no início do ciclo de vida desse produto, já que implica em menores probabilidades de dispêndios com garantia e reposição por parte dos fabricantes. Produtos que oferecem períodos de garantia longos geralmente referem-se a produtos de tecnologias com baixas probabilidades de falha, resultantes de confiabilidade de projetos e processos.

No caso dos refrigeradores avaliados (Tabela 1), o tempo de garantia é o mesmo para qualquer um deles: 12 meses (PANASONIC, 2015; BRASTEMP, 2015), o que sugere que o comportamento de suas falhas é similar.

Vale a ressalva que refrigeradores de Capacidade Variável de Refrigeração comercializados no Brasil das marcas Samsung e LG apresentam 10 anos de garantia em seus compressores (SAMSUNG, 2015; LG, 2015), o que sugere solidez dessa tecnologia. Esses produtos não foram considerados no trabalho já que não apresentam similares com compressores comuns, impedindo o comparativo.

No que tange o consumo de energia elétrica, os produtos com Capacidade Variável de Refrigeração trazem ao consumidor economia ao final do ciclo de vida. A Tabela 4 traz uma estimativa do consumo de eletricidade dos produtos em análise longo de dez anos, considerando o preço do kWh em R\$ 0,43611 para São Paulo (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2015). A taxa de desconto para os cálculos de valor presente considerada foi 11,77% a.a., referente ao IGP-M anualizado entre novembro de 2014 e novembro de 2015 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2015).

Tabela 4 – Economia da energia para o consumidor.

Produtos	Especificação	Consumo de Eletricidade Mensal (kWh/mês)	Consumo de Eletricidade em 10 anos (kWh/mês)	Valor presente do gasto em energia em 10 anos (R\$)	Economia em valor presente do gasto em energia em 10 anos (R\$)
Panasonic NR-BT48PV1W (inverter)	Vel. Variável	39,0	4680	1164,05	268,63
Panasonic NR-BT46VB1W (on/off)	Comum	48,0	5760	1432,68	
Brastemp BRE51NB (inverter)	Vel. Variável	42,0	5040	1253,59	417,86
Brastemp BRE50NB (on/off)	Comum	56,0	6720	1671,45	

Fonte: Autoria própria.

No que se refere ao TCO, acredita-se que os produtos em capacidade variável não apresentarão maiores custos de manutenção e ainda proporcionarão menores dispêndios referentes ao consumo de energia aos consumidores.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aumento de consumo de energia elétrica é preocupante uma vez que a expansão de sua geração compromete recursos ambientais e financeiros, desta forma, enfatizar a eficiência energética é uma solução de maior sustentabilidade a sociedade.

No que tange o consumo doméstico de eletricidade, o Brasil mostra-se pouca atuante na questão da eficiência energética em refrigeradores e freezers, produtos bastante impactantes. Existem diferentes tecnologias ao redor do mundo, como os refrigeradores e freezers aplicados com compressores recíprocos velocidade variável, compressores lineares e também conceitos baseados em refrigeração magnética. Cabe aos órgãos regulamentadores e o governo federal ter informações sobre essas alternativas e buscar mecanismos para sua utilização soluções eficientes no país.

Em curto prazo, os refrigeradores equipados com compressores de velocidade variável são soluções factíveis e podem ser utilizados em escala. Seu preço pode ser atrativo ao mercado caso o governo opte, por exemplo, pela redução de impostos a esses produtos.

Em tempos de escassez de recursos energéticos, o incentivo e uso de novas tecnologias é muito importante. Sugere-se trabalhos de pesquisa para que a utilização de compressores de velocidade variável seja viável financeiramente não somente pela isenção de impostos, mas por seu aumento de produtividade pela produção em escala. Outra sugestão de pesquisa é para utilização refrigeradores que funcionem a energia solar, diminuindo a demanda por energia elétrica.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas residenciais**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>>. Acesso em: dez. 2015.

BAILEY, P.; DADD, M.; STONE, R. Cool and straight: linear compressors for refrigeration. **The Institute of Refrigeration**. Lodon, 2011.

BARCZA, A.; GERCSI, Z.; KNIGHT, S.; SANDEMAN, K. G. Giant magnetoelastic coupling in a metallic helical metamagnet. **Physical Review Letters**, v.104, n.2, p. 247202, 2010.

2010.BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Calculadora do cidadão**. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAOPUBLICO/corrigirPorIndice.do?method=corrigirPorIndice>>. Acesso em: dez. 2015.

BOADLE, A. **Brazil's hot, dry summer may lead to energy rationing**. Brasília: Reuters, 2013. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/2013/01/07/us-brazil-energy-rationing-idUSBRE9060TL20130107>>. Acesso em out. 2013.

**BRASTEMP.** Disponível em: <<http://loja.brastemp.com.br/eletrodomesticos/geladeira---refrigerador>>. Acesso em: dez. 2015.

BROADHURST, S.; ORR, M. **FPA Stock Exchange Release ASX/NZX 16 September 2010.** Fisher & Paykel Appliances Holdings Limited, 2010.

CARDOSO, R. B.; NOGUEIRA, L. A. H.; H. J. Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil. **Applied Energy**, v. 87, n. 1, p. 28–37, 2010.

COHEN, R.; HAMILTON, J. F.; EARSON, J. T. Possible energy conservation through use of variable capacity compressors. *In: INTERNATIONAL COMPRESSOR ENGINEERING CONFERENCE*, Paper 97, West Lafayette, Estados Unidos, 1974. **Anais...** Purdue University, 1974.

DINÇER, I. **Refrigeration systems and applications.** John Wiley & Sons, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex. England, 2003.

DONLON, J.; ACHHAMMER, J.; IWAMOTO, H.; IWASAKI, M. Power modules for appliance motor control. **Industry Applications Magazine**, v. 8, n. 4, p. 26-34, 2002.

EGOLF, P. W.; KITANOVSKI, A.; VUARNOZ, D.; DIEBOLD, M.; BESSON, C. An introduction to magnetic refrigeration. *In: PROCEEDING OF THE 22TH INTERNATIONAL CONGRESS OF REFRIGERATION*, 22, Beijing, 2007. **Anais...** ICR 07-B1-1612, 2007.

ELLRAM, L. M. Total cost of ownership: Elements and implementation. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, v. 29, n.3, p. 3-11, 1993.

FAST SHOP. **Eletrodomésticos.** Disponível em: <[www.fastshop.com.br/loja/](http://www.fastshop.com.br/loja/)>. Acesso em: dez. 2015.

FERNANDES, N. A. D. **Aplicações do efeito magnetocalórico: design e automatização de dispositivos**, 2007, 47 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física) - Universidade de Aveiro, Portugal, 2007.

GHSI, E; GOSCH, S; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil. **Energy Policy**, v. 35, n. 8, p. 4107-4120, 2007.

HA, S. Intelligent HVAC system for better environment. *In: INTERNATIONAL REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING CONFERENCE*, 11, West Lafayette, Estados Unidos, 2006. **Anais...** 11th IRACC, 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa brasileiro de etiquetagem.** Refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores). Regulamento Específico para uso da Ence, 2005. Disponível em: <[www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/refrigeradores.doc](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtospbe/regulamentos/refrigeradores.doc)>. Acesso em: out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Programa brasileiro de etiquetagem**. Tabela de refrigeradores e freezers, 2015. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas.asp>>. Acesso em: out. 2015.

KANG, S. M.; POLVANI, L. M.; FYFE, J. C.; SIGMOND, M. Impact of polar ozone depletion on subtropical precipitation. *Science*, v. 332, n. 6032, p. 951-954, 2011.

KITANOVSKI, A.; VUARNOZ, D.; DIEBOLD, M.; GONIN, G.; EGOLF, P.W. Application of magnetic refrigeration and its assessment. *Journal of magnetism and magnetic materials*, v. 321, n. 7, p. 777-781, 2007.

LEE, H; KI, S.; JUNG, S.; RHEE, W. The innovative green technology for refrigerators development of innovative linear compressor. *In: INTERNATIONAL COMPRESSOR ENGINEERING CONFERENCE*, Paper 1867, West Lafayette, Estados Unidos, 2008. *Anais...* Purdue University, 2008.

LG. Disponível em: <<http://www.lge.com/br/geladeiras>>. Acesso em: out. 2015.

MAASS, G. J. Uso da eletrônica em compressores de capacidade variável. *In: SEMINÁRIO DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA E CONTROLE*, 5, Santa Maria, RS, 2011. *Anais...* SEPOC, Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

MARCINICHEN, J. B.; SCHURT, L. C.; MELO, C.; VIEIRA, L. A. T. Performance evaluation of a plug-in refrigeration system running under the simultaneous control of compressor speed and expansion valve opening. *In: INTERNATIONAL COMPRESSOR ENGINEERING CONFERENCE*, Paper 921, West Lafayette, Estados Unidos, 2008. *Anais...* Purdue University, 2008.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. LTC, 2012.

NAGENGAST, B. 100 Years of Refrigeration-Electric Refrigerators Vital Contribution to Households. *ASHRAE Journal-American Society of Heating Refrigerating and Airconditioning Engineers*, v. 46, n. 11, p. S11, 2004.

PANASONIC. Disponível em: <<http://www.panasonic.com/br/consumidor/eletrodomesticos/refrigeradores/>>. Acesso em out. 2015.

TEIXEIRA, P. S.; PIMENTA, J. M. D. Hidrocarbonetos como fluidos refrigerantes: Estado da arte. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3, Belém, Pará. 2004. **Anais... III CNEM**, 2004.

PHYS. ORG. **Scientists find metallic magnet with largest yet atomic displacement during thermal expansion**, 2010. Disponível em: <<http://phys.org/news199686779.html>>. Acesso em: out. 2015.

PONTO FRIO. **Eletrodomésticos**. Disponível em: <[www.pontofrio.com.br](http://www.pontofrio.com.br)>. Acesso em: fev. 2014.

RECEITA FEDERAL. **Pesquisa de NCM**. Disponível em: <<http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/PesquisarNCM.jsp>>. Acesso em: fev. 2014.

REIS, M. Troca de calor pelo efeito magnetocalórico é a base dos refrigeradores do futuro, mais ecológicos e econômicos. **Scientific American Brasil**, v. 44, 2005.

RICARDO ELETRO. **Eletrodomésticos**. Disponível em: <[www.ricardoeletro.com.br](http://www.ricardoeletro.com.br)>. Acesso em: fev. 2014.

ROWLAND, F. S.; MOLINA, M. J. Chlorofluoromethanes in the environment. **Reviews of Geophysics**, v. 13, n. 1, p. 1-35, 1975.

THE WORLD BANK. **Data**. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/>>. Acesso em: jun. 2013.

SAMSUNG. Disponível em: <<http://www.samsung.com/br/consumer/home-appliances/refrigerators/>>. Acesso em: out. 2015.

UNITED NATIONS. **Department of economic and social affairs**. Population division world population prospects: the 2012 revision. UNdata. Disponível em: <<http://data.un.org/>>. Acesso em: out. 2015.

VENDRUSCULO, E. A.; QUEIROZ, G. C.; JANUZZI, G. M.; SILVA JUNIOR, H. X.; POMILIO, J. A. Life cycle cost analysis of energy efficiency design options for refrigerators in Brazil. **Energy Efficiency**, v. 2, n. 3, p. 271-286, 2009.

WAL-MART. **Eletrodomésticos**. Disponível em: <<http://www.walmart.com.br/>>. Acesso em: fev. 2014.

