



**XXIII SNTPEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

FI/GET/26  
18 a 21 de Outubro de 2015  
Foz do Iguaçu - PR

**GRUPO – XIV**

**GRUPO DE ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E GESTÃO DA TECNOLOGIA, DA INOVAÇÃO E DA EDUCAÇÃO – GET**

**IMPACTO ECONÔMICO DAS VARIAÇÕES DA TENSÃO NO RENDIMENTO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS DE PEQUENO PORTE**

**Márcio Antônio Sens  
CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA**

**RESUMO**

Motores elétricos de pequeno porte, monofásicos, são utilizados em geladeiras e motobombas hidráulicas. Estes são projetados para atendimento às mais distintas tensões nominais, de 110 a 240 volts. De um modo geral, os projetos focam apenas dois valores nominais, o de 115 e o de 220 V. O artigo mostra que nos casos de motobombas e de motocompressores de geladeiras, a alimentação em tensões abaixo destas implicará maior rendimento, e acima em menor rendimento, para a realização dos mesmos trabalhos. Estes são resultados distintos daqueles normativos e de bancada, onde a potência de saída costuma ser mantida sempre na nominal.

**PALAVRAS-CHAVE**

Motor de indução, máquina rotativa, variação da tensão, rendimento, motobomba centrífuga, economia, motocompressor.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

O presente Informe Técnico tratará da eficiência de motores de indução de uso doméstico, incluindo de refrigeradores, presentes na maioria das residências do povo brasileiro, que em 2010 ultrapassa 53,7 milhões [ 1 ].

Os consumidores residenciais, em 2013, já somavam 63,8 milhões e em 98% deles utilizam-se da geladeira e do televisor [ 1 ], [ 2 ]. As escassas literaturas atualmente disponibilizadas pelas universidades brasileiras apontam resultados controversos e antagônicos sobre os efeitos das variações na tensão sobre o rendimento de tais motores. Pelas poucas referências e pela pouca importância dada ao assunto pelas entidades ligadas ao plano econômico, sobretudo envolvendo a energia elétrica, considera-se o estudo de alta relevância e quase inovador. Para a avaliação experimental da eficiência de motores de indução monofásicos, tomaram-se amostras de motores elétricos de indução das classes até um cv, nas tensões nominais de 110; 115 e 220 V, como os milhões de motores espalhados pelos lares brasileiros. Estes são alimentados por 63 distribuidoras de energia elétrica [ 2 ].

Máquinas elétricas rotativas de pequeno porte representam uma enorme parcela no consumo energético residencial. Atualmente, as regulamentações nacionais brasileiras da ANEEL admitem como normais e aceitáveis a alimentação em corrente alternada de 60 Hz na faixa de 101 a 133 volts para as tensões nominais de 110 a 127 volts e entre 201 e 231 volts para a tensão nominal de 220 volts [ 3 ], [ 4 ]. Os motores de indução de uso residencial são fabricados e comercializados, frequentemente, para a tensão de 110, ou 115, ou 220 volts [ 12 ], [ 13 ], [ 16 ] e são utilizados na faixa indicada pela ANEEL. Com muita frequência também se encontram eletrodomésticos destinados à tensão de alimentação em 127 volts quando, de fato, os motores foram projetados e construídos para a tensão de 110 ou 115 volts. Estes são os casos típicos de motobombas centrífugas, destinadas ao bombeamento hidráulico de água potável ou para circulação em sistemas de filtragem de piscinas, com o uso de motores de indução monofásicos, também encontrados nas máquinas de lavar roupa e em motocompressores de refrigeradores domésticos. Indaga-se, portanto, quais os efeitos e os impactos econômicos das variações da tensão da rede de alimentação, na faixa considerada normal pela ANEEL, sobre o consumo energético de tais

eletrodomésticos, particularmente daqueles que se utilizam de motores elétricos de indução monofásicos. Para elucidar a questão, e considerando o reduzido número de fontes de referências confiáveis sobre o assunto, uma série de motobombas de pequena potência, projetadas para potências inferiores a um cv e alguns motocompressores de uso em refrigeradores domésticos, foram avaliados quanto à eficiência na execução do trabalho a que se destinam, ou seja, no bombeamento hidráulico e na compressão gasosa de refrigeradores domésticos. Os resultados de tais investigações experimentais constituem o objeto deste Informe Técnico, conduzidas em laboratório, com instrumentação moderna de elevada confiabilidade metrológica. As medidas experimentais contaram com o levantamento da eficiência no bombeamento hidráulico na grandeza padronizada internacionalmente, em (litros.100 m de coluna de H<sub>2</sub>O)/Wh ou (m<sup>3</sup>.100 m H<sub>2</sub>O)/kWh e também na grandeza inversa, ou seja, objetivando os efeitos da tensão de alimentação no consumo energético, na unidade de kWh/(m<sup>3</sup>.100 mca). Motocompressores foram avaliados comparativamente na unidade de consumo de watts-hora por revolução (Wh/r), ou de energia necessária para a compressão gasosa de fluidos de refrigeração, de mesmo volume.

Certamente que o Informe Técnico adicionará conhecimentos à compreensão atual sobre a importância de aplicar tensões elétricas iguais ou inferiores à tensão nominal de projeto nos motores elétricos de indução, para a elevação do rendimento, ou para a redução das perdas de energia elétrica.

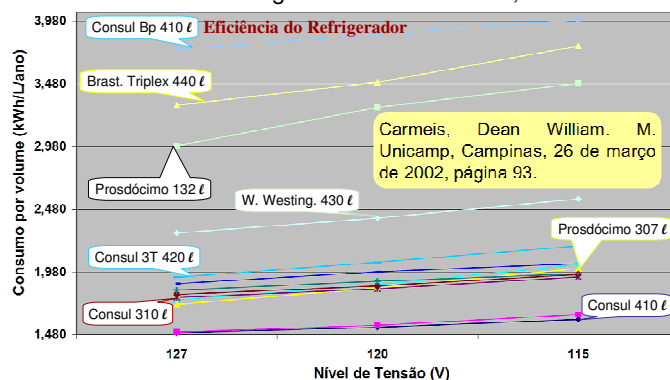
Por outro lado, todos têm a ganhar com a redução do consumo energético, proporcionada pela divulgação dos reais efeitos da tensão da rede no rendimento dos motores sem, obviamente, prejuízo algum por parte dos consumidores, e para o alívio dos sistemas de geração e de transmissão de energia elétrica.

## 2.0 - LEVANTAMENTO DA LITERATURA

Pouca literatura nacional foi encontrada sobre os efeitos da tensão elétrica no rendimento de pequenos motores elétricos em operação normal. Entretanto, destacam-se duas relevantes. Uma trata de estudos dos efeitos da variação da tensão sobre o rendimento de refrigeradores domésticos, conduzidos pela Unicamp [ 8 ], [ 10 ], e outra trata de estudos do comportamento de pequenos motores elétricos quando alimentados por distintos valores de tensão e distintas cargas mecânicas, conduzidos na UFRGS [ 11 ]. Os resultados apresentados foram antagônicos. Resultados divulgados pelo Inmetro [ 24 ] mostram que geladeiras de 127 V consomem 6% acima das de 220 V.

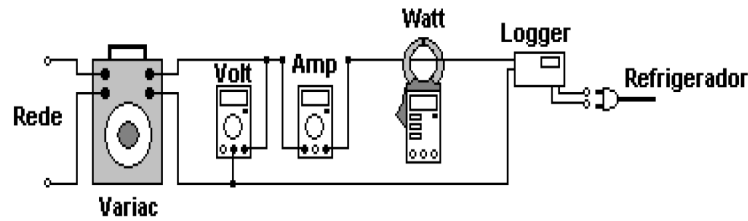
### 2.1 Estudos Conduzidos pela Unicamp

Os resultados experimentais apresentados pela Unicamp, conforme mostrado na Figura 1, demonstraram que os refrigeradores domésticos nacionais, de diversos modelos e fabricantes, quando ensaiados em condições reais de utilização, tinham a eficiência reduzida quando era reduzida a tensão de alimentação, ou que o consumo elevava-se quando o refrigerador era alimentado na tensão de 115 V comparado com a alimentação em 127 V. Concluiu-se, portanto, naqueles estudos, que se a tensão nacional fosse ajustada para 127 V ter-se-ia grande economia energética. Este resultado foi curioso, pois os ensaios preliminares conduzidos no Cepel indicavam redução do rendimento em sistema motogerador com a elevação da tensão. Também, logo se concluiu, nos ensaios preliminares conduzidos pelo Cepel, que ao se reduzir a tensão efetiva aplicada aos motores elétricos monofásicos, para valores próximos da tensão nominal de projeto dos motores, contrariamente ao publicado pela Unicamp[ 8 ], [ 10 ], a eficiência dos sistemas motobombas e motogeradores era elevada, crescia com a redução da tensão.



**Figura 1 – Efeitos da Tensão de Alimentação na Eficiência de Refrigeradores** Erro! Fonte de referência não encontrada.

No trabalho divulgado pela Unicamp [ 10 ], foi utilizado o circuito de ensaio conforme mostrado na Figura 2, objetivando a avaliação da eficiência energética de refrigeradores domésticos.



**Figura 2 – Circuito Experimental Utilizado na Unicamp**



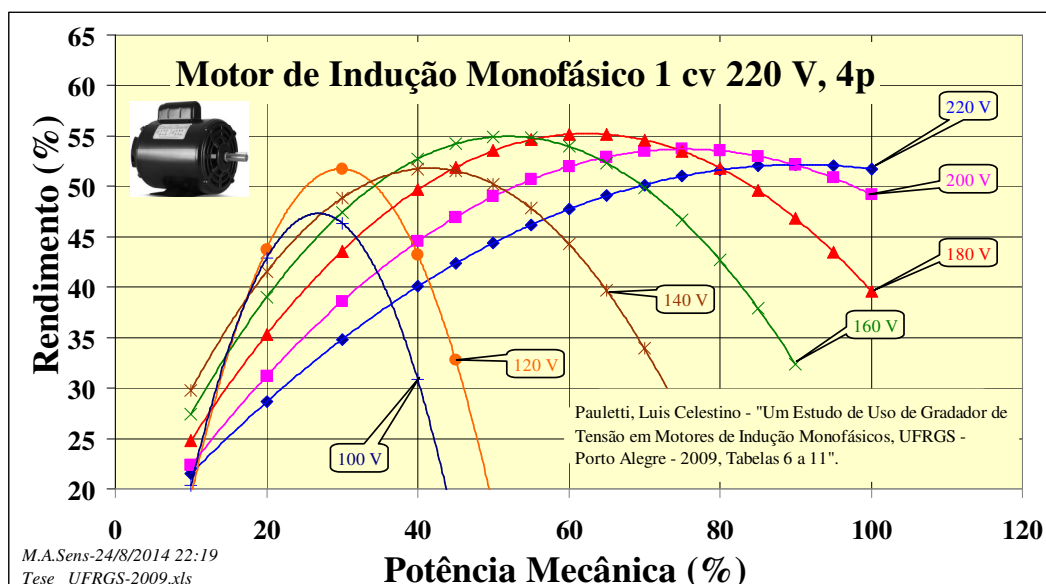
**Figura 3 – Instrumentação Utilizada pela Unicamp na Avaliação de Eficiência de Geladeiras**

Por outro lado, um levantamento dos modelos de refrigeradores avaliados pela Unicamp, em confronto com os manuais dos fabricantes [ 12 ], [ 13 ], sobretudo dos compressores, indicaram que em 100 % dos casos avaliados a tensão de alimentação nominal dos compressores era de 115 V em 60 Hz. Esta constatação indicava, novamente, algo muito curioso, pois a operação em 127 V estaria acima da tensão nominal de projeto dos motocompressores e não poderia implicar redução de consumo, mas sim elevação.

Informações adicionais foram apuradas junto aos manuais da instrumentação utilizada pela Unicamp, em busca de justificativas técnicas para os resultados antagônicos e constatou-se que foi utilizado um instrumento de pouca confiabilidade para a avaliação de eficiência de refrigeradores domésticos, conforme mostrado na Figura 3. A escala mínima de corrente do wattímetro digital utilizado nos experimentos conduzidos pela Unicamp era de 200 A e não houve qualquer indicação do uso de multiplicadores de corrente. Ressalta-se que a corrente máxima dos refrigeradores ensaiados era inferior a 10 A, ou seja 1/20 do fundo de escala do instrumento utilizado, conforme mostrado na Figura 2. A resolução mínima em potência do instrumento utilizado seria de 0,1 kW, ou de 100 W.

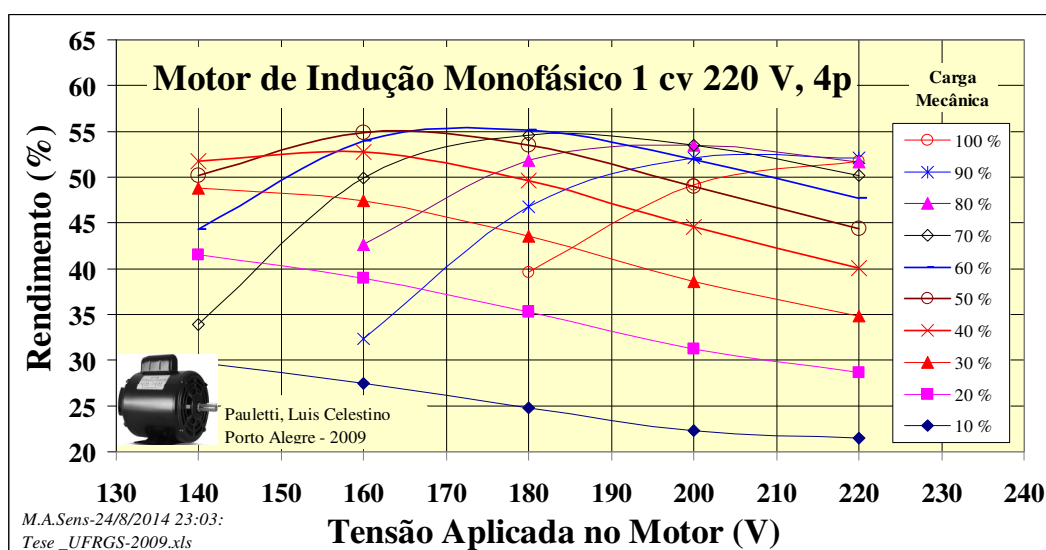
## 2.2 Estudos Conduzidos pela UFRGS

Os estudos conduzidos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul foram especificamente sobre pequenos motores de indução monofásicos, como os de bombas hidráulicas e de refrigeradores, mas não propriamente em refrigeradores [ 11 ]. Nesse estudo, um motor monofásico de um cv, 220 V, 4 polos, foi alimentado nas tensões de 100 a 220 V e verificado o comportamento em bancada dinamométrica padronizada, normalmente utilizada para o levantamento de eficiência energética de motores elétricos [ 5 ], [ 6 ], [ 16 ]. Os resultados da UFRGS foram apresentados em forma tabular, que foram aqui convertidos para a forma gráfica. A Figura 4 mostra o comportamento da eficiência de um motor em função da carga mecânica em forma percentual da potência nominal. A Figura 5 mostra o comportamento da eficiência do motor elétrico avaliado pela UFRGS [ 11 ] sob distintas cargas mecânicas, de 10 a 100 % da carga nominal, em função da tensão de alimentação, em volts.



**Figura 4 – Rendimento do Motor Elétrico de Indução com a Tensão e Cargas Distintas, em Percentual Erro!**  
Fonte de referência não encontrada.

Observa-se, nos resultados apresentados pela UFRGS, que para plena carga, 100 %, o melhor rendimento dos motores ocorre na tensão nominal de 220 V, como esperado, indicando projeto otimizado do motor elétrico. Entretanto, para cargas menores, o rendimento passa a ser maior em menores tensões, como para a carga de 60 %, por exemplo, o melhor rendimento observado foi para a tensão de 180 V, e foi superior ao rendimento nas condições nominais. Observou-se, conforme mostrado na Figura 5, que para cargas de até 60 % o rendimento melhora – sobe, se a tensão da rede for reduzida entre 220 volts e 180 volts.



**Figura 5 – Rendimento do Motor sob Distintas Cargas Mecânicas, de 10 a 100 %**

### 3.0 - PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS CONDUZIDOS PELO CEPEL

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios de Propriedades Elétricas e Magnéticas do Cepel – AT5, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ, utilizando-se de cargas reais típicas e não bancadas dinamométricas.

Os motores elétricos foram submetidos aos ensaios nas tensões nominais de 110, 127 e 220 V, com as tolerâncias previstas pela ANEEL [ 3 ], [ 4 ]. As faixas de tensão que podem ser consideradas normais são de 101 à 115 V; de 116 à 133 V e de 201 à 231 V, respectivamente.

#### 3.1 Avaliação de Grupo Motobombas Centrífugas

Esta é uma aplicação típica dos motores elétricos de indução monofásicos. Três formas distintas foram adotadas para os ensaios de motobombas, sempre para comparação dos resultados nas distintas tensões de alimentação.

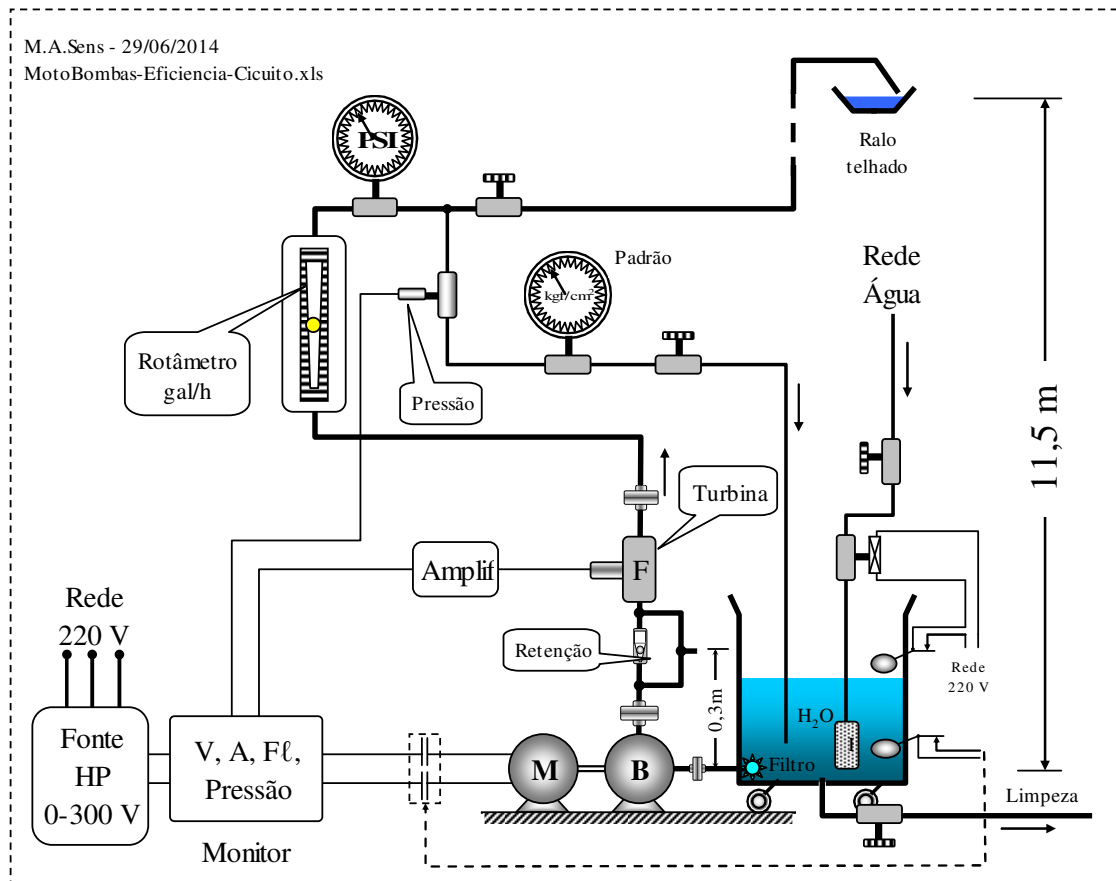
Primeiro foi adotado o sistema de bombeamento de uma mesma quantidade de água, na mesma temperatura (23 ±

2) °C e na mesma diferença manométrica estática, ou altura (11,5 m) com a avaliação da energia consumida. Nesta modalidade, a redução da tensão da rede aplicada ao motor demonstrou leve redução na rotação do motor e mais tempo para o bombeamento do mesmo volume de água, mas este depende das características da bomba. Em todos os casos foram utilizadas bombas centrífugas, com distintos modelos e formas de rotores. O que de fato importa, é a avaliação da redução ou elevação do consumo energético na realização do mesmo trabalho, ou seja, na transferência do mesmo volume de água para a mesma diferença de altura manométrica e na mesma temperatura do líquido bombeado. Nesta modalidade, concluiu-se que a operação das motobombas em 110 V resulta em menor consumo que na tensão de 127 V, existente na maioria das residências brasileiras (54,4%) [ 23 ].

Numa segunda modalidade de avaliação, considerando-se as possibilidades de pequenas variações da pressão dinâmica por alterações nos filtros durante o bombeamento e, em consequência, leves alterações no fluxo hidráulico, foram adotadas medidas padronizadas e normalizadas de avaliações de bombas hidráulicas [ 7 ], [ 9 ]. Nesta modalidade foi medido o consumo de energia elétrica por litro de bombeamento de água por 100 metros de coluna manométrica dinâmica. Para isto, além do sistema de medida da energia de consumo, o circuito de ensaio foi dotado de sensores de fluxo e de pressão dinâmica, computados simultaneamente e monitorados, conforme circuito mostrado na Figura 6, página 5.

Nesta modalidade, a temperatura da água foi mantida entre  $(23 \pm 2)$  °C e a pressão manométrica estática foi de 11,5 m. Assim, para a identificação do consumo ou da eficiência do sistema de bombeamento foram adotadas as equações padronizadas abaixo [ 7 ], [ 9 ].

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potência[watts]}}{\text{Fluxo[litros/hora]}} \cdot \frac{100}{\text{Pressão[m]}} \left[ \frac{\text{Wh}}{\ell \cdot 100 \text{ mH}_2\text{O}} \right], \quad \text{Eficiência} = \frac{\text{Fluxo[litros/hora]} \cdot \text{Pressão[m]}}{\text{Potência[watts]}} \left[ \frac{\ell \cdot 100 \text{ mH}_2\text{O}}{\text{Wh}} \right]$$



**Figura 6 – Circuito de Ensaio de Motobombas**

Utilizando-se o sistema de ensaios mostrado na Figura 6, a motobomba Schneider BC30-110 V foi ensaiada em diferentes vazões, de 60 a 190 litros por hora, elevando a água por 11,5 m. A motobomba foi alimentada em distintas tensões de alimentação, de 100 a 133 V, obtendo-se o consumo e a eficiência, conforme mostrados na Figura 7. Várias outras bombas, de distintos modelos e fabricantes foram avaliadas, resultando em comportamento semelhante, como mostrado na Figura 8, onde se observa também, a redução do fator de potência com a elevação da tensão aplicada ao motor, na realização do mesmo trabalho. Estes resultados conferem com a literatura internacional em várias tentativas de se economizar energia elétrica em pequenos motores residenciais, estendendo-se até para uso espacial [ 15 ], [ 17 ], [ 18 ], [ 19 ], [ 20 ] e [ 21 ], [ 22 ].

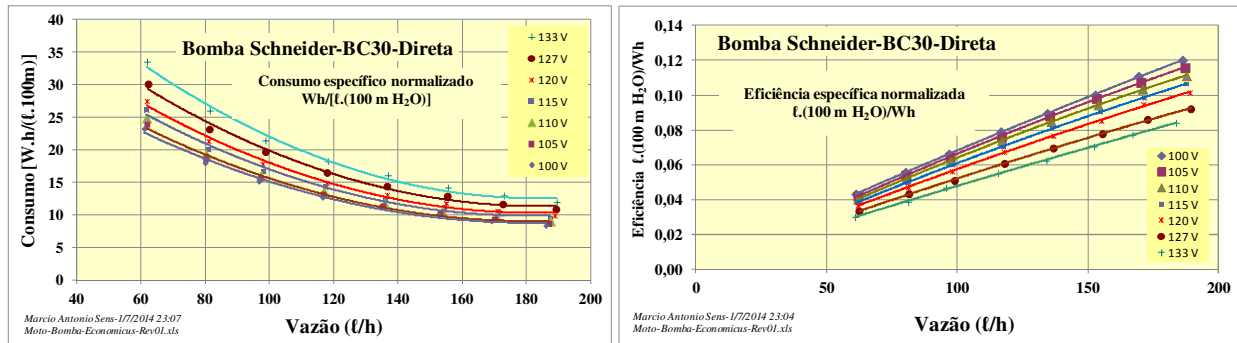


Figura 7 – Consumo e Eficiência da Motobomba Schneider Bc30-1/2cv – 110 V

Em uma terceira modalidade, considerando-se as aplicações previstas de bombas para circulação de água em sistemas de hidromassagem, onde a altura manométrica seria bem baixa, inferior a 0,5 m, as bombas foram acionadas em sistema de recirculação. Para isto, foi coletada a água no fundo do reservatório e soltando no topo, com um diferencial de 0,5 m, mantendo-se o mesmo sistema de monitoração da pressão e do fluxo hidráulico. As mesmas equações anteriores foram adotadas para avaliação do consumo e da eficiência. Os resultados foram semelhantes, ou seja, com tensão de alimentação acima da tensão nominal do motor o rendimento cai e para tensões abaixo da nominal, dentro dos limites da ANEEL, o rendimento sobe, para o mesmo trabalho realizado.

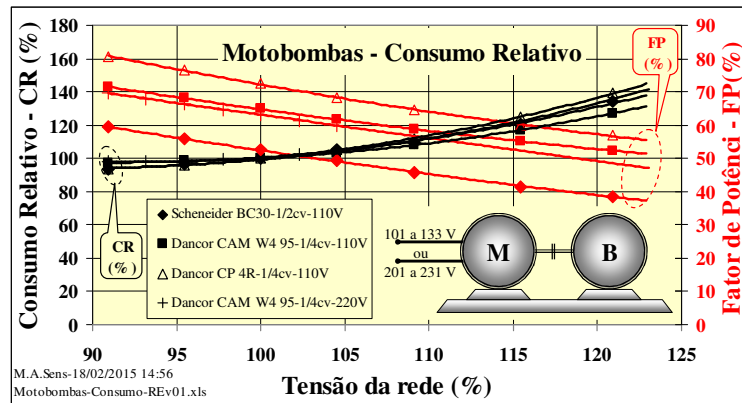


Figura 8 – Consumo Relativo e Fator de Potência das Motobombas

### 3.2 Avaliação de Refrigeradores de Uso Domiciliar

Para avaliação de refrigeradores foram adotadas três técnicas distintas, todas conduzidas após a estabilização da temperatura externa do motor-compressor. Primeiro foi adotada a mais elementar, ou seja, uma geladeira doméstica, em uso residencial, prevista para uso na tensão de 127 V, foi avaliada por 400 horas quando alimentada diretamente pela rede elétrica de 127 V e depois a mesma geladeira foi avaliada sob tensão reduzida, bem próximo de 115 V, conforme placa do compressor, com monitoração da corrente, da tensão e da potência elétrica consumida, obtendo-se redução de aproximadamente 6% no consumo energético. Em ambos os casos o ajuste do termostato foi mantido o mesmo, assim como a carga interna, aproximadamente. A tensão da rede não foi estabilizada, pois foi adotado o modo domiciliar de uso do refrigerador.

Numa segunda etapa, um refrigerador para 220 V foi submetido aos ensaios padronizados, normalmente efetuados para o Programa Nacional de Etiquetagem de Refrigeradores previsto pelo Inmetro, em câmara sob controle de temperatura. Da mesma forma, o refrigerador foi ensaiado com alimentação nominal e através de um regulador de tensão. A relação entre a energia consumida pela geladeira alimentada na tensão nominal e sob tensão reduzida indicou economia proporcionada pela redução na tensão de alimentação. Em ambos os casos o ajuste do termostato foi mantido o mesmo, assim como a carga interna e a tensão da rede foi estabilizada.

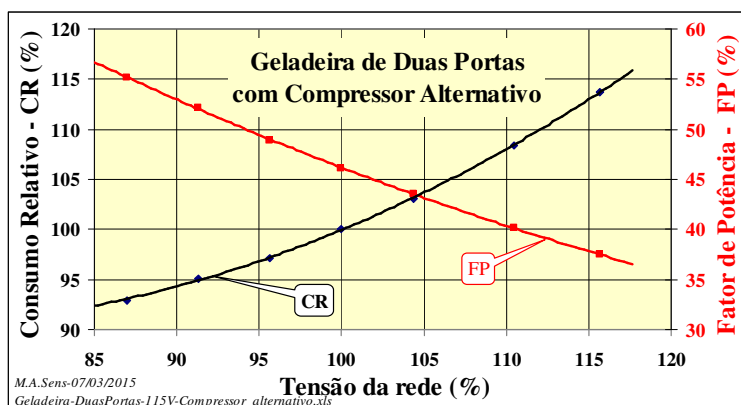
Numa terceira etapa, o refrigerador foi avaliado no modo instantâneo, ou seja, foi medida a potência necessária para o compressor completar mil rotações. Como o trabalho mecânico de compressão do fluido refrigerante depende do número de rotações do compressor, o consumo relativo foi avaliado deste modo, ou seja, pela potência consumida para mil rotações completas do compressor. A equação abaixo ilustra melhor o procedimento matemático.

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potência [watts]}}{\text{Rotação} \left[ \frac{r}{s} \right] \cdot 3600 \left[ \frac{s}{h} \right]} \cdot 1000 \left[ \frac{Wh}{1000 r} \right]$$

Desta forma, além do sistema de medição da potência elétrica, foi necessário um transdutor de vibrações ou de



deslocamento, capaz de perceber a vibração e a rotação do compressor hermético, após os devidos tratamentos matemáticos de integração e de transformada FFT. A Figura 9 mostra que o consumo relativo sobe com a tensão aplicada e que o fator de potência cai em geladeiras com compressores alternativos, típicas dos lares brasileiros.



**Figura 9 – Consumo Relativo e Fator de Potência de Geladeiras**

#### 4.0 - CONCLUSÃO

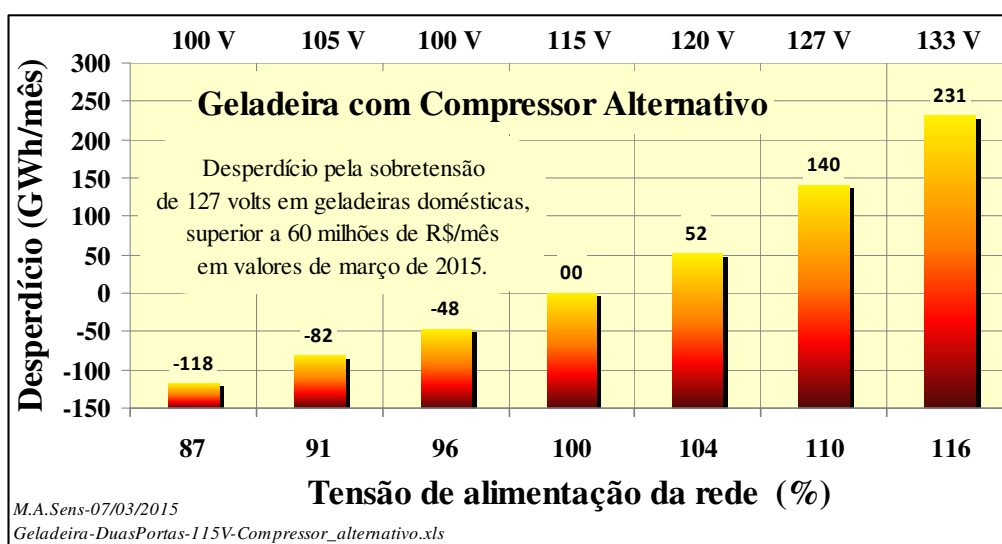
Considerando-se, a nível nacional brasileiro, a existência de apenas um motor elétrico de indução monofásico, como de um refrigerador doméstico pequeno, por residência, em uso constante, contínuo e simultâneo, que pode variar de 13 a 88 kWh/mês nos modernos refrigeradores e que em média consomem 47,3 kWh/mês [ 24 ];

Excluindo-se os refrigeradores nos consumidores comerciais, industriais e rurais, que podem somar com os domésticos até 74,6 milhões de consumidores [ 2 ] ou de geladeiras em operação constante no final de 2013;

Excluindo-se os inúmeros refrigeradores de duas portas, que têm motores superiores a ½ cv;

Excluindo-se as geladeiras de residências que são alimentadas pela tensão de 110, 115 e de 220 V, onde a tensão se aproxima bastante da tensão nominal de projeto dos motores eletrodomésticos;

E ainda, considerando-se que as geladeiras que se encontram em funcionamento nas residências alimentadas por tensões nominais de 110 a 127 V, de fato, têm motocompressores projetados para a operação ótima em 115 V, estima-se que, pela sobretensão 10 % na alimentação em relação à tensão nominal, o consumo seja de pelo menos 8,4 % acima, e a sobrepotência nacional atinja ao patamar de 195 MW. Isto se for considerado apenas a sobretensão de 10 % nos 35,5 milhões (54,4%) de lares alimentados pela tensão nominal de 127 V [ 23 ]. Entretanto, ainda na faixa considerada normal pela ANEEL [ 3 ], [ 4 ], os motores de 115 V podem operar em até 16 % acima da tensão nominal, o que implicaria numa sobrepotência média e permanente de até 320 MW, para a realização do mesmo trabalho. Na faixa de tensão prevista, as perdas podem superar os 230 GWh/mês, conforme Figura 10.



**Figura 10 – Desperdício Nacional em Geladeiras pela Sobretensão**

Como principais resultados do exposto neste Informe Técnico esclareceram-se as opiniões antagônicas divulgadas por duas grandes universidades brasileiras quanto aos efeitos da tensão de alimentação na eficiência dos motores

de pequeno porte, monofásicos e sobre a relevância de se aplicar a tensão nominal aos mesmos, nada além do valor nominal de projeto. É preferível a redução da tensão que a elevação, entre os limites normais.

Conclui-se que os motores elétricos de uso residencial são mecanicamente projetados para, ao serem instalados em suas cargas, como geladeiras, bombas e máquinas de lavar, forneçam nos seus eixos a potência mecânica nominal na tensão nominal de alimentação. Nestas aplicações, se a tensão de alimentação for superior à nominal, a potência no eixo, as perdas resistivas, as perdas magnéticas e as perdas mecânicas também serão elevadas. Isto implica na redução do rendimento, para a realização do mesmo trabalho. Neste caso, a rotação do motor será levemente elevada e o tempo para a realização do mesmo trabalho poderá ser menor, mas mesmo assim resulta em uma menor eficiência do sistema. Portanto, a operação dos sistemas de distribuição residencial, cujas tensões nominais se enquadrem nos limites da faixa de 127 V, ao nível mínimo aceitável pela ANEEL, 116 V, implicaria redução do consumo de energia elétrica, apenas nos refrigeradores, em mais de R\$100 milhões/mês.



## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 IBGE – Censo demográfico 2010 – Número de geladeiras em uso nos domicílios permanentes brasileiros, Tabela 1.2.3, cd\_2010\_familias\_domicilios\_amostra.pdf
- 2 ABRADÉE, Consumidores Residenciais, comerciais e industriais em dezembro de 2013, com dados da ANEEL,  
[http://www.abradee.org.br/arquivos/DADOS\\_DE\\_MERCADO\\_CONSUMIDORES\\_E\\_CONSUMO\\_2014.zip](http://www.abradee.org.br/arquivos/DADOS_DE_MERCADO_CONSUMIDORES_E_CONSUMO_2014.zip)
- 3 Norma regulamentadora ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – ProDist – Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição
- 4 Norma regulamentadora ANEEL – Agência nacional de Energia Elétrica – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – ProDist – Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, Tabela 4.
- 5 Sens, Leonardo Philippi Sens – “Simulação e Análise da Operação Monofásica de um Motor Trifásico de Indução” - Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica, Rio de Janeiro –RJ, Julho de 2014.
- 6 DUBOC, Wagner de Almeida - Relatório CEPEL - DLA 33640/2013 – “Ensaio de Avaliação de Eficiência no Equipamento Ecomax”, 17 p. Rio de Janeiro - RJ.
- 7 Eletrobrás-Procel, “Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento” - PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras, Fupai/Efficientia, 272p. Rio de Janeiro, 2005.
- 8 Carmeis, Dean William. M. e Jannuzzi, G. M. “Os Efeitos das Diversidades de Tensões de Distribuição no Setor residencial Brasileiro. Estudo do Refrigerador” Doméstico, Faculdade de Engenharia Elétrica/UNICAMP e Faculdade de Engenharia Mecânica/UNICAMP,  
<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/Cobemrefri.pdf>, acesso em 22/02/2015
- 9 H. Alegre, J.M. Baptista, E. Cabrera Jr, F. Cubillo, P. Duarte, W. Hirner, W. Merkel, R. Parena, “Performance Indicators for Water Supply Services” - Second Edition, 01 Jul 2006 • ISBN: 9781843390510, 312 pages, Hardback.
- 10 Carmeis, Dean William. M. - Dissertação de Mestrado da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, Faculdade de Engenharia Elétrica, Departamento de Máquinas, Componentes e Sistemas Inteligentes, “Os Efeitos da Diversidade de Tensões de Distribuição no Setor Elétrico Brasileiro. Estudo do Caso do Refrigerador Doméstico”, Campinas, 26 de março de 2002.  
<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/Dean.pdf>
- 11 Pauletti, Luis Celestino – Dissertação de Mestrado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, “Um Estudo de Uso de Gradador de Tensão em Motores de Indução Monofásicos”, UFRGS - Porto Alegre - 2009. <http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/17566/000720389.pdf?sequence=1>
- 12 Manual de Compressores Embraco - Process and Product Technology Group for Assistance in Application, Rua Rui Barbosa, 1020 - Caixa Postal 91, CEP 89219-901 - Joinville - SC – Brazil.
- 13 Embraco, catálogo Eletrônico, disponível em <http://www.embraco.com/catalog/Default.aspx>, acesso em 30/09/2014.
- 14 Minipa Indústria Eletrônica Ltda., Manual de Operação do Wattímetro Digital ET 4000, Rev0, emissão de 07/03/1995.
- 15 EPRI Electric Power Research Institute, Retrofit Energy Savings Device (RES-D) Seminar, “Motor Energy Savings by Voltage Reduction”,  
<https://www.sceg.com/docs/librariesprovider5/pdfs/retrofitenergysavingsdeviceseminar.pdf>
- 16 Oliveira, Edson Carlos Peres de e Dias, Jean Carlos, “Rendimento nos Motores Monofásicos”, WEG-  
rendimento-nos-motores-monofasicos-artigo-tecnico-portugues-br
- 17 J. D. Law and T. A. Lipo, “A single phase induction motor voltage controller with improved performance,” IEEE Trans. Power Electron., vol. PE-1, no. 4, pp. 240–247, Oct. 1986.
- 18 Christos Mademlis, Iordanis Kioskeridis, and Theodoros Theodoulidis, IEEE Optimization of Single-Phase Induction Motors - Part I: Maximum Energy Efficiency Control, IEEE Transactions On Energy Conversion, VOL. 20, No. 1, March 2005.
- 19 K.Samidurai (Faculty of Electrical Engineering Anna University, Chennai, India); G. Saravana Ilango (Dept. of Electrical and Electronics Engineering National Institute of Technology, Trichy, India) and K.Thanushkodi (Akshaya College of Engineering and Technology, Coimbatore, India), “Performance Comparison of Single-phase Power Electronic Controllers”; at The 4th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2010), Shah Alam, Selangor, MALAYSIA. 23-24 June 2010.
- 20 LAW, J. D.; LIPO, T. A., “A Single Phase Induction Motor Voltage Controller with Improved Performance”, IEEE Transaction on Power Electronic, USA: v. PE-1, n. 4,p. 240-247, 1986.
- 21 MADEMLIS, C. et al “Optimization of Single-Phase Induction Motors – Part I - Maximum Energy Efficiency Control”. IEEE Transactions on Energy Conversion, USA: v. 20 n.1, p. 196-203, 2005.
- 22 MADEMLIS, C. et al “Optimization of Single-Phase Induction Motors – Part II” - Magnetic and Torque Performance under Optimal Control”. IEEE Transactions on Energy Conversion, USA: v. 20, n.1, p. 187-195, 2005.
- 23 Vieira, Daniel “Tensões e número de consumidores por município brasileiro”, ANEEL-SRD, 2015.

- <sup>24</sup> Eficiência de Refrigeradores, Inmetro, <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/refrigeradores.pdf>, atualização de 6/2/2015, acesso em 5/3/2015.

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Márcio Antônio Sens, nascido em 07/07/1951, em de Ituporanga – SC, Técnico em Eletromecânica (ETFSC-1970), Engenheiro Eletricista e de Segurança (UFSC-1975) é pesquisador da Eletrobrás - Cepel, no Rio de Janeiro – RJ, onde atua desde fevereiro de 1976 em estudos relacionados aos materiais elétricos condutores, dielétricos e magnéticos e também em análise periciais destinadas à identificação de causas de falha em equipamentos e instalações ligadas ao Setor Elétrico Nacional. O Autor também é professor de Materiais Elétricos, Medidas Elétricas e Transformadores Elétricos no Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Fluminense, em Niterói – RJ, onde atua desde março de 1984.