



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GET/13
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XIV

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

CENTRO DE EXCELÊNCIA EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA - EXCEN

IMPACTOS ENERGÉTICOS DOS PROGRAMAS BRASILEIROS DE ETIQUETAGEM ENERGÉTICA

**Rafael Balbino Cardoso (*)
EXCEN**

**Jamil Haddad
EXCEN**

**Luiz Augusto Horta Nogueira
EXCEN**

RESUMO

O presente estudo avalia e analisa os impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética, Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE/INMETRO) e Programa Selo PROCEL, em termos de economia de energia e redução de demanda de ponta, em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos. Segundo estimativas, em 2009, os refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos propiciaram uma economia de energia de 7.189 GWh e uma redução de demanda de ponta de 3,7 GW, que corresponde a 4% de toda a potência instalada para a geração de energia elétrica no país naquele ano. Constatou-se que os efeitos sazonais, como temperatura ambiente, têm grandes influências nos impactos energéticos, em refrigeradores e condicionadores de ar, influenciando na ordem de 40% nos resultados. Efeitos de sucateamento e distribuição das vendas de equipamentos por classe de eficiência energética também interferem significativamente, impactando na ordem de 10% e 20%, respectivamente, nos resultados de economia de energia. No caso de motores elétricos, os impactos dos hábitos de uso, no que diz respeito ao carregamento médio de operação são relativamente pequenos.

PALAVRAS-CHAVE

Etiquetagem Energética, Economia de Energia, Impactos das variáveis

1.0 - INTRODUÇÃO

Os Programas de fomento à eficiência energética e redução das perdas no uso final de energia têm sido desenvolvidos em diversos países, associados a uma maior consciência da problemática energética e ambiental. Muitos países, tanto no passado como no presente, vem empregando medidas buscando reduzir as perdas e desperdícios de energia com benefícios econômicos e ambientais.

Como observou JANNUZZI et.al. (2004), os choques do petróleo de 1973-74 e 1979-81 criaram a percepção de escassez e elevaram os preços dos energéticos, justificando investimentos no aumento da produção de petróleo nacional, em conservação e maior eficiência no uso dos seus derivados e na diversificação de fontes alternativas de energia.

De um modo geral, os programas de promoção à eficiência energética foram implementados inicialmente nos países industrializados da Europa, América do Norte e Ásia, que apresentam consumos energéticos mais elevados, entretanto, ao longo do tempo outros países passaram a adotar iniciativas governamentais nesse sentido. O Brasil e México foram os precursores nesse campo no contexto latino-americano, que na atualidade conta com

(*) Rua Irmã Ivone Drumond, 200, – sala 408 - Distrito Industrial II – CEP 35.903-087 Itabira, MG – Brasil
Tel: (+55 31) 3834-3544 – Email: cardosorb@excen.com.br

programas nacionais de eficiência energética na maioria dos países, em diversos casos com a adoção de etiquetas energéticas, como no Chile e no Uruguai (CEPAL, 2010).

Segundo MAHLIA et. all (2005) as análises de custo-benefício, levando em consideração a economia de energia alcançada, redução de emissões decorrentes das ações e benefícios sociais, têm extrema relevância na avaliação das ações de eficiência energética. Em diversos estudos no Brasil e no mundo mostram que as medidas de eficiência energética têm tido boas relações de custo-benefício.

No Brasil, destacam-se os programas de eficiência energética, implementados desde meados dos anos oitenta e meados dos anos noventa, tais como, o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE/INMETRO e Programa Selo PROCEL, que promovem a eficiência energética no uso final de equipamentos elétricos, mediante a informação e orientação dos consumidores.

Em meados da década de oitenta surge o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), sob a coordenação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), que tem como grande objetivo informar os consumidores brasileiros quanto ao nível de consumo de equipamentos elétricos no mercado brasileiro, com Etiquetas de Eficiência Energética. As etiquetas são classificadas em A, B, C, D ou E, onde, o equipamento de classe A é o mais eficiente de sua categoria. Em 1993 surge o Programa Selo PROCEL, desenvolvido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), um programa voluntário com o objetivo de orientar os consumidores e estimular a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes no país. Os equipamentos, consumidores de energia elétrica, mais eficientes do mercado brasileiro além de receberem a etiqueta de eficiência energética classe A, recebem também, o Selo PROCEL que certifica o produto como o mais eficiente da categoria.

A Figura 1 ilustra o Selo PROCEL e a Etiqueta Nacional de Eficiência Energética, concedidos a equipamentos elétricos no Brasil.

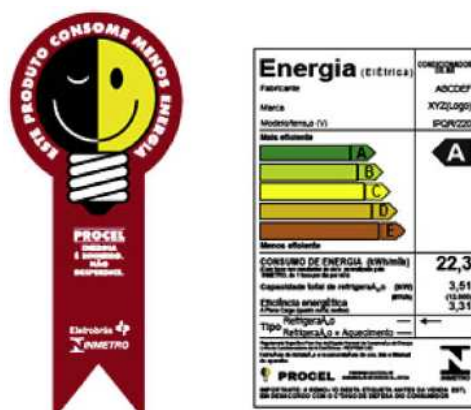


Figura 1 - Selo PROCEL e Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE) (PROCEL, 2010)

Além dos programas de eficiência energética existem legislações no Brasil que ajudam a promover a eficiência energética no país. Entre elas destaca-se a Lei 10.295/2001 que dispõe sobre a “Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” delegando ao Poder Executivo a competência para estudar e estabelecer padrões mínimos de eficiência energética para equipamentos consumidores de energia elétrica que são comercializados no país.

Nesse contexto, com base em protocolos internacionais e metodologias desenvolvidas pelo PROCEL, o presente trabalho apresenta uma avaliação dos impactos energéticos, em termos de economia de energia e redução de demanda de ponta, atribuídos aos programas de eficiência energética implementados no Brasil, em especial o PBE/INMETRO e Programa Selo PROCEL, sem desassociar os impactos da Lei 10.295/2001. Os equipamentos avaliados são refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar do tipo janela e split e motores elétricos de indução trifásicos. Além de avaliar os impactos energéticos, o estudo avalia a relevância das variáveis consideradas nas metodologias de avaliação, tais como, temperatura ambiente, degradação de desempenho ao longo da vida útil dos equipamentos e hábitos de uso.

2.0 - MÉTODOS PARA AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ENERGÉTICOS

O presente capítulo apresenta o desenvolvimento de metodologias para o estudo dos impactos energéticos e ambientais, atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética, no âmbito dos equipamentos avaliados. O presente estudo se divide em quatro etapas para atender os objetivos propostos:

- 1º) Elaboração de modelos para a avaliação dos impactos energéticos, economia de energia e redução de demanda de ponta, atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética, no âmbito de refrigeradores, condicionadores de ar (janela e split) e motores de indução trifásicos.
- 2º) Aplicação dos modelos desenvolvidos.
- 3º) Estudo dos impactos das variáveis incorporadas pelos modelos de avaliação dos impactos energéticos e análises das incertezas dos modelos de avaliação de economia de energia elétrica.

Para as estimativas de economia de energia e redução de demanda de ponta seguiram-se as seguintes premissas:

- i. Avaliação a partir de estimativas do parque de equipamentos e de consumos médios unitários do parque.
- ii. Adoção de modelos representativos do parque de equipamentos para cada categoria (Equipamento médio representante do parque).
- iii. Estabelecimento de linha de base como sendo o nível médio de desempenho energético de cada categoria de equipamento, no início do PBE/INMETRO.
- iv. Consideração da evolução do desempenho da linha de base (LB) de acordo com a evolução do desempenho dos equipamentos de classe inferior (E ou G).
- v. Avaliação da economia de energia ao longo da vida útil dos equipamentos.
- vi. Consideração da perda de desempenho dos equipamentos com a idade.
- vii. Consideração das influências sazonais no desempenho dos equipamentos, como por exemplo, temperatura ambiente no caso de refrigeradores e condicionadores de ar.
- viii. Consideração de hábitos de uso, como por exemplo, nível de carregamento na operação de motores elétricos.
- ix. Avaliação dos efeitos de temperatura ambiente, perda de desempenho e hábitos de uso nos impactos energéticos.

A Figura 2 apresenta a visualização do modelo desenvolvido para a avaliação dos impactos energéticos.

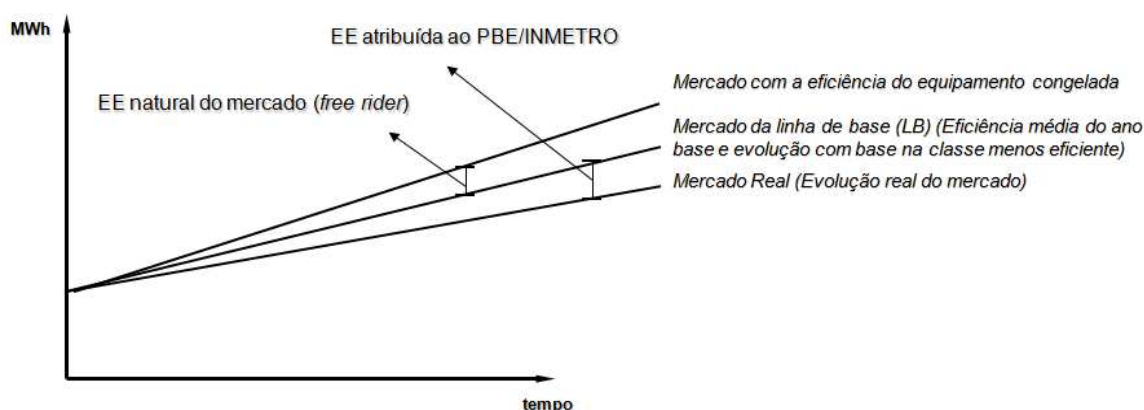


Figura 2 - Esquema metodológico para avaliação da economia de energia atribuída aos programas brasileiros de etiquetagem energética

Com base na Figura 2, a seguir apresentam-se a metodologia utilizada para a avaliação dos impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética em refrigeradores, condicionadores de ar e motores elétricos.

a) Economia de energia: Para os cálculos da economia de energia utilizou-se a seguinte modelagem:

$$EE = CEE_{LB} - CEE_{Real} \quad (1)$$

sendo:

EE – Economia de energia observada (GWh)

CEE_{LB} – Consumo de energia elétrica do parque da linha de base (GWh)

CEE_{Real} – Consumo de energia elétrica do parque real (GWh)

b) Consumo de energia do parque de equipamentos: Para os cálculos do consumo de energia do parque de equipamentos utilizou-se a modelagem seguinte, que podem ser empregada para a situação do mercado k (linha de base ou real):

$$CEE_K = \sum_{regiões} \sum_{setor} \sum_{classes} CEP_K \quad (2)$$

$$CEP_{jK} = cm_{jK} \cdot P_j \quad (3)$$

sendo:

CEP_K – Consumo anual de energia do parque de equipamentos k (GWh)
 cm_{jK} – Consumo médio unitário do parque de equipamentos no ano j (kWh/ano)
 P_j – Parque de equipamentos na região/setor no ano j (milhões de unidades)
 K – Refere-se à hipótese de composição do parque de equipamentos (LB ou Real)

c) Parque de equipamentos: Para as estimativas do parque de equipamentos baseou-se em um modelo de vendas e sucateamento dos mesmos:

$$P_j = \sum_{i=j-VU}^j V_i - S_j \quad (4)$$

sendo:

V – Vendas de equipamentos (milhões de unidades)
 S – Função de sucateamento dos equipamentos (-)
 i,n – Índices referentes à idade dos equipamentos (anos)
 j – Índice referente ao ano de análise (ano)

d) Consumo médio unitário: O consumo médio unitário de um determinado ano é ponderado pelas vendas de equipamentos, considerando toda a vida útil.

$$cm_{jK} = \frac{\sum_{i=j-VU}^j Ceq_{iK} \cdot V_i}{\sum_{i=j-VU}^j V_i} \quad (5)$$

sendo:

Ceq – Consumo anual unitário do equipamento novo ou usado de idade i (kWh)

Obs: O Ceq de cada modelo equivalente dos equipamentos avaliados é corrigido pelos efeitos de degradação de desempenho devido à idade, temperatura ambiente e hábitos de uso, como descrito nas premissas.

e) Redução de Demanda de Ponta - RDP: A RDP é calculada com base na economia de energia, tempo de utilização dos equipamentos e do fator de coincidência de ponta.

$$RDP = \frac{EE.FCP}{t} \quad (6)$$

sendo:

EE – Economia de energia atribuída ao PBE (GWh)
 FCP – Fator de Coincidência de Ponta (.)
 t – Tempo anual de operação dos equipamentos (horas)

3.0 - IMPACTOS ENERGÉTICOS E DISCUSSÃO

Com informações de mercado de diversas fontes de informação, como ABRAVA (2010), PBE/INMERO (2010), CPTEC/INPE (2010), PROCEL/ELETOBRÁS (2010), PNAD/IBGE (2010), entre outros, quanto ao parque de equipamentos e consumo unitário, conseguiram-se as informações para a aplicação das metodologias para estimativas da economia de energia e redução de demanda de ponta. A seguir são apresentados os principais resultados de economia de energia e redução de demanda de ponta.

Somando os resultados de refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos, conclui-se que os programas de etiquetagem energética no Brasil trouxeram uma economia de energia de 7.189 GWh (energia suficiente para abastecer cerca de três milhões de residências, considerando um consumo médio de 200 kWh/mês), em 2009 e uma redução de demanda de ponta de 3.677 MW, no mesmo ano, que representa próximo de 4% de toda capacidade instalada para a geração de energia elétrica no Brasil. A Figura 3 apresenta a participação dos impactos energéticos, em termos de economia de energia, de cada equipamento, em 2009.

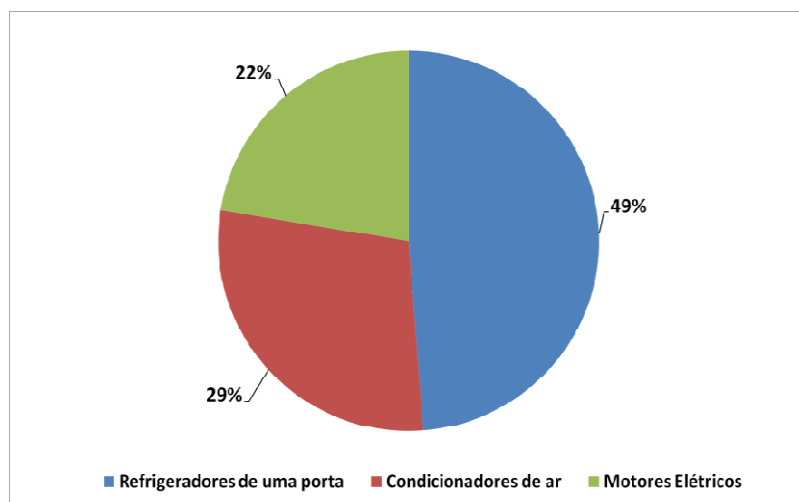


Figura 3 - Participação na economia de energia, atribuídos aos programas de etiquetagem energética no Brasil, em 2009

Os resultados dos impactos energéticos apresentados anteriormente obedecem às condições impostas para a aplicação da metodologia, tais como, modelos representativos, condições de operação, função sucateamento, etc. Nesse sentido, efetuou-se análises de sensibilidades de algumas variáveis da metodologia proposta para a verificação dos desvios associados às hipóteses simplificadas. As hipóteses consideradas na metodologia e as simulações do estudo de sensibilidade estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condições para o estudo de sensibilidade das variáveis

Hipótese	Estudo de sensibilidade
1. Em equipamentos como refrigeradores e aparelhos de ar condicionado, a eficiência avaliada nos ensaios para definição da categoria no programa de etiquetagem é diferente da eficiência constatada em condições reais.	Comparar a estimativa de economia de energia em refrigeradores nas condições do modelo proposto e nas condições representativas de uso.
2. A composição do parque de equipamentos decorre essencialmente das vendas durante a vida útil (informadas pelos fabricantes) e do sucateamento (estimado com base em dados do PNAD).	Comparar a estimativa de economia de energia considerando a evolução do parque de unidades consumidoras: a) como condições do modelo proposto e b) assumindo o efeito de eventos e discontinuidades que impliquem na retirada do mercado de produtos antes de terem completado sua vida útil (ex. programa de substituição de refrigeradores das concessionárias, redução temporária do IPI, crise energética de 2001).
3. A distribuição das vendas de equipamentos, por classe de eficiência energética, pode ser estimada pelo número de modelos da classe, o que implica afirmar que as vendas são idênticas para os diferentes modelos.	Comparar as estimativas de economia de energia considerando as seguintes hipóteses: a) os modelos apresentam frações similares do mercado e b) os modelos apresentam frações diferentes de mercado.

As análises de sensibilidades foram realizadas para refrigeradores, no entanto, os impactos devem ser semelhantes aos impactos em condicionadores de ar. Realizou-se simulações, considerando as hipóteses 1, 2 e 3 apresentadas na Tabela 1 nas seguintes condições:

- Hipótese 1: Comparação entre os resultados de economia de energia com a consideração de efeitos da temperatura de operação com os resultados sem considerar tais efeitos.
- Hipótese 2: Comparação entre os resultados de economia de energia alterando a função sucateamento de: 10% sucateado com 15 anos, 50% com 16 anos e 40% com 17 anos de idade para 10% ao ano, a partir do sexto ano de idade.
- Hipótese 3: Comparação entre os resultados de economia de energia com a consideração de que todos os modelos existentes de refrigeradores são vendidos nas mesmas proporções com a consideração de que os modelos são vendidos em proporções diferentes de acordo com um gerador randômico de porcentagens de venda entre os modelos. Considerou-se a maior diferença entre as diversas simulações.

Os desvios encontrados associados a essas hipóteses estão apresentados na Tabela 2, confirmando a necessidade de serem considerados tais efeitos nos estudos de impacto energético das medidas de eficiência.

Tabela 2 - Resultados das análises de sensibilidades, em refrigeradores de uma porta

Hipótese	EE (GWh)	Variação com o modelo proposto
Modelo Proposto	3.507	-
Sem efeito da temperatura	4.944	>40%
Sem efeito da VU considerada	3.868	>10%
Sem efeito da composição do mercado	4.218	>20%

A Tabela 2 mostra que a principal hipótese a ser considerada na avaliação dos impactos energéticos, é a hipótese 1 que, caso não seja considerada, pode apresentar desvios na ordem de 40% nos resultados dos impactos energéticos. Os impactos das demais hipóteses também são significativos, mostrando que, dependendo do modelo de descarte considerado (de acordo com a vida útil média) os desvios chegam a mais de 10% e, se não considerasse a composição do mercado de acordo com a classe de eficiência energética os desvios chegariam a mais de 20%. Os impactos das variáveis para condicionadores de ar são similares aos dos refrigeradores de uma porta.

Com relação aos motores elétricos, os impactos de hábitos de uso, no que diz respeito ao carregamento médio de operação, são relativamente pequenos. Como o carregamento médio de operação dos motores elétricos, varia entre 55% e 74%, resulta em desvios de apenas 1% nos resultados de economia de energia, caso o mesmo não fosse considerado, ou seja, considerando operação em condições nominais.

A Figura 4 apresenta uma análise de sensibilidades de três das principais variáveis utilizadas nos modelos para cálculos de economia de energia. A figura mostra que, nas faixas típicas de operação dos equipamentos analisados, os maiores impactos são referentes ao tempo de utilização e à temperatura ambiente, no caso de refrigeradores e condicionadores de ar, podendo impactar em valores maiores que 40%.

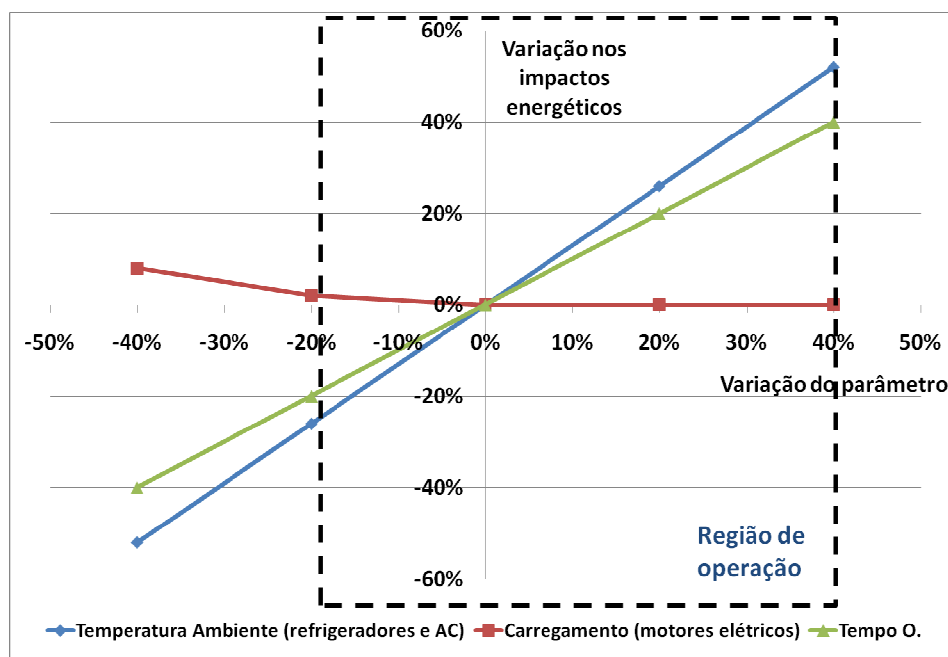


Figura 4 - Sensibilidade das variáveis nos impactos energéticos

4.0 - CONCLUSÃO

Com base no desenvolvimento, aplicação e estudo das metodologias desenvolvidas para a avaliação dos impactos energéticos dos programas brasileiros de etiquetagem energética, estimou-se que em 2009, os refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos propiciaram uma economia de energia de 7.189 GWh e uma redução de demanda de ponta de 3,7 GW, que corresponde quase 4% de toda a potência instalada para a geração de energia elétrica no país naquele ano. Caso não se considerasse os efeitos de temperatura ambiente e perda de desempenho ao longo da vida útil, os valores de RDP apresentariam diferença (aumentada) na ordem de 46%, na avaliação de refrigeradores de uma porta e 40% em condicionadores de ar. Com relação aos hábitos de uso, caso considerasse que todos os motores elétricos operam apenas em condições nominais, os resultados de economia de energia apresentariam desvios de 22%.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, “*Vendas de Condicionadores de ar e freezers e refrigeradores*”, 2010.
- (2) CARDOSO, R.B., NOGUEIRA, L.A.H, HADDAD, J.; *Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil*, Applied Energy, DOE, 2010.
- (3) CEPAL, *Situación y perspectivas de la eficiencia energética en América Latina y El Caribe*, Comisión Económica para la América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago, 2010.
- (4) JANNUZZI, G.M., DANIELLA, M.A., SILVA, S. A., *Metodologia para a avaliação da aplicação dos recursos dos programas de eficiência energética*, International Energy Initiative, paper n°2.60 -01, 2004.
- (5) MAHLIA T.M.I., Masjuki H.H., Taha F.M., Rahim N.A., Saidur R.; *Energy labeling for electric fans in Malaysia*. Energy Policy 33, 63–68, 2005.
- (6) PNAD/IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “*Distribuição por região de freezers e refrigeradores no Brasil*”, 2010.
- (7) PROCEL, *Avaliação dos Resultados do Procel 2009*, Eletrobrás, DPS/DPST, Março de 2010.