

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Rafael Balbino Cardoso

**Estudo dos impactos energéticos dos Programas
Brasileiros de Etiquetagem Energética: Estudo de caso
em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar
e motores elétricos**

**Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para
a obtenção do Título de Doutor em Ciências em
Engenharia Elétrica**

Área de concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Co-Orientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira

Setembro de 2012

Itajubá

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Rafael Balbino Cardoso

**Estudo dos impactos energéticos dos Programas
Brasileiros de Etiquetagem Energética: Estudo de caso
em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar
e motores elétricos**

Tese aprovada por banca examinadora em 25 de
Setembro de 2012, conferindo ao autor o título de
Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Sérgio Valdir Bajay (Unicamp)

Prof. Dr. José Antônio Perella Balestieri (Unesp)

Prof. Dr. Cláudio Ferreira (Unifei)

Prof. Dr. Edson da Costa Bortoni (Unifei)

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira (Unifei)

Prof. Dr. Jamil Haddad (Unifei) (Orientador)

Itajubá

2012

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, bem como os impactos ambientais, em termos de redução de emissões de gases do efeito estufa. O estudo analisa os impactos das principais variáveis, tais como temperatura ambiente, vida útil média considerada e composição do mercado quanto à classe de eficiência dos equipamentos, para os equipamentos avaliados: refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos. Para o desenvolvimento do presente estudo, estruturou-se o trabalho em três partes. A primeira parte apresenta uma contextualização e a importância da eficiência energética, destacando os programas de etiquetagem energética no mundo e no Brasil, bem como as tecnologias dos equipamentos avaliados. A segunda parte apresenta os métodos e a aplicação dos mesmos, para a avaliação dos impactos energéticos e ambientais dos programas de etiquetagem energética brasileiros, considerando os efeitos de perdas de desempenho dos equipamentos ao longo da vida útil, bem como efeitos sazonais típicos de cada região do país e desagregações setoriais. A terceira e última parte apresenta os resultados e as principais conclusões do estudo. 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. Considerando os níveis de emissões de GEE do sistema interligado nacional – SIN, constatou-se que foram evitadas cerca de 345.072 tCO₂ emitidas na atmosfera, o que corresponde cerca de 718.900 barris de petróleo cru queimados, valores que são suficientes para atender a demanda mundial de petróleo em apenas alguns minutos no 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.

ABSTRACT

The present study evaluate and analyze the energy impacts attributed to the Brazilian Energy Label Programs and PROCEL Label Program, in terms of energy saving and demand reduction, as well as the environmental impacts, in terms of reduction emissions of greenhouse gases. The study analyzes the impacts of the main variables, such as ambient temperature, medium useful life considered and market composition for the efficiency class of the equipments, for the appraised equipments: one door refrigerators, air conditioners and electric motors. For the development of the present study, the work was structured in three sections. The first section presents a context and the importance of the energy efficiency, detaching the Energy Label Programs in the world and in Brazil, as well as the technologies of the appraised equipments. The second section presents the methods and the application of the same ones, for the evaluation of the energy and environmental impacts of the Energy Label Programs in Brazilian, considering the effects of efficiency losses of the equipments along the useful life, as well as typical seasonal effects of each region of the country and sector disaggregation. The third and last section presents the results and the main conclusions of the study. According to estimates, in 2009, the one door refrigerators, air conditioners and electric motors propitiated an energy saving of 7,189 GWh and a demand reduction of 3.7 GW, that it almost corresponds 4% of the whole electric power generation installed in the country on that year. Considering the levels of greenhouse gases emissions of the National System of Energy Distribute, was verified that were avoided about 345,072 tCO₂ emitted in the atmosphere, what corresponds about 718,900 petroleum barrels, values that are enough to assist the world petroleum demand in just some minutes in the year. It was verified that the seasonal effects, as ambient temperature, have great influences in the energy impacts, in refrigerators and air conditioners, influencing in the order of 40% in the results. Discard effects and distribution of the sales of equipments for energy efficiency class also interfere significantly, in the order of 10% and 20%, respectively, in the results of energy saving. In the case of electric motors, the impacts of the use habits, in what concern the load operation medium are relatively small.

SUMÁRIO

PARTE 1: CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Contextualização sobre programas de eficiência energética.....	1
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Escopo do estudo.....	4
2. PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	6
2.1. Programas de eficiência energética no mundo e etiquetagem.....	6
2.1.1. Programas de Eficiência Energética.....	9
2.1.2. Etiquetagem Energética.....	17
2.2. Programas de EE no Brasil.....	21
2.2.1. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e Programa Selo PROCEL.....	22
2.2.2. Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL.....	28
2.3. Legislação brasileira de Eficiência Energética.....	28
3. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DE PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	31
3.1. Importância da medição e verificação - M&V.....	31
3.2. Atribuições do PIMVP.....	33
3.3. Critérios da ASHRAE Guideline 14-2002.....	34
3.4. Discussão e resultados alcançados em Programas de Eficiência Energética.....	35
3.4.1. Âmbito Internacional.....	35
3.4.2. Âmbito Nacional.....	37
4. TECNOLOGIAS DE REFRIGERADORES, CONDICIONADORES DE AR E MOTORES ELÉTRICOS.....	44
4.1. Refrigeradores.....	44
4.2. Condicionadores de ar.....	47
4.3. Motores elétricos.....	51
5. MÉTODOS.....	56
5.1. Elaboração de modelos para a avaliação dos impactos energéticos.....	56
5.1.1. Modelos gerais para avaliação dos impactos energéticos.....	63
5.1.2. Modelos específicos, de cada equipamento, para avaliação dos impactos energéticos.....	64

5.2. Estudo dos impactos das variáveis e avaliação das incertezas	70
5.3. Avaliação da redução das emissões de gases do efeito estufa	73
6. DADOS DE ENTRADA DOS MODELOS PROPOSTOS	74
6.1. Refrigeradores de uma porta.....	74
6.1.1. Informações para a formação do parque de refrigeradores de uma porta.....	74
6.1.2. Informações para o cálculo do consumo médio unitário dos refrigeradores	77
6.2. Condicionadores de ar do tipo janela e split	83
6.2.1. Informações para a formação do parque de condicionadores de ar.....	84
6.2.2. Informações para o cálculo do consumo médio unitário dos condicionadores de ar	85
6.3. Motores de indução trifásicos	89
6.3.1. Informações para a formação do parque de motores elétricos	90
6.3.2. Informações para o cálculo do consumo médio unitário dos motores elétricos	90
7. RESULTADOS	97
7.1. Parque de Equipamentos	97
7.2. Consumo médio unitário	99
7.3. Consumo do parque, Economia de Energia, RDP e redução de emissões de GEE	101
7.4. Análises dos impactos das variáveis e incertezas dos modelos	106
7.4.1. Incertezas para refrigeradores de uma porta	110
7.4.2. Incertezas para condicionadores de ar	111
7.4.3. Incertezas para motores elétricos.....	112
8. CONCLUSÕES.....	115
9. REFERÊNCIAS.....	118

AGRADECIMENTOS

A Deus que está comigo em todos os momentos de minha vida.

Aos familiares, em especial meus pais, Albino de Souza Cardoso e Maria Cleuza Balbino Cardoso, amigos e colegas de trabalho que direta ou indiretamente contribuíram na elaboração deste trabalho.

Aos professores Luiz Augusto Horta Nogueira e Jamil Haddad pela valiosa orientação, incentivo e apoio na elaboração deste trabalho.

Ao PROCEL/Eletróbrás e PBE/INMETRO pelas informações e discussões que resultaram em melhorias na abordagem e desenvolvimento do trabalho.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1: Evolução da etiquetagem energética	8
Tabela 2. 2: Regulamentação de índices mínimos de eficiência e etiquetagem de equipamentos	9
Tabela 2. 3: Estatística com refrigeradores de uma porta, comercializados no Brasil no ano de 2006.....	25
Tabela 2. 4: Estatística com condicionadores de ar do tipo split, com capacidade entre 7.500-30.000 Btu/h, comercializados no Brasil no ano de 2009	25
Tabela 3. 1: Projetos de Eficiência Energética, recentes, realizados pela ANEEL.....	39
Tabela 3. 2: Síntese dos resultados do Selo PROCEL em 2011.....	41
Tabela 6. 1: Vendas anuais de freezers e refrigeradores.....	75
Tabela 6. 2: Temperaturas médias anuais ponderadas pelas populações das mesorregiões geográficas do IBGE.....	77
Tabela 6. 3: Evolução dos consumos dos modelos representativos de refrigeradores de uma porta (300 litros de volume interno).....	78
Tabela 6. 4: Evolução dos consumos médios efetivos dos modelos representativos de refrigeradores de uma porta (300 litros de volume interno), por região (linha de base) Fonte: (Elaboração própria).....	81
Tabela 6. 5: Evolução dos consumos médios efetivos dos modelos representativos de refrigeradores de uma porta (300 litros de volume interno), por região (Real)	82
Tabela 6. 6: Vendas de condicionadores de ar no Brasil, em milhões de unidades	84
Tabela 6. 7: Condições estimadas de operação dos condicionadores de ar no Brasil	87
Tabela 6. 8: Evolução dos coeficientes de performance dos modelos representativos de condicionadores de ar do tipo janela.....	87
Tabela 6. 9: Evolução dos coeficientes de performance dos modelos representativos de condicionadores de ar do tipo split	88
Tabela 6. 10: Cargas térmicas dos modelos representativos de condicionadores de ar, em kJ/°C.h	89
Tabela 6. 11: Vendas de motores elétricos no Brasil.....	90
Tabela 6. 12: Eficiência mínima de motores elétricos (padrão) (%)	91

Tabela 6. 13: Eficiência mínima de motores elétricos (alto rendimento) (%)	92
Tabela 6. 14: Eficiência dos motores elétricos novos (%).....	93
Tabela 6. 15: Vida útil média de motores elétricos	96
Tabela 7. 1: Consumo médio unitário dos condicionadores de ar do tipo janela (J) e split (S) em 2009 (kWh/ano).....	100
Tabela 7. 2: Potência média e tempo médio anual de operação de motores de indução trifásicos	101
Tabela 7. 3: Impactos energéticos atribuídos aos programas de eficiência energética brasileiros em refrigeradores de uma porta no ano de 2009	102
Tabela 7. 4: Consumo do parque de condicionadores de ar no ano de 2009	103
Tabela 7. 5: Impactos energéticos, atribuídos aos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética em condicionadores de ar no ano de 2009.....	103
Tabela 7. 6: Impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética em motores elétricos no ano de 2009	104
Tabela 7. 7: Impactos ambientais no ano de 2009.....	105
Tabela 7. 8: Condições para o estudo de sensibilidade das variáveis.....	107
Tabela 7. 9: Resultados das análises de sensibilidades, em refrigeradores de uma porta	108
Tabela 7. 10: Impacto de incertezas das variáveis no modelo	110
Tabela 7. 11: Incerteza do modelo (refrigeradores de uma porta).....	111
Tabela 7. 12: Impacto de incertezas das variáveis no modelo	111
Tabela 7. 13: Incerteza do modelo (condicionadores de ar).....	112
Tabela 7. 14: Impacto de incertezas das variáveis no modelo	113
Tabela 7. 15: Incerteza do modelo (motores elétricos).....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1: Etiquetas de eficiência energética contínuas	18
Figura 2. 2: Etiquetas de eficiência energética por categoria do mercado europeu	19
Figura 2. 3: Etiqueta Energy Star	20
Figura 2. 4: Etiquetas de Eficiência Energética.....	21
Figura 2. 5: Etiqueta Nacional de Eficiência Energética	23
Figura 2. 6: Consumo dos modelos de refrigeradores de uma porta no ano de 2006, comercializados no Brasil	24
Figura 2. 7: Selo PROCEL.....	26
Figura 2. 8: Resultados energéticos do PROCEL no ano de 2009	28
Figura 2. 9: Níveis mínimos de eficiência e eficiência exigida para a agraciação do Selo PROCEL de motores elétricos do tipo padrão e alto rendimento.....	30
Figura 3. 1: Metodologia básica para avaliação da economia de energia pelo critério da ASHREA Guideline 14.....	35
Figura 3. 2: Evolução do consumo médio de refrigeradores domésticos novos dos Estados Unidos	36
Figura 3. 3: Modelagem para avaliação de economia de energia do parque de equipamentos.....	41
Figura 4. 1: Esquema do ciclo de compressão	44
Figura 4. 2: Refrigerador de uma porta fabricado na década de 1980.....	46
Figura 4. 3: Refrigerador de uma porta com Selo PROCEL, fabricado atualmente.....	46
Figura 4. 4: Refrigerador Solus com reaproveitamento de matéria orgânica.....	47
Figura 4. 5: Ar Condicionado tipo janela ou parede.....	49
Figura 4. 6: Ar Condicionado tipo split	50
Figura 4. 7: Eficiência energética mínima para condicionadores de ar do tipo janela ...	51
Figura 4. 8: Corte de Motor Gaiola e seus componentes	52
Figura 4. 9: Variação típica de algumas grandezas do motor de indução em relação à carga no eixo.....	53
Figura 5. 1: Evolução do desempenho energético médio de refrigeradores de uma porta entre os anos de 2007 e 2008.....	58

Figura 5. 2: Evolução do desempenho médio de refrigeradores de uma porta, entre os anos de 2007 e 2008, com e sem o Selo PROCEL.....	59
Figura 5. 3: Esquema metodológico para avaliação da economia de energia atribuída aos programas brasileiros de etiquetagem energética.....	59
Figura 5. 4: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico como função de sua eficiência	60
Figura 5. 5: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico na situação original e com a introdução de etiqueta classificatória.....	61
Figura 5. 6: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico na situação original e com a introdução de etiqueta classificatória e selo de endosso	62
Figura 5. 7: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico na situação original e com a introdução de etiqueta classificatória, selo de endosso e índice mínimo de eficiência energética.....	62
Figura 6. 1: Participação de freezers e refrigeradores no mercado brasileiro	75
Figura 6. 2: Distribuição do parque de refrigeradores por região do país.....	76
Figura 6. 3: Função sucateamento de refrigeradores de uma porta	76
Figura 6. 4: Evolução do consumo médio de refrigeradores de uma porta de 300 litros, na situação de linha de base do mercado	79
Figura 6. 5: Evolução do consumo médio de refrigeradores de uma porta de 300 litros, na situação real de mercado.....	80
Figura 6. 6: Fatores de degradação de desempenho ao longo da vida útil.....	83
Figura 6. 7: Concentração de condicionadores de ar por região geográfica do Brasil Fonte: (POF/IBGE, 2003)	85
Figura 6. 8: Estudo da frequência de temperaturas para estimativa da temperatura média externa aos condicionadores de ar, quando em operação na região Norte.....	86
Figura 6. 9: Fatores de degradação de desempenho de condicionadores de ar ao longo da vida útil desses equipamentos	89
Figura 6. 10: Fatores de carregamento médios de motores na indústria brasileira	94
Figura 6. 11: Fator de Eficiência para motores de 1 a 10 cv.....	94
Figura 6. 12: Fator de Eficiência para motores acima de 10 cv	95
Figura 6. 13: Fator médio de degradação de desempenho de motores elétricos ao longo da vida útil	96

Figura 7. 1: Parque de refrigeradores de uma porta no Brasil, em 2009	97
Figura 7. 2: Parque de condicionadores de ar no Brasil, em 2009	98
Figura 7. 3: Parque de motores elétricos no Brasil, em 2009.....	98
Figura 7. 4: Evolução do consumo médio unitário de refrigeradores de uma porta, na condição de linha de base (LB)	99
Figura 7. 5: Evolução do consumo médio unitário de refrigeradores de uma porta, na condição real.....	100
Figura 7. 6: Consumo do parque de refrigeradores de uma porta em 2009	102
Figura 7. 7: Consumo do parque de motores elétricos em 2009	104
Figura 7. 8: Participação na economia de energia, atribuídos aos programas de etiquetagem energética no Brasil, em 2009.....	105
Figura 7. 9: Sensibilidade das variáveis nos impactos energéticos	109

LISTA DE SIGLAS

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento

ADEME – Agence de l’Environnement et la Maitrise de Energie

AEE – Agence pour les économies d’énergie

AFME – Agence Française pour la maîtrise de l’énergie

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

C – Consumo de Energia

CEE – Coeficiente de Eficiência Energética

CEPAL – Comisión Económica para la América Latina y el Caribe

CLASP – Collaborative Labeling and Appliance Standards Program

CONAE – Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

CONUEE – Comisión Nacional para El Uso Eficiente de La Energía

COP – Coeficiente de Performance

CUREN – Programa de Conservación y Uso Racional de la Energía

DOE – Department of Energy

EE – Economia de Energia

EEAP – Energy Efficiency Action Plan

EECJ – Energy Conservation Center of Japan

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPA – Environmental Protection Agency

EST – Energy Saving Trust

EVO – Efficiency Valuation Organization

FE – Fator de Emissão

FIDE – Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

FR – Fator de Eficiência

GEE – Gases do Efeito Estufa

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

IDEA – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

IDEC – Instituto de Defesa do Consumidor

IEA – International Energy Agency

IMEE – Índices Mínimos de Eficiência Energética

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

LB – Linha de Base

M&V – Medição e Verificação

P – Parque de equipamentos

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PEE – Programas de Eficiência Energética

PIA – Pesquisa Industrial Anual

PIMVP – Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

POF – Pesquisa de Orçamento Familiar

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROURE – Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía

RDP – Redução de Demanda de Ponta

S – Sucateamento de equipamentos

SIN – Sistema Interligado Nacional

V – Venda de equipamentos

PARTE 1: CONTEXTUALIZAÇÃO E IMPORTÂNCIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

1. INTRODUÇÃO

O presente capítulo apresenta uma breve contextualização sobre a importância das ações de promoção à eficiência energética, destacando os principais programas de etiquetagem energética no Brasil e o método utilizado, atualmente, para a avaliação dos impactos energéticos desses programas. Apresenta, também, os objetivos propostos pela tese, bem como o escopo do estudo.

1.1. Contextualização sobre programas de eficiência energética

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.

Em meados da década de 1980, com a estabilização do preço do petróleo, diminuiu a preocupação com relação à segurança do suprimento de energia. Os fundos disponíveis para financiar as atividades de conservação e diversificação das fontes primárias de energia foram, conseqüentemente, bastante reduzidos. No final da década de 1980, o impacto das emissões de poluentes, principalmente as oriundas da queima de combustíveis, na variação climática global, tornou-se uma preocupação mundial. Esta preocupação e alternativas de solução foram amplamente discutidas no encontro internacional realizado em 1992, na cidade do Rio de Janeiro; posteriormente, na cidade japonesa de Kyoto em 1997, firmou-se um acordo internacional, onde os países

signatários estabeleceram metas de redução de emissões de CO₂. Desde então, intensificaram-se ações para a promoção da eficiência energética em toda a cadeia produtiva dos produtos comercializados no mercado mundial.

Segundo Cardoso (2008), além dos ganhos energéticos, os investimentos em conservação de energia no uso final apresentam maiores benefícios econômicos do que os investimentos na ampliação da matriz geradora de energia elétrica de um país. O Governo e as concessionárias distribuidoras são beneficiados pelas “usinas virtuais”, originadas pela economia de energia, pois em bases proporcionais, os investimentos em ações de eficiência energética, que resultam em ganhos energéticos, apresentam maior atratividade que os investimentos em ampliação da matriz de geração. Já a sociedade é beneficiada pela redução de emissões de gases do efeito estufa, pois, com a economia de energia as usinas elétricas, no primeiro momento, geram menos energia e conseqüentemente reduzem as suas emissões. No entanto, as dificuldades quanto à medição e verificação (M&V) das medidas de conservação de energia atribuem maiores incertezas nos ganhos energéticos obtidos.

Além dos benefícios ambientais para a sociedade, as ações de eficiência energética no uso final podem trazer benefícios econômicos para os consumidores. Pode-se citar o exemplo do programa Selo PROCEL, criado em 1993 pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétricas – PROCEL/Eletrobrás no Brasil, que tem por objetivo informar voluntariamente os consumidores brasileiros quanto aos equipamentos mais eficientes no mercado. Segundo Cardoso et. al. (2010), frequentemente, os consumidores que compram equipamentos com o Selo PROCEL são beneficiados economicamente, ou seja, a economia de energia obtida ao longo da vida útil do equipamento é suficiente para cobrir a diferença entre o custo do equipamento mais eficiente, de maior preço, e o custo do produto correspondente menos eficiente, de menor preço.

Atualmente já existem metodologias desenvolvidas para a medição e verificação dos resultados do programa Selo PROCEL, no entanto, os resultados de impactos energéticos atribuídos ao principal programa de etiquetagem energética do Brasil, Programa Brasileiro de Etiquetagem do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – PBE/INMETRO, criado em 1985 para a orientação aos consumidores quanto à eficiência de equipamentos consumidores de energia, ainda não

foram mensurados. Nesse contexto, o presente estudo propõe desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos impactos energéticos dos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética (PBE/INMETRO e Selo PROCEL). A metodologia segue critérios internacionais, como por exemplo, os do protocolo internacional de medição e verificação de performance (PIMVP), para a avaliação dos impactos energéticos, semelhante à metodologia utilizada para a avaliação do Programa Selo PROCEL. Serão considerados basicamente três efeitos, que não eram considerados em metodologias desenvolvidas recentemente para avaliações de impactos energéticos de programas de etiquetagem no Brasil: a) os efeitos de temperatura ambiente; b) efeito de descarte dos equipamentos, devido à vida útil e; c) efeitos da distribuição das vendas por classe de eficiência energética no consumo energético dos equipamentos analisados. O estudo de caso foi realizado para a avaliação dos impactos energéticos, economia de energia e Redução de Demanda de Ponta (RDP), em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar do tipo janela e split e motores elétricos comercializados no Brasil, considerando ou não os efeitos mencionados anteriormente.

1.2. Objetivos

Geral:

O propósito do presente estudo é avaliar e analisar os impactos energéticos e ambientais atribuídos aos programas de informação ao consumidor (PBE/INMETRO e Selo PROCEL) sobre o desempenho energético, no âmbito de refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos.

Específicos:

- Desenvolver e aplicar metodologias para a avaliação dos impactos energéticos, em termos de economia de energia e redução de demanda de ponta, semelhante às metodologias utilizadas na avaliação dos impactos energéticos do Programa Selo PROCEL.
- Avaliar os impactos das variáveis consideradas nas metodologias desenvolvidas para as avaliações dos impactos energéticos, em refrigeradores e condicionadores de ar, que não eram consideradas em metodologias desenvolvidas recentemente, como os efeitos de temperatura, descarte, devido à vida útil, e distribuição das vendas por classe de eficiência energética. No caso

de motores elétricos, avaliam-se os impactos dos hábitos de uso, no que diz respeito ao carregamento médio de operação.

- Estimar as incertezas dos modelos propostos para a avaliação dos impactos energéticos.
- Estimar os impactos ambientais atribuídos aos Programas de etiquetagem em termos de redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE).

1.3. Escopo do estudo

Para efetuar o estudo dos impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética (PBE/INMETRO e Selo PROCEL) o presente estudo se divide em três partes.

A primeira parte apresenta o contexto e a importância dos programas de etiquetagem energética do mundo e do Brasil, destacando a Medição e Verificação de alguns programas, bem como as tecnologias mais eficientes dos equipamentos estudados: refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos.

A segunda parte apresenta os métodos utilizados para a avaliação dos impactos energéticos, bem como a aplicação dos mesmos. Os métodos, utilizados para a avaliação dos impactos, consideram premissas de protocolos internacionais, incluindo conceitos de adoção de linha de base, efeitos de sazonalidades, como temperatura ambiente e degradação de desempenho ao longo da vida útil dos equipamentos, devido à idade. Cabe observar que as avaliações de impactos energéticos, de programas de etiquetagem, realizadas no Brasil, recentemente, não consideravam tais variáveis, baseando-se unicamente no tamanho do parque de equipamentos e na diferença de consumo unitário padronizado, entre os equipamentos menos e mais eficientes.

Por fim, a terceira parte apresenta os resultados, discussões e conclusões sobre os impactos estimados de economia de energia, redução de demanda de ponta e redução de emissões de gases do efeito estufa, considerando ou não os efeitos das variáveis incorporadas pelas metodologias (temperatura ambiente, vida útil média considerada e composição do mercado quanto à classe de eficiência energética). Essa última análise

permitiu concluir que algumas variáveis incorporadas às metodologias possuem um alto grau de impacto nas estimativas dos impactos energéticos, sinalizando que vale a pena continuar considerando-as em futuros estudos.

2. PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Estima-se que atualmente a eficiência global de conversão de energia primária em energia útil é de aproximadamente um terço (33%). Em outras palavras, dois terços da energia primária são dissipados no processo de conversão, principalmente sob a forma de calor a baixas temperaturas. Segundo estimativas, para os próximos 20 anos a quantidade de energia primária poderá ser reduzida de 25% a 35%, em termos relativos, nos países industrializados com ganhos econômicos significativos. Nos países em desenvolvimento, que se caracterizam por um alto índice de crescimento econômico e também por uma grande presença de equipamentos obsoletos e de menor eficiência energética, os potenciais de melhora são ainda maiores, entre 30% e 45% (Goldemberg e Villanueva, 2003).

O uso eficiente de energia apresenta importantes marcos no Brasil e no exterior. Nessa oportunidade serão apresentados e discutidos alguns programas e projetos de eficiência energética no mundo e no Brasil, bem como as metodologias e premissas adotadas para a medição e verificação – M&V dos seus resultados.

2.1. Programas de eficiência energética no mundo e etiquetagem

Esta seção apresenta os principais programas de eficiência energética existentes no mundo. Como comentado anteriormente, a maioria desses programas surgiu entre as décadas de 1970 e 1980, devido às crises energéticas.

Tais programas nasceram, basicamente, devido às crises energéticas ocorridas nesses períodos e respondendo ao crescimento da consciência de que é necessário orientar os consumidores a usar racionalmente energia e reduzir as perdas e desperdícios energéticos. Com esse propósito foram empregadas diferentes configurações institucionais, com a criação de agências públicas e programas de eficiência energética em diversos países, entre os quais podem ser mencionados como instituições pioneiras, ainda atuantes:

- França: criada em 1974, a Agence pour les économies d'énergie (AEE), depois de diversos acertos institucionais e unindo em 1982 a Agence Française pour la

maîtrise de l'énergie (AFME), além de outras agências ambientais e de fomento à energia renováveis, foi convertida em 1992 na Agence de l'Environnement et la Maitrise de Energie (ADEME).

- Japão: fundado em 1978 o Energy Conservation Center of Japan (EECJ), denominação mantida até hoje.
- Espanha: criado em 1974 o Centro de Estudios de Energía, ampliado e convertido em 1984 no Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

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 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).

Uma ação bastante difundida entre os programas de eficiência energética tem sido os programas de etiquetagem energética, que provém informação ao consumidor quanto ao desempenho energético de equipamentos consumidores de energia, tipicamente com ênfase em eletricidade, mas podendo cobrir todos os energéticos como combustíveis e energia solar. Dessa forma, pretende-se que a eficiência seja um atributo considerado pelos consumidores, valorizando os produtos mais eficientes em relação aos demais e estimulando produtores e importadores a fornecerem equipamentos de melhor desempenho energético.

A Tabela 2.1, que retrata a evolução do uso de etiquetas energéticas em escala global, com dados referentes a 2004, confirma a ampla adoção desse instrumento de orientação do mercado.

Tabela 2. 1: Evolução da etiquetagem energética
 Fonte: (CLASP, 2008)

País	Início da etiquetagem	Número de produtos etiquetados	Forma de etiquetagem
França	1966	08	Mandatória
Estados Unidos	1976	58	Mandatória ou voluntária
Alemanha	1976	06	Voluntária
Canadá	1978	39	Mandatória ou voluntária
Rússia	1983	02	Mandatória
Brasil	1984	26	Mandatória e voluntária
Israel	1985	11	Mandatória
Austrália	1986	31	Mandatória ou voluntária
Índia	1987	06	Mandatória ou voluntária
China	1989	23	Mandatória ou voluntária
Malásia	1989	02	Voluntária
Jamaica	1992	02	Mandatória
México	1995	12	Mandatória ou voluntária
Costa Rica	1996	08	Mandatória
Colômbia	1998	07	Mandatória
Venezuela	1998	03	Mandatória
África do sul	2000	03	Voluntária
Argentina	2001	03	Mandatória
Peru	2001	01	Voluntária
Tunísia	2004	01	Voluntária

Em alguns países, a etiquetagem pode ser voluntária ou obrigatória, dependendo do produto. No caso brasileiro, os programas são implementados inicialmente de forma voluntária, com a cooperação da indústria, contudo ao longo do tempo, em alguns produtos a colocação das etiquetas passa a ser uma obrigação legal do fabricante ou importador. Com efeito, de um modo geral, há uma tendência para a regulação do mercado visando à eficiência e determinando a adoção compulsória de etiquetas energéticas. Na mesma linha de uma atuação mais determinada do Estado em busca da

racionalidade energética, têm sido adotados níveis mínimos de eficiência ou níveis máximos de perdas energéticas, geralmente em associação às etiquetas. Nessa direção, a partir da década de 1990, em alguns países tem sido editadas normas legais estabelecendo índices mínimos de eficiência energética e reforçando o uso de etiquetas de eficiência energética em produtos eletroeletrônicos, como apresentado na Tabela 2.2. Como será comentado adiante, em 2001 foi promulgada uma legislação no Brasil com esse objetivo.

Tabela 2. 2: Regulamentação de índices mínimos de eficiência e etiquetagem de equipamentos

Fontes: (EST, 2011), (ADEME, 2011) e (OEE, 2011)

País	Legislação	Regulamentação
Canadá	Ato da Eficiência Energética 1992	- Índices mínimos de eficiência energética. - Certificação/Etiquetagem: Selo obrigatório para todos os equipamentos eletroeletrônicos.
França	Lei de Eficiência Energética 1992	- Índices mínimos de eficiência energética. - Etiquetagem - Selo obrigatório. - Regulamentação térmica - Desempenho energético em Edificações.
Estados Unidos	Lei da Política Energética 1992	- Índices mínimos de eficiência energética atualizados a cada 4 a 6 anos. - Etiquetagem - Selo obrigatório para todos os equipamentos eletroeletrônicos.
Reino Unido	Lei de Conservação de Energia Residencial 1996	- Índices mínimos de eficiência energética. - Etiquetagem - Selo obrigatório para todos os equipamentos desde 1995.

2.1.1. Programas de Eficiência Energética

A seguir apresenta-se alguns programas de eficiência energética no mundo que promovem a eficiência energética em seus países.

2.1.1.1. Países Europeus

De acordo com Haddad et al. (2006) entre os vários países com ações voltadas à conservação de energia, tem-se como exemplo o Reino Unido, que criou o Energy

Saving Trust (EST). O EST tem sua atuação direcionada para a eficiência energética nos setores residencial e comercial, dentro de uma perspectiva social, além da preocupação com a redução das emissões de CO₂. O EST também estabelece normas de eficiência energética para a habitação. O Reino Unido divulgou em 2003 o livro branco da energia que articula direções para a construção de edifícios energeticamente mais eficientes.

Atualmente, o EST atua nos seguintes temas para a promoção da eficiência energética:

- Utilização eficiente da energia no setor residencial
- Energias renováveis
- Transporte eficiente
- Eficiência energética em reciclagem de resíduos
- Prevenção de poluição e conservação da água.

Com relação aos programas de etiquetagem, no Reino Unido há uma série de etiquetas energéticas que foram criadas para orientar os consumidores a comparar produtos mais eficientes energeticamente. Essas etiquetas podem ser contínuas (indica o consumo de energia do equipamento em um determinado tempo (hora, dia, mês ou ano)), classificadas (apresenta as faixas de consumo energético do equipamento), ou endossadas (informa os consumidores que o equipamento é o mais eficiente em sua categoria).

Na Espanha o IDAE desenvolve os programas governamentais na área de conservação de energia. O IDAE tem fomentado a conservação de energia através do financiamento de projetos nesta área, por meio de serviços técnicos propiciados por ele próprio, e via tarefas de difusão.

A função básica do IDAE é promover a eficiência energética e a utilização racional da energia na Espanha. Além disso, visa promover a diversidade das fontes de energia e da utilização de fontes renováveis de energia (IDAE, 2010).

A Alemanha já atingiu um elevado nível de eficiência energética com um consumo primário de energia elétrica inferior a 7 GJ por 1000 € do Produto Interno Bruto (PIB).

Ao longo do tempo o consumo específico de energia no país tem claramente diminuído. No período 1990 - 2006 verificou-se uma redução média no consumo específico de energia (intensidade energética) de 1,7% ao ano (FMEATG, 2006).

O Plano de Ação para Eficiência Energética da Alemanha, Energy Efficiency Action Plan, (EEAP), fez o país adquirir um elevado nível de eficiência energética, atingindo um dos melhores índices de intensidade energética (consumo de energia por PIB) da Europa.

De acordo com FMEATG (2006) a Alemanha tem um objetivo ambicioso de eficiência energética, cuja meta é duplicar a produtividade energética até o ano de 2020 em comparação com a produtividade do ano de 1990. Conseqüentemente, a eficiência energética também desempenhará um papel importante nos principais pontos em relação ao aumento da produtividade. Para atingir essa meta o país elaborou, em 2007, um novo plano de ação para eficiência energética que pretende alcançar uma economia de 9% através de medidas de eficiência energética, até o ano de 2020. As ações com maior destaque são:

- Consolidar e lançar vários programas de financiamento a fim de obter o maior custo-benefício com ganhos energéticos no setor industrial, residencial, agricultura, comércio e em serviços e transportes;
- Aumentar a eficiência energética na construção civil, na indústria, no comércio e nos setores de serviços.
- Apoiar projetos internacionais sobre a proteção climática e eficiência energética (incluindo a aplicação coerente do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)).

Para o caso de edificações, o país vem incentivando construções com melhor isolamento térmico e uso de materiais ecológicos. Recentemente a Alemanha introduziu a “carteira de identidade energética” para edifícios que atendem as exigências de eficiência energética (FMEATG, 2006).

2.1.1.2. Países Asiáticos

No Japão, a eficiência energética não é apenas uma política governamental, é uma cultura, criada em boa parte pelos elevados custos por utilidade, nos diferentes tipos de consumo, em um país que tem poucos recursos naturais para o seu desenvolvimento econômico-social. A partir de medidas de eficiência energética, como por exemplo, reutilização de água quente para o banho, conservação de apenas um quarto aquecido durante o inverno, entre outros, a população japonesa começou a minimizar o seu consumo de energia. A tecnologia é uma das maiores forças do Japão na conservação da energia fazendo com que o mesmo seja considerado um dos países mais energeticamente eficientes, do mundo. Segundo estimativas do Governo japonês a eficiência energética melhorou em mais de 30% desde o ano de 1973. Em 1978, o Governo lançou o projeto “Moonlight”, com o objetivo de desenvolver a utilização da energia, de modo a melhorar a eficiência energética do país. No âmbito desse projeto, o Governo promoveu em larga escala investimentos em P&D (pesquisas e desenvolvimento) para o desenvolvimento da conservação da energia no setor privado (Haddad et al., 2006).

Em 1978, o Energy Conservation Center of Japan (ECCJ) foi criado, como uma medida do governo para minimizar o consumo energético em face da crise do petróleo dos anos setenta. Hoje, os programas do ECCJ abrangem os setores residencial, comercial, industrial e de transportes. Deve-se ressaltar o amplo trabalho de divulgação de informações e conscientização dos consumidores com relação à conservação de energia, os esforços de GLD (gerenciamento pelo lado da demanda), além do estabelecimento de normas de eficiência energética para a construção civil, dentre outras várias ações (Haddad et al., 1999).

Para a promoção e divulgação dos equipamentos de usos finais mais eficientes do mercado japonês, o Japão aplica programas de etiquetagem energética em alguns produtos, tais como: condicionadores de ar, lâmpadas fluorescentes, televisores, geladeiras, freezers, aquecedores, fogões a gás de cozinha, aquecedores a gás, aquecedores elétricos de óleo e água, computadores, unidades de discos magnéticos e transformadores, etc.

No âmbito da legislação do país, a lei de conservação de energia japonesa, que entrou em vigor em abril de 2006, introduziu medidas para incentivar a eficiência energética no setor de transportes. Recentemente o Japão divulgou o “*Energy Efficiency and Conservation Policy in Japan – 2006*” para a promoção e avanços no tema de conservação de energia.

Atualmente a China é o país que mais cresce economicamente no mundo e o seu consumo energético vem aumentando consideravelmente a cada ano. Desta forma, as ações de eficiência energética no país são de fundamental importância. Segundo estimativas do Governo chinês, se o país não implantar as medidas de eficiência energética, o consumo de energia em 2020 será superior a quatro vezes do nível de 2000 (Liu et al., 2009).

Visando fortalecer as ações de eficiência energética, a China tem um programa de etiquetagem voluntária de eficiência energética semelhante ao Energy Star. Atualmente ele cobre vinte produtos, entre os quais refrigeradores, lavadoras de roupa, televisores, motores, computadores, impressoras, aparelhos de fax, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores, fornos de microondas e aparelhos de cozimento de arroz. O órgão que gerencia o Programa é o centro de certificação de energia da China. A política de eficiência energética do país foi direcionada para o desenvolvimento tecnológico e orientada para a melhoria das atividades da indústria. A China é um dos principais produtores e consumidores da indústria de iluminação do mundo. O Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas e o Global Environment Facility, estão engajados em um projeto para eliminar gradualmente lâmpadas incandescentes e promover a “luz verde” na China (Jin e Suiran, 2011).

Em dezembro de 2004, o Ministério das Finanças e a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China, conjuntamente, emitiram o procedimento de políticas energéticas para a promoção de produtos eficientes no país. Esse esforço pretende evitar ou adiar a construção de 8 a 9 grandes usinas nucleares, cada uma com 1 GW de potência, até 2020 (Liu et al., 2009).

Adicionalmente a China está fazendo, atualmente, um investimento substancial em matéria de eficiência energética de transporte e *upgrades* para melhorar a eficiência da rede de transmissão de eletricidade (Liu et al., 2009).

2.1.1.3. América do Norte

Em junho de 1992 o governo canadense promulgou o Energy Efficient Act. Esta lei delegou ao Natural Resources Canadá (NRCan) autoridade para promover programas de conservação e fontes renováveis de energia. Em 1998 o governo criou o Office of Energy Efficiency (OEE), com o objetivo de renovar e fortalecer o comprometimento do Canadá com relação à eficiência energética. A OEE tem implementado programas em vários setores como, por exemplo, o residencial e comercial (normas na construção civil, padrões mínimos de eficiência para aparelhos eletrodomésticos, iluminação, etc.). Em particular para o setor industrial, tem-se o Canadian Program for Energy Conservation (CIPEC), como um braço importante do NRCan na área industrial (Haddad et al., 2006).

A política de eficiência energética canadense tem como principal instrumento o cadastro de adesão voluntário denominado “Voluntary Challenge and Registry (VCR)”. No âmbito do VCR funciona o programa de Energia Alternativa e Eficientização (EAE), conduzido pelo NRCan”, e que promove a eficientização energética em todos os setores de uso final de energia: equipamentos, edificações, indústria e transportes. O programa adota como instrumentos a iniciativa voluntária, a informação, a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico e a regulação. A vertente mais desenvolvida do programa EAE é denominada “Federal Building Initiative (FBI)”, cujo objetivo é incentivar e apoiar departamentos e agências federais na implementação de medidas de eficiência energética em suas instalações (Martins, 1999).

De acordo com uma publicação do departamento de energia dos Estados Unidos (DOE) (DOE/EIA, 2008), os americanos, com 4,6% da população do mundo, utilizam 26% de toda a energia e 30% de toda a eletricidade consumida mundialmente.

O DOE tem a missão de, em nível nacional, promover o avanço econômico e de segurança energética dos Estados Unidos e assim a inovação científica, tecnológica e

ambiental. Os objetivos do departamento para atingir a desejada missão que se destinam a produzir resultados se dividem em cinco temas: Segurança energética, segurança nuclear, inovações e descobertas científicas, responsabilidade ambiental e excelência de administração.

Dentro desse tema existem dezesseis estratégias que ajudam ao DOE a alcançar com êxito sua missão e visão. Uma delas é a eficiência energética.

Eficiência Energética:

O DOE tem como um de seus objetivos a redução da dependência de petróleo estrangeiro e o desenvolvimento de tecnologias de eficiência energética para construções, casas, meios de transporte, sistemas de potência e indústria. A missão do escritório de eficiência energética e energias renováveis (EERE) é reforçar a segurança energética americana, a qualidade ambiental e vigor nos parceiros públicos e privados melhorando e aumentando a eficiência energética e a produtividade gerando, energia limpa e confiável para o mercado. Entre os programas apoiados pelo EERE destaca-se o programa de etiquetagem energética Energy Star.

O Programa Energy Star

Em uma tentativa de promover a conservação de energia, a agência de proteção ambiental - Environmental Protection Agency (EPA), iniciou o programa Energy Star em 1992. Tal programa começou como uma maneira de combater o desperdício de energia em computadores abrange atualmente mais de 50 categorias de produtos.

O Energy Star foi desenvolvido como um programa voluntário para promover a economia de energia, fornecendo aos consumidores informações sobre o desempenho dos produtos mais eficientes. O selo Energy Star indica que o produto consome menos energia do que outros produtos da mesma categoria. O selo é muito comum em aparelhos e equipamentos de aquecimento e refrigeração, mas também é possível encontrá-lo em materiais para telhado, produtos comerciais e de qualidade interna do ar. A EPA também ampliou a utilização do selo Energy Star para equipamentos utilizados em prédios comerciais e estruturas industriais (DOE, 2007).

2.1.1.4. Países da América Latina

Na América Latina existem vários programas de eficiência energética. No México, existe a Comisión Nacional para El Uso Eficiente de La Energía (CONUEE) (ex-Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE)), que inclui programas de eficiência energética em vários setores produtivos. Para a promoção e incentivo de produção de equipamentos elétricos energeticamente mais eficientes, para o uso final, o país tem um programa de etiquetagem energética, o selo FIDE, do Programa Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), que identifica equipamentos energeticamente mais eficientes do mercado em sua categoria (CEPAL, 2010).

No Peru, foi criada a Lei 27.345/2000 para a promoção da eficiência energética no uso final através do Programa de Ahorro de Energía (PAE). Na Costa Rica, foi criada a Lei 7.447/1994, para a regulação do uso racional da energia e, como decorrência, surgiu o Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE). Pelas ações do PROURE em 2015 a Costa Rica espera alcançar uma redução de demanda de ponta de 382 MW, com relação ao ano de 1999 (CEPAL, 2010).

Um programa para a promoção do uso racional da energia também foi criado na Argentina, monitorado pela secretaria de energia do país. Esse programa visa à redução da necessidade de incremento de capacidade para a geração de energia elétrica do país, reduzindo assim as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera. Recentemente o Banco Mundial aprovou um empréstimo de 15 milhões de dólares, pelo Global Environment Facility (GEF), para ajudar a Argentina a promover seu programa de eficiência energética (CEPAL, 2011).

No Chile, existiu o Programa de Conservación y Uso Racional de la Energía (CUREN) que incluía regulamentos e normas para a certificação energética de edifícios e normas técnicas voluntárias para equipamentos de uso doméstico, no entanto, este Programa não durou muito tempo devido a falta de prioridade do Governo chileno. Desde então, as principais iniciativas de promoção da eficiência energética do país tem sido originadas de centros acadêmicos, como, por exemplo, o el PRIEN da Universidade do Chile (CEPAL, 2011).

Nas Filipinas, o Governo assinou um contrato com o fabricante de lâmpadas chinês, CE Lighting, para fornecer cerca de cinco milhões de lâmpadas fluorescentes para a cidade de Manila e cidades vizinhas. A utilização dessas lâmpadas fluorescentes, em substituição às incandescentes, pode reduzir a demanda energética em até 40% (CEPAL, 2010).

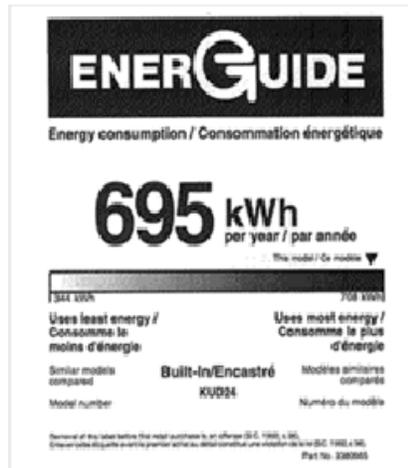
O Uruguai possui um programa nacional de eficiência energética que desenvolve um projeto destinado a melhorar a utilização da energia por parte dos consumidores finais. O projeto teve seu início no ano de 2005 com duração de seis anos, durante o qual se procurou eliminar as falhas do mercado que impedem o estabelecimento de um mercado eficiência energética. O projeto foi financiado pelo Global Environment Facility e tem a participação da Comissão Nacional da Energia e Tecnologia Nuclear (DNETN, UTE, ANCAP, URSEA, OPP, UNIT e DINAMA).

De acordo com um estudo realizado no âmbito do projeto eficiência energética daquele país, há uma grande margem para a redução do consumo de energia mediante as ações de eficiência energética no seu setor industrial. Em 2008 entrou em vigência um decreto que estabeleceu a proibição da comercialização de lâmpadas incandescentes no país a partir de 2010. Em 2009 entraram em vigência decretos que obrigam a etiquetagem energética em produtos elétricos e a gás, comercializados no país (CEPAL, 2010).

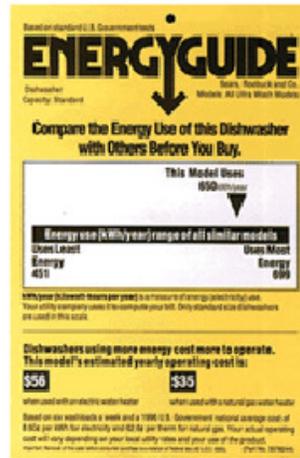
2.1.2. Etiquetagem Energética

Basicamente, existem três tipos de etiquetas de eficiência energética em uso no mercado mundial, para a orientação do consumidor quanto ao desempenho energético dos equipamentos:

- **Contínua:** Indica o valor do consumo de energia elétrica de um equipamento em um determinado período (dia, mês ou ano), como exemplifica a Figura 2.1 que ilustra as etiquetas adotadas no Canadá e Estados Unidos.



Canadá



Estados Unidos

Figura 2. 1: Etiquetas de eficiência energética contínuas
Fonte: (CLASP, 2007)

- **Categoria:** As etiquetas por categoria informam a eficiência dos equipamentos por faixa de consumo. A Figura 2.2 apresenta a etiqueta por categoria amplamente adotada no mercado europeu, mediante diretivas da Comissão Européia aplicadas em todos os países dessa comunidade. As etiquetas exemplificadas nessa figura são adotadas para lava-louças e refrigeradores e incluem outros atributos além do desempenho energético, como eficiência de lavagem, de secado, consumo de água e ruído, avaliados em condições de referência (EU, 2011). Esse modelo é semelhante ao empregado na etiqueta brasileira, apresentada mais adiante, mas apresenta um maior número de categorias de eficiência e inclui outros atributos, como mencionado.

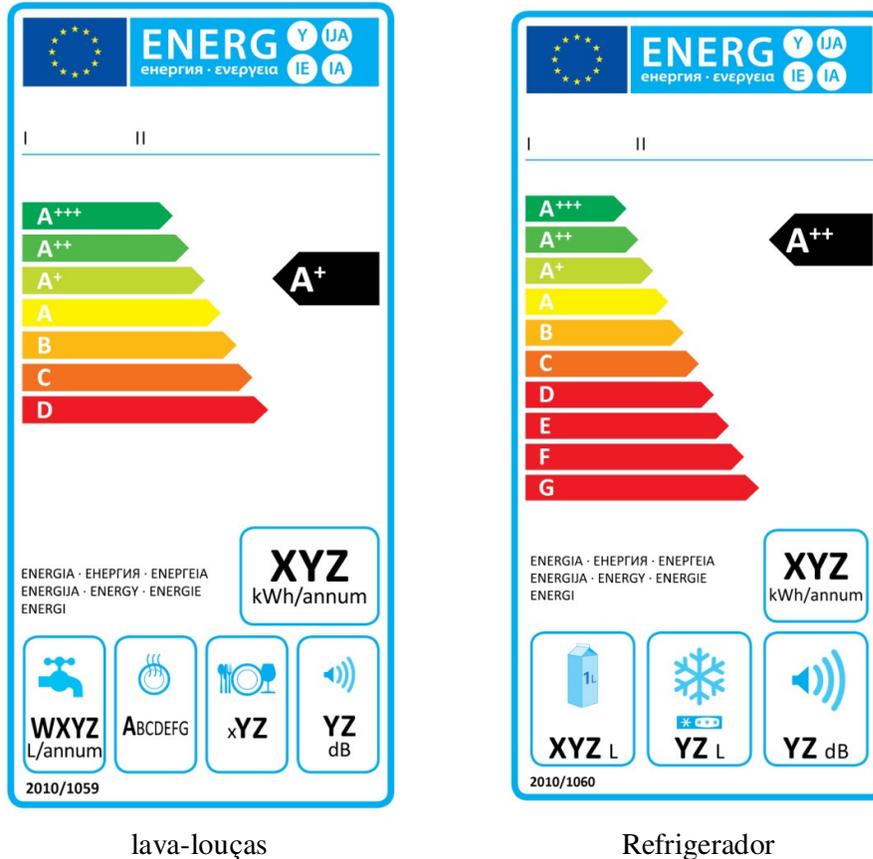


Figura 2. 2: Etiquetas de eficiência energética por categoria do mercado europeu

Fonte: (European Commission Energy, 2011)

- **Endosso:** Esse tipo de etiqueta fornece informação de credibilidade ao consumidor. Geralmente, os equipamentos com maior desempenho energético de sua categoria possuem esse tipo de etiqueta. A Figura 2.3 apresenta a etiqueta Energy Star, que indica que o produto etiquetado consome menos energia do que outros produtos da mesma categoria, sendo muito comum em aparelhos e equipamentos de aquecimento e refrigeração, mas também é possível encontrá-lo em materiais e equipamentos para residências, prédios comerciais e processos industriais. Essa etiqueta, lançada em 1992, resulta de um programa conjunto da Environmental Protection Agency (EPA), e o Department of Energy (DOE), do governo norte-americano, e vem sendo adotada por outros países e regiões, como União Européia, Canadá e Nova Zelândia e adaptada na China. Essa etiqueta tem o mesmo objetivo que o Selo PROCEL no Brasil, informar

consumidores quanto aos equipamentos mais eficientes de sua categoria, sem apresentar detalhes ou valores numéricos.

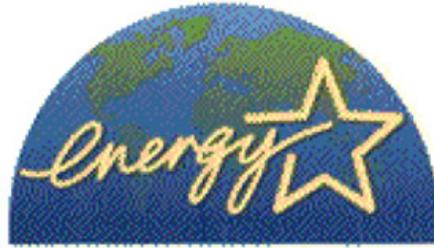
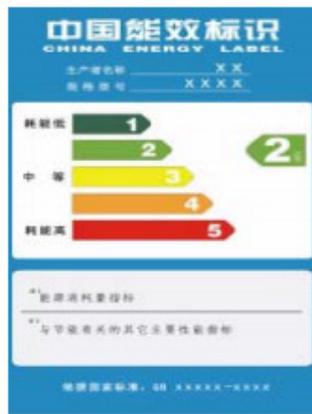
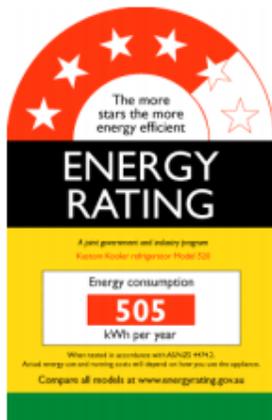


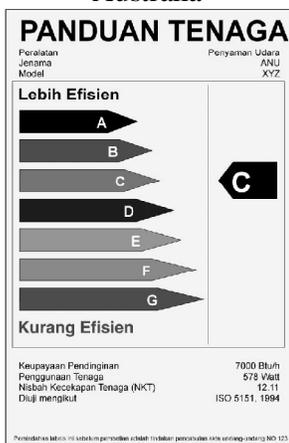
Figura 2. 3: Etiqueta Energy Star
Fonte: (CLASP, 2007)

A Figura 2.4 apresenta exemplos de etiquetas de eficiência energética (contínuas ou por categoria) utilizadas em outros países, tomadas de diversos sites da internet, indicando como essas etiquetas, geralmente por categorias, são desenhadas de forma a agradar visualmente o consumidor e na extensão possível, informar de modo direto e convincente.

Como elemento importante para o planejamento e gestão dos programas de etiquetagem energética, é relevante que seja desenvolvida regularmente e de forma consistente a avaliação dos resultados efetivamente alcançados por esses programas, relativos à energia não consumida e à capacidade não utilizada ou disponibilizada. Existem algumas metodologias internacionais de monitoramento e verificação (M&V) de resultados de projetos de eficiência energética que oferecem uma boa referência para os procedimentos a serem adotados e serão comentadas adiante nesse documento.



Austrália



Malásia

China



Singapura

Japão



Tailândia

Figura 2. 4: Etiquetas de Eficiência Energética
Fonte: (CLASP, 2007)

2.2. Programas de EE no Brasil

De acordo com Geller et al. (2004) no período de 1975 a 2001 o Brasil apresentou um aumento de 250% no consumo de energia enquanto que o consumo *per capita* aumentou 60% principalmente devido ao grande crescimento industrial, urbanização e ao aumento do nível de uso de energia nos setores residencial e comercial. Conforme Ghisi et. al. (2007) no período de 1987 a 2000 o aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial foi de 6% a.a.

O aumento do consumo energético pela sociedade brasileira criou um grande potencial para as ações de eficiência energética no país. O Brasil foi capaz de promover

iniciativas bem sucedidas através da criação de leis relacionadas com alguns programas de eficiência energética e seu financiamento, programas específicos de conservação instituídos por decretos presidenciais, regulamentos e mecanismos modernos que procuram avançar na introdução de melhores tecnologias e práticas para uso eficiente de energia. Apesar desses importantes avanços, ainda existe um significativo potencial e mercado de eficiência energética a ser explorado e desenvolver (Batista, et al., 2011).

O Programa CONSERVE, criado em 1981, constituiu-se no primeiro esforço de peso em termos de conservação de energia, visando à promoção da eficiência energética na indústria, promovendo a substituição de derivados do petróleo e óleo combustível. O CONSERVE oferecia a possibilidade de realização de diagnósticos energéticos em estabelecimentos industriais, sem ônus para as indústrias, visando identificar o potencial de conservação de energia em cada caso.

A política de tarifas “irreais” de energia elétrica, exercida na década de 1980, com vistas à estabilização dos índices inflacionários, tornava inviável o financiamento da expansão do sistema elétrico, haja vista o elevado montante de investimentos requeridos e o longo prazo de maturação dos grandes projetos de geração e transmissão priorizados na época. Dessa forma, uma opção estratégica em face da conjuntura existente foi a implementação de uma política de conservação do uso de energia elétrica, que acabou por se refletir na criação de importantes programas de eficiência energética que serão apresentados a seguir:

2.2.1. Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e Programa Selo PROCEL

Depois do Programa CONSERVE, em meados da década de 1980 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, nas quais, o equipamento de classe A é mais eficiente que o equipamento de classe B que, por sua vez, é mais eficiente que o equipamento de classe C, e assim por diante. A Figura 2.5 ilustra uma etiqueta de um refrigerador doméstico de classe de eficiência energética A.

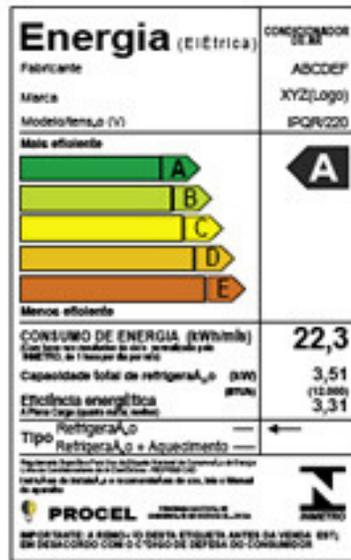


Figura 2. 5: Etiqueta Nacional de Eficiência Energética

Atualmente cerca de quarenta produtos elétricos do mercado brasileiro são etiquetados pelo PBE/INMETRO, cobrindo desde banheiras de hidromassagens até ventiladores de teto. Todos os produtos etiquetados apresentam um regulamento e uma portaria interministerial que tratam dos seguintes itens:

- Informações gerais sobre a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE)
- Administração da ENCE
- Extensão da autorização para o uso da ENCE
- Alteração, ou transferência de local, do laboratório de ensaios dos fabricantes
- Pedido e autorização para o uso da ENCE
- Suspensão da autorização
- Cancelamento da autorização para o uso da ENCE
- Regime financeiro
- Sanções contratuais
- Recursos

- Demais disposições

A classificação de um equipamento em uma dada categoria de eficiência da ENCE leva em conta seu consumo e sua capacidade. Assim, um equipamento classe B de baixa capacidade pode consumir menos que um equipamento A de maior capacidade. Além disso, existe uma dispersão dos resultados dentro de cada categoria. A Figura 2.6 ilustra essa dispersão de consumo de refrigeradores novos de uma porta, com capacidade maior que 200 litros, comercializados no mercado brasileiro em 2006.

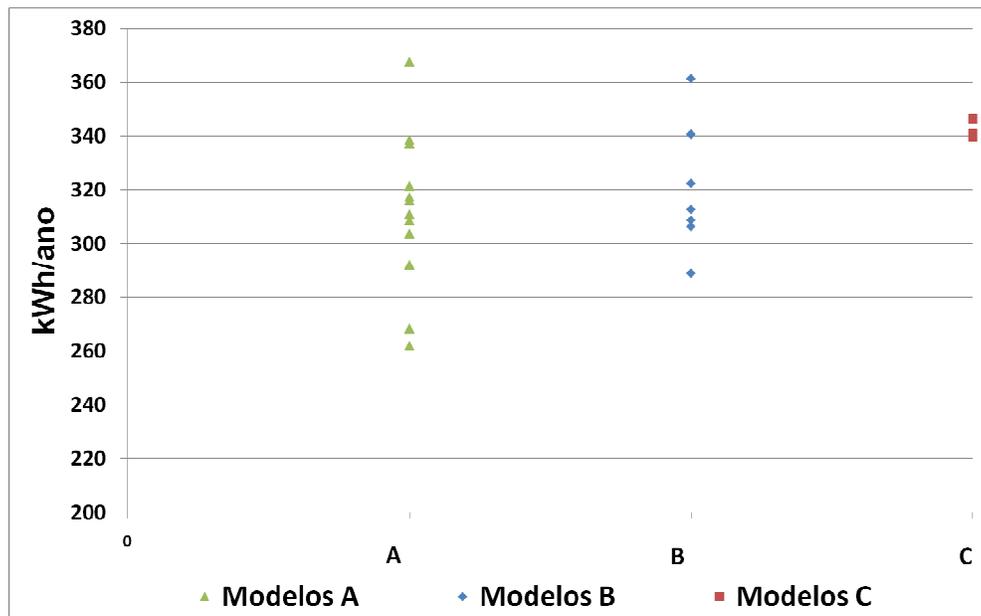


Figura 2. 6: Consumo dos modelos de refrigeradores de uma porta no ano de 2006, comercializados no Brasil

Tomando como base o consumo específico dos refrigeradores de uma porta (kWh/ano.litro), para modelos maiores que 200 litros, considerando todos os comercializados no Brasil no ano de 2006, para todas as classificações, de A a E, e assumindo um modelo típico de 300 litros, verifica-se que os consumos médios são menores para a Classe A, como o esperado, apresentado na Tabela 2.3.

Tabela 2. 3: Estatística com refrigeradores de uma porta, comercializados no Brasil no ano de 2006

Fonte: (modificado PBE/INMETRO, 2006)

Indicador	A	B	C
Consumo específico médio mensal de refrigeradores de uma porta (kWh/l)	1,02	1,09	1,14
Consumo médio mensal do modelo típico de 300 litros (kWh)	306,2	328,8	342,0
Desvio padrão do consumo do modelo típico de 300 litros (kWh)	28,8	34,8	3,6

No caso de condicionadores de ar do tipo split, com capacidades entre 7.500 Btu/h e 30.000 Btu/h, a Tabela 2.4 indica a dispersão dos resultados de desempenho, nesse caso independentes da capacidade dos equipamentos.

Tabela 2. 4: Estatística com condicionadores de ar do tipo split, com capacidade entre 7.500-30.000 Btu/h, comercializados no Brasil no ano de 2009

Fonte: (modificado PBE/INMETRO, 2010)

Classe	A	B	C
Eficiência média (W/W)	2,98	2,76	2,61
Desvio padrão (W/W)	0,10	0,06	0,10

Essas informações são relevantes para a discussão da complementaridade entre a ENCE e o Selo PROCEL, particularmente considerando uma eventual segmentação da categoria de maior eficiência.

Em 1985, sob a coordenação da ELETROBRÁS, surgiu o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) com atuação na promoção da eficiência energética no uso final. A seguir apresenta-se de forma sucinta os principais sub-programas do PROCEL, destacando-se o Programa Selo PROCEL, responsável por mais de 98% dos resultados do PROCEL (PROCEL, 2010). Os demais sub-programas do PROCEL, tais como: PROCEL Edifica, PROCEL Educação, PROCEL Indústria, PROCEL Info, PROCEL Reluz, PROCEL Gestão Energética Municipal, PROCEL Marketing e PROCEL Sanear, representam menos de 2% dos resultados energéticos do PROCEL.

Em 1993 foi desenvolvido pelo PROCEL, o Programa Selo PROCEL de economia de energia. É um programa voluntário que em ações conjuntas com o PBE/INMETRO busca 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 (Figura 2.7) que certifica o produto como o mais eficiente da categoria.



Figura 2. 7: Selo PROCEL

Visando estabelecer os critérios técnicos e indicar os equipamentos agraciados com o Selo PROCEL, foi constituída, pela secretaria executiva do PROCEL, uma comissão de análise técnica composta por um representante das seguintes entidades: PROCEL, na condição de Coordenador; Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL); Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO); Instituto de Defesa do Consumidor (IDEC); Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE); Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletro-Eletrônicos (ELETROS); Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA); Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX).

Os critérios atualmente em vigor para a concessão do Selo PROCEL de economia de energia são os seguintes:

1. O produto deve fazer parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), coordenado pelo INMETRO;
2. O produto deve ser submetido anualmente a ensaios de desempenho em laboratórios de referência indicados pelo PROCEL e pelo INMETRO;
3. De acordo com a classificação obtida pelo produto no processo de etiquetagem, recebem o Selo PROCEL de Economia de Energia os equipamentos da classe A. De acordo com os resultados dos testes, os modelos são classificados conforme a eficiência energética de A a E, sendo os de classe A aqueles de maior eficiência.

Em 1995, apareciam no mercado brasileiro os primeiros produtos com o Selo PROCEL: os refrigeradores de uma porta; de duas portas ou combinados e freezer vertical. Posteriormente, considerando sua participação no consumo de energia elétrica nacional, foram incorporadas as categorias: freezer horizontal, aparelho de ar-condicionado de janela, motores elétricos trifásicos até 10 cv (hoje abrangendo até 250 cv), coletores solares planos para aquecimento de água para banho, piscina e reservatórios térmicos, televisores e máquinas de lavar roupa.

A Figura 2.8 apresenta a participação dos equipamentos agraciados com o Selo PROCEL na economia total alcançada pelo Programa, em 2010, que corresponde cerca de 5,4 TWh, ou seja, praticamente a totalidade dos resultados estimados pelo PROCEL.

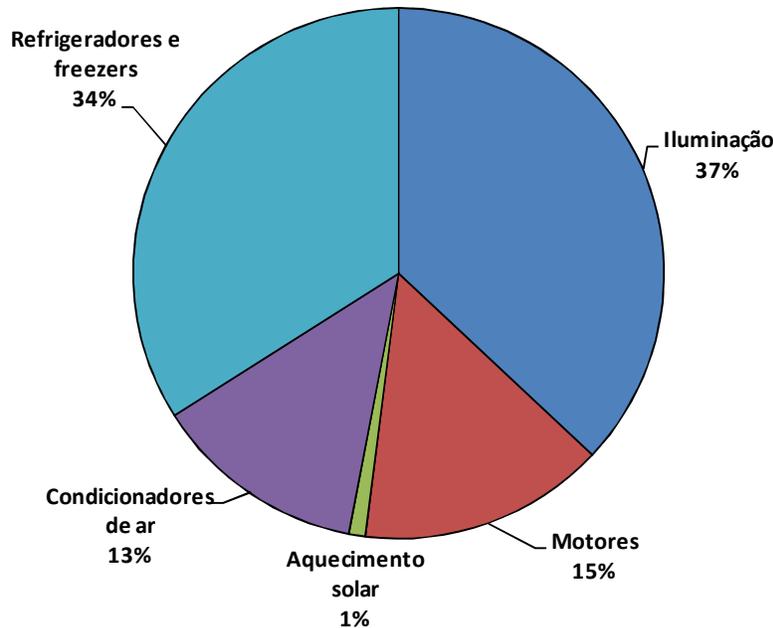


Figura 2. 8: Resultados energéticos do PROCEL no ano de 2009
Fonte: (PROCEL, 2010)

2.2.2. Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL

Conforme dispõe a Lei 9.991 de 24 de julho de 2000, as empresas concessionárias ou permissionárias de energia elétrica devem aplicar o percentual de 0,5% da sua receita operacional líquida anual em programas de eficiência energética (PEE), segundo regulamento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

2.3. Legislação brasileira de Eficiência Energética

Além dos programas de eficiência energética existem legislações no Brasil que ajudam a promover a eficiência energética no país. Entre elas as que mais se destacam são as seguintes:

- **Lei 9.991/2000:** Estabelece que todas as concessionárias distribuidoras de energia elétrica devem destinar no mínimo 0,5% de seu faturamento para programas de eficiência energética.
- **Lei 10.295/2001:** Regulamentada pelo Decreto 4.059 (BRASIL, 19/12/2001) 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.

Particularmente a Lei 10.295/2001 se articula necessariamente com os programas PBE/INMETRO e Selo PROCEL, na medida em que o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), estabelecido por essa lei, tem como principal função elaborar um programa de metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado, nesse caso já de forma compulsória. Essa lei prevê claramente, em seu artigo 2º, que o poder executivo estabelecerá “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país”.

Os primeiros equipamentos a terem seu desempenho mínimo estabelecido pela Lei 10.295/2001 foram os motores elétricos, mediante o Decreto 4.508/2002, levando em conta o fato de esses equipamentos serem responsáveis por quase um terço do consumo total de energia elétrica do Brasil (BEN, 2009). A Figura 2.9 apresenta uma comparação entre os níveis mínimos de desempenho energético de motores elétricos, do tipo alto rendimento e padrão, estabelecidos pelo Decreto 4.508/2002 e os níveis de desempenho exigidos para a concessão do Selo PROCEL.

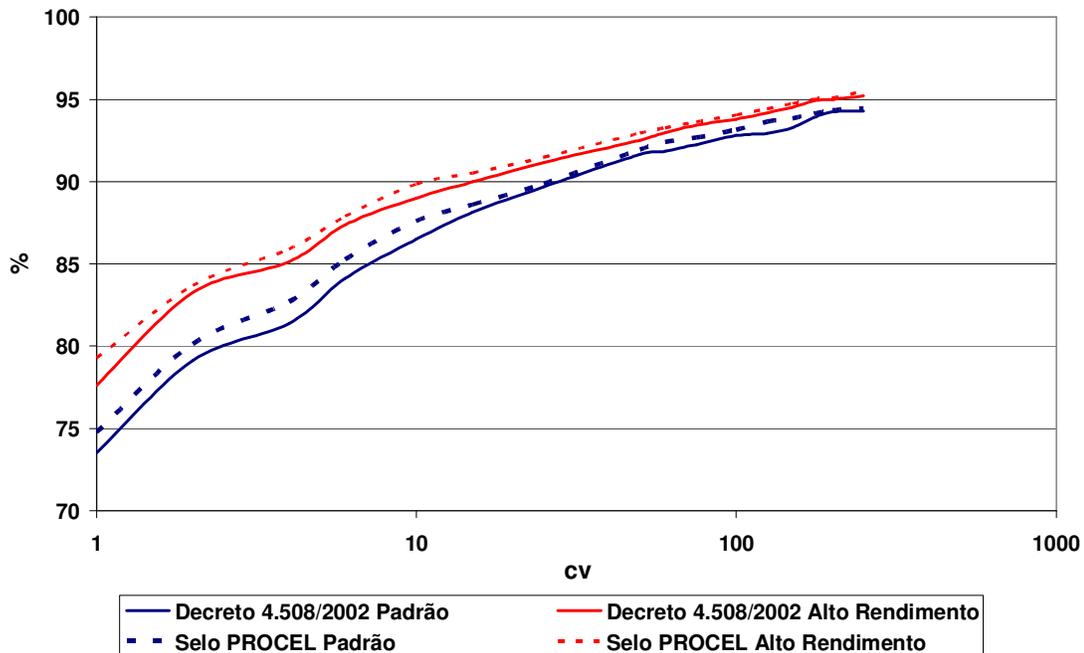


Figura 2. 9: Níveis mínimos de eficiência e eficiência exigida para a agraciação do Selo PROCEL de motores elétricos do tipo padrão e alto rendimento

Fonte: (PROCEL, 2010)

Cabe observar que a partir do ano de 2010, como previsto pelo Decreto 4.508/2002, os motores elétricos do tipo padrão cessaram a produção no mercado brasileiro.

Posteriormente aos motores elétricos, foram editados decretos promovendo a adesão de outros equipamentos a essa lei, contemplando refrigeradores e congeladores, condicionadores de ar, fogões e fornos a gás, aquecedores de água a gás, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio e para fluorescentes tubulares.

3. AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DE PROGRAMAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Este capítulo aborda a importância da medição e verificação (M&V) dos resultados de programas de eficiência energética, destacando a importância do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), uma das principais referências existentes atualmente em avaliação de resultados de medidas de eficiência energética, apesar de não ser elaborado especificamente para avaliação de equipamentos elétricos. Apresenta, também, critérios da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) para a M&V de medidas de eficiência energética, bem como alguns resultados de impactos energéticos de programas de eficiência energética no mundo e no Brasil.

3.1. Importância da medição e verificação - M&V

Todos os projetos e programas de eficiência energética deveriam, pelo menos em algum momento, adotar critérios visando à M&V dos resultados obtidos. Atualmente, a grande maioria dos projetos de eficiência energética procura obedecer às diretrizes do PIMVP para a avaliação e acompanhamento dos resultados energéticos alcançados.

O PIMVP é um documento publicado pela Efficiency Valuation Organization (EVO), organizado em três volumes:

- Volume I: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings (2007).
- Volume II: Concepts and Practices for Improved Indoor Environmental Quality (2001).
- Volume III: Applications (Concepts and Options for Determining Energy Savings in New Construction, 2006 e Concepts and Practices for Determining Energy Savings in Renewable Energy Technologies Applications, 2003).

Interessa especialmente o Volume I, cobrindo o escopo pretendido pela Agência Internacional de Energia (IEA). Como indicado no próprio documento, o Protocolo é um guia, descrevendo práticas usuais na medição, cálculo de economias de energia (e

água) obtidas por projetos de uso final, apresentando uma estrutura (“framework”) e opções para registro de forma transparente, confiável e consistente.

O Protocolo não apresenta, propriamente, os procedimentos necessários ao processo de M&V mas, sim, um conjunto de recomendações. Convertê-las em métodos adequados requer conhecimento não apenas de suas prescrições, mas também das técnicas e atividades de projetos de eficiência energética.

Segundo Birner e Martinot (2005) quanto mais cedo começar o monitoramento das medidas de eficiência energética através da M&V melhores resultados serão adquiridos, além da maior percepção das transformações do mercado.

Existe um grande número de metodologias gerais para a avaliação de impactos de programas de eficiência energética em uso final, economia de energia de equipamentos e redução da demanda de ponta, sendo importante determinar qual apresenta resultados mais consistentes, com menor incerteza e com menores custos de elaboração e execução. Uma revisão detalhada e abrangente dessas metodologias consta do manual para avaliação (Vol.1), do IEA/DSM (Programa de Avaliação das Medidas para a Eficiência energética e Gerência da Demanda) (IEA/DSM, 2006). A Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP) recomenda de uma forma bastante explícita a utilização de linha de base (*baseline*) nas medições e verificações dos impactos energéticos dos programas de etiquetagem energética (CLASP, 2005).

De modo sintético, os resultados das avaliações do impacto dos programas de eficiência energética têm sua qualidade definida essencialmente por dois componentes:

- a) Pelo modelo conceitual adotado, que deve expressar adequadamente as relações entre as variáveis técnicas e do mercado.
- b) Pelos dados que serão associados a este modelo.

Em geral, a avaliação meticulosa de programas de eficiência energética requer pesquisas nos participantes e não-participantes, estudos de campo, estudos de mercado e análise de custos. Essas atividades demandam recursos expressivos para serem satisfatoriamente implementadas, sendo mencionado para o caso americano um custo entre 5 a 10 % do custo dos programas de eficiência energética (CLASP, 2005).

Tal investimento na avaliação de programas de eficiência energética é fundamental para entender e dimensionar os impactos dos diversos programas bem como para possivelmente modificar sua concepção e melhorar sua efetividade. Segundo Clinch e Healy (2001) as análises de custo-benefício, levando em consideração a economia de energia alcançada, redução de emissões decorrentes das ações e benefícios sociais têm forte relevância na avaliação das ações de eficiência energética.

3.2. Atribuições do PIMVP

A seguir estão listadas as principais atribuições do PIMVP que se aplicam a uma variedade de instalações incluindo prédios residenciais, comerciais, públicos e industriais além de processos industriais:

- a) Fornecer aos compradores, vendedores e financiadores de projetos de eficiência energética um conjunto de termos comuns para discutir questões chaves de projetos de M&V e estabelecer métodos que podem ser utilizados em contratos de desempenho de energia.
- b) Definir as técnicas para determinar as economias de toda a instalação e de uma tecnologia particular.
- c) Aplicar a uma variedade de instalações incluindo prédios residenciais, comerciais, públicos e industriais além de processos industriais.
- d) Fornecer um resumo de procedimentos que: i) podem ser aplicados a projetos similares em todas as regiões geográficas e ii) são internacionalmente aceitos, imparciais e confiáveis.
- e) Apresentar procedimentos com diferentes níveis de exatidão e custo para medição e/ou verificação: i) condições da base e instalação do projeto e ii) economias de energia a longo prazo.

f) Fornecer uma abordagem abrangente para assegurar que as questões de qualidade ambiental interna do prédio sejam verificadas em todas as fases do plano de ação, implementação e manutenção.

g) Criar um documento vivo que inclui um conjunto de metodologias e procedimentos que permitem que ele evolua com o tempo.

3.3. Critérios da ASHRAE Guideline 14-2002

As publicações da American Society of Heating, Refrigerating and Air- Conditioning Engineers (ASHRAE), sobre medições de economia de energia e redução de demanda de ponta provenientes do aumento de desempenho de equipamentos de aquecimento, refrigeração e ar condicionado, estabelecem diretrizes e metas para a M&V, além de sugerir análise de incertezas nas avaliações.

Em geral recomenda-se o acompanhamento dos consumos energéticos, antes, durante e após as ações de eficiência energética como esquematiza a Figura 3.1. Apresenta diferentes métodos de avaliação de economia de energia entre eles, método simplificado, de regressão (simples e múltipla), dinâmicos e de simulações computacionais (U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program, 2008).

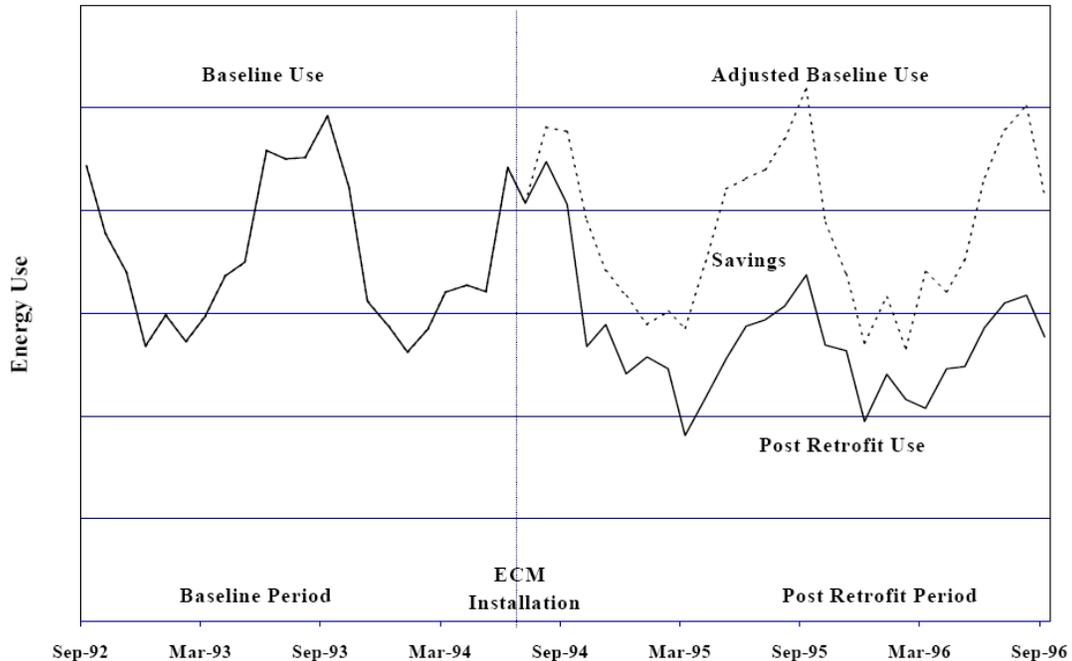


Figura 3. 1: Metodologia básica para avaliação da economia de energia pelo critério da ASHREA Guideline 14

Fonte: (Haberl et al., 2005)

A Figura 3.1 mostra que para a obtenção da economia de energia de uma ação de eficiência energética, primeiramente deve-se adotar uma linha de base de consumo (*Baseline Use*), antes da ação de eficiência energética e, depois da implementação da ação, a nova linha de consumo (*Post Retrofit Use*) obtida deve ser comparada a *Baseline*.

3.4. Discussão e resultados alcançados em Programas de Eficiência Energética

Esta seção apresenta alguns resultados de impactos energéticos de alguns programas de eficiência energética, apresentados anteriormente, no âmbito internacional e nacional.

3.4.1. Âmbito Internacional

Entre muitos projetos de eficiência energética em desenvolvimento em diversos países, na China e Malásia se destacam projetos de implementação de padrões mínimos de

desempenho em refrigeradores e freezers. De acordo com projeções de Mahlia (2005), a implementação dos padrões mínimos em 2004 na Malásia economizará cerca de 9.000 GWh até o ano de 2013.

Nos EUA, também existem projetos de substituição de refrigeradoras domésticos, com os quais se espera que cada refrigerador substituído economize 1 MWh/ano (Kim et al., 2005). Esses projetos vêm sendo impulsionados por programas de etiquetagem energética do país e, segundo a CLASP (2007) em 2005, os refrigeradores domésticos (novos) americanos reduziram o seu consumo em cerca de 74% com relação ao ano de 1977, como indicado na Figura 3.2.

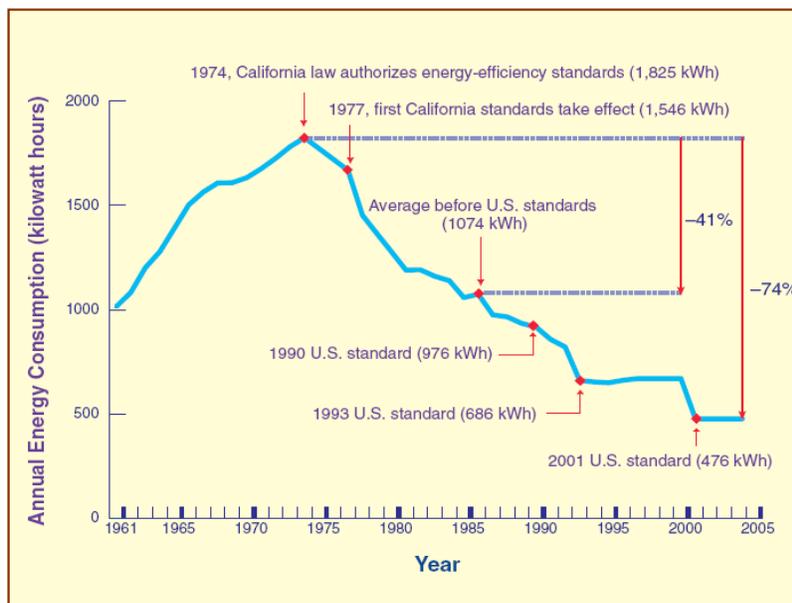


Figura 3. 2: Evolução do consumo médio de refrigeradores domésticos novos dos Estados Unidos

Fonte: (CLASP, 2007)

Nos Estados Unidos diversos estudos de M&V de ações de eficiência energética foram realizados nos diversos setores econômicos. Segundo Konopacki et al. (1998) ações de eficiência energética geraram economias de energia na ordem de 18% em dois edifícios comerciais em Califórnia. Konopacki e Akbari (2001) documentaram economias de energia de 12%, por adoção de melhorias no sistema de refrigeração e iluminação, em uma grande loja em Austin, Texas. Akbari (2003) documentou economias de energia de 31-39 Wh/m²/dia em dois pequenos edifícios comerciais no Texas, conseguidas por melhorias de eficiência energética nos prédios que resultaram em reduções das cargas

térmicas. Parker et al. (1998) mediu economias médias de energia de 19% em onze residências da Florida aplicando revestimentos reflexivos nos telhados. Os resultados conseguidos por Parker et al. (1998) em 11 regiões metropolitanas dos Estados Unidos foram extrapolados para todo o país. O estudo estima que o país pudesse alcançar cerca de 7 GW de redução de demanda de ponta com revestimentos reflexivos nos telhados em edifícios residenciais e comerciais do país.

Cabe destacar que os Estados Unidos possuem o U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program, que vem estabelecendo diretrizes para a M&V dos resultados alcançados por programas e projetos de eficiência energética do país. Um documento recentemente publicado com esse fim é o M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0.

No Paquistão, um projeto iniciado em 1997 para mitigação de emissões do setor energético através da melhoria da eficiência energética terá vigência até 2015 (Shrestha et al., 1998). Segundo Mecrow (2008) na Inglaterra, investimentos em pesquisas de novas tecnologias de motores elétricos, materiais e técnicas de construção, estão sendo implementados, pois esses equipamentos consomem metade da produção de energia elétrica do país. Na Universidade Nacional de Singapura está em andamento um projeto de modelos de programação linear para medir o nível de economia em medidas de eficiência energética. Estes modelos propostos serão aplicados para medir o nível de eficiência energética de 21 países da OCDE (Zhou, 2008).

3.4.2. Âmbito Nacional

Em âmbito nacional, dentre os projetos de eficiência energética que avaliaram seus impactos energéticos, com maiores destaques no cenário brasileiro encontram-se os projetos desenvolvidos com recursos do PEE da ANEEL e os projetos de avaliação dos impactos energéticos do Programa Selo PROCEL. A seguir serão apresentados alguns resultados de seus impactos energéticos, econômicos e ambientais.

3.4.2.1. Projetos desenvolvidos pelo PEE da ANEEL

Nos últimos anos foram realizados diversos projetos de eficiência energética pelo PEE da ANEEL em várias tipologias como baixa renda, comércio e serviços, industrial, poder público, rural, serviços públicos, gestão energética, educacional, cogeração e residencial.

As economias de energia ou reduções de demanda são determinadas pela comparação dos usos medidos de energia ou demanda antes e após a implementação de um programa de economia de energia. Em geral:

Economias de energia = Energia consumo-base - Energia pós-retrofit ± Incerteza

Os projetos de eficiência energética, frequentemente, apresentam melhores relações custo-benefício (RCB) com relação à ampliação da matriz energética. A Tabela 3.1 mostra os impactos energéticos dos últimos ciclos de projetos de eficiência energética realizados pelo PEE da ANEEL, nas diversas tipologias. Por essa tabela pode-se concluir que foram investidos cerca de R\$ 3.155,00 para cada kW economizado. Se o Governo fosse investir na ampliação da matriz energética, provavelmente gastaria um valor maior por kW, em diversos tipos de fontes de energia. No entanto, não se sabe com precisão os níveis de incertezas associados aos resultados obtidos na M&V, por isso, o estabelecimento de uma base de premissas para a avaliação dos resultados alcançados por programas e projetos de eficiência energética é de fundamental importância para garantir níveis aceitáveis de incertezas. Assim fica mais fácil elaborar o planejamento energético do Governo e/ou concessionárias distribuidoras de energia elétrica.

Tabela 3. 1: Projetos de Eficiência Energética, recentes, realizados pela ANEEL

Fonte: (ANEEL,2012)

Tipo	Quantidade	Investimento (milhões R\$)	Economia de energia (GWh/ano)	Redução de demanda de ponta (MW)
Aquecimento solar	27	91,87	24,87	17,83
Baixa Renda	236	1.529,30	1.669,38	579,15
Comércio e Serviços	119	35,46	22,37	7,22
Industrial	20	66,55	56,72	2,43
Poder Público	274	369,86	297,44	63,50
Projeto Piloto	10	24,08	38,32	9,36
Rural	55	19,96	29,41	14,21
Serviços Públicos	106	120,01	113,8	25,10
Gestão Energética	11	6,73	0,00	0,00
Educacional	36	73,31	5,30	1,51
Cogeração	5	65,23	70,23	8,75
Residencial	26	87,75	183,10	60,20
TOTAL	925	2.490,11	2.510,94	789,26

3.4.2.2. Projetos de avaliação dos impactos energéticos do Programa Selo PROCEL

Os projetos de avaliação dos impactos energéticos do Programa Selo PROCEL foram desenvolvidos com o apoio de diversos centros de pesquisas, entre eles o Centro de Excelência em Eficiência Energética (EXCEN) da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e empresas privadas, sob a coordenação do PROCEL/Eletróbrás. O principal objetivo desses projetos é a avaliação dos impactos energéticos (*economia de energia e redução de demanda de ponta*) atribuídos às ações voluntárias de eficiência energética do Programa Selo PROCEL. Refrigeradores e freezers domésticos, lâmpadas fluorescentes compactas, reatores eletromagnéticos, condicionadores de ar do tipo

janela e split, motores elétricos, coletores solares e reservatórios térmicos e ventiladores são os equipamentos já avaliados pelo PROCEL.

Para a M&V dos impactos energéticos do Programa, foram adotadas algumas premissas do PIMVP, descritas a seguir. Além disso, efetuaram-se análises condicionadas pela demanda, o que obrigou a efetuarem-se avaliações desagregadas por região do país, setor produtivo (comercial, industrial e residencial), categoria de equipamentos e período do ano (seco e úmido). As premissas das metodologias utilizadas são:

- Adoção de premissas do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP, como, por exemplo, a utilização de conceitos de “*linha de base*” para a *Medição e Verificação – M&V* dos impactos energéticos alcançados.
- Avaliação dos impactos energéticos do parque de equipamentos instalados no Brasil com o Selo PROCEL (classe A), ao longo da vida útil dos equipamentos e de forma desagregada para a inclusão de efeitos sazonais (como, por exemplo, a temperatura ambiente) e perda de desempenho dos equipamentos devido à idade.
- Análises de incertezas das modelagens de avaliação.

Para a avaliação dos impactos energéticos dos equipamentos que possuem o Selo PROCEL, assumiu-se como linha de base nesses estudos o consumo de um “parque virtual” formado somente por equipamentos menos eficientes (classe B, C,.....E) para a comparação com a situação real, na qual o parque é formado por uma fração desses equipamentos e outra por equipamentos mais eficientes (classe A (com Selo PROCEL)). Quando se considera uma situação potencial, onde todo o parque é formado apenas por equipamentos mais eficientes (com o Selo PROCEL), pode-se calcular o impacto potencial, em relação à linha de base. Com isso consegue-se obter os impactos energéticos como mostra a Figura 3.3 (para resultados de economia de energia).

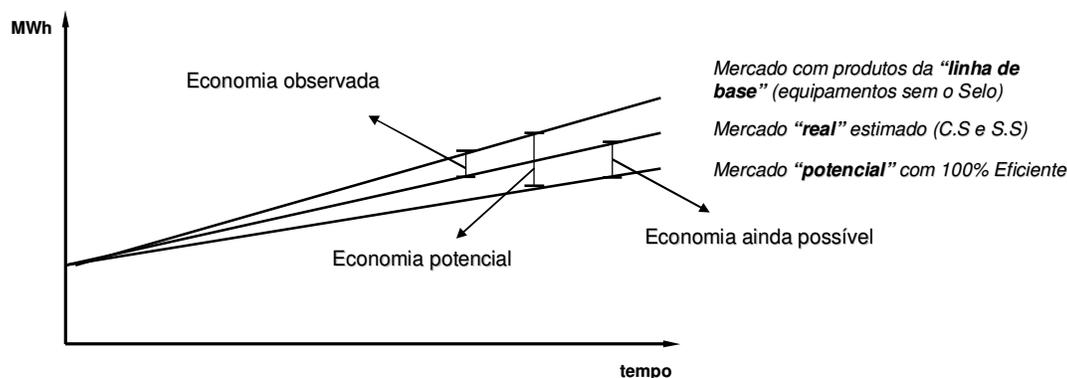


Figura 3. 3: Modelagem para avaliação de economia de energia do parque de equipamentos

As modelagens elaboradas para as estimativas da redução de demanda de ponta (RDP) são em função da economia de energia, fatores de coincidência de ponta e tempo de operação dos equipamentos.

Os principais resultados da avaliação dos impactos energéticos do Programa Selo PROCEL dos equipamentos avaliados, no ano de 2011, encontram-se na Tabela 3.2. Segundo avaliações o Programa economizou cerca de 6,7 TWh de energia elétrica no ano de 2011.

Tabela 3. 2: Síntese dos resultados do Selo PROCEL em 2011
Fonte: (PROCEL, 2012)

Equipamento	Economia de energia (TWh)
Iluminação	2,47
Refrigeradores e freezers	2,28
Motores	1,01
Condicionadores de ar	0,87
Aquecimento solar	0,07
Total	6,7

Segundo PROCEL (2012) os resultados apresentados pela Tabela 3.2 apresentam incertezas na ordem de 28%, pois, a avaliação de milhões de equipamentos, localizados

em diferentes regiões climáticas e sujeitos a diferentes hábitos de uso, requer diversas informações técnicas e de mercado, que possuem incertezas. A propagação das incertezas dessas informações resulta em um nível considerável de incerteza na M&V dos impactos energéticos.

Além dos aspectos energéticos, as ações de eficiência energética também trazem benefícios econômicos e ambientais. Um resultado importante quanto a M&V dos resultados das ações de eficiência energética em geladeiras, destacado por Cardoso et. al. (2009a), foi que os consumidores de baixo consumo de energia elétrica (<200 kWh/mês) da região Sul do Brasil não são beneficiados economicamente pela compra de uma geladeira com o Selo PROCEL. Isso acontece, pois, a região Sul é fria, o que faz com que o equipamento consuma menos energia e assim a economia de energia obtida com o a geladeira mais eficiente não é suficiente para pagar a diferença de custo com relação a uma menos eficiente.

Quanto ao aspecto ambiental, as economias de energia geradas pelas ações de eficiência energética atribuem benefícios para a sociedade pela redução de emissões de gases do efeito estufa. Essa redução de emissões depende das fontes primárias de energia da matriz de geração, pois, se a base das fontes for de combustível fóssil, a redução é maior com relação à matriz de base renovável, como é o caso do Brasil, pois, cada kWh que se deixa de consumir implica em uma redução de emissões mais significativas pela não queima de combustível fóssil do que pelo não uso de uma usina elétrica renovável. Assim cada país tem uma “linha de base” de emissões de gases do efeito estufa para cada unidade de energia gerada. Segundo MCT (2008) no Brasil os índices de emissões de gases do efeito estufa do sistema interligado nacional esteve na ordem de 48,4 kg CO₂ /MWh gerado.

Com base nas informações de emissões de gases do efeito estufa do sistema interligado nacional Cardoso et al. (2009b) constatou que a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes compactas resultaram em reduções de emissões de gases do efeito estufa na ordem de 590 mil tCO₂ no ano de 2005, com um potencial de 949 mil t CO₂.

Cabe ressaltar que o Governo, as concessionárias distribuidoras de energia elétrica e toda a sociedade, são beneficiados pelas ações de eficiência energética. O Governo e concessionárias distribuidoras são beneficiados pelas “usinas virtuais”, originadas pela economia de energia, pois em bases proporcionais, os investimentos em ações de eficiência energética, que resultam em ganhos energéticos, são menores que os investimentos em ampliação da matriz de geração. Já a sociedade, como comentado anteriormente, é beneficiada pela redução de emissões de gases do efeito estufa, pois, com a economia de energia as usinas elétricas deixam de gerar essa energia economizada e conseqüentemente reduzem as suas emissões.

4. TECNOLOGIAS DE REFRIGERADORES, CONDICIONADORES DE AR E MOTORES ELÉTRICOS

A seguir são apresentadas as tecnologias dos equipamentos, consumidores de energia elétrica, que serão avaliados no presente estudo. Os programas de eficiência energética promovem o melhoramento dessas tecnologias para o mercado.

4.1. Refrigeradores

Os refrigeradores são os maiores consumidores de energia elétrica no setor residencial brasileiro e melhorias em seu desempenho podem resultar em economias de energia significativas para o país.

Os refrigeradores instalados no setor residencial podem conseguir redução no consumo unitário de energia elétrica de 3% a 20% no ano de 2030 com relação ao ano de 2005, devido aos avanços tecnológicos promovidos pela Lei nº 10.295/2001 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia (Leite e Bajay, 2007). Essa estimativa teve o suporte do Plano Nacional de Energia – PNE, publicado em 2007.

Para que se possa entender como é possível efetuar melhorias no desempenho dos equipamentos frigoríficos é interessante a compreensão do funcionamento desses equipamentos, como representado na Figura 4.1.

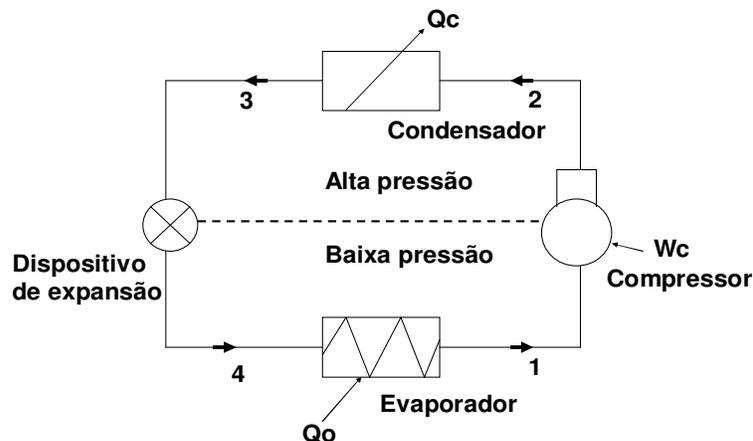


Figura 4. 1: Esquema do ciclo de compressão

Fonte: Costa (1982)

Passagem do fluido pelo compressor – O fluido refrigerante entra no compressor à pressão do evaporador, como vapor saturado (título igual a 1), sendo comprimido até atingir pressão de condensação. Neste estado está superaquecido.

Passagem do fluido pelo condensador – Ocorre no condensador (a água ou a ar) a rejeição de calor do refrigerante para o meio a pressão constante. Neste processo o fluido frigorífico é resfriado até tornar líquido.

Passagem do fluido pelo dispositivo de expansão – No dispositivo de expansão (válvula ou capilar) ocorre a expansão a entalpia constante, desde o líquido saturado (título igual a 0) até a pressão de vaporização.

Passagem do fluido pelo evaporador – Ocorre no evaporador a transferência de calor do meio para o fluido até atingir a condição de vapor saturado.

Observe-se que o calor transferido ao refrigerante no evaporador não modifica a temperatura do refrigerante, modifica somente o título.

Os hábitos de uso e a tecnologia de fabricação dos freezers e refrigeradores afetam o desempenho desses equipamentos. Melhorias no isolamento, vedação, termostato e compressor podem garantir a maior eficiência destes equipamentos, no entanto, resultam em maiores custos de fabricação.

A seguir, nas figuras 4.2 e 4.3, são apresentados dois modelos de refrigeradores residenciais, um menos eficiente, fabricado na década de 1980 e outro mais eficiente fabricado atualmente e que possui o Selo PROCEL.



Figura 4. 2: Refrigerador de uma porta fabricado na década de 1980



Figura 4. 3: Refrigerador de uma porta com Selo PROCEL, fabricado atualmente

Recentemente a Eletrolux apresentou um modelo de refrigerador a ser comercializado em um futuro próximo, o Refrigerador Solus. Esse refrigerador traz como principal atração o fato de que a energia utilizada por ele vem de um compartimento que reaproveita matéria orgânica e a transforma em energia. A Figura 4.4 apresenta o design do refrigerador.



Figura 4. 4: Refrigerador Solus com reaproveitamento de matéria orgânica
Fonte: (Eco4planet, 2011)

Hoje no mundo, existem pesquisas com modelos de refrigeradores futuristas em que os alimentos são refrigerados por gel de biopolímeros. Se essas pesquisas se desenvolverem e os refrigeradores com gel de biopolímero entrarem no mercado, não haverá gastos com energia elétrica na refrigeração dos alimentos. No entanto, algumas dúvidas ainda devem ser sanadas, como por exemplo, definir a fonte de energia para as conversões energéticas.

4.2. Condicionadores de ar

Os condicionadores de ar podem funcionar de duas formas, dependendo da condição interna do recinto em relação à condição desejada: a) retirando calor do ambiente interior climatizando, rejeitando-o ao ambiente exterior, ou b) injetando calor para climatizar o ambiente. Para isso, os condicionadores de ar dispõem de quatro elementos básicos: compressor, condensador, evaporador e válvula de expansão ou capilar. Trabalhando em ciclo fechado, estes aparelhos usam fluídos refrigerantes capazes de se expandirem e condensarem sucessiva e indefinidamente no sentido de retirar ou adicionar energia térmica ao ambiente.

Existem diferentes tipos de instalações de ar condicionado que se classificam de acordo com o fluido utilizado para “transportar energia” de forma a equilibrar as cargas térmicas sensíveis e latentes do ambiente. Essas instalações se distinguem em:

- Instalações apenas ar;
- Instalações apenas água;
- Instalações ar-água e
- Instalações de expansão direta.

As instalações de apenas ar são classificadas em:

- Sistemas com vazão constante e temperatura variável;
- Sistemas com temperatura constante e vazão variável;
- Sistemas com temperatura e vazão variável;
- Sistemas com vazão variável e recirculação local e
- Sistemas de duplo duto.

A classificação das instalações ar-água está associada ao tipo de equipamento utilizado no terminal e ao número de tubulações de água chegando e saindo do equipamento. Já as instalações apenas Água se caracterizam pelos fan-coils, que são responsáveis pelo controle total das condições ambientes. Finalmente, em instalações de expansão direta, o ar entra em contato diretamente com o evaporador do ciclo frigorífico. Estes possuem capacidade e flexibilidade baixa, portanto são utilizados em zonas únicas.

De acordo com as classificações apresentadas pela NBR 10142/1987 os principais sistemas de ar condicionado de expansão direta estão apresentados a seguir, com o destaque para os tipos janela ou parede e split, já que são os produtos avaliados no presente trabalho.

- a. **Janela ou parede** - devem ser instalados embutidos na parede (pouca flexibilidade), são compactos, fazem renovação contínua do ar, são ruidosos e de fácil manutenção. Possuem capacidades limitadas entre 6.000 e 30.000 Btu/h (0,5 a 2,5 TR). O exemplo de um condicionador de ar do tipo janela é apresentado na Figura 4.5.

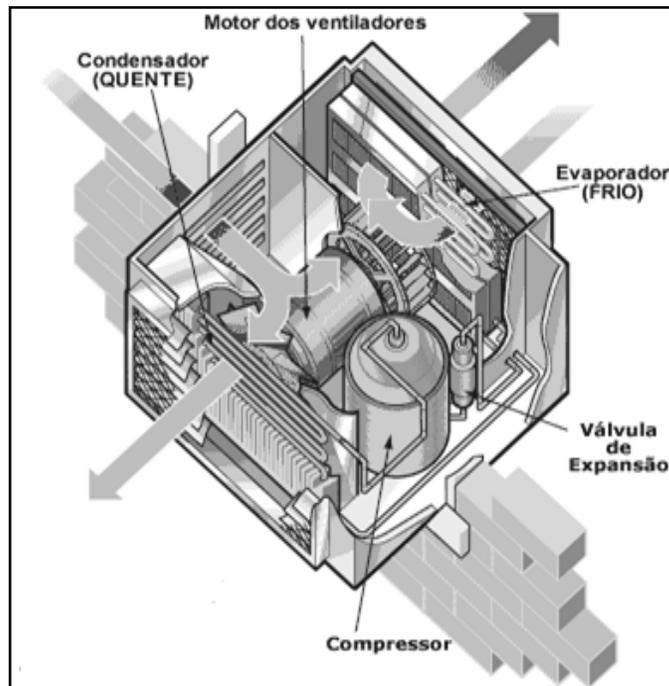


Figura 4. 5: Ar Condicionado tipo janela ou parede

- b. **Portátil** - caracterizam-se pela praticidade de utilização em qualquer ambiente que se queira climatizar e possuem custo zero de instalação. Também asseguram renovação de ar e possuem controle remoto.

- c. **Split** - podem ser fixos ou móveis e possuem duas partes distintas: uma é instalada dentro do ambiente que se deseja climatizar e a outra do lado de fora onde fica o condensador. Possuem sistemas de filtragem de ar, baixo nível de ruído e não possuem renovação de ar externo. Possuem capacidades limitadas entre 7.000 e 60.000 Btu/h (0,5 a 5 TR). O exemplo de um condicionador de ar do tipo split é apresentado na Figura 4.6.

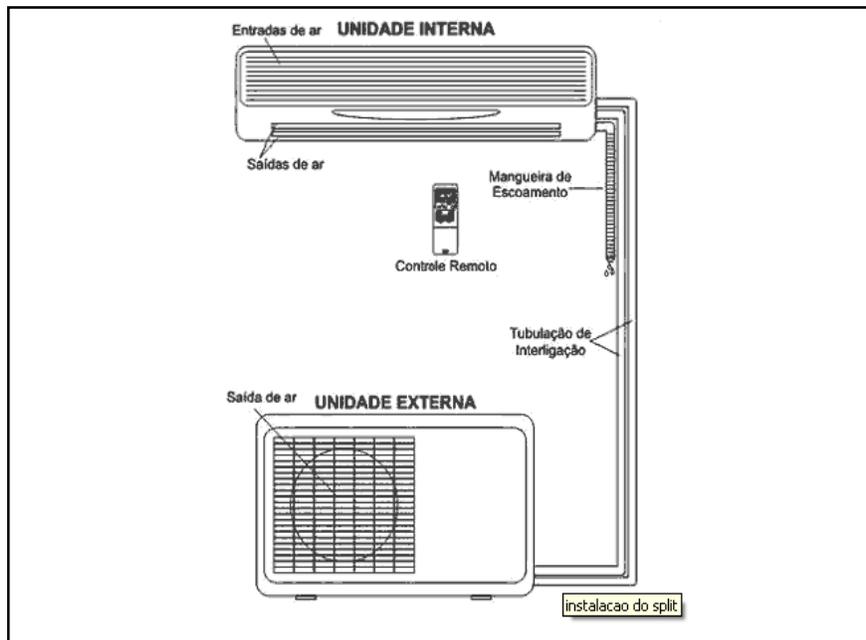


Figura 4. 6: Ar Condicionado tipo split

- d. **Sistemas centrais** – caracterizam-se por apresentar maior dimensão com relação aos modelos apresentados anteriormente e são utilizados para climatizar grandes ambientes ou vários simultaneamente. Possuem maior custo de aquisição, operação e manutenção, são silenciosos e em geral necessitam de recinto especial para instalá-lo.

Comparando os índices mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar brasileiros, do tipo janela, com os resultados dos estudos de Rosenquist e Lin (2008) em outros países, pode-se concluir que os condicionadores de ar brasileiros apresentam índices de eficiência energética (relação entre o efeito frigorífico útil e o consumo energético) menores com relação aos índices dos condicionadores dos países estudados.

A observação anterior é apresentada na Figura 4.7, que indica um índice mínimo de 2,08 W/W, em média, para os condicionadores de ar do tipo janela no Brasil, enquanto para os demais países os índices estão na ordem de 2,80 W/W. Em outras palavras, um condicionador vendido no Brasil pode consumir até 34% mais que o pior equipamento nesses países.

A Figura 4.7 mostra que, no Brasil, ainda existem grandes margens para melhorarmos o desempenho energético dos condicionadores de ar, no entanto, isso implica custos adicionais. Contudo, através de políticas energéticas, cabe aos governos incentivarem melhorias da eficiência energética nesses equipamentos, sem grandes impactos aos bolsos do consumidor.

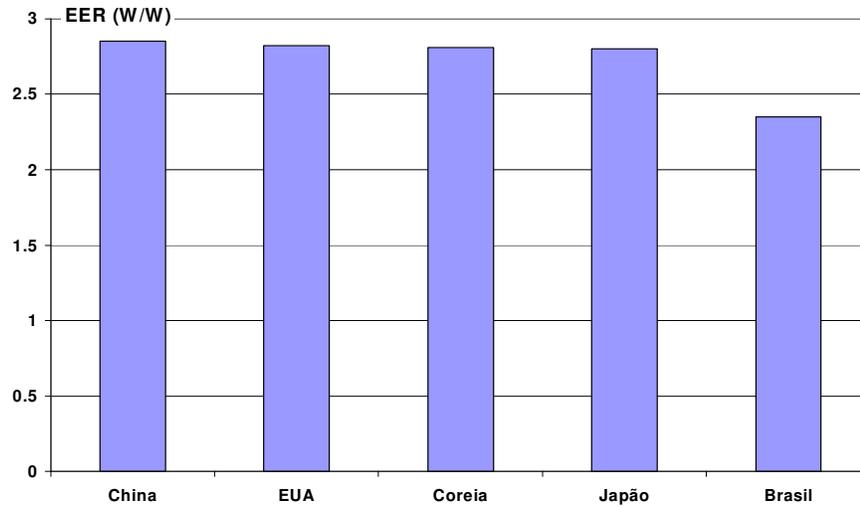


Figura 4. 7: Eficiência energética mínima para condicionadores de ar do tipo janela

4.3. Motores elétricos

No acionamento das diversas cargas mecânicas podem ser utilizados diversos tipos de motores elétricos: de corrente contínua, de corrente alternada síncronos e assíncronos, de indução monofásicos e ainda motores elétricos especiais. Devido às diferentes características de funcionamento, cada tipo de motor elétrico tem, normalmente, um tipo de aplicação específico. No entanto, atualmente, com a alimentação dos motores por conversores eletrônicos de potência é possível adaptar as características de funcionamento naturais de um determinado tipo de motor elétrico às necessidades da carga mecânica a ser acionada.

O motor é, basicamente, composto por duas partes principais. Uma fixa, mais externa, onde se situam os enrolamentos alimentados pela rede, denominada estator, e outra

girante, mais interna, suportada por mancais, denominada rotor, que pode ser do tipo gaiola ou bobinado. A Figura 4.8 apresenta o corte de um motor com rotor gaiola de projeto atual e seus principais componentes.

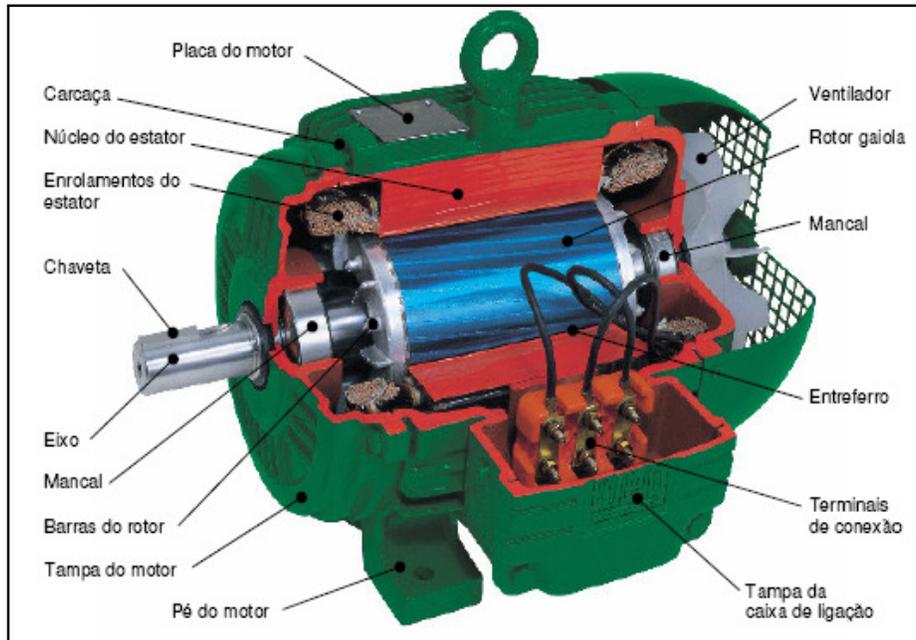


Figura 4. 8: Corte de Motor Gaiola e seus componentes
Fonte: (WEG, 2007)

O princípio de funcionamento do motor de indução baseia-se em duas leis do eletromagnetismo, a Lei de Faraday - Lenz e a Lei de Ampere (Kosow, 1982). Durante o funcionamento do motor de indução trifásico o rotor gira com uma velocidade ligeiramente inferior à velocidade do campo magnético girante, e com uma diferença de velocidades (escorregamento) que depende do conjugado de carga no eixo do motor. Assim, o motor de indução trifásico é uma máquina elétrica assíncrona – porque não existe uma relação constante entre a velocidade de rotação da máquina e a frequência das grandezas elétricas de alimentação.

São diversas as grandezas que variam na operação de um motor. As mais importantes são: potência elétrica, torque, rotação, corrente, tensão, fator de potência e rendimento, que variam conforme a carga solicitada no eixo do motor. A Figura 4.9 apresenta o

comportamento típico de algumas grandezas do motor de indução em relação à carga no eixo, sendo possível tirar algumas conclusões a respeito de seu desempenho energético:

1. Rendimento: acima de 75% de carregamento assume um valor praticamente constante. Entretanto, cai rapidamente abaixo de 50%, o que indica ser completamente ineficiente usar um motor com baixa carga (ou sobre dimensionado) (A na Figura 4.9).
2. Fator de potência: Como o rendimento, é bem baixo para cargas baixas (B na Figura 4.9).
3. Escorregamento: o escorregamento é a velocidade relativa do rotor em relação ao campo girante, em termos percentuais. Praticamente zero a vazio, chega a um valor típico de 3% em carga nominal (C na Figura 4.9).
4. Corrente: sai de um valor não-nulo a vazio, crescendo com a carga (D na Figura 4.9).

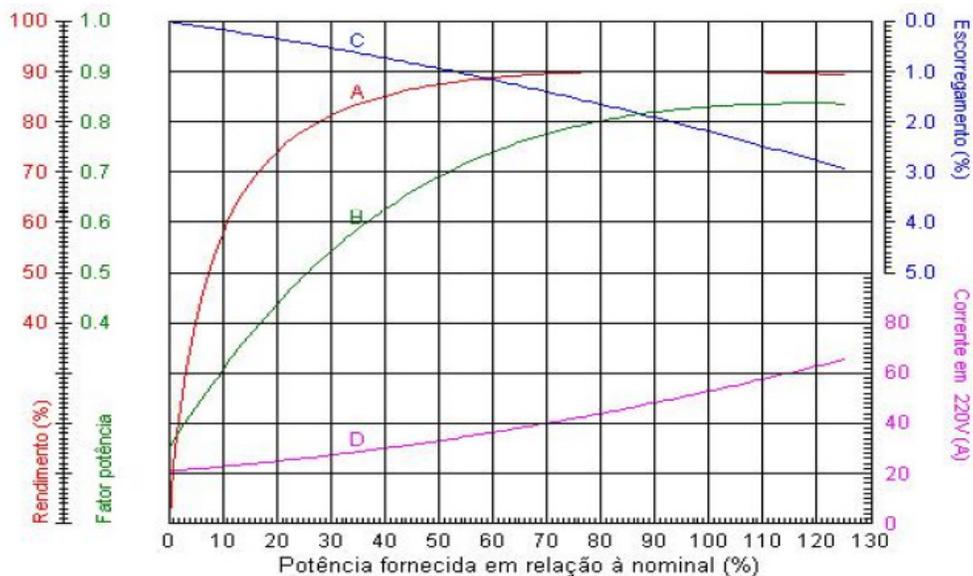


Figura 4. 9: Variação típica de algumas grandezas do motor de indução em relação à carga no eixo

Fonte: (WEG, 2007)

Os fabricantes brasileiros de motores elétricos têm introduzido tecnologias modernas para melhorar o desempenho desses equipamentos. Como um exemplo, pode ser citada a WEG, que apresenta mais de 20 modelos diferentes de motores elétricos industriais

com diferentes potências e alto desempenho, prevendo diversas aplicações em uma ampla faixa de potências.

Os motores elétricos surgiram há pouco mais de um século, quando eram volumosos, pesados e caros. Ao longo do tempo, foi-se reduzindo o custo de fabricação, passando-se a empregar menos ferro, menos cobre, além de melhores materiais e técnicas de construção. O resultado foi uma grande queda nos índices unitários de peso e custo (kg/kW e R\$/kW).

Entretanto, o uso de menor quantidade de ferro e cobre significa maior densidade de fluxo magnético e elétrico e, portanto, maiores perdas. O aumento da preocupação com eficiência energética levou os fabricantes a proporem motores com maior custo de fabricação, mas com menor custo do ciclo de vida útil (custo de aquisição e custo de operação), os chamados motores de alto rendimento, projetados para fornecer a mesma potência útil e consumir menos energia elétrica que outros tipos de motores. Nesses motores o desempenho é otimizado através de diferentes medidas (WEG, 2007) e (PROCEL, 2010):

1. Chapas de melhor qualidade no estator e no rotor: utilizando aço com maior teor de silício, que tem maior suscetibilidade magnética, reduzindo as perdas no ferro.
2. Maior volume de cobre: além de reduzir as perdas por efeito Joule no bobinado do estator, faz o motor trabalhar a temperatura mais baixa, aumentando sua vida útil.
3. Enrolamentos especiais: reduzem as perdas no estator.
4. Núcleos do rotor e estator tratados termicamente: reduz as perdas suplementares.
5. Desenho das ranhuras: permitindo um maior enchimento, facilitando a dissipação de calor.
6. Maiores barras e anéis de curto-circuito: diminuem as perdas Joule no rotor.
7. Melhor desenho da ventilação: reduzindo as perdas por ventilação.
8. Redução do entreferro: melhor projeto do rotor, menos ovalizado, permitindo a redução do entreferro.

Com todas essas melhorias, é compreensível que os motores de alto rendimento sejam de 20 a 30% mais caro. No entanto, esses motores podem ser economicamente viáveis em função do custo de energia economizado ao longo de sua vida útil (Américo, 2003).

PARTE 2: MÉTODOS E APLICAÇÃO

5. MÉTODOS

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.
- 4º) Avaliação das reduções de emissões de gases do efeito estufa, advindas das economias de energia elétrica.

5.1. Elaboração de modelos para a avaliação dos impactos energéticos

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.

Cabe observar que as metodologias entre a avaliação dos impactos energéticos dos programas de etiquetagem energética, como um todo, e apenas do Programa Selo PROCEL são diferenciadas, apesar de seguirem, basicamente, as mesmas premissas. As principais diferenças referem-se às linhas de base adotadas em cada caso. Como comentado anteriormente a linha de base na avaliação dos impactos dos programas brasileiros de etiquetagem (PBE/INMETRO e Selo PROCEL) refere-se ao nível médio de desempenho energético de cada categoria de equipamento, no início do PBE/INMETRO, com a evolução do mesmo acompanhando a evolução da classe inferior. Já a linha de base na avaliação dos impactos do Programa Selo PROCEL a linha de base refere-se ao nível médio de desempenho das classes inferiores a A (com Selo PROCEL), considerando a evolução de desempenho ao longo dos anos. A Figura 5.1 mostra a evolução de desempenho de refrigeradores de uma porta entre os anos de 2007 e 2008, observa-se que o ganho de desempenho dos equipamentos menos eficientes (classes D e E) tiveram maior contribuição na evolução da eficiência nesse período.

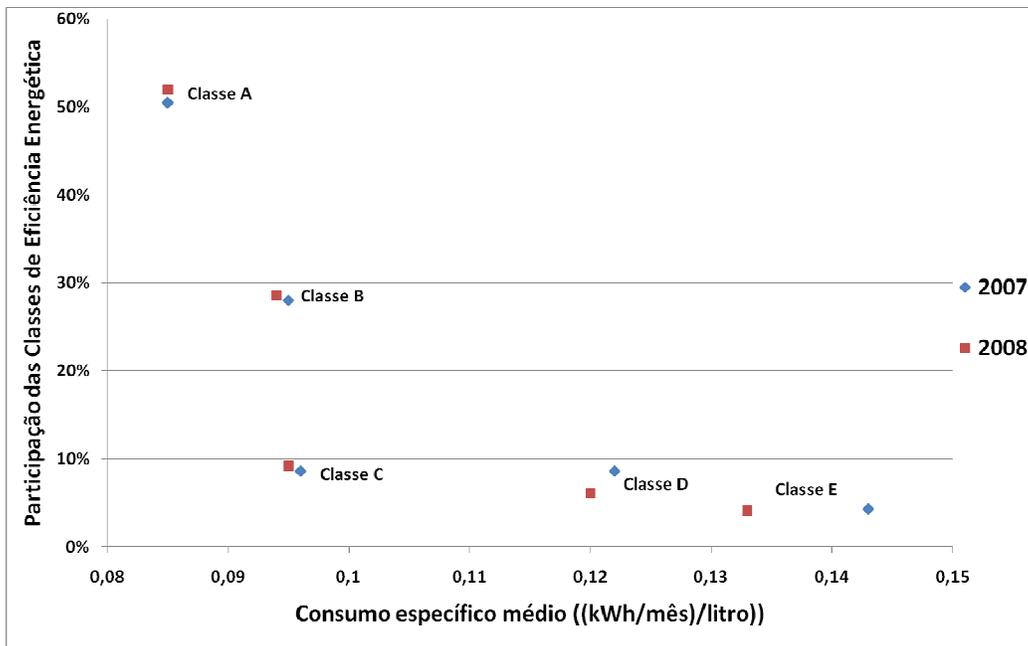


Figura 5. 1: Evolução do desempenho energético médio de refrigeradores de uma porta entre os anos de 2007 e 2008

Fonte: (Elaboração própria)

No caso da avaliação dos impactos energéticos dos programas brasileiros de etiquetagem energética o consumo médio dos refrigeradores da linha de base teriam um ganho de 7,0% de eficiência, já que o consumo médio dos equipamentos da classe E (inferior) passaram de 0,143 (kWh/mês)/litro para 0,133 (kWh/mês)/litro. No caso da avaliação dos impactos do Programa Selo PROCEL o ganho seria de 3,1%, já que o consumo médio das classes inferiores a A passou de 0,114 (kWh/mês)/litro para 0,111 (kWh/mês)/litro, como mostra a Figura 5.2. Com isso, observa-se que a evolução das linhas de base em ambos os casos se comporta de forma distinta.

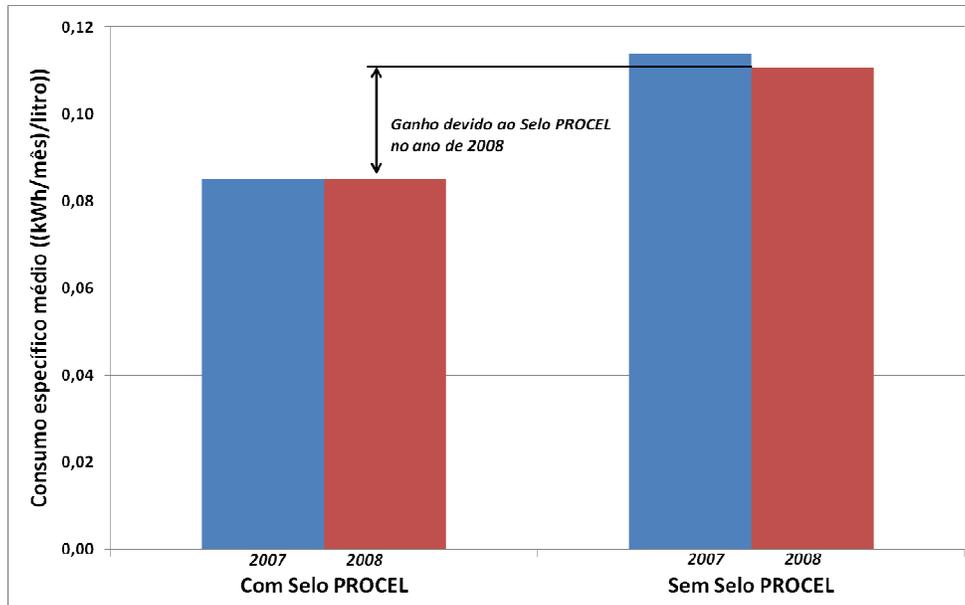


Figura 5. 2: Evolução do desempenho médio de refrigeradores de uma porta, entre os anos de 2007 e 2008, com e sem o Selo PROCEL

Fonte: (Elaboração própria)

A Figura 5.3 ilustra a metodologia utilizada para a avaliação da economia de energia, atribuída aos programas brasileiros de etiquetagem energética, nos equipamentos avaliados. A metodologia também permite contabilizar os ganhos devido ao efeito “Free Rider”, que referem-se ao ganhos naturais do mercado, sem promoção de ações como etiquetagem. Para a contabilização desses ganhos deve-se assumir um mercado com a evolução natural de desempenho dos equipamentos do mercado, sem a interferência dos programas de etiquetagem energética. Essa contabilização foge dos objetivos do presente estudo, no entanto, pode ser efetuada em futuros estudos.

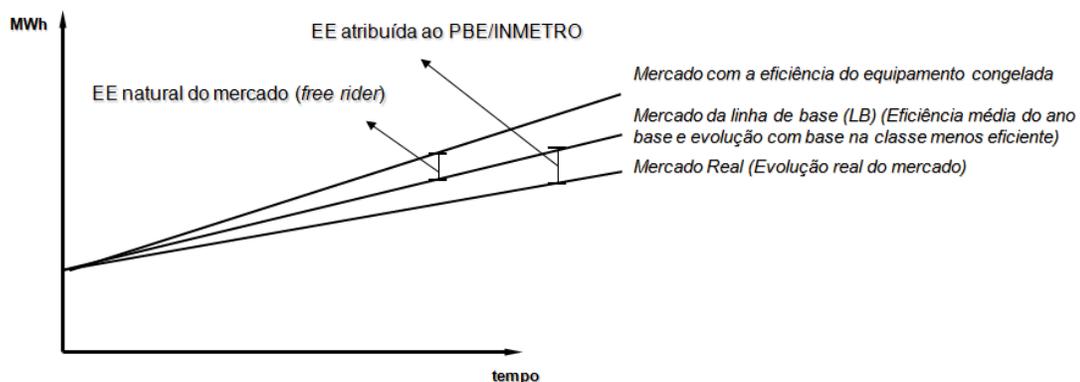


Figura 5. 3: Esquema metodológico para avaliação da economia de energia atribuída aos programas brasileiros de etiquetagem energética

Com o propósito de oferecer padrões de referência para o comportamento do mercado de equipamentos energéticos face à adoção de medidas de informação dos consumidores sobre o desempenho energético e ao estabelecimento de índices mínimos de eficiência, se desenvolve a seguir uma abordagem simplificada dos impactos esperados sobre a distribuição das vendas de um equipamento genérico. Esses padrões de mercado serão utilizados adiante, considerando a modelagem matemática do desempenho dos equipamentos e do parque consumidor apresentada a seguir, de modo a estimar quantitativamente o efeito dessas medidas de fomento à economia de energia.

A Figura 5.4 apresenta uma possível distribuição das vendas como função da eficiência na condição de base, isto é, sem o efeito das medidas de orientação do mercado, assumindo a hipótese de que as vendas estejam distribuídas de modo simétrico em torno de uma média. Outras distribuições naturalmente também são possíveis, sem um efeito relevante no tratamento apresentado adiante, em que as vendas serão agrupadas por categorias de desempenho.

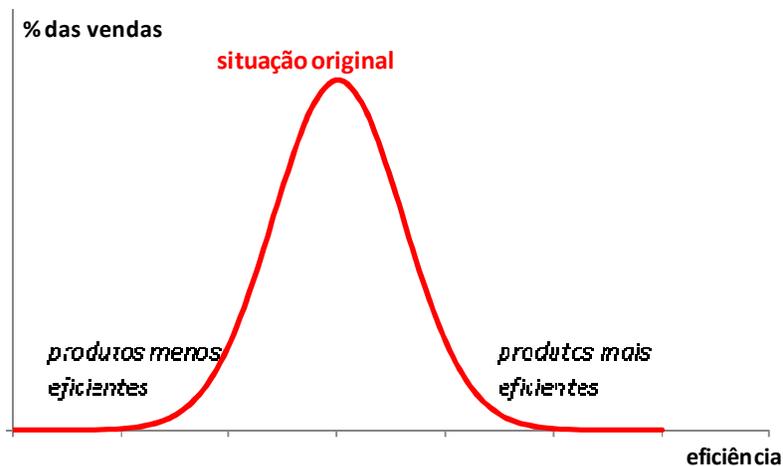


Figura 5. 4: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico como função de sua eficiência

Fonte: (PROCEL e GIZ, 2011)

A introdução de etiquetas classificatórias, com categorias de desempenho e informações sobre o consumo energético de um equipamento, em bases compulsórias ou não, tende a elevar o desempenho energético dos produtos comercializados, já que seu desempenho passa a ser um atributo visível para o consumidor, devendo motivar a comercialização

de produtos mais eficientes. É difícil prever a maneira mediante a qual o mercado deverá reagir à adoção de etiquetas, podendo comportar-se de forma diferente dependendo do tipo de produto, valor e tecnologia adotada, tempo de adoção da etiqueta, bem como eventualmente valorizando o desempenho apenas em algumas categorias de preço mais alto. Uma possível distribuição das vendas, mantendo o padrão anterior e elevando a média, é apresentado na Figura 5.5.

Conforme comentado no tópico anterior, as etiquetas ou selos de endosso, como o Selo PROCEL, destacam apenas os produtos mais eficientes, devendo desse modo influenciar de forma particular as vendas das categorias de desempenho mais elevado, como indicado na Figura 5.6.

Finalmente, o terceiro tipo de medida corresponde à adoção de índices mínimos de eficiência energética, cuja consequência deve ser a retirada de comercialização dos produtos com desempenho inferior ao piso estipulado pelo ente responsável, no caso brasileiro o Comitê Gestor dos Índices de Eficiência Energética, CGIEE, nos termos da Lei 10.295/2001 e do Decreto 4.059. Assumindo que com a retirada dos modelos ineficientes, a venda dos demais modelos cresça de forma proporcional à sua participação anterior, a Figura 5.7 apresenta o efeito dessa e demais medidas sobre o mercado.

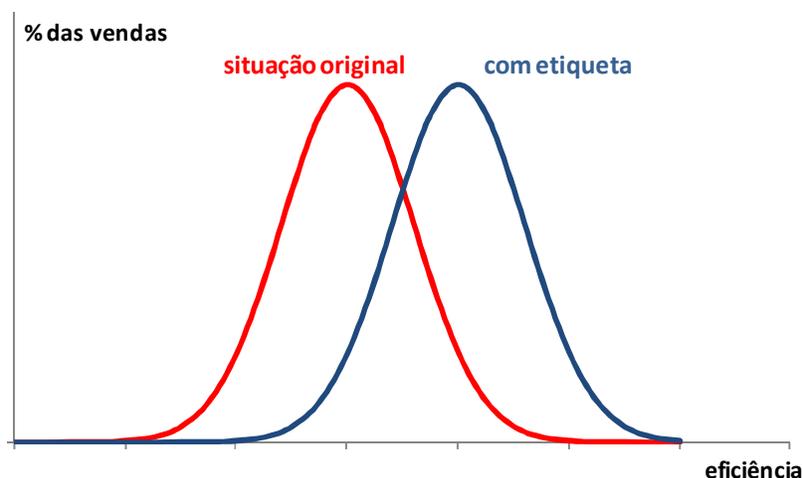


Figura 5. 5: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico na situação original e com a introdução de etiqueta classificatória

Fonte: (PROCEL e GIZ, 2011)

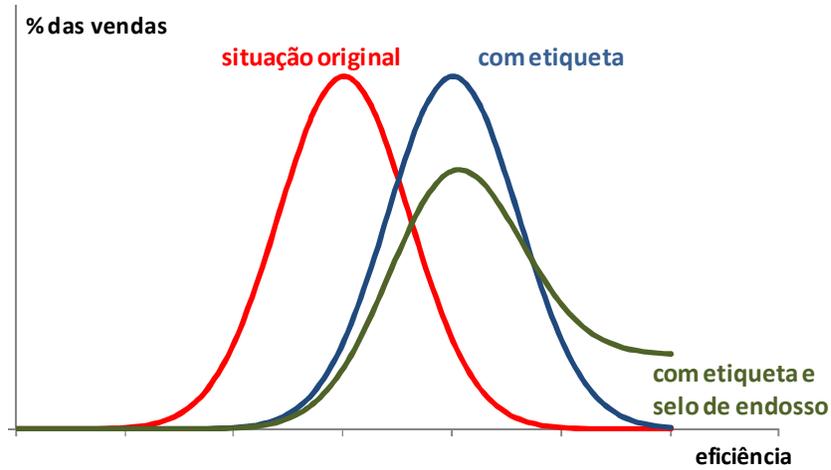


Figura 5. 6: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico na situação original e com a introdução de etiqueta classificatória e selo de endosso

Fonte: (PROCEL e GIZ, 2011)

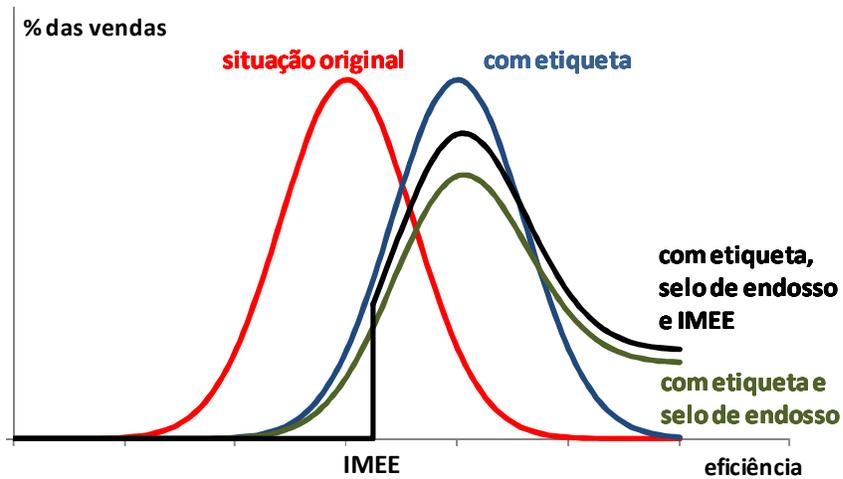


Figura 5. 7: Distribuição das vendas de um equipamento energético genérico na situação original e com a introdução de etiqueta classificatória, selo de endosso e índice mínimo de eficiência energética

Fonte: (PROCEL e GIZ, 2011)

A partir da Figura 5.7 pode-se dizer que os impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética se devem à diferença de desempenho entre a situação “com etiqueta, selo de endosso e IMEE” e “original” (condição de linha

de base). Na prática considerou-se muito difícil desassociar os impactos individualizados, ou seja, somente da etiqueta ou dos IMEE.

5.1.1. Modelos gerais para avaliação dos impactos energéticos

A seguir apresenta-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:

$$EE = CEE_{LB} - CEE_{Real} \quad (5.1)$$

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):

$$CEE_K = \sum_{regiões} \sum_{setor} \sum_{classes} CEP_K \quad (5.2)$$

$$CEP_{jK} = cm_{jK} \cdot P_j \quad (5.3)$$

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:

$$P_j = \sum_{i=j-VU}^j V_i - S_j \quad (5.4)$$

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)

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

$$cm_{jK} = \frac{\sum_{i=j-VU}^j Ceq_{iK} \cdot V_i}{\sum_{i=j-VU}^j V_i} \quad (5.5)$$

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.

5.1.2. Modelos específicos, de cada equipamento, para avaliação dos impactos energéticos

Os modelos específicos para avaliação dos impactos energéticos referem-se basicamente aos modelos para estimativas do consumo médio anual unitário, que é diferenciado para cada equipamento e descrito a seguir.

- Ceq de refrigeradores de uma porta:

O consumo dos refrigeradores é obtido por ensaios padronizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE/INMETRO em câmaras à temperatura de ensaio de 32°C, condições determinadas pela norma ISO 7371/1995 de acordo com a NBR ISO / IEC 17025/2001. Essa temperatura pode não ser representativa para todas as regiões brasileiras, devido à diversidade climática entre as mesmas. Dessa forma, o modelo proposto inclui o efeito das temperaturas médias anuais de cada região do país no consumo dos equipamentos.

O consumo de um equipamento de refrigeração, em tensões de 127 ou 220 volts, depende da carga térmica, do rendimento da conversão de energia elétrica em energia térmica e do coeficiente de performance teórico (Carnot).

$$c_i = \frac{Q_t}{\eta \cdot \text{COP}_{\text{Carnot}}} \quad (5.6)$$

sendo:

c_i – Consumo real de um equipamento i (kWh)

Q_t – Carga térmica (kWh)

η - Rendimento do ciclo de refrigeração (.)

$\text{COP}_{\text{Carnot}}$ – Coeficiente de performance ideal (Carnot) (.)

sendo que:

$$\text{COP}_{\text{Carnot}} = \frac{T_I}{T_E - T_I} \quad (5.7)$$

sendo:

T_E – Temperatura externa (depende do ambiente de instalação) (°C).

T_I – Temperatura interna (depende da posição do termostato ou regulagem do controlador eletrônico) (°C).

Aplicando a Equação 5.6 na Equação 5.5, tem-se:

$$c_{mi} = \left(\frac{Q_t}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{32 - T_I}{T_I}\right) \quad (5.8)$$

e

$$C_{eq} = \left(\frac{Q_t}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{T_{Amb} - T_I}{T_I}\right) \quad (5.9)$$

Considerando que a temperatura interna de um refrigerador (T_I) seja 5°C e mantendo a relação (Q_t/η) igual para as equações (5.7) e (5.8), e em seguida dividindo a Equação (5.8) pela Equação (5.7) e, considerando os efeitos de degradação de desempenho ao longo da vida útil obtém-se:

$$C_{eq} = C_{mi} \left(\frac{T_{Amb} - 5}{27}\right) \cdot FDi \quad (5.10)$$

sendo:

C_{eq} - consumos dos modelos representativos, referindo-se às condições efetivas de operação (kWh).

C_{mi} - consumos dos modelos representativos, referindo-se às condições padronizadas de operação ($T_{amb} = 32^\circ\text{C}$) (kWh).

FDi – Fator de degradação de desempenho do refrigerador de idade i . Já que os refrigeradores perdem cerca de 60% de desempenho ao final da vida útil (Cardoso, 2008).

Nas expressões anteriores deveria ser utilizada a escala absoluta de temperaturas (K), entretanto, a relação entre os consumos emprega a diferença de temperaturas e nesse caso é possível utilizar a escala Celsius ($^\circ\text{C}$).

Cabe ressaltar que para os cálculos de consumo médio unitário dos refrigeradores de uma porta (C_{eq}) utilizam-se equipamentos acima de 200 litros de volume interno. Calculou-se o consumo específico para cada condição de mercado (LB ou

Real) em kWh/ano.litro e em seguida multiplicou-se pelo volume de 300 litros (modelo representativo) que corresponde uma capacidade média desses equipamentos no mercado.

- Ceq de condicionadores de ar do tipo janela e split:

O consumo médio unitário de energia elétrica dos condicionadores de ar é definido como sendo a relação entre o consumo de energia térmica e o coeficiente de performance – COP dos equipamentos. No entanto, tanto o consumo de energia térmica quanto o COP variam com a temperatura do ambiente climatizado. Além disso, o desempenho dos equipamentos é influenciado pela degradação de eficiência ao longo da vida útil dos equipamentos. Para a inclusão desses efeitos elaborou-se a seguinte modelagem para as estimativas do consumo médio unitário de energia elétrica dos modelos representativos de condicionadores de ar, em cada região geográfica do Brasil:

$$C_{eq_i} = \frac{c_{T_i}}{COP_i} \quad (5.11)$$

com:

$$c_{T_i} = (Q_S + Q_L).FD_i \quad (5.12)$$

sendo:

C_{eq_i} – Consumo unitário de energia elétrica do equipamento de idade i (kWh)

c_{T_i} – Consumo unitário de energia térmica do equipamento de idade i (kWh)

Q_S – Carga térmica sensível (kWh)

Q_L – Carga térmica latente (kWh)

FD_i – Fator de degradação de eficiência do equipamento de idade i (.)

COP – Coeficiente de performance para resfriamento (depende da classe da etiqueta) (.)

Segundo Venturini (2007) a relação entre a carga térmica sensível e latente é variável de acordo com as características físicas e de ocupação específicas (número

de pessoas, quantidade de eletrodomésticos, cor de parede, etc) para o ambiente climatizado. Definindo um fator de carga sensível (FCS) como uma relação entre essas cargas, da seguinte forma:

$$FCS = \frac{Q_s}{Q_L + Q_s} \quad (5.13)$$

Considera-se representativa a seguinte faixa de valores:

$$0,8 \leq FCS \leq 0,9$$

No presente trabalho adotou-se um FCS médio de 0,85 como valor representativo dos ambientes climatizados na média das condições brasileiras.

Acrescentando a Equação (5.12) em (5.11) tem-se:

$$c_{Ti} = \frac{Q_s}{FCS} \cdot FD_i \quad (5.14)$$

Logo tem-se:

$$c_{Ti} = \frac{C_a \cdot (T_{Amb} - T_{Ref}) \cdot t_r}{FCS} \cdot FD_i \quad (5.15)$$

sendo:

C_a – Capacidade térmica do condicionador de ar (kWh/°C.h)

t_r – Tempo de utilização anual dos condicionadores por região (horas)

T_{Amb} – Temperatura ambiente efetiva pela qual os condicionadores de ar estão submetidos (°C).

T_{Ref} – Temperatura de referência padronizada para o ensaio dos condicionadores de ar (°C).

Obs₂: Nesse trabalho serão avaliados condicionadores de ar do tipo janela e split típicos do setor residencial (6 a 12 kBtu/h) e típicos do setor comercial (12-36 kBtu/h). Os modelos representativos considerados são os seguintes:

- Condicionador de ar janela 9 kBtu/h
- Condicionador de ar janela 21 kBtu/h
- Condicionador de ar split 9 kBtu/h
- Condicionador de ar split 21 kBtu/h

- Ceq de motores elétricos:

O consumo médio unitário de energia elétrica de cada modelo representativo dos motores elétricos é calculado em função da “potência representativa” de cada faixa de potência (assumidas 5 cv, 25 cv, 70 cv e 175 cv, para as respectivas faixas de potência: 1-10 cv, 10-40 cv, 40-100 cv e 100-250 cv), eficiência, degradação de desempenho, carregamento e tempo de utilização de cada categoria de motores, conforme a seguinte equação:

$$Ceq_i = \frac{0,735.P_{ot}.t..FD_i}{\eta_i.FR} \quad (5.16)$$

sendo:

Ceq_i – Consumo unitário de energia elétrica do modelo representativo de idade i (kWh)

P_{ot} – Potência representativa do modelo representativo de idade i (cv)

t – Tempo de utilização anual de cada modelo representativo (horas)

FD_i – Fator de degradação de eficiência do equipamento de idade i (.)

FR – Fator de eficiência conforme o carregamento de operação F_c (.)

η – Eficiência do ano de fabricação (motores com Selo PROCEL ou sem Selo)

(.)

Obs: O carregamento (F_c) corresponde à relação entre a carga de operação e a carga nominal do motor.

O fator de eficiência (FR) corresponde à relação entre a eficiência na carga de operação e a eficiência nominal do motor.

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.

$$RDP = \frac{EE.FCP}{t} \quad (5.17)$$

sendo:

EE – Economia de energia atribuída ao PBE (GWh)

FCP – Fator de Coincidência de Ponta (.)

t – Tempo anual de operação dos equipamentos (horas)

5.2. Estudo dos impactos das variáveis e avaliação das incertezas

Para o estudo dos impactos de algumas variáveis incorporadas pelos modelos de avaliação desenvolvidos, que em modelos recentemente desenvolvidos não as incorporavam, nos resultados de economia de energia, as seguintes etapas foram estabelecidas:

- a) Estimou-se a economia de energia, em refrigeradores de uma porta, considerando o modelo proposto no presente estudo, levando em conta as variáveis de temperatura ambiente, vida útil média de 16 anos e a composição do mercado quanto à classe de eficiência energética, considerando as duas situações de mercado (linha de base e real).
- b) Estimou-se a economia de energia, em refrigeradores de uma porta e condicionadores de ar, considerando e/ou variando apenas uma por vez das variáveis incorporadas ao modelo de estimativa de economia de energia (temperatura ambiente, vida útil média, composição do mercado de acordo com a classe de eficiência energética).
- c) Compararam-se os desvios, em porcentagem, de cada resultado, considerando cada variável, com os resultados da situação do item a. Isso

permitiu analisar os impactos de cada variável considerada nos resultados de economia de energia elétrica.

- d) No caso de motores elétricos, avaliaram-se os impactos dos hábitos de uso, devido ao carregamento médio de operação considerado, com relação às condições nominais de operação.

As estimativas das incertezas são importantes no processamento dos dados e na expressão dos resultados. A abordagem esboçada no presente trabalho contém simplificações com relação a uma análise rigorosa, sendo que a intenção é fornecer uma abordagem prática, objetiva e satisfatória para as estimativas das incertezas. No entanto, métodos matemáticos relativamente simples são úteis para as estimativas das incertezas de resultados obtidos em avaliação de programas de eficiência energética¹.

a) Incertezas associadas ao modelo proposto

As incertezas associadas ao modelo proposto estão relacionadas à propagação de erros decorrente da entrada de dados para o cálculo do consumo de energia elétrica ou parque de equipamentos.

Os fatores que interferem nas incertezas dos resultados de economia de energia estão relacionados em dados de formação do parque de equipamentos e de cálculos de consumo de energia, com suas respectivas fontes de informações.

A determinação de incertezas do modelo proposto pode ser dividida em:

1. Incertezas relacionadas ao consumo (C)
2. Incertezas relacionadas ao parque de equipamentos instalado (P)
3. Incertezas combinadas relacionadas à economia de energia (EE)

A metodologia aplicada no presente trabalho para o cálculo das incertezas do modelo, apresentadas no tópico seguinte (Propagação das Incertezas) foi realizada na modelagem para cálculo de economia de energia e redução de demanda de ponta, apresentada anteriormente nesse capítulo.

¹ O presente capítulo tomou como referências básicas: VUOLO (1996) e PROCEL (2010)

b) Propagação das incertezas

Considerando que a economia de energia, calculada pelo modelo proposto, é estimada em função das variáveis associadas ao parque de equipamentos e ao consumo unitário dos mesmos, a propagação das incertezas determinada pelas incertezas dessas variáveis pode ser avaliada utilizando como modelo uma função genérica, cuja variação no entorno de um ponto pode ser dada por sua diferencial total, conforme as expressões (5.18) e (5.19).

$$\text{Seja: } EE = f(x, y, \dots) \quad (5.18)$$

$$\Delta EE = \sqrt{\left(\frac{\partial EE}{\partial x} \cdot \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial EE}{\partial y} \cdot \Delta y\right)^2 + \dots} \quad (5.19)$$

sendo:

EE – Economia de energia (GWh)

ΔEE – Incerteza do modelo (%)

Δx – Incerteza da variável x (%)

Δy – Incerteza da variável y (%)

Quando não é possível obter a incerteza de alguma variável utilizada pelo modelo, mas se conhece pelo menos seu campo de variação, tal incerteza pode ser estimada pela equação (5.20), assumindo uma distribuição retangular das informações:

$$\Delta x = \frac{LS - LI}{2\sqrt{3}} \quad (5.20)$$

sendo:

Δx – Incerteza da variável x (%)

LS – Limite superior de incerteza (.)

LI – Limite inferior de incerteza (.)

5.3. Avaliação da redução das emissões de gases do efeito estufa

As estimativas da redução de emissões de gases do efeito estufa (GEE) se baseiam nas economias de energia e nos fatores de emissões de gases do efeito estufa, do sistema interligado nacional (SIN), fornecidos pelo Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT. O fator de emissão (FE) de GEE do ano em análise é obtido pela média dos fatores mensais, já que os mesmos variam de acordo com o período do ano, ou seja, em períodos secos os fatores são maiores (maiores emissões) e em períodos úmidos os fatores são menores, já que, geralmente, os reservatórios estão com alta capacidade e o uso de termoelétricas é reduzido. Assim, o impacto ambiental é calculado de acordo com a seguinte equação:

$$IA_j = EE_j \cdot FE_j \quad (5.21)$$

sendo:

IA – Impacto ambiental em termos de redução de GEE (tCO₂/ano)

FE – Fator de emissão de GEE do sistema interligado nacional (tCO₂/MWh)

j – Índice referente ao ano de análise (ano)

6. DADOS DE ENTRADA DOS MODELOS PROPOSTOS

O presente capítulo tem o objetivo de apresentar os dados de entrada dos modelos propostos para avaliação dos impactos energéticos dos programas brasileiros de etiquetagem energética. As informações apresentadas são aquelas necessárias para a formação do parque e cálculo do consumo médio unitário de refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos.

6.1. Refrigeradores de uma porta

Para a formação do parque de refrigeradores de uma porta no Brasil necessita-se basicamente de informações de vendas de equipamentos, ao longo dos 16 anos de vida útil média. No sucateamento assumiu-se uma função degrau no final da vida útil, discutida posteriormente. Para as estimativas do consumo médio do parque desses equipamentos as informações necessárias são: consumo médio anual dos modelos de cada ano, considerando o equipamento novo, temperatura média anual ambiente de cada região do Brasil e fatores de degradação de desempenho ao longo da idade dos equipamentos.

6.1.1. Informações para a formação do parque de refrigeradores de uma porta

As informações de vendas de equipamentos, obtidas pela Pesquisa Industrial Anual - PIA, apresentada na segunda coluna da Tabela 6.1, referem-se a freezers e refrigeradores. Com as informações do (PNAD/IBGE, 2010) de distribuição por categoria de equipamentos, como mostra a Figura 6.1, foi possível estimar as vendas de refrigeradores de uma porta, como mostra a terceira coluna da Tabela 6.1.

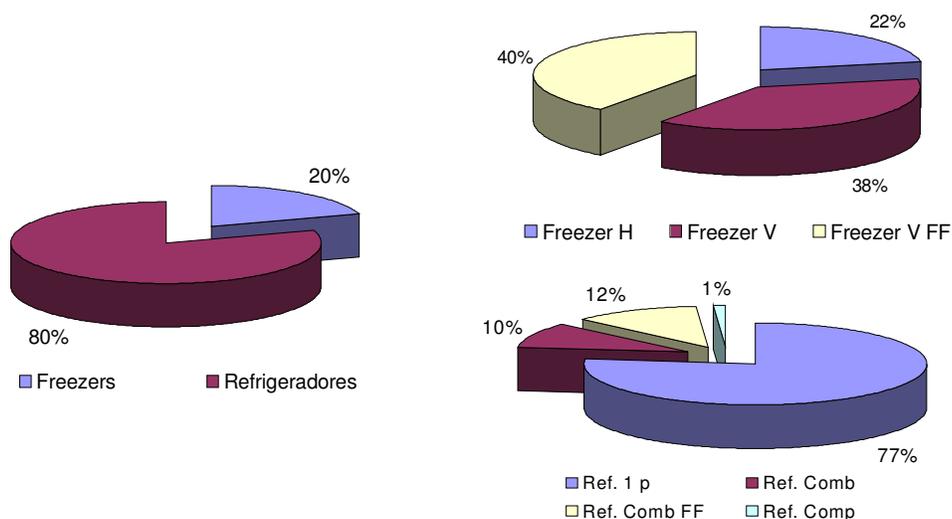


Figura 6. 1: Participação de freezers e refrigeradores no mercado brasileiro

Fonte: (PNAD/IBGE, 2010)

Tabela 6. 1: Vendas anuais de freezers e refrigeradores

Fonte: (ABRAVA, 2010)

Ano	Freezers e refrigeradores (milhões de unidades)	Refrigeradores de 1P (milhões de unidades)
2002	4,18	2,57
2003	4,88	3,01
2004	5,41	3,33
2005	5,52	3,40
2006	5,83	3,59
2007	6,03	3,71
2008	6,29	3,87
2009	6,48	3,99

Cabe observar que as vendas apresentadas na Tabela 6.1, contabilizam todos os modelos de refrigeradores de uma porta, no entanto, as mesmas serão consideradas como sendo do modelo representativo desses refrigeradores, ou seja, uma porta com capacidade de 300 litros. Considerações análogas são assumidas para os demais equipamentos avaliados.

Para a inclusão dos efeitos da temperatura ambiente no consumo dos equipamentos, as vendas de refrigeradores de uma porta foram desagregadas de acordo com a Figura 6.2.

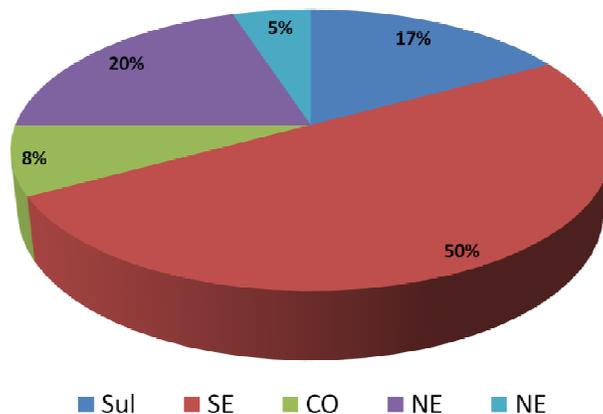


Figura 6. 2: Distribuição do parque de refrigeradores por região do país

Fonte: (PNAD/IBGE, 2010)

A função sucateamento de refrigeradores de uma porta foi a mesma proposta por Cardoso e Nogueira (2007), uma função degrau do 15º ao 17º ano de vida útil, de acordo com a Figura 6.3. Estimou-se essa função sucateamento em função de informações do parque de refrigeradores no país, fornecidas pelo IBGE e uma função criada para estimar tal parque em função das vendas (para que fosse possível incluir os efeitos de perda de desempenho). Comparando ambos os parques e verificando o menor desvio entre os mesmos a melhor função encontrada foi a apresentada na Figura 6.3.

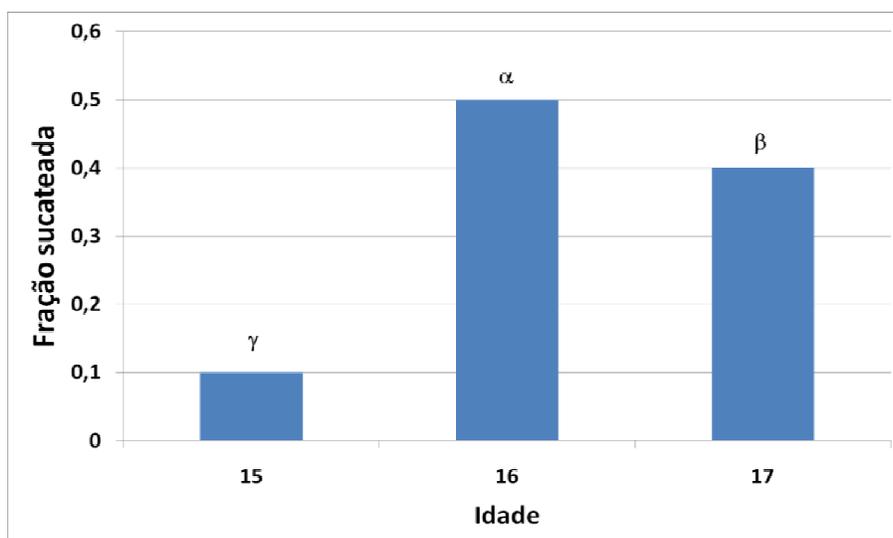


Figura 6. 3: Função sucateamento de refrigeradores de uma porta

Fonte: (Cardoso e Nogueira, 2007)

As variáveis α , β e γ , da Figura 6.3 representam as frações do parque de equipamentos sucateadas a cada idade e, equivalem a 0,5, 0,4 e 0,1, respectivamente.

6.1.2. Informações para o cálculo do consumo médio unitário dos refrigeradores

Para as estimativas dos consumos dos modelos representativos, em condições efetivas de operação (C_u), necessitou-se de informações dos consumos dos modelos representativos, em condições normalizadas (c_m), tanto para a situação da linha de base quanto para a situação real. Para a transformação do consumo normalizado em consumo efetivo, necessitou-se das temperaturas médias anuais, ponderadas pelas populações das mesorregiões geográficas do IBGE, apresentadas na Tabela 6.2. As informações de temperaturas foram obtidas através de plataformas de coletas de dados (PCDs do CPTEC/INPE), num histórico de 10 anos, com informações de três em três horas.

Tabela 6. 2: Temperaturas médias anuais ponderadas pelas populações das mesorregiões geográficas do IBGE
Fonte: (Cardoso e Nogueira, 2009a)

Região	Temperatura (°C)
Norte	25,1
Nordeste	24,7
Centro-Oeste	23,3
Sudeste	22,2
Sul	18,0

Cabe observar que a ponderação pela população das mesorregiões geográficas do IBGE se justifica pelo fato de regiões com maiores densidades demográficas terem mais peso, já que possuem maiores quantidades de equipamentos.

Com base nas tabelas do PBE/INMETRO (exemplo de tabela em anexo), a Tabela 6.3 apresenta os consumos normalizados (c_m) dos modelos representativos para cada situação de mercado, linha de base e real, ponderados pela distribuição do mercado das classes de eficiência energética, que se encontra nos anexos.

Tabela 6. 3: Evolução dos consumos dos modelos representativos de refrigeradores de uma porta (300 litros de volume interno)

Fonte: (Elaboração própria)

Ano	Linha de Base (LB)	Real
	c_m (kWh/ano)	c_m (kWh/ano)
1993	513,0	513,0
1994	512,6	503,2
1995	512,3	488,3
1996	511,9	473,9
1997	511,6	459,9
1998	511,2	445,6
1999	510,8	414,8
2000	503,2	411,0
2001	495,6	407,9
2002	488,2	362,9
2003	488,0	351,0
2004	487,8	339,0
2005	487,6	324,0
2006	487,4	327,6
2007	487,2	327,6
2008	487,0	327,6
2009	486,8	327,6

Não se obtiveram todas as informações para a Tabela 6.3, apenas para alguns anos, como destacado na Figura 6.5, no entanto, para os demais anos elaboraram-se interpolações de acordo com a equação do gráfico destacado na figura. O exemplo é para o consumo médio unitário para o cenário real, mas, projetou-se de forma análoga o consumo médio unitário para o cenário de Linha de Base. Os ganhos dos equipamentos menos eficientes entre 1993 e 1999 (princípio do Programa Selo PROCEL) eram de, em média, 0,007% a.a., entre 1999 e 2001, apresentaram os maiores ganhos (em média

1,5% a.a), devido a nova filosofia de mercado com a entrada do Selo PROCEL e, em decorrência de crises energéticas, depois de 2001 os ganhos desse equipamentos foram mais modestos (1,5% a.a. em média). A evolução do consumo médio do modelo representativo de refrigeradores de uma porta, na situação de linha de base, segue na Figura 6.4.

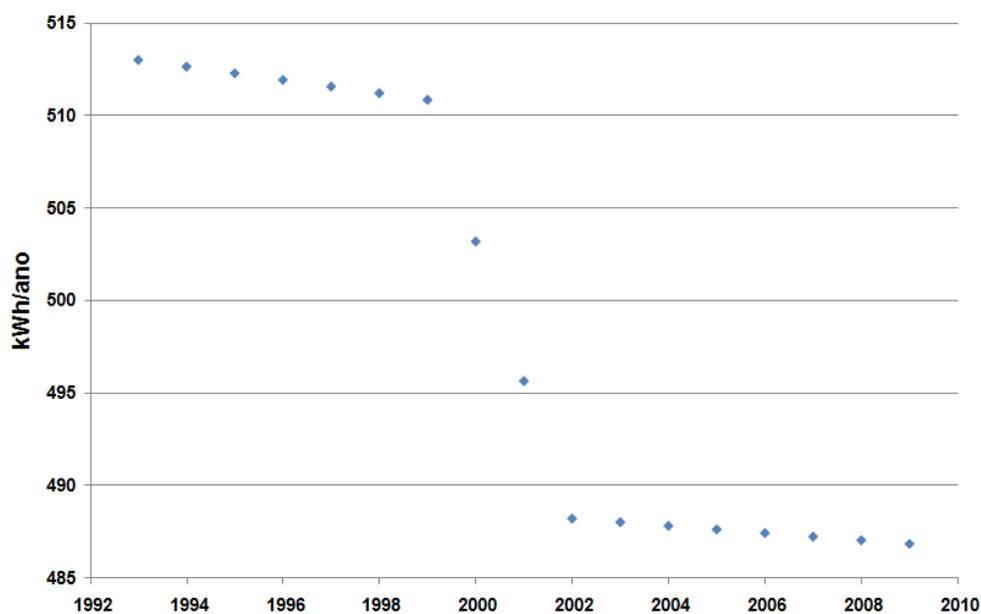


Figura 6. 4: Evolução do consumo médio de refrigeradores de uma porta de 300 litros, na situação de linha de base do mercado

Fonte: (Elaboração própria)

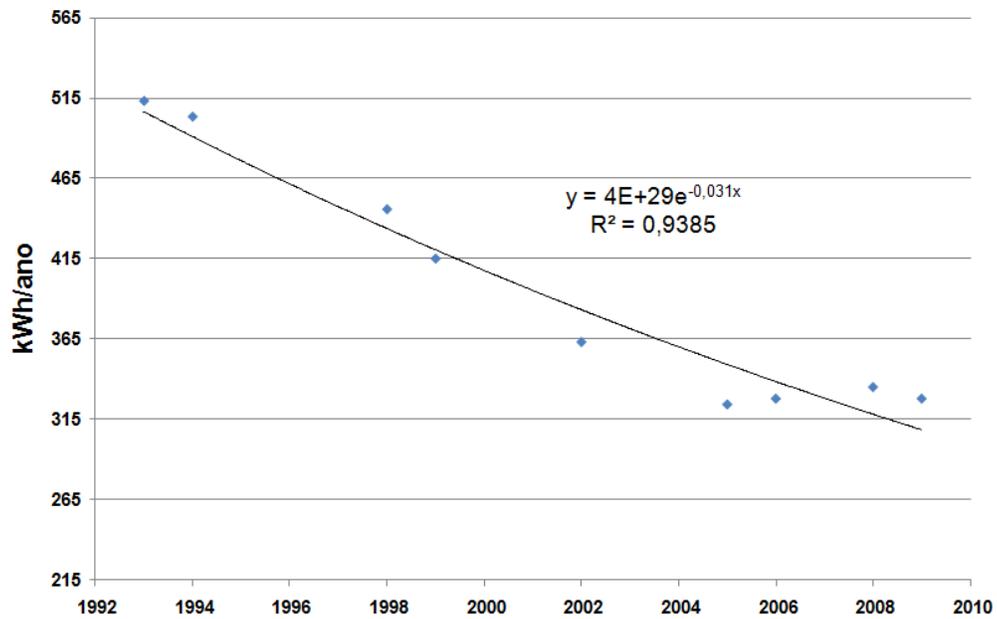


Figura 6. 5: Evolução do consumo médio de refrigeradores de uma porta de 300 litros, na situação real de mercado
 Fonte: (Elaboração própria)

As Tabelas 6.4 e 6.5, apresentam os consumos efetivos (Ceq) para cada região do país, nas duas situações de mercado (LB e Real).

Tabela 6. 4: Evolução dos consumos médios efetivos dos modelos representativos de refrigeradores de uma porta (300 litros de volume interno), por região (linha de base)

Fonte: (Elaboração própria)

Ano	Ceq (kWh/ano)				
	Sul	SE	Centro-Oeste	Nordeste	Norte
1993	247,0	326,8	347,7	374,3	381,9
1994	246,8	326,6	347,5	374,0	381,6
1995	246,7	326,3	347,2	373,8	381,4
1996	246,5	326,1	347,0	373,5	381,1
1997	246,3	325,9	346,7	373,3	380,8
1998	246,1	325,7	346,5	373,0	380,6
1999	246,0	325,4	346,2	372,7	380,3
2000	242,3	320,5	341,0	367,1	374,6
2001	238,6	315,7	335,9	361,6	369,0
2002	235,1	311,0	330,9	356,2	363,4
2003	235,0	310,9	330,8	356,1	363,3
2004	234,9	310,8	330,6	355,9	363,2
2005	234,8	310,6	330,5	355,8	363,0
2006	234,7	310,5	330,4	355,6	362,9
2007	234,6	310,4	330,2	355,5	362,7
2008	234,5	310,3	330,1	355,4	362,6
2009	234,4	310,1	330,0	355,2	362,4

Tabela 6. 5: Evolução dos consumos médios efetivos dos modelos representativos de refrigeradores de uma porta (300 litros de volume interno), por região (Real)

Fonte: (Elaboração própria)

Ano	Ceq (kWh/ano)				
	Sul	SE	Centro-Oeste	Nordeste	Norte
1993	247,0	326,8	347,7	374,3	381,9
1994	242,3	320,6	341,1	367,2	374,6
1995	235,1	311,1	331,0	356,3	363,5
1996	228,2	301,9	321,2	345,8	352,8
1997	221,4	293,0	311,7	335,6	342,4
1998	214,5	283,8	302,0	325,1	331,7
1999	199,7	264,3	281,2	302,7	308,8
2000	197,9	261,8	278,6	299,9	306,0
2001	196,4	259,8	276,5	297,6	303,7
2002	174,7	231,2	246,0	264,8	270,1
2003	169,0	223,6	237,9	256,1	261,3
2004	163,2	216,0	229,8	247,3	252,4
2005	156,0	206,4	219,6	236,4	241,2
2006	157,7	208,7	222,0	239,0	243,9
2007	157,7	208,7	222,0	239,0	243,9
2008	157,7	208,7	222,0	239,0	243,9
2009	157,7	208,7	222,0	239,0	243,9

A Figura 6.5 permite ver que entre 2005 e 2008 o consumo médio de refrigeradores teve leve aumento; isso se justifica devido ao fato da entrada de novos modelos de baixo volume interno, que são menos eficientes que os modelos de maior volume, geralmente.

De acordo com PROCEL (2012) os fatores de degradação de desempenho de refrigeradores de uma porta, para a correção do consumo dos equipamentos antigos, obedecem a Figura 6.6.

A Figura 6.6 revela que no trecho 1 (até cinco anos de idade) o equipamento não sofre nenhum efeito de degradação de eficiência, no trecho 2 (de cinco a dez anos) o equipamento perde cerca de 20% de sua eficiência devido a influência do isolamento e vedação, e, no trecho 3 (de dez a dezesseis anos) o equipamento perde mais 40% de desempenho por influência da perda de desempenho do compressor e da regulação do termostato.

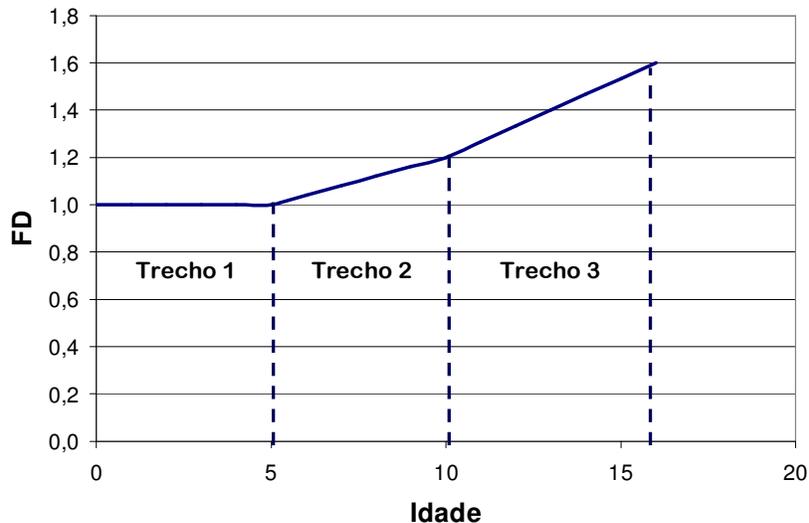


Figura 6. 6: Fatores de degradação de desempenho ao longo da vida útil

Fonte: (Elaboração própria)

6.2. Condicionadores de ar do tipo janela e split

Da mesma forma que refrigeradores, para a formação do parque de condicionadores de ar necessita-se de histórico de vendas, com um período mínimo correspondente à vida útil média desses equipamentos, que corresponde a 12 anos e de uma função sucateamento do tipo degrau no final da vida útil. Para as estimativas do consumo médio unitário necessita-se de informações como: capacidade térmica, temperaturas (ambiente e de referência), fatores de degradação de desempenho, fator de calor sensível e coeficientes de performance. Assim como os refrigeradores, o nível de desagregação das informações do parque e consumo médio unitário é regional, já que as diferentes temperaturas das regiões geográficas interferem no desempenho dos equipamentos. Como os condicionadores do tipo janela e split se encontram nos setores residencial e

comercial, realizou-se, também, a desagregação do parque de equipamentos nesses níveis setoriais.

6.2.1. Informações para a formação do parque de condicionadores de ar

As informações de vendas de condicionadores de ar foram fornecidas pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA (2010). A Tabela 6.6 apresenta o histórico de vendas de condicionadores de ar no Brasil.

Tabela 6. 6: Vendas de condicionadores de ar no Brasil, em milhões de unidades

Fonte: (ABRAVA, 2010)

Ano/Tipo	Total	Janela	Split
1998*	1,11	0,67	0,44
1999*	1,11	0,67	0,44
2000*	1,11	0,67	0,44
2001*	1,11	0,67	0,44
2002	1,15	0,69	0,46
2003	1,27	0,76	0,51
2004	1,19	0,71	0,48
2005	1,27	0,76	0,51
2006	1,56	0,94	0,62
2007	1,42	0,85	0,57
2008	1,41	0,85	0,56
2009	1,54	0,77	0,77

* Anos para os quais os valores de venda foram estimados

Para a desagregação das vendas, apresentadas na Tabela 6.6, em nível regional assumiu-se que as vendas se distribuem como o parque de equipamentos no ano de 2003, de acordo com a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF/IBGE, 2003), como se observa da Figura 6.7, uma vez que a ABRAVA não fornece as informações nesse nível de desagregação.

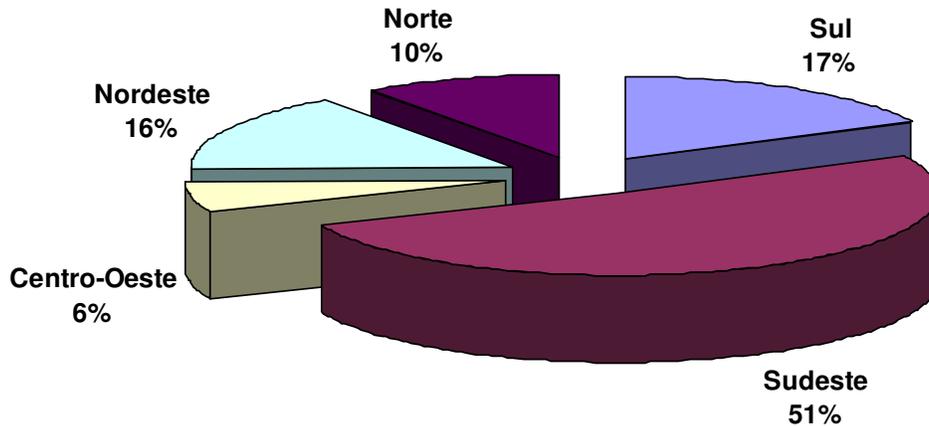


Figura 6. 7: Concentração de condicionadores de ar por região geográfica do Brasil

Fonte: (POF/IBGE, 2003)

Cabe observar que segundo o PROCEL (2007), 20% dos condicionadores de ar janela e split, concentram-se no setor comercial e 80% no setor residencial. As capacidades típicas dos equipamentos do setor comercial variam entre 12.000 e 36.000 Btu/h e do setor residencial variam entre 6.000 e 12.000 Btu/h. Assim, assumiu-se um modelo representativo de condicionador de ar do tipo janela e split do setor residencial com capacidade de 9.000 Btu/h e capacidade de 21.000 Btu/h para o setor comercial.

6.2.2. Informações para o cálculo do consumo médio unitário dos condicionadores de ar

Como o consumo médio unitário dos modelos representativos de condicionadores de ar será desagregado em nível regional, foi necessária a realização de estudos das temperaturas de cada região e estimativas do tempo de utilização dos equipamentos. Cabe ressaltar que para as estimativas do consumo unitário, considerou-se a temperatura de referência de 26,7°C, ou seja, o ambiente climatizado deve se manter nessa temperatura.

Embora estejam disponíveis registros de temperatura ambiente em bom nível de detalhe para diferentes localidades do país ao longo do ano, as informações necessárias para o presente estudo referem-se às temperaturas médias do ambiente externo ao local

climatizado quando os condicionadores de ar se encontram em uso. Para estimar as temperaturas externas durante a operação, adotaram-se as seguintes hipóteses:

- A operação dos condicionadores de ar ocorre nos períodos de temperatura mais elevada, durante o tempo estimado no levantamento do PROCEL (2007).
- As temperaturas observadas nas plataformas de coletas de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais localizadas mais próximas às capitais de cada região, com informações completas, foram adotadas como representativas para a região (CPTEC, 2009).

Assim, tomando os registros de temperatura ambiente (efetuados a cada 3 horas), foi levantada uma curva de frequência acumulada, que permitiu estimar a temperatura média externa aos condicionadores de ar quando em operação, conhecido o tempo em que são utilizados. Este procedimento está exemplificado na Figura 6.8 com os resultados para a região Norte e a Tabela 6.7 sintetiza os resultados para as cinco regiões brasileiras.

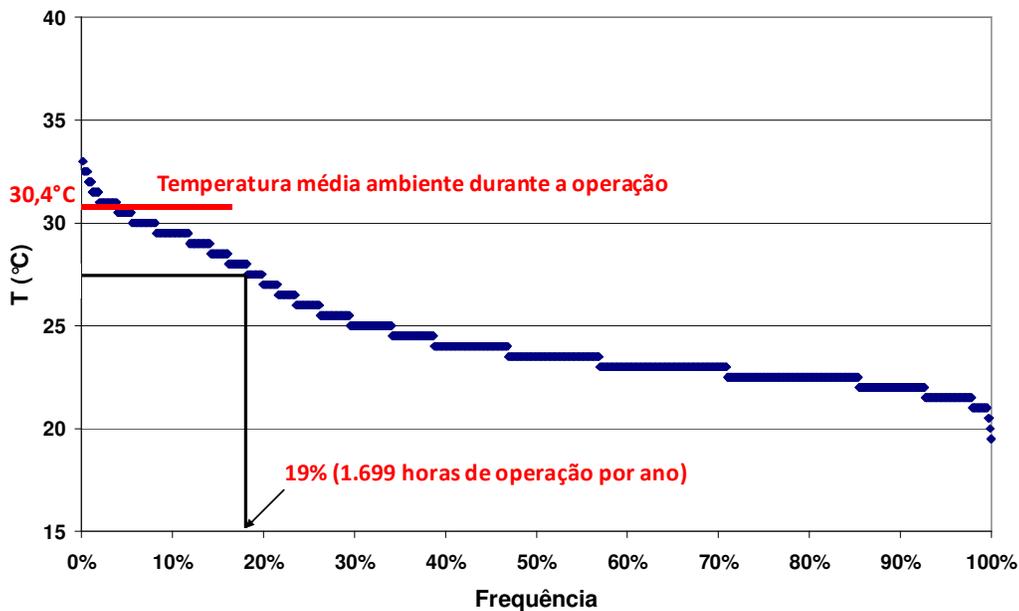


Figura 6. 8: Estudo da frequência de temperaturas para estimativa da temperatura média externa aos condicionadores de ar, quando em operação na região Norte

Tabela 6. 7: Condições estimadas de operação dos condicionadores de ar no Brasil

Região	Cidade de referência	Temperatura média externa quando em operação	Tempo anual de utilização (horas)
Norte	Manaus AM	30,4°C	1.699
Nordeste	Recife PE	29,8°C	1.699
Centro-oeste	Cuiabá MT	35,8°C	695
Sudeste	Belo Horizonte MG	33,1°C	695
Sul	Porto Alegre RS	29,6°C	695

Com base em informações apresentadas por históricos de tabelas de desempenho de condicionadores de ar do PBE/INMETRO (exemplo de tabela em anexo), estimou-se os coeficientes de performance – COP para cada situação de mercado, linha de base e real, como mostram as tabelas 6.8 e 6.9, levando em consideração as distribuições por classe de eficiência energética, que se encontram nos anexos.

Tabela 6. 8: Evolução dos coeficientes de performance dos modelos representativos de condicionadores de ar do tipo janela

Ano	Linha de base (LB)		Real	
	9.000 Btu/h	21.000 Btu/h	9.000 Btu/h	21.000 Btu/h
1998	2,10	2,34	2,92	2,89
1999	2,20	2,31	3,06	2,90
2000	2,27	2,34	2,88	2,99
2001	2,08	2,41	2,98	2,90
2002	2,09	2,43	3,04	2,87
2003	2,13	2,52	3,01	2,88
2004	2,16	2,51	3,02	2,90
2005	2,17	2,63	3,00	2,87
2006	2,42	2,60	3,01	2,85
2007	2,79	2,55	3,00	2,85
2008	2,70	2,60	3,00	2,90
2009	2,70	2,60	3,00	2,90

Tabela 6. 9: Evolução dos coeficientes de performance dos modelos representativos de condicionadores de ar do tipo split

Ano	Linha de base (LB)		Real	
	9.000 Btu/h	21.000 Btu/h	9.000 Btu/h	21.000 Btu/h
1998	2,73	2,62	3,15	3,01
1999	2,66	2,61	3,08	3,01
2000	2,74	2,62	3,05	3,01
2001	2,76	2,66	3,15	3,08
2002	2,73	2,64	3,08	3,02
2003	2,78	2,63	3,05	3,03
2004	2,77	2,64	3,07	3,04
2005	2,78	2,67	3,00	3,03
2006	2,77	2,70	3,05	3,06
2007	2,78	2,73	2,98	3,05
2008	2,80	2,87	3,04	3,06
2009	2,88	2,73	3,05	3,08

De acordo com PROCEL (2012) considerou-se que os condicionadores de ar perdem cerca de 10% de seu desempenho, no final de sua vida útil, a partir do quinto ano, como mostra a Figura 6.9.

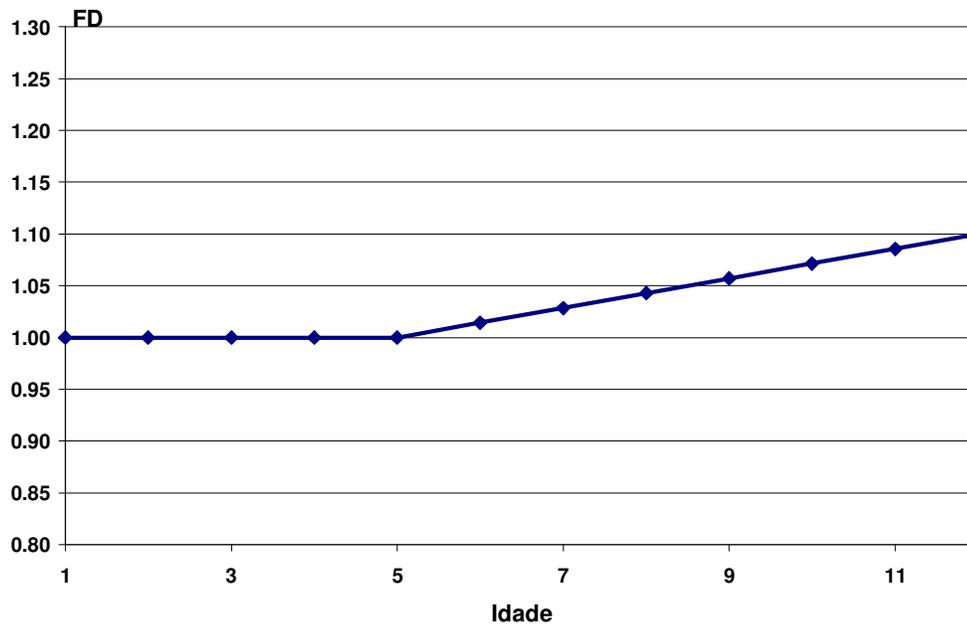


Figura 6. 9: Fatores de degradação de desempenho de condicionadores de ar ao longo da vida útil desses equipamentos

Os valores das cargas térmicas dos condicionadores de ar janela e split estão apresentados na Tabela 6.10. As cargas térmicas, apresentadas nessa tabela, foram obtidas em função das características de ensaio dos condicionadores de ar. Com informações de vazão mássica, temperaturas e desempenho, foi possível obter as cargas térmicas de cada tipo de condicionador de ar, para cada capacidade.

Tabela 6. 10: Cargas térmicas dos modelos representativos de condicionadores de ar, em kJ/°C.h

Tipo	9.000 Btu/h	21.000 Btu/h
Janela	3.113	7.264
Split	3.113	7.264

6.3. Motores de indução trifásicos

Diferentemente dos refrigeradores e condicionadores de ar, os motores elétricos não são desagregados em nível regional, já que a temperatura ambiente não influencia significativamente no desempenho desses equipamentos. Os motores elétricos se

concentram no setor industrial e seu desempenho é influenciado, principalmente, pelo carregamento em que operam. O parque de equipamentos foi dividido por faixas de capacidade (1-10 cv, 10-40 cv, 40-100 cv, 100-250 cv) para a avaliação dos impactos energéticos. Cada faixa de capacidade representa um modelo representativo.

6.3.1. Informações para a formação do parque de motores elétricos

A formação do parque de motores elétricos tem como fonte principal de informações os dados de venda e potência fornecidos pela Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE. A Tabela 6.11 apresenta o histórico dos últimos anos de vendas de motores elétricos no Brasil.

Tabela 6. 11: Vendas de motores elétricos no Brasil
Fonte: (ABINEE, 2010)

Faixa (cv)	2006	2007	2008	2009
1 – 10	915.329	910.902	1.034.762	1.015.076
10 – 40	182.306	188.442	233.083	253.769
40 – 100	37.858	42.305	55.408	56.346
100 – 250	14.695	16.923	20.030	20.134
Total	1.150.188	1.158.572	1.343.283	1.345.325

Considerou-se uma função degrau para o sucateamento de motores elétricos, ou seja, assim que vence a vida útil média de cada modelo representativo ele sai, totalmente, do mercado.

6.3.2. Informações para o cálculo do consumo médio unitário dos motores elétricos

Para as estimativas das eficiências médias de cada modelo representativo para cada situação de mercado (Linha de Base ou Real), assumiu-se a linha de base como sendo o parque representado por motores do tipo padrão com eficiência mínima e, o mercado real com motores do tipo alto rendimento, com eficiência mínima, de acordo com o Decreto 4.508/2002. Considerou-se que essas duas situações de mercado representam bem a evolução trazida pelos programas brasileiros de etiquetagem energética. As

tabelas 6.12 e 6.13, representam as eficiências mínimas de motores elétricos novos, para cada situação de mercado.

Tabela 6. 12: Eficiência mínima de motores elétricos (padrão) (%)

Potência (cv)	2 pólos	4 pólos	6 pólos	8 pólos
1,0	77,1	79,5	74,5	68,0
1,5	78,6	79,5	75,1	74,5
2,0	81,1	82,5	78,0	79,0
3,0	81,6	83,1	78,6	80,0
4,0	83,0	83,5	83,0	81,3
5,0	85,5	85,1	84,0	83,0
6,0	85,1	86,0	85,5	84,5
7,5	86,5	88,0	86,0	86,0
10,0	87,6	89,0	86,3	87,5
12,5	88,0	88,5	88,0	88,0
15,0	87,8	88,6	89,5	88,5
20,0	89,0	90,2	89,6	89,5
25,0	89,6	90,6	90,3	89,0
30,0	89,6	91,1	91,1	91,0
40,0	90,4	91,8	91,8	91,5
50,0	92,2	92,5	92,0	91,1
60,0	92,5	93,1	92,5	91,5
75,0	92,8	93,1	92,8	92,0
100,0	93,5	93,5	93,1	92,5
125,0	93,7	93,8	93,5	93,5
150,0	93,3	94,1	94,2	93,8
175,0	94,0	94,2	94,2	-

Tabela 6. 13: Eficiência mínima de motores elétricos (alto rendimento) (%)

Potência (cv)	2 pólos	4 pólos	6 pólos	8 pólos
1,0	80,1	82,6	80,2	74,2
1,5	82,7	81,6	79,0	78,0
2,0	83,7	84,1	83,5	83,4
3,0	85,1	85,1	83,4	84,5
4,0	86,0	86,3	86,3	85,0
5,0	87,6	87,7	87,6	85,6
6,0	88,1	88,7	88,0	86,8
7,5	88,7	89,7	88,5	87,0
10,0	89,6	91,0	89,3	89,5
12,5	89,6	91,0	89,5	89,5
15,0	90,3	91,7	90,6	89,5
20,0	91,1	92,4	90,9	90,5
25,0	91,5	92,5	91,9	90,0
30,0	91,3	93,0	92,5	91,6
40,0	92,0	93,1	93,2	92,0
50,0	92,9	93,1	93,2	92,6
60,0	93,1	93,7	93,7	92,6
75,0	93,1	94,2	93,7	93,5
100,0	93,7	94,6	94,2	93,7
125,0	94,6	94,7	94,3	94,1
150,0	94,6	95,1	95,1	94,2
175,0	94,8	95,1	95,1	-
200,0	95,1	95,1	95,1	-
250,0	95,5	95,5	-	-

A partir das tabelas 6.12 e 6.13 obteve-se as eficiências médias para cada modelo representativo em cada situação de mercado (LB ou Real), como mostra a Tabela 6.14. Cabe ressaltar que essas eficiências se mantiveram com o passar dos anos, pois, não houve alterações no Decreto 4.508/2002, em anos anteriores ao Decreto, também se mantiveram as mesmas eficiências.

Tabela 6. 14: Eficiência dos motores elétricos novos (%)

Faixa de capacidade (cv)	Linha de Base (LB)	Real
1-10	82,9	85,7
10 – 40	89,1	91,0
40 – 100	92,8	93,2
100 – 250	93,9	94,9

O tempo de utilização dos motores elétricos foi definido preliminarmente considerando valores crescentes em função da potência e o consumo de energia estimado para esse uso final no setor industrial. Dessa forma para a faixa de 1 a 10 cv adotou-se 800 horas/ano, para 10-40 cv, 1000 horas/ano, para 40-100 cv, 1200 horas/ano e para 100-250 cv, 2000 horas/ano. Essas informações foram obtidas com base em pesquisas de campo de equipes da empresa WEG. Alguns ajustes foram realizados com base em análises de consistências das informações, quando comparado o consumo de motores no Brasil com o consumo do setor industrial.

As informações quanto ao carregamento dos motores em sua operação foram obtidas a partir de estudos da PPE/COPPE/UFRJ (2005), que utilizam uma amostra de motores de diferentes fábricas do país, utilizando a base de dados do software BD MOTOR. Os estudos constataram que os motores operam conforme a Figura 6.10.

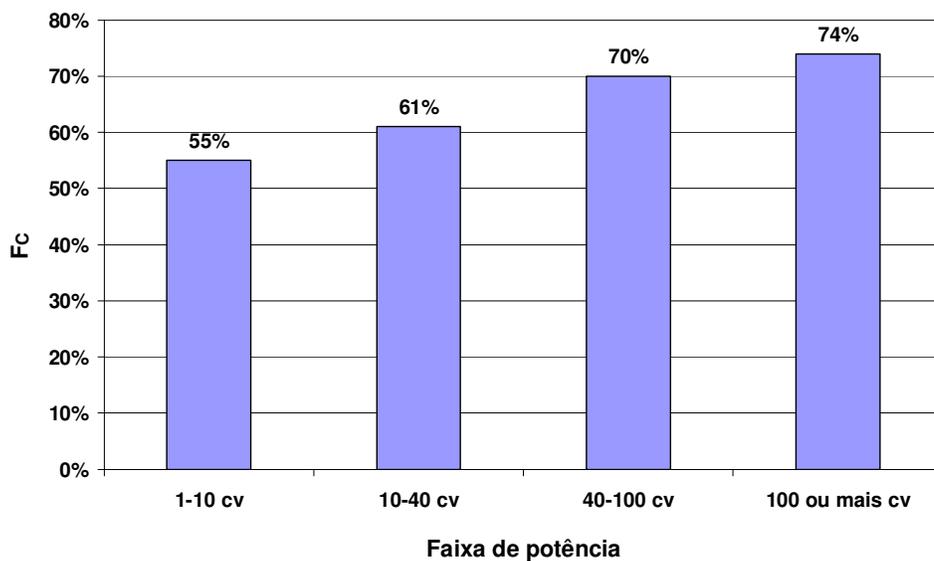


Figura 6. 10: Fatores de carregamento médios de motores na indústria brasileira

A partir de catálogos de fabricantes obtiveram-se dados de desempenho dos motores elétricos em função do carregamento, tendo sido definido o fator de eficiência (FR), dado pela relação entre a eficiência do motor com a carga correspondente ao fator de carregamento e a eficiência do motor em condições nominais. Foram estruturadas duas curvas: uma para motores de 1 a 10 cv e outra para motores com potências acima 10 cv, como indicam as figuras 6.11 e 6.12.

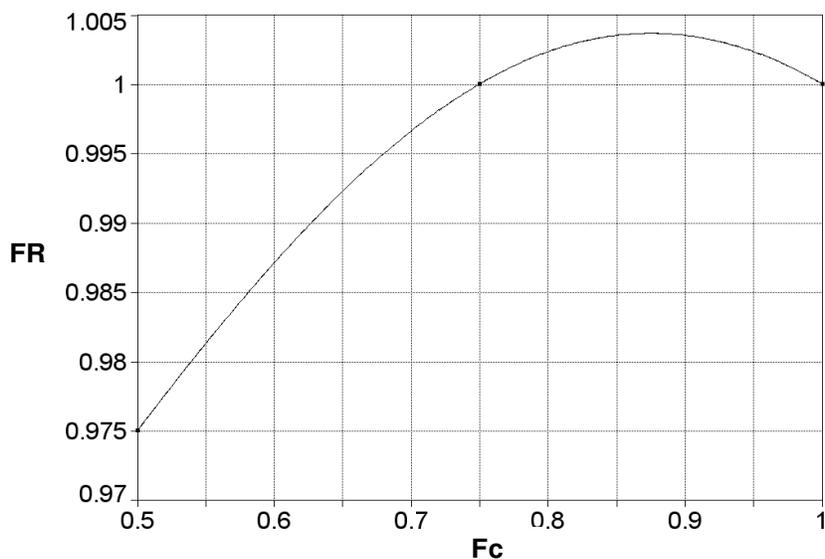


Figura 6. 11: Fator de Eficiência para motores de 1 a 10 cv

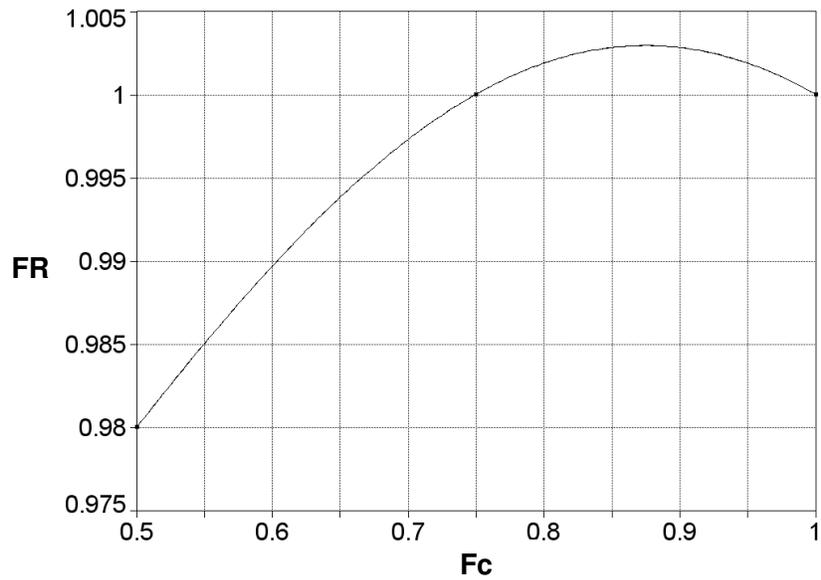


Figura 6. 12: Fator de Eficiência para motores acima de 10 cv

Cabe observar que os FR não apresentaram grandes variações para motores com Selo e sem Selo ou para motores de alto rendimento e padrão, por isso consideraram-se os mesmos fatores apresentados nas figuras anteriores para os motores com ou sem o Selo PROCEL de alto rendimento ou padrão.

A partir de levantamentos de campo realizados por Bortoni et al. (2007) e estudos acadêmicos, como apresentado por Rise (1997), constatou-se que os motores elétricos podem perder até 2% de sua eficiência ao longo de sua vida útil. Isso ocorre devido ao regime operacional dos motores, com subseqüentes partidas e paradas, levando a grandes variações de temperatura e modificações das características magnéticas dos mesmos, desgastes mecânicos, manutenção e metodologia de reparo. A Figura 6.13 apresenta a degradação de desempenho de motores elétricos em função da idade.

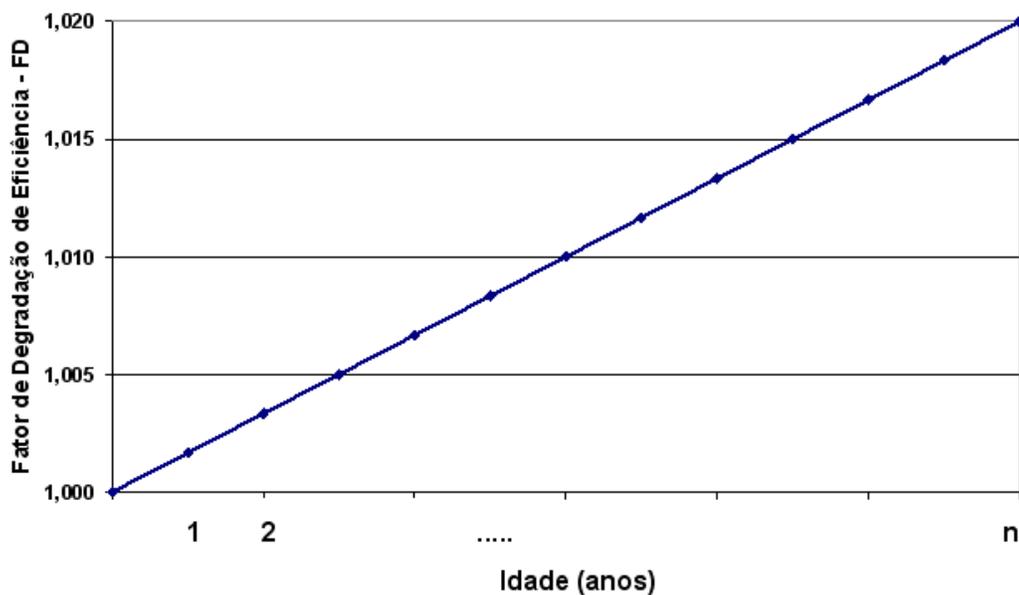


Figura 6. 13: Fator médio de degradação de desempenho de motores elétricos ao longo da vida útil

A partir de informações de Andreas (1982) constatou-se que os motores elétricos apresentam, em média, as seguintes vidas úteis médias apresentadas na Tabela 6.15.

Tabela 6. 15: Vida útil média de motores elétricos
Fonte: (modificado ANDREAS, 1982)

Faixa de potência (cv)	Vida útil (anos)
1-10	13
10-40	20
40-100	25
100-250	29

PARTE 3: RESULTADOS E CONCLUSÕES

7. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da modelagem proposta no Capítulo 5, destacando o parque de equipamentos, consumo, economia de energia (com seu nível de incerteza), redução de demanda de ponta e redução de emissões de gases do efeito estufa.

7.1. Parque de Equipamentos

Segundo estimativas o parque de refrigeradores de uma porta no Brasil, em 2009, era de 43,4 milhões de unidades, desagregados em nível regional de acordo com a Figura 7.1.

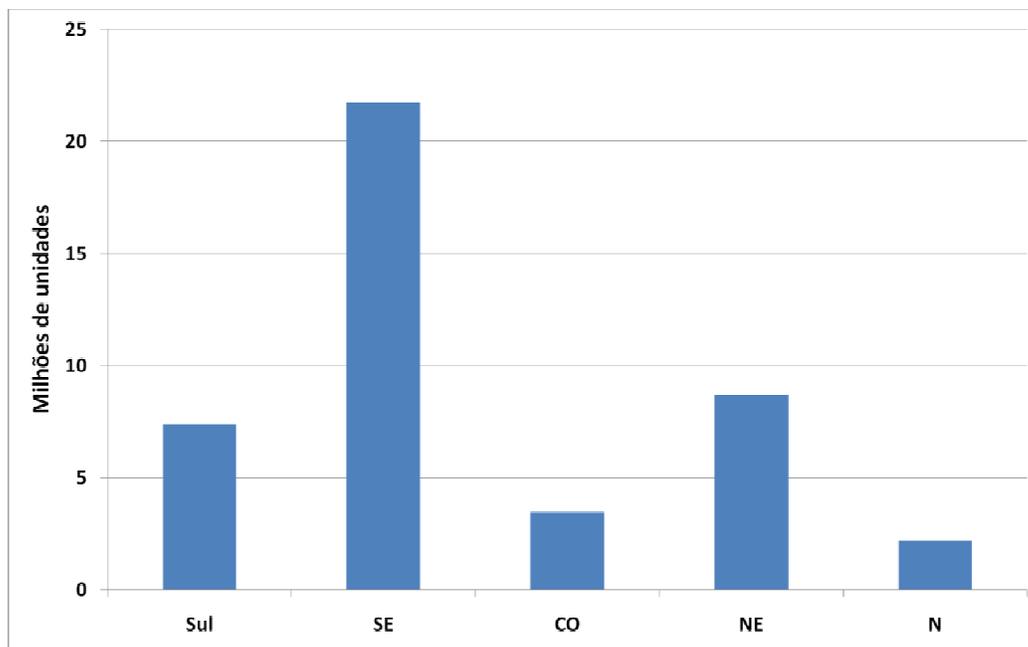


Figura 7. 1: Parque de refrigeradores de uma porta no Brasil, em 2009

O número de condicionadores de ar, do tipo janela e split, chegou a 14 milhões de unidades em 2009. A Figura 7.2 representa o parque de condicionadores do tipo janela e split, a distribuição de acordo com a região e setor foi feita de acordo com o Capítulo 6.

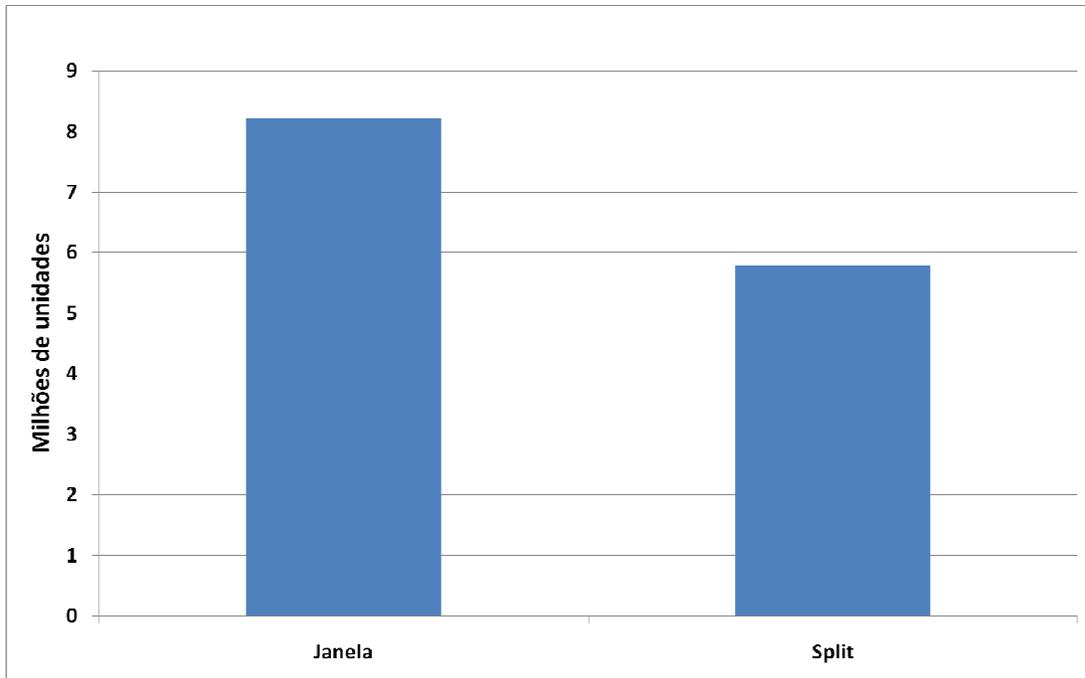


Figura 7. 2: Parque de condicionadores de ar no Brasil, em 2009

Os motores de indução trifásicos, tipicamente do setor industrial, chegaram a 13,5 milhões de unidades, em 2009, desagregados por faixa de potência de acordo com a Figura 7.3.

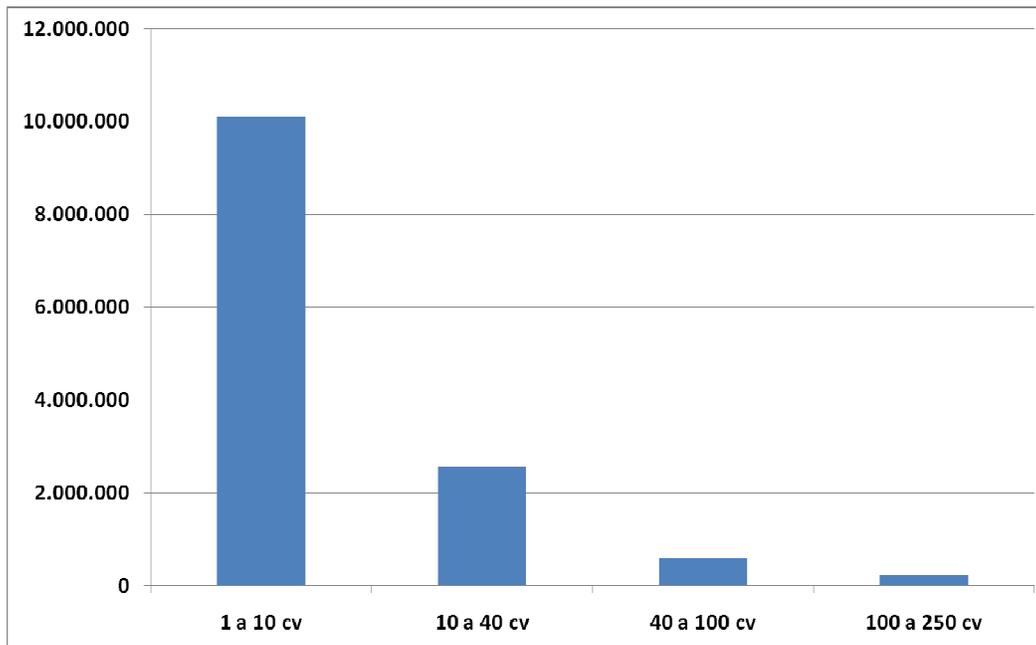


Figura 7. 3: Parque de motores elétricos no Brasil, em 2009

7.2. Consumo médio unitário

Os consumos médios unitários de refrigeradores de uma porta, em cada região do país, estão representados nas figuras 7.4 e 7.5, que representam a situação de linha de base e real, respectivamente.

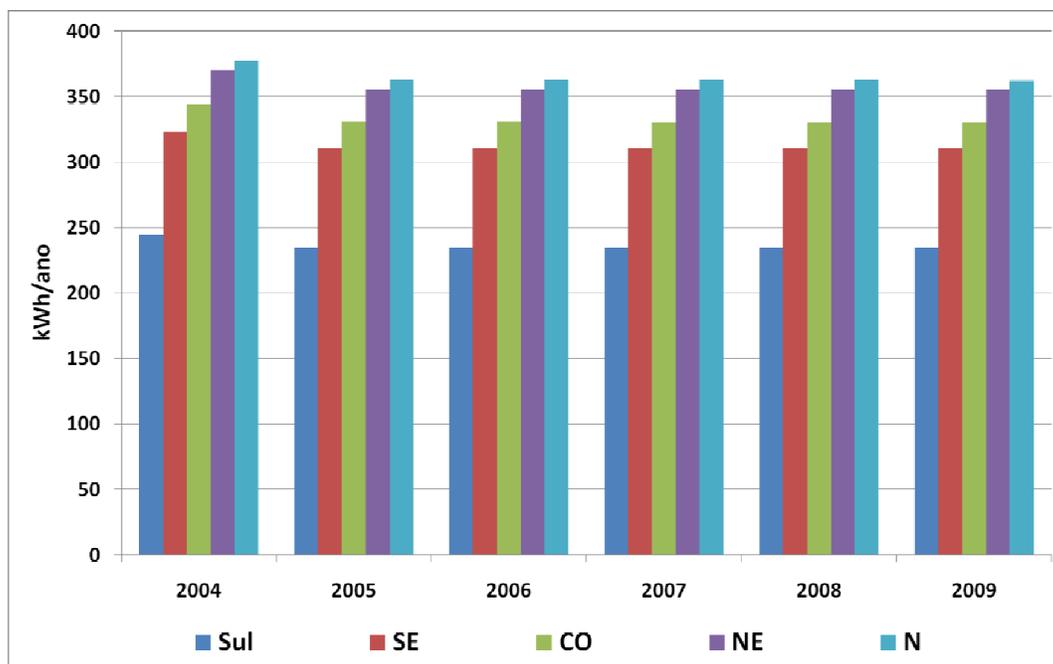


Figura 7. 4: Evolução do consumo médio unitário de refrigeradores de uma porta, na condição de linha de base (LB)

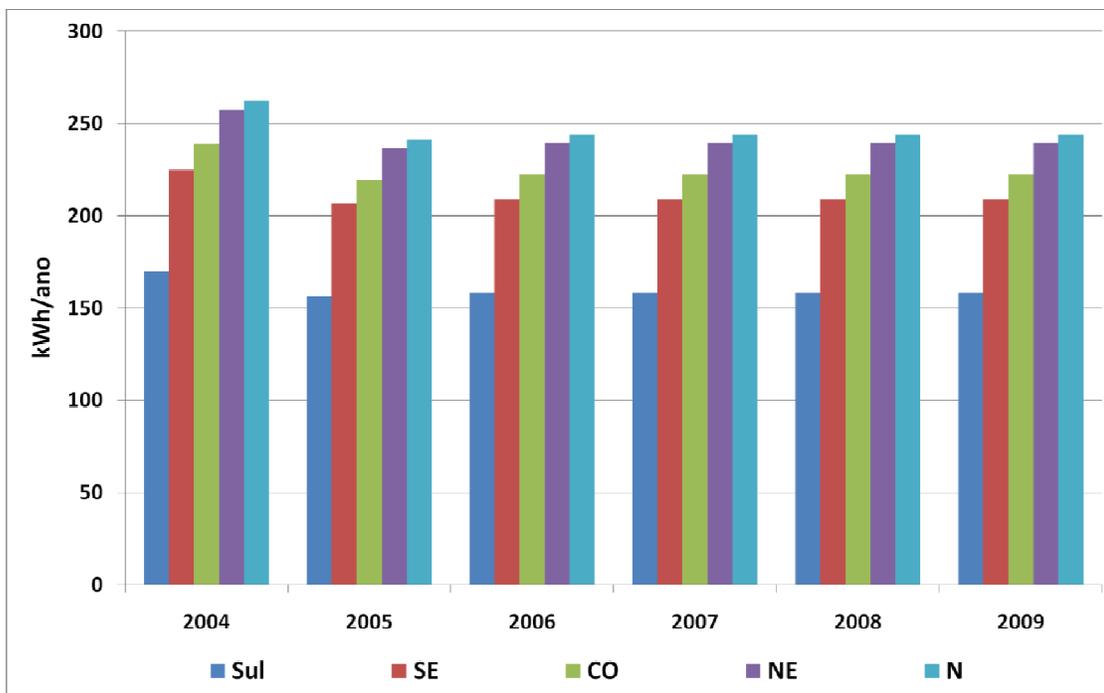


Figura 7. 5: Evolução do consumo médio unitário de refrigeradores de uma porta, na condição real

No período entre 2004 e 2009 os refrigeradores de uma porta aumentaram sua eficiência em quase 5%, em períodos anteriores os ganhos foram maiores. Isso ocorre devido à saturação tecnológica, ou seja, em períodos próximos à implementação de uma tecnologia os ganhos são maiores. O mesmo ocorre com os condicionadores de ar.

A Tabela 7.1 apresenta o consumo médio unitário dos condicionadores de ar do tipo janela e split, em 2009, para as duas situações de mercado.

Tabela 7. 1: Consumo médio unitário dos condicionadores de ar do tipo janela (J) e split (S) em 2009 (kWh/ano)

Região	Sul		SE		CO		NE		N	
	LB	Real								
J (6 a 12)	1013	781	428	330	535	413	1088	839	1377	1062
J (12 a 30)	2742	2363	1159	999	1449	1249	2944	2537	3721	3212
S (6 a 12)	844	764	357	323	446	404	906	821	1148	1039
S(12 a 30)	2540	2239	1074	946	1342	1184	2727	2403	3446	3043

* 6 a 12 kBtu/h é representado pela potência média de 9 kBtu/h e 12 a 30 por 21 kBtu/h

Observa-se que os consumos unitários da região Sul, apresentados pela Tabela 7.1, são maiores que os consumos unitários das regiões SE e CO, apesar de ser uma região mais fria. Esse fato ocorre devido ao uso dos equipamentos para aquecimento, no período seco (inverno).

A Tabela 7.2 apresenta a potência média e o tempo anual de operação de cada modelo representativo de motores elétricos avaliados. O tempo de operação foi obtido de acordo com (PROCEL, 2012).

Tabela 7. 2: Potência média e tempo médio anual de operação de motores de indução trifásicos

Faixa de potência (cv)	Potência média (cv)	Tempo anual (horas)
1-10	5	800
10-40	25	1.000
40-100	70	1.200
100 a 250	175	2.000

7.3. Consumo do parque, Economia de Energia, RDP e redução de emissões de GEE

Com o levantamento do parque de equipamentos e consumo médio unitário do parque, foi possível estimar o consumo do parque de equipamentos, para as duas situações de mercado (linha de base e real), bem como os impactos energéticos, em termos de economia de energia e redução de demanda de ponta, bem como impactos ambientais, em termos de redução de gases do efeito estufa.

A Figura 7.6 apresenta os consumos do parque de refrigeradores de uma porta no ano de 2009, nas duas situações de mercado consideradas, desagregados por região do país. O consumo desses equipamentos no Brasil na situação de linha de base foi de 15.869 GWh e na situação real de 12.362 GWh, resultando numa economia de 3.506 GWh, como mostra a Tabela 7.3. Essa tabela também apresenta os resultados de redução de demanda de ponta (RDP) que chegaram a 1.141 MW, em 2009, cerca de 1% de toda potência instalada no Brasil, naquele ano, para a geração de energia elétrica.

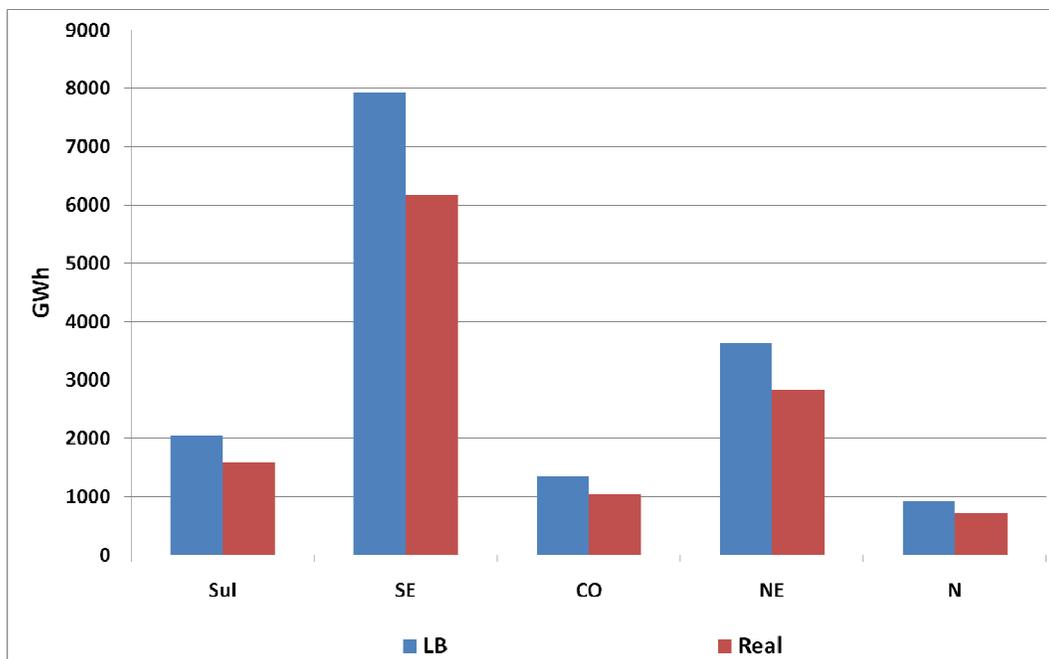


Figura 7. 6: Consumo do parque de refrigeradores de uma porta em 2009

Tabela 7. 3: Impactos energéticos atribuídos aos programas de eficiência energética brasileiros em refrigeradores de uma porta no ano de 2009

Região	Economia de energia (GWh)	RDP (MW)
Sul	450,0	184,9
SE	1.751,3	719,7
CO	298,1	122,5
NE	802,3	329,7
N	204,7	84,1
Brasil	3.506,5	1.441,0

Cabe ressaltar que para os cálculos de RDP considerou-se o tempo de utilização das geladeiras de oito horas por dia e um fator de utilização de 1,25.

As tabelas 7.4 e 7.5, apresentam os consumos do parque de condicionadores de ar, janela e split, no ano de 2009, e os impactos energéticos, em termos de economia de energia e RDP, respectivamente.

Tabela 7. 4: Consumo do parque de condicionadores de ar no ano de 2009

Região	Janela (GWh)		Split (GWh)	
	LB	Real	LB	Real
Sul	1.947	1.573	1.187	1.063
SE	2.424	1.958	1.477	1.323
CO	343	277	209	187
NE	1.863	1.504	1.135	1.016
N	1.520	1.229	927	830

Tabela 7. 5: Impactos energéticos, atribuídos aos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética em condicionadores de ar no ano de 2009

Região	Economia de energia (GWh)		RDP (MW)	
	Janela	Split	Janela	Split
Sul	374	124	253	81
SE	466	154	441	141
CO	66	22	62	20
NE	359	119	292	93
N	291	97	231	73
Brasil	2.072		1.687	

Para os cálculos de RDP, atribuídos aos condicionadores de ar considerou-se o FCP de 0,70 (PROCEL, 2010).

Os motores elétricos são os equipamentos que mais consomem energia elétrica no Brasil, cerca de um terço de toda a energia produzida. Em 2009 esses equipamentos consumiram cerca de 129.000 GWh de energia elétrica. A Figura 7.7 apresenta o consumo de motores elétricos nas duas situações de mercado consideradas. A Tabela 7.6 apresenta os impactos energéticos.

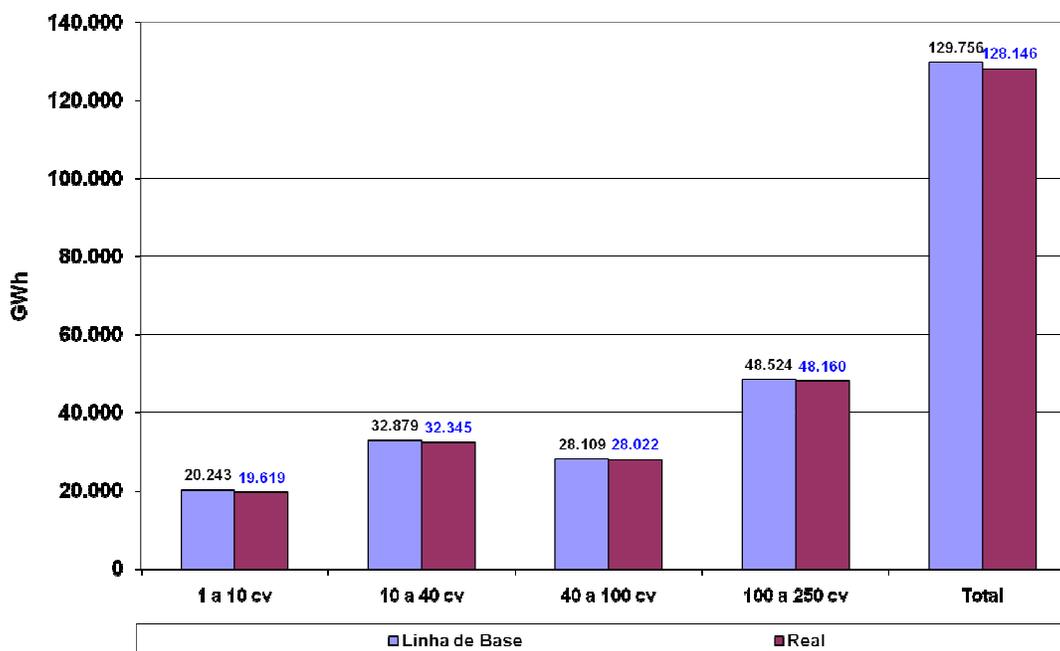


Figura 7. 7: Consumo do parque de motores elétricos em 2009

Tabela 7. 6: Impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem energética em motores elétricos no ano de 2009

Capacidade (cv)	Economia de energia (GWh)	RDP (MW)
1 – 10	624	273
10 – 40	534	187
40 – 100	87	25
100 – 250	365	64
Brasil	1.611	549

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 7.8 apresenta a participação dos impactos energéticos, em termos de economia de energia, de cada equipamento, em 2009.

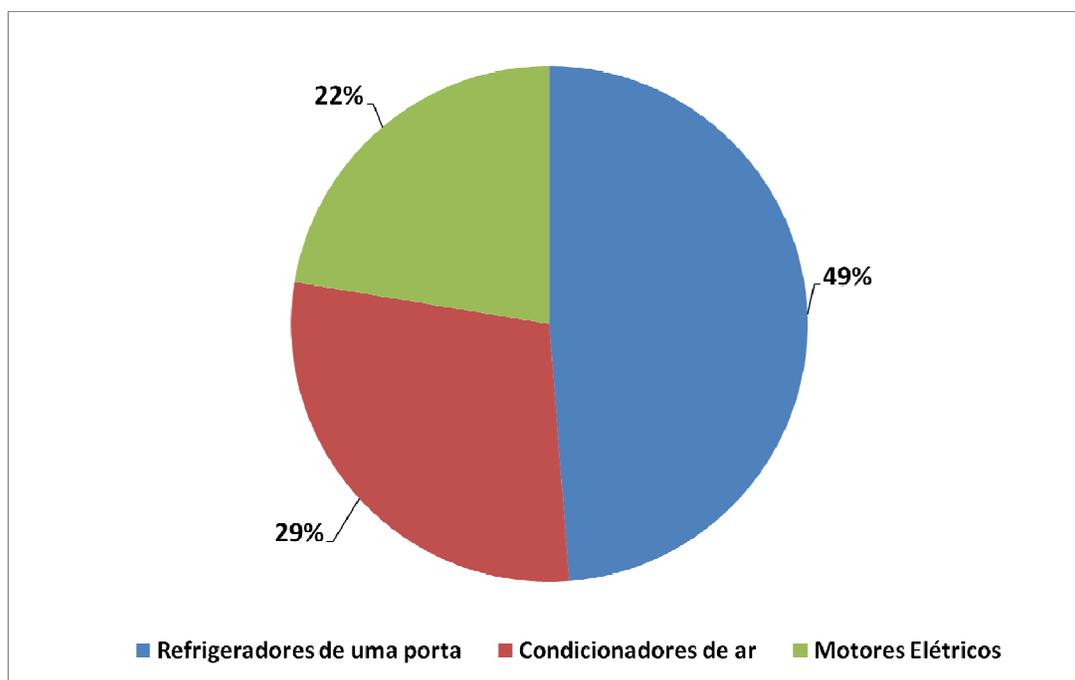


Figura 7. 8: Participação na economia de energia, atribuídos aos programas de etiquetagem energética no Brasil, em 2009

Para as estimativas dos impactos ambientais, em termos de redução de emissões de GEE considerou-se a informação do MCT (2010) que o setor elétrico emitiu 0,048 tCO₂/MWh gerado, como fator de emissão (FE). Assim, chegou-se aos seguintes impactos ambientais positivos, indicados na Tabela 7.7.

Tabela 7. 7: Impactos ambientais no ano de 2009

Equipamentos	Redução de emissões de GEE (tCO ₂)
Refrigeradores de uma porta	168.268
Condicionadores de ar	99.456
Motores elétricos	77.328

O valor total de emissões de GEE de 345.072 tCO₂ economizados, equivalem as emissões de 718.900 barris de petróleo cru queimados. Considerando que a queima de

um barril de petróleo emita 0,48 tCO₂, de acordo com Schaeffer et al. (2009) e que a humanidade passou a consumir cerca de mil barris de petróleo por segundo, de acordo com Tertzakian (2006), a economia de energia beneficiada pelos programas de etiquetagem energética do Brasil, em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos, evitaria as emissões de GEE em apenas alguns minutos na Terra pela queima de petróleo, em 2009.

7.4. Análises dos impactos das variáveis e incertezas dos modelos

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, efetuaram-se análises de sensibilidade 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 7.8.

Tabela 7. 8: 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 devam ser semelhantes aos impactos em condicionadores de ar. Realizaram-se simulações, considerando as hipóteses 1, 2 e 3 apresentadas na Tabela 7.8 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 aleatório 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 7.9, confirmando a necessidade de serem considerados tais efeitos nos estudos de impacto energético das medidas de eficiência.

Tabela 7.9: 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 7.9 revela 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 fossem considerada 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, como mostra a Figura 7.9.

A Figura 7.9 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%.

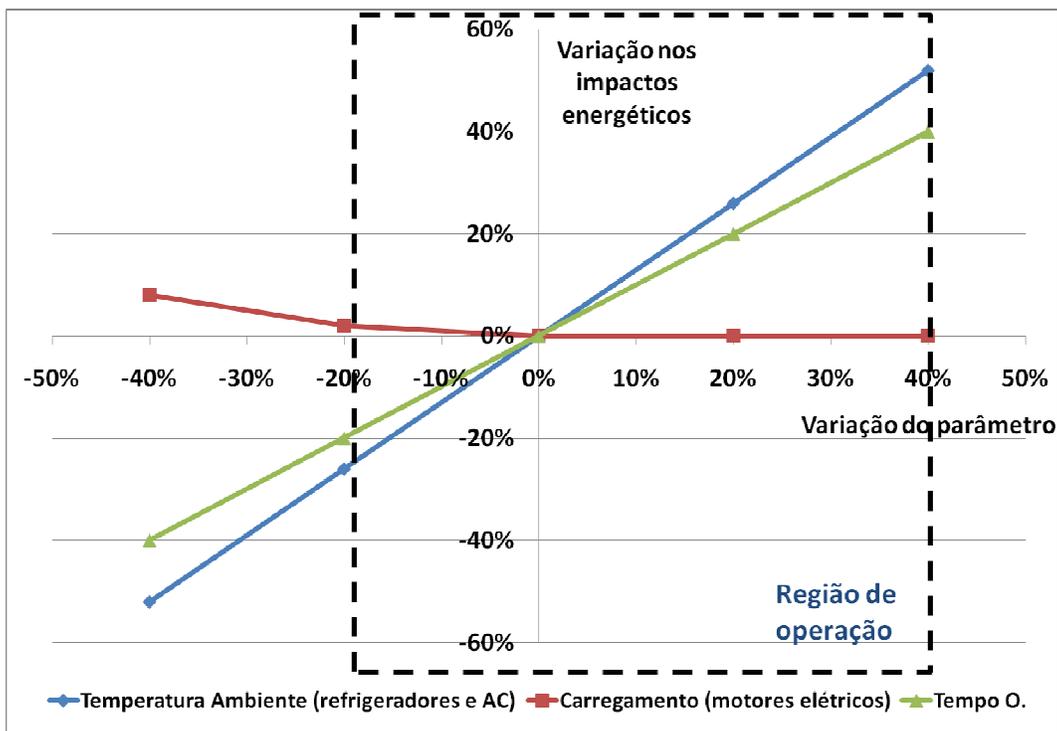


Figura 7. 9: Sensibilidade das variáveis nos impactos energéticos

Com base na modelagem para a avaliação das incertezas dos resultados de economia de energia dos equipamentos avaliados, concluiu-se que as incertezas chegam próximas de 30%, para todos os equipamentos avaliados, como mostra a seguir.

7.4.1. Incertezas para refrigeradores de uma porta

A Tabela 7.10 representa o impacto de cada variável que interfere nos cálculos de economia de energia dos refrigeradores de uma porta.

Tabela 7. 10: Impacto de incertezas das variáveis no modelo

	Variável	Incerteza da variável	Incerteza no modelo	Fonte de informação
Consumo	Temperatura	$\pm 1^{\circ}\text{C}$	$\pm 5\%$	CPTEC/INPE
	Consumo unitário	$\pm 0,22$ kWh/mês	$\pm 18,3\%$	PBE/INMETRO
	Degradação*	$\pm 0,2$	$\pm 5,4\%$	Fabricantes
	Consumo	-	$\pm 19,7\%$	
Parque	Vendas	$\pm 1,5\%$	$\pm 1,5\%$	ABRAVA
	Sucateamento*	$\pm 15\%$	$\pm 4,3\%$	Estimado
	Parque	-	$\pm 4,6\%$	

* Incerteza estimada de acordo com a Equação 5.20

O impacto da temperatura ambiente no modelo, quanto à incerteza, é de 5%, pois, o erro da fonte primária o CPTEC/INPE é de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ o que afeta em 5% nos resultados dos cálculos de consumo de energia. Os impactos das variáveis, referentes ao consumo unitário da ENCE e degradação de desempenho, foram estimadas empiricamente. As incertezas quanto às vendas de equipamentos e sucateamento estão relacionadas aos erros das respectivas fontes de informação.

Com as incertezas dos cálculos de consumo de energia e parque de equipamentos determinados, estima-se a incerteza do modelo de cálculo de economia de energia atribuída aos Programas de Etiquetagem Energética implementados no Brasil, como apresentado na Tabela 7.11.

Tabela 7. 11: Incerteza do modelo (refrigeradores de uma porta)

Variável	Incerteza
Parque	± 4,6%
Consumo	± 19,7%
Economia de Energia	± 28,2%

Conclui-se que a incerteza do modelo proposto de avaliação de economia de energia atribuída aos programas de etiquetagem energética, no âmbito de refrigeradores de uma porta, é de 28,2%.

7.4.2. Incertezas para condicionadores de ar

A Tabela 7.12 apresenta a incerteza adotada para as variáveis utilizadas no modelo e o impacto de cada uma delas sobre a economia de energia. As incertezas foram estimadas com base nos procedimentos utilizados para a sua determinação.

Tabela 7. 12: Impacto de incertezas das variáveis no modelo

	Variável	Incerteza da variável	Incerteza no modelo	Fonte de informação
Consumo	CEE	± 0,2	± 1%	PBE/INMETRO
	Temperatura	± 1°C	± 1%	CPTEC/INPE
	Fator degradação*	± 0,2	± 12,5%	Fabricantes
	Fator de utilização*	± 10%	± 10%	Estimado
	Tempo utilização*	± 150 horas	± 8%	Estimado
	Consumo	-		± 17,9%
Parque	Vendas	± 1,5%	± 1,5%	ABRAVA
	Sucateamento*	± 15%	± 4,3%	Estimado
	Parque	-		± 4,6%

* Incerteza estimada de acordo com a Equação 5.20

Com as incertezas dos cálculos de consumo de energia e parque de equipamentos determinados, estima-se a incerteza do modelo de cálculo de economia de energia atribuída aos programas de etiquetagem energética implementados no Brasil, como mostra a Tabela 7.13.

Tabela 7. 13: Incerteza do modelo (condicionadores de ar)

Variável	Incerteza
Parque	$\pm 4,6\%$
Consumo	$\pm 17,9\%$
Economia de Energia	$\pm 25,8 \%$

Conclui-se que a incerteza do modelo proposto de avaliação de economia de energia atribuída aos programas de etiquetagem energética, no âmbito de condicionadores de ar, está na ordem de 26%.

7.4.3. Incertezas para motores elétricos

Da mesma forma que foi feito para refrigeradores de uma porta e condicionadores de ar, a Tabela 7.14 apresenta a incerteza adotada para as variáveis utilizadas no modelo e o impacto de cada uma delas sobre a economia de energia.

Tabela 7. 14: Impacto de incertezas das variáveis no modelo

	Variável	Incerteza no modelo	Fonte de informação
Consumo (C)	Potência Nominal	$\pm 0\%$	PBE/INMETRO
	Eficiência	$\pm 0\%$	PBE/INMETRO
	Fator degradação*	$\pm 1\%$	Campo
	Participação do Selo	$\pm 15\%$	PROCEL
	Fator de Eficiência	$\pm 0\%$	WEG
	Fator de carregamento	$\pm 10\%$	COPPE/UFRJ
	Tempo utilização*	$\pm 20\%$	Estimado
	Consumo	$\pm 26,9\%$	-
Parque (P)	Venda	$\pm 1,0\%$	ABINEE
	Sucateamento*	$\pm 10\%$	Estimado
	Parque	$\pm 10\%$	-

* Incerteza estimada de acordo com a Equação 5.20

Não se conseguiu obter as incertezas de alguns dados de entrada, assim, estimou-se tais incertezas com base em pesquisas similares. Ou seja, foram adotadas as mesmas incertezas daquelas pesquisas similares.

Com as incertezas dos cálculos de consumo de energia e parque de equipamentos determinados, estima-se a incerteza do modelo de cálculo de economia de energia atribuída aos programas de etiquetagem energética brasileiros em motores elétricos, como mostra a Tabela 7.15.

Tabela 7. 15: Incerteza do modelo (motores elétricos)

Variável	Incerteza
Parque	$\pm 10\%$
Consumo	$\pm 26,9\%$
Economia de Energia	$\pm 28,8\%$

Conclui-se que a incerteza do modelo proposto de avaliação de economia de energia atribuída aos programas de etiquetagem energética, implementados no Brasil, no âmbito de motores elétricos, está na ordem de 29%.

Pode-se observar que as maiores incertezas de todos os equipamentos avaliados encontram-se nos consumos unitários. Isso ocorre devido à adoção de modelos representativos e a consideração de certas hipóteses de distribuição de vendas do mercado, de acordo com as classes de eficiência energética. Nesse sentido, se houver maiores investimentos para a obtenção de informações, quanto à composição do mercado, por classe de eficiência energética dos equipamentos, as incertezas seriam reduzidas.

8. CONCLUSÕES

Diante das sucessivas crises energética ocorridas nas últimas décadas, a eficiência energética vem ganhando importância no contexto energético mundial. Diversos países implementaram programas e legislações para o fomento da eficiência energética, no entanto, a medição e verificação dos resultados alcançados tem sido o gargalo para o acompanhamento dos resultados obtidos.

Diversos países no mundo vêm desenvolvendo metodologias para a medição e verificação dos resultados energéticos dos programas implementados, e no Brasil, o PROCEL tem metodologias desenvolvidas para a medição dos resultados do programa Selo PROCEL. No entanto, essa metodologia não havia sido estendida para o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE/INMETRO. Com isso, o presente estudo aplicou metodologias semelhantes para a avaliação de ambos os programas em conjunto, sem desassociar os impactos de legislações vigentes, como a Lei 10.295/2001. Os equipamentos avaliados foram os refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar do tipo janela e split e motores elétricos.

Além da aplicação das metodologias para a avaliação dos principais programas de etiquetagem energética do Brasil, o estudo apresentou, como principal contribuição para o planejamento energético do país, a análise de como variáveis como temperatura ambiente, vida útil, composição do mercado quanto a classe de eficiência energética e hábitos de uso impactam nas avaliações dos resultados energéticos desses programas. Essa análise é importante já que até poucos anos atrás, as avaliações dos resultados de programas de etiquetagem energética no Brasil não levavam em conta essas variáveis. O estudo concluiu que as mesmas podem causar grandes impactos nas avaliações dos resultados energéticos. Os resultados serão comentados a diante.

A partir de metodologias que avaliam os impactos energéticos, em termos de economia de energia e redução de demanda de ponta, atribuídos aos Programas de etiquetagem energética brasileiros (PBE/INMETRO e Selo PROCEL), de forma desagregada, em nível regional e setorial, incluindo os efeitos de perda de desempenho ao longo da vida útil dos equipamentos elétricos avaliados (refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar do tipo janela e split e motores elétricos de indução trifásicos) constatou-se que em

2009, esses programas beneficiaram o Brasil com uma economia de energia de 7.189 GWh (energia suficiente para abastecer três milhões de residências) e uma redução de demanda de ponta de 3,7 GW, cerca de 4% de toda a potência instalada no Brasil para a geração de energia elétrica naquele ano. Os impactos entre PBE/INMETRO e Selo PROCEL não foram desassociados e, os impactos da Lei 10.295/2001, que estabelece níveis mínimos de desempenho energético ou máximos de consumo para equipamentos elétricos, interferem nos resultados alcançados.

Os refrigeradores de uma porta apresentaram os maiores impactos na economia de energia, 49% do total obtido e, os condicionadores de ar e motores elétricos foram responsáveis por 29% e 22%, respectivamente. Os níveis de incerteza dos resultados de economia de energia obtidos foram menores que 30% na avaliação de todas as categorias de equipamentos.

Realizando análises dos impactos das principais variáveis das modelagens apresentadas para a avaliação dos impactos energéticos, constatou-se que, na avaliação desses impactos em refrigeradores e condicionadores de ar, a temperatura ambiente influencia em 40% nos resultados obtidos, ou seja, caso essa variável não fosse incluída nas modelagens os resultados seriam 40% maiores que os encontrados, já que a temperatura de ensaio dos equipamentos são maiores que as temperaturas médias em que eles operam nas residências. Os impactos do descarte de equipamentos (influenciados pela vida útil considerada) e distribuição das vendas por classes de eficiência energética, também são significativos, podendo representar desvios de 10% e 20%, respectivamente. Nesse sentido, seriam interessantes maiores investimentos do país em pesquisas de mercado para indicarem qual a distribuição das vendas de equipamentos por classe de eficiência energética, a fim de gerar informações para a redução das incertezas dos resultados dos impactos energéticos originados por medidas de eficiência energética.

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%, desvios de apenas 1% nos resultados de economia de energia são observados, caso o mesmo não fosse considerado, ou seja, considerando operação em condições nominais. Assim, pode-se

dizer que a principal variável que merece a atenção especial para a redução das incertezas nas estimativas de economia de energia é o tempo de operação, já que é a variável de maior impacto nas estimativas das incertezas da aplicação do modelo.

Com o fator de emissão de gases do efeito estufa do setor elétrico brasileiro, fornecido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, e a economia de energia alcançada pelos equipamentos avaliados, constatou-se que os Programas de etiquetagem energética implementados no Brasil evitaram cerca de 345.072 tCO₂ emitidas na atmosfera, o que corresponde cerca de 718.900 barris de petróleo cru queimados, valores que são suficientes para atender a demanda mundial de petróleo em apenas alguns minutos no ano.

Possíveis refinamentos metodológicos ainda podem ser realizados, como por exemplo, a inclusão de efeitos da qualidade de energia no consumo de equipamentos, como variação de tensão e, refinamentos nos tempos de operação e fatores de coincidência de ponta utilizados para a aplicação da metodologia.

9. REFERÊNCIAS

ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, “*Vendas de Condicionadores de ar e freezers e refrigeradores*”, 2010.

Américo, M.; *Sistemas Motrizes: Eficiência Energética e Técnicas de Acionamento*; Apresentações em Power-Point em curso Cepel/Sebrae-RJ/UFF. Niterói-RJ, 2003.

ANEEL, *Nova Regulamentação dos Programas de Eficiência Energética Filosofia, Desafios e Perspectivas*, Workshop sobre a Nova Regulamentação dos Programas de Eficiência Energética, Brasília-DF, 2012.

ANEEL, *Manual do Programa de Eficiência Energética*, SPE – Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética, 2008.

Andreas, J. C.; *Energy efficient electric motors - Selection and applications*; Marcel Dekker Inc., NY, 1982.

Akbari, H.; *Measured energy savings from the application of reflective roofs in 2 small non-residential buildings*, Energy, 28:953-967, 2003.

Batista, N.; La Rovere, E.; Aguiar, J.; *Energy efficiency labeling of buildings: An assessment of the Brazilian case*, Energy and buildings, V.43, p. 1179-1188, 2011.

Birner, S., Martinot, E., *Promoting energy-efficient products: GEF experience and lessons for market transformation in developing countries*, Energy Policy, vol. 33, pag. 1765 a 1779, 2005.

Bortoni, E. C.; Haddad, J.; Santos, A. H. M.; Azevedo, E. M.; Yamachita, R. A., *Analysis of Repairs on Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors Performance*, IEEE Transactions on energy conversion, vol. 22, nº. 2, June 2007.

BRASIL. *Decreto 4.508 de 11.dez.2002*. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de

indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. D.O.U., Brasília, DF, 12.dez.2002. Disponível em: <http://www.energiabrasil.gov.br/decretos/decreto4508.pdf>. Acesso em 24.abr.2003.

BRASIL, *Lei No 10.295*, Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências, Subsecretaria de Informações do Senado Federal, 17 de outubro de 2001.

Cardoso, R.B., *Avaliação da Economia de Energia atribuída ao Programa Selo PROCEL em Freezers e Refrigeradores*. Dissertação de Mestrado Apresentada à Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Engenharia da Energia, Itajubá, 179 p, 2008.

Cardoso, R.B., Nogueira, L.A.H; Estimativa do consumo de energia elétrica de refrigeradores nas residências brasileiras, *Revista Brasileira de Energia*, v. 13 (2), p.55-67, 2007.

Cardoso, R.B., Nogueira, L.A.H, Haddad, J.; *Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil*, *Applied Energy*, DOE, 2009a.

Cardoso, R.B., Nogueira, L.A.H, Haddad, J.; *Impactos energéticos, ambientais e econômicos do uso de LFC no Brasil*, IICBEE, 2009b.

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.

CEPAL, *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe*, Comisión Económica para la América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago, 2011.

CLASP, *Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment and Lighting*. Lead authors: WIEL, Stephen and MCMAHON, James E., Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), February, 205 p, 2005.

CLASP, *Energy-Efficiency Labels and Standards: A Guidebook for Appliances, Equipment and Lighting*. Lead authors: WIEL, Stephen and MCMAHON, James E., Collaborative Labeling and Appliance Standards Program (CLASP), February, 286 p, 2007.

Claridge, D., Haberl, J., Bryant, J., Poyner, B. e McBride, J. *Use of Energy Management and Control Systems for Performance Monitoring of Retrofit Projects., Final Summary Report*. USDOE Grant #DE-FG01-90CE21003. Apresentado ao USDOE Office of Conservation and Energy, Energy Systems Laboratory Report ESL-TR-91/09/02, Texas A&M University, março, 1996.

Costa, E.C., *Refrigeração*, 3º ed, Edigard Blucher Ltda, 1982.

DOE, U.S. Department of Energy, *Technical Support Document: Energy Efficiency Standards for consumer products: Refrigerators, Refrigerators-Freezers, & Freezers*, 391 p, July 2001.

Eang L. S., P.R., *Building energy efficiency labeling programme in Singapore*. Energy Policy 36, 3982–3992, 2008.

ELETROBRÁS, *Planejamento de sistemas de distribuição*, vol. I, editora Campus, 241 p., 1982.

Escelsa, Energia do Brasil, Programa de Eficiência Energética - www.escelsa.com.br/energia/.../aud_publica_prog_efic_energ.pdf, 2010.

EPE, Empresa de Pesquisas Energéticas, *Plano Nacional de Energia para o ano de 2030*, Ministério de Minas e Energia - MME, 2009.

FMEATG, *Federal Ministry of Economic Affairs and Technology of Germany*, 2006.

Geller H. S.; *Revolução Energética: Políticas para um Futuro Sustentável*. Tese de Doutorado do Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia – Instituto de Eletrotécnica e energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, Julho, 1982.

Geller, H., *Revolução Energética: Políticas para um futuro sustentável*, USAID, Relume Dumará, Rio de Janeiro, 2003.

Geller, H. et. al., *Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil*, Energy Policy, n.32, p.1437–1450, 2004.

Geller H.S. ; *Índices Mínimos de Eficiência Energética, Etiquetas e Procedimento de Ensaio para Refrigeradores, Freezers e Condicionadores de Ar de Janela no Canadá, México, Estados Unidos, China e Outros Países em Desenvolvimento e em Transição*. Relatório Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), para o programa CLASP. 30 de junho de 2006.

Goldemberg, J.; Villanueva, L.D. *Energia, meio ambiente e desenvolvimento*, 3º edição, 225p, São Paulo: EDUSP, 2003.

Ghisi, E.; Gosch, S.; Lamberts, R.; *Electricity end-uses in the residential sector of Brazil*, Energy Policy, n.35, p.4107–4120, 2007.

Haberl, J.S., et.al; *ASHREA`s Guideline 14-2002 for measurement of energy and demand saving: How to determine what was really saved by the retrofit*, Energy Systems Laboratory, Texas A&M University, 2005.

Haddad, J. et al.; *Eficiência energética: Integrando Usos e Reduzindo Desperdícios*, ANEEL; ANP; MCT e PNUD, Editora Designum; Rio de Janeiro, 1ª Edição, - RJ, 1999.

Haddad, J. et al., *Conservação de Energia: Eficiência energética de Instalações e Equipamentos*, ELETROBRAS/PROCEL, Editora da UNIFEI; Itajubá, MG, 3ª Edição, - 2006.

IEA/DSM, International Energy Agency, Demand-Side Management Programme, *Evaluation Guidebook on the Impact of Demand-Side Management and Energy Efficiency Programmes for Kyoto's GHG Targets*, Paris, October 2006, disponível em <http://dsm.iea.org/NewDSM/Work/Tasks/1/task1.eval.GuideBook.asp>

INEE et al, *International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy Savings*, October, 2000.

Jannuzzi, G.M., Danella, 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.

Kim H. C.I, et.all.; *Optimal household refrigerator replacement policy for life cycle energy, greenhouse gas emissions, and cost*. Center for Sustainable Systems, School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, 440 Church St., Dana Bldg., Ann Arbor, MI 48109-1041, USA. *Energy Policy* 34, 2310–2323, 2006.

Konopacki, S., H. Akbari, L. Gartland, and L. Rainer; *Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs*, Lawrence Berkeley National Laboratory Report LBNL- 40673. Berkeley, CA, 1998.

Konopacki, S. and H. Akbari; *Measured Energy Savings and Demand Reduction from a Reflective Roof Membrane on a Large Retail Store in Austin*, Report number LBNL-47149. Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2001.

Kosow, I. L; *Máquinas Elétricas e Transformadores*; 4.ed. Tradução de Felipe Dai-el-lo e Percy Soares. Porto Alegre: Globo, 1982.

Leite, A.A.; Bajay, S.V.; *Impactos de possíveis novos programas de eficiência energética nas projeções da demanda energética nacional*, Revista Brasileira de Energia, v. 13 n° 2, paper n° 2, p. 21-34, 2007.

Liu, H.T, Guo, J.; Xi, Y.M; *Comprehensive evaluation of household indirect energy consumption and impacts of alternative energy policies in China by input-output analysis*, Energy Policy, 37, 3194-3204, 2009.

Mahlia T.M.I., MasjukH.H. i, Choudhury I.A.; *Development of energy labels for room air conditioner in Malaysia: methodology and results*. Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia. Energy Conversion and Management 43, 1985–1997, 2002.

Mahlia T.M.I. , Masjuki H.H, Saidur R. , Choudhury I.A., NoorLeha A.R.; *Projected electricity savings from implementing minimum energy efficiency standard for household refrigerators in Malaysia*, Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia Received 29 July 2002. Energy 28, 751–754, 2003.

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.

Martins M. P. de S.; *Inovação Tecnológica e Eficiência Energética*. Universidade Federal do Rio de Janeiro - Instituto De Economia, Monografia de Pós Graduação. Outubro de 1999.

MCT, Ministério da Ciência e Tecnologia, *Fatores de emissões de GEE do sistema interligado nacional*, 2010. Site acessado em 26/04/2010: <http://www.mct.org.br>.

Mecrow B.C., Jack A.G.; *Efficiency trends in electric machines and drives*. School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, University of Newcastle upon Tyne, Merz Court, Newcastle upon Tyne NE1 7RU, UK. Energy Policy 36, 4336–4341, 2008.

McNeil M. A., Letschert V. E., Rue du Can S. de la; *Global Potential of Energy Efficiency Standards and Labeling Programs*. Lawrence Berkeley National Laboratory Environmental Energy Technologies Division. November 2008.

Parker, D., J. Huang, S. Konopacki, L. Gartland, J. Sherwin, and L. Gu; *Measured and Simulated Performance of Reflective Roofing Systems in Residential Buildings,*” *ASHRAE Transactions* 104(1):963-975, 1998.

PNAD/IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra a Domicílio / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “*Distribuição por região de freezers e refrigeradores no Brasil*”, 2010.

POF/IBGE, Pesquisa de Orçamento Familiar / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “*Posse de condicionadores de ar por região*”, 2003.

PROCEL, *Pesquisa de Posse e Hábitos de uso – Setor Residencial Brasileiro (PPH), ano base 2005*”, Eletrobrás, DPS/DPST, 2007.

PROCEL, *Avaliação dos Resultados do Procel 2011*, Eletrobrás, DPS/DPST, Março de 2012.

PROCEL e GIZ, Programa Energia Brasil-Alemanha, *Análise conceitual dos benefícios energéticos e das inter-relações entre Selo PROCEL e Etiqueta INMETRO (PBE)*, Relatório Técnico, 2011.

Rise, S.; *The Danish High Efficiency Motor Campaign 1996-1998*. in: Almeida, A.; Bertoldi, P.; Lonhard, W. (eds.); *Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives*, Alemanha. Springer, 551 p. p 452- 463, 1997.

Rosenquist, G., Lin, J.. *Stay cool with less work: China’s new energy-efficiency standards for air conditioners*, *Energy Policy*, vol. 36, pg 1090-1095, 2008.

Schaeffer, R, Szklo, A., Castelo Branco, D., Cunha, D., Costa, I; *Cenários futuros de baixa emissão de carbono nas cadeias de produção de combustíveis fósseis (downstream)*; Banco Mundial, 2009.

Shrestha R. M. , Jalal A. I., Latif M, Biswas W. K.; *Mitigation of power sector environmental emissions through energy efficiency improvements: the case of Pakistan*. Journal of Environmental Management 54, 249–258. Article No. ev980231, 1998.

Jin, T.; Surian, Y.; *Implementation of energy efficiency standards of household refrigerator/freezer in China: Potential environmental and economic impacts*, Applied Energy, V.88, p. 1890 – 1905, 2011.

Tertzakian, P.; *A Thousand Barrels a Second: The coming oil break point and the challenges facing an energy dependent World*; Mc-Graw-Hill, 2006.

U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program, *M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 3.0*, 2008.

Zhou, P., Ang B.W.; *Linear programming models for measuring economy-wide energy efficiency performance*. Energy Policy 36, 2911– 2916, 2008.

Endereços de internet consultados:

www.est.gov.uk; www.ademe.fr; www.eere.energy.gov; www.oee.nrcan.gc.ca;
http://ec.europa.eu/energy/efficiency/labelling/energy_labelling_en.htm;
consultado em janeiro e fevereiro de 2011.

http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/13223306.html, Acessado em 19 de Junho de 2009.

Agence de l’Efficacité Énergetique – AEE, Disponível em: www.aee.gouv.qc.ca.
Acessado em 08/08/2010.

Department of Energy – DOE (2007), Disponível em: www.energy.gov, Acessado em 10/12/2008.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía – IDAE, Disponível em: www.idae.es. Acessado em 03/08/2010.

WEG. Catálogo Geral de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul – SC: Weg, 2007.
Disponível em: <http://www.weg.com.br/>. Acessado em 04/03/2010.

UK Energy Efficiency Action Plan 2007, Disponível em: www.energysavingtrust.org.uk. Acessado em 03/08/2010.

Eco4planet, Disponível em: <http://eco4planet.com/blog/2010/06/geladeira-do-futuro-utiliza-biopolimero-em-gel-para-resfriar-alimentos/>. Acessado em 15/12/2011.

PUBLICAÇÕES

O desenvolvimento desta Tese possibilitou a publicação dos seguintes trabalhos.

Periódicos Qualis A ou B:

1. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. ; SOUZA, E. P. ; HADDAD, J. . *An assessment of energy benefits of efficient household air-conditioners in Brazil*. **Energy Efficiency**, v.5, p.433-446, 2012.
2. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. ; HADDAD, J. . *Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil*. **Applied Energy**, v. 87, p. 28-37, 2010.
3. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. ; BORTONI, E.C ; HADDAD, J. ; SOUZA, E. P. . *Avaliação da economia de energia, atribuída a ações de etiquetagem energética, em motores de indução no Brasil*. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, p. 29-47, 2009.
4. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. . *Estimativa do consumo de energia elétrica em refrigeradores no setor residencial brasileiro*. **Revista Brasileira de Energia**, v. 13, p. 55-67, 2007.

Congressos Nacionais:

1. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. ; HADDAD, J. *Estudo dos impactos energéticos atribuídos aos programas brasileiros de etiquetagem no Brasil*. In: VIII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012, Curitiba/PR. VIII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012.
2. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. ; HADDAD, J. . *Impactos energéticos dos motores de indução trifásicos eficientes considerando seu ciclo de vida*. In: VII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento

Energético, 2010, São Paulo/SP. VII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2010.

3. SOUZA, E. P. ; CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. . *Eficiência energética e economia de energia de condicionadores de ar do tipo janela e split*. In: VII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2010. VII CBPE - Congresso Brasileiro de Planejamento Energético.
4. SOUZA, E. P. ; CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. . *Economia de Energia de Condicionadores de Ar do tipo Janela e Split por ações de Programas de Eficiência Energética*. In: III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009, Belém/PA. III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, 2009.
5. CARDOSO, R. B. ; NOGUEIRA, L. A. H. ; HADDAD, J. . *Impacto da idade e temperatura ambiente no consumo de energia elétrica em refrigeradores no setor residencial brasileiro*. In: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2008, Salvador - BA. CONEM - 2008 Engenharia e Inovação para o desenvolvimento Sustentável, 2008. v. 418 p. p. 336-336.

ANEXOS

Anexo 01: Tabela de consumo de refrigeradores de uma porta

Fonte: (PBE/INMETRO, 2011)

FABRICANTE	MARCA	MODELO	VOLUME INTERNO (l)				CONSUMO DE ENERGIA (kWh/mês)		ÍNDICE DE EFICIÊNCIA (C/Cp)		AGENTE DE EXPANSÃO DA ESPUMA (°)	FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO		SELO PROCEL 2009 (**)		
			REFRIG	CONG			TOTAL	127 V	220 V	127 V		220 V	127 V	220 V	127 V	220 V
				*	**	***										
BSH	BOSCH	KSG32	257	29			286	25,1	25,1	0,854	0,854	C	A	A	SIM	SIM
BSH	BOSCH	KSG34	270	31			301	25,4	25,4	0,847	0,847	C	A	A	SIM	SIM
BSH	BOSCH	KSR39	371				371	27,0	27,0	0,844	0,844	C	A	A	SIM	SIM
BSH	CONTINENTAL	RC27 / RSG27	223	29			252	23,7	23,7	0,837	0,837	C	A	A	SIM	SIM
BSH	CONTINENTAL	RC27A / RC28A	223	29			252	15,8	15,8	0,558	0,558	C	A	A	SIM	SIM
ELECTROLUX	ELECTROLUX	R 250	214	26			240	24,1	24,1	0,867	0,867	R	B	B		
ELECTROLUX	ELECTROLUX	RE 26 / RE 28	214	26			240	22,8	22,8	0,820	0,820	R	A	A	SIM	SIM
ELECTROLUX	ELECTROLUX	R 280	236	26			262	24,8	24,8	0,867	0,867	R	B	B		
ELECTROLUX	ELECTROLUX	RE 29 / RDE 30 RW34	236	26			262	23,4	23,4	0,818	0,818	R	A	A	SIM	SIM
ELECTROLUX	ELECTROLUX	RDE 35	286	31			317	28,4	28,4	0,931	0,931	C	B	B		
ELECTROLUX	ELECTROLUX	RDE 38	312	31			343	29,2	29,2	0,930	0,930	C	B	B		
ESMALTEC	ESMALTEC	ER33	232	29			261	22,0	22,0	0,769	0,769	C	A	A	SIM	SIM
ESMALTEC	ESMALTEC	ER31	253	27			280	24,7	24,7	0,846	0,846	C	A	A		
ESMALTEC	ESMALTEC	ERC 34	239		60		299	28,3	28,3	0,919	0,919	C	B	B		
ESMALTEC	ESMALTEC	ER 34	241		60		301	25,8	25,8	0,838	0,838	C	A	A	SIM	SIM
MABE	DAKO	REDK28	224	30			254	24,2	24,2	0,855	0,855	C	A	A	SIM	SIM
MABE	DAKO	REDK31 / REDK32 REDK32 1P	224	30			254	31,0	31,0	1,095	1,095	C	D	D		
MABE	DAKO	REDK34 / REDK33 REDK34 1P	268	30			298	25,4	25,4	0,852	0,852	C	A	A	SIM	SIM
MABE	DAKO	REDK340	268	30			298	25,9	25,9	0,869	0,869	C	B	B		
MABE	DAKO	REDK350	270	31			301	27,8	27,8	0,927	0,927	C	B	B		
MCASSAB	ARISTON	BDR190 NA	190				190	23,4		0,911		C	B	B		
VENAX	VENAX	NGV 24	183	21			204	23,5	23,2	0,887	0,875	R	B	B		
VENAX	VENAX	NGV 26	209	21			230	27,2	26,7	0,993	0,974	R	D	D		
WHIRLPOOL	BRASTEMP	BR343D	272	30			302	24,5	24,5	0,817	0,817	R	A	A	SIM	SIM
WHIRLPOOL	BRASTEMP	BRF36D / PRF36D XRF36D	330				330	26,5	26,5	0,869	0,869	R	B	B		

Anexo 02: Tabela de consumo de condicionadores de ar do tipo split

Fonte: (PBE/INMETRO, 2011)

FABRICANTE	MARCA	MODELO		TIPO	CAPACIDADE DE REFRIGERAÇÃO NOMINAL			POTÊNCIA ELÉTRICA CONSUMIDA (W)	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (EER)	FAIXA DE CLASSIFICAÇÃO	CONSUMO DE ENERGIA (kWh/mês)
		UNIDADE INTERNA	UNIDADE EXTERNA		BTU/h	W	KW (*)				
AJL IND. E COM. LTDA	MILLER	NHX5-009KNW1	MDX5-009KCR1	FRIO	9.000	2.637	2,64	948	2,78	D	19,3
AJL IND. E COM. LTDA	MILLER	NHX5-012KNW1	MDX5-012KCR1	FRIO	12.000	3.516	3,52	1.324	2,66	D	27,8
AJL IND. E COM. LTDA	WESTINGHOUSE	WWXL-12KNW1(A)	WCHXL-12KCR1(A)	FRIO	12.000	3.516	3,52	1.069	3,45	A	22,4
AJL IND. E COM. LTDA	WESTINGHOUSE	WWXL-12KNW1(B)	WCHXL-12KCR1(B)	FRIO	12.000	3.516	3,52	1.143	3,08	B	24,0
AJL IND. E COM. LTDA	MILLER	NHX5-018KNW1	MDX5-018KCR1	FRIO	18.000	5.274	5,27	2.153	2,45	E	45,2
AJL IND. E COM. LTDA	MILLER	NHX5-024KNW1	MDX5-024KCR1	FRIO	24.000	7.032	7,03	2.546	2,76	D	53,5
ARTEL	ARTEL	B-RB19R4A	B-RBO19R4A	REVERSO	9.000	2.637	2,64	932	2,68	D	19,6
ARTEL	ARTEL	B-RDF19R4A	B-RDF09R4A	REVERSO	9.000	2.637	2,64	922	2,74	D	19,4
ARTEL	ARTEL	B-RQZ19R	B-RQZ09R	REVERSO	9.000	2.637	2,64	794	3,06	B	16,7
ARTEL	ARTEL	B-RB112R4A	B-RBO12R4A	REVERSO	12.000	3.516	3,52	1.166	2,82	C	24,5
ARTEL	ARTEL	B-RDF113R4A	B-RDFO13R4A	REVERSO	12.000	3.516	3,52	1.208	2,74	D	25,4
ARTEL	ARTEL	B-RQZ112R	B-RQZ12R	REVERSO	12.000	3.516	3,52	1.119	3,11	B	23,5
ARTEL	ARTEL	B-RG118R4A	B-RGO18R4A	REVERSO	18.000	5.274	5,27	1.791	2,79	D	37,6
ARTEL	ARTEL	B-RQZ118R	B-RQZ018R	REVERSO	19.000	5.567	5,57	1.910	2,75	D	40,1
ARTEL	ARTEL	B-RB124R4A	B-RBO24R4A	REVERSO	25.000	7.325	7,33	2.275	2,97	C	47,8
ARTEL	ARTEL	B-RQZ124R	B-RQZ024R	REVERSO	26.000	7.618	7,62	2.640	2,66	D	55,4
ARTEL	ARTEL	B-RQPI30R	B-RQPO30R	REVERSO	33.000	9.665	9,67	3.490	2,59	E	73,3
AUX	AUX	ASW-09A2/QD	ASW-09A2/QD	FRIO	9.000	2.637	2,64	940	2,79	D	19,7
AUX	AUX	ASW-H09A2/QD	ASW-H09A2/QD	REVERSO	9.000	2.637	2,64	926	2,76	D	19,4
AUX	AUX	ASW-12A2/QD	ASW-12A2/QD	FRIO	12.000	3.516	3,52	1.308	2,60	E	27,5

Anexo 03: Distribuição das vendas de refrigeradores de uma porta, por classe de eficiência energética, entre 2006 e 2009

Fonte: (ELETROS, 2011)

Refrigeradores de uma porta, representados por um refrigerador de 300 litros de volume ajustado						
ano	E	D	C	B	A	total
2006	130.000	260.000	520.000	650.000	1.040.000	2.600.000
2007	130.000	260.000	520.000	650.000	1.040.000	2.600.000
2008	-	130.000	260.000	780.000	1.430.000	2.600.000
2009	-	-	130.000	390.000	2.080.000	2.600.000
2010	-	-	115.000	345.000	1.840.000	2.300.000

Anexo 04: Distribuição das vendas de condicionadores de ar do tipo janela (2,6 kW), por classe de eficiência energética, entre 2009 e 2010

Fonte: (ELETROS, 2011)

Condicionadores de ar do tipo janela de 6 a 12 kBTU/h de capacidade, representados por condicionador de 9 kBTU/h (2,64 kW)						
ano	E	D	C	B	A	total
2009	-	-	30072	107400	292128	429600
2010	-	-	20118	71850	195432	287400

Anexo 05: Distribuição das vendas de condicionadores de ar do tipo janela (6,15 kW), por classe de eficiência energética, entre 2009 e 2010

Fonte: (ELETROS, 2011)

Condicionadores de ar do tipo janela de 12 a 36 kBTU/h de capacidade, representados por condicionador de 21 kBTU/h (6,15 kW)						
ano	E	D	C	B	A	total
2009	42960	11456	22912	94512	114560	286400
2010	28740	7664	15328	63228	76640	191600

Anexo 05: Distribuição das vendas de condicionadores de ar do tipo split (2,6 kW), por classe de eficiência energética, entre 2009 e 2010

Fonte: (ELETROS, 2011)

Condicionadores de ar do tipo split de 6 a 12 kBTU/h de capacidade, representados por condicionador de 9 kBTU/h (2,64 kW)						
ano	E	D	C	B	A	Total
2009	13224	39672	132240	211584	264480	661200
2010	33504	134016	251280	150768	268032	837600

Anexo 06: Distribuição das vendas de condicionadores de ar do tipo split (6,15 kW), por classe de eficiência energética, entre 2009 e 2010

Fonte: (ELETROS, 2011)

Condicionadores de ar do tipo split de 12 a 36 kBTU/h de capacidade, representados por condicionador de 21 kBTU/h (6,15 kW)						
ano	A	B	C	D	E	Total
2009	4408	26448	92568	141056	176320	440800
2010	27920	94928	156352	111680	167520	558400