UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

MÁRIO HENRIQUE DA FONSECA OLIVEIRA

**Avaliação do consumo de energia elétrica do setor residencial
brasileiro: propostas de ações governamentais para o
aumento de sua eficiência**

São Carlos
2014

MÁRIO HENRIQUE DA FONSECA OLIVEIRA

**Avaliação do consumo de energia elétrica do setor residencial
brasileiro: propostas de ações governamentais para o
aumento de sua eficiência**

Tese apresentada à Escola de Engenharia de
São Carlos, da Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Engenharia de
Produção.

Área de concentração:

Economia, Organizações e Gestão do
Conhecimento

ORIENTADORA:

Profa. Associada Daisy Aparecida do
Nascimento Rebelatto

São Carlos
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

O48a Oliveira, Mário Henrique da Fonseca
Avaliação do consumo de energia elétrica do setor
residencial brasileiro: propostas de ações
governamentais para o aumento de sua eficiência / Mário
Henrique da Fonseca Oliveira; orientadora Daisy
Aparecida do Nascimento Rebelatto. São Carlos, 2014.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção e Área de Concentração em
Economia, Organizações e Gestão Conhecimento -- Escola
de Engenharia de São Carlos da Universidade de São
Paulo, 2014.

1. Energia elétrica. 2. Eficiência energética. 3.
Ações governamentais. 4. Econometria. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MARIO HENRIQUE DA FONSECA OLIVEIRA.**

Título da tese: "Avaliação do consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro: propostas de ações governamentais para o aumento de sua eficiência".

Data da defesa: 05/08/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Associada **Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto**
(Orientadora)
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Aldo Roberto Ometto**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

APROVADO

Prof. Dr. **Marcelo Seido Nagano**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Edemilson Nogueira**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

Aprovado

Profa. Dra. **Ana Lúcia Vitale Torkomian**
(Universidade Federal de São Carlos/UFSCar)

aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção
Prof. Titular **Luiz Cesar Ribeiro Carpinetti**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

A minha esposa Francine, meu filho

Guilherme e minha mãe Luzia.

AGRADECIMENTOS

A Deus por todas as oportunidades e realizações que tem me abençoado em toda minha vida.

A orientadora, professora Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto, pelas oportunidades e por toda a confiança que me foi dada ao longo desses anos. Obrigado pelo valor inestimável de seu exemplo pessoal e profissional.

A minha esposa Francine Guidugli Bartoletti, por todo apoio e força para que nossos objetivos pessoais e profissionais sejam alcançados. Pelo tempo que dispôs para me ajudar na construção textual e conceitual deste trabalho. Por sua força, brilho e pela amada companhia ao longo de todos esses anos.

A minha mãe, Luzia Darci da Fonseca, que em todos os momentos de minha vida sempre incentivou meus estudos, pelo seu exemplo de dedicação e força de vontade.

Ao professor Herick Herick Fernando Moralles pelos ensinamentos na área de econometria.

Aos amigos do programa de pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade de São Paulo, uma geração estimada de novos pesquisadores.

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.”

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VI
RESUMO	VIII
ABSTRACT	IX
1 APRESENTAÇÃO	1
1.1 A POLÍTICA ENERGÉTICA NACIONAL	3
1.2 JUSTIFICATIVAS PARA O TRABALHO	5
1.3 O CENÁRIO INTERNACIONAL FRENTE AO CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL	11
1.4 OBJETIVO	13
1.5 MÉTODO	14
1.5.1 Pesquisa documental	14
1.5.2 Pesquisa bibliográfica	15
1.5.3 Modelos econométricos	15
1.6 SÉRIES TEMPORAIS MULTI-VARIADAS	20
1.7 MODELO AUTO-REGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIA MÓVEL (ARIMA)	21
1.8 LOCALIZAÇÃO DO TEMA NO CONTEXTO DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	24
1.9 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
2 PERSPECTIVAS SÓCIO-ECONÔMICAS E O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL	26
2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL BRASILEIRO E MUNDIAL	26
2.2 MENSURAÇÕES SOBRE AS ATIVIDADES ECONÔMICAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS ANOS	28
2.2.1 O Produto Interno Bruto (PIB)	29
2.2.2 A Renda per Capita baseada na <i>Paridade de Poder de Compra</i>	35
2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO	37
3 TECNOLOGIAS QUE PODEM DIMINUIR O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOMÉSTICO NO BRASIL	43
3.1 REFRIGERADORES E FREEZERS UTILIZADOS NO BRASIL	45
3.1.1 Os sistemas de refrigeração por compressão em refrigeradores e freezers	46
3.2 NOVAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA NO BRASIL	51
3.2.1 Os compressores com velocidade de refrigeração variável	51
3.2.2 Refrigeradores com compressores com tecnologia linear	55
3.2.3 Válvulas de Expansão Eletrônicas	58
3.2.4 Fluidos refrigerantes aplicados em refrigeradores domésticos no Brasil	59
3.2.5 Refrigeradores baseados no efeito magneto calórico	62

3.3	CONDICIONADORES DE AR UTILIZADOS NO BRASIL	65
3.3.1	Sistema de refrigeração nos pareslhos condicionadores de ar domésticos	66
3.4	NOVAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS AOS CONDICIONADORES DE AR DOMÉSTICOS NO BRASIL	69
3.4.1	Os compressores com velocidade de refrigeração variável em condicionadores de ar	69
3.4.2	Condicionadores de ar com compressores com tecnologia linear	71
3.4.3	Fluidos refrigerantes aplicados em condicionadores de ar domésticos no Brasil	72
3.4.4	Condicionadores de ar baseados no efeito magneto calórico	74
3.5	CHUVEIROS ELÉTRICOS NO BRASIL	74
3.6	NOVAS TECNOLOGIAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL	75
3.6.1	Aquecedores solares	76
3.6.2	Bombas de Calor para o aquecimento de água	79
3.6.3	Sistemas de Aquecimento de água utilizando aquecedores a GLP ou gás natural	79
3.7	OUTRAS TECNOLOGIAS QUE PODEM SER UTILIZADAS NO FUTURO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA	80
3.7.1	Refrigeradores acionados por energia solar	80
3.7.2	Sistema casa do futuro (<i>Smart House</i>)	81
3.7.3	Refrigeradores com controles adaptativos baseado em lógica <i>Fuzzy</i>	82
4	PERPESCTIVAS PARA O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL ATÉ 2030	83
4.1	MODELO ECONOMÉTRICO PARA PROJEÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL	83
4.1.1	O modelo inicial	83
4.1.2	Transformação da série em estacionária	84
4.1.3	Análise da regressão	85
4.1.4	Ajuste do modelo	86
4.1.5	Testes e análises adicionais ao modelo	89
4.2	A PROJEÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL	89
4.3	REFLEXÕES SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL	92
4.3.1	Refrigeradores e <i>Freezers</i> mais eficientes	93
4.3.2	O efeito <i>reubond</i>	95
4.3.3	Condicionadores de Ar mais eficientes	96
4.3.4	Aparelhos para aquecimento de água mais eficientes	98
4.3.5	Economia em Energia Elétrica possível pela projeção até 2030	101
5	AÇÕES GOVERNAMENTAIS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL NO BRASIL	104
5.1	PROPOSTAS INICIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL	105
5.1.1	Aumento na demanda por Refrigeradores e <i>Freezers</i> mais eficientes	105
5.1.2	Aumento na demanda por Condicionadores de Ar mais eficientes	108
5.1.3	Aumento na demanda por Aquecedores Solares para água em detrimento ao uso de Chuveiros Elétricos	109

5.1.4 Comparativo econômico-financeiro entre a menor arrecadação tributária e a menor necessidade de investimentos na geração de energia elétrica pelo aumento da eficiência energética	113
5.2 PROPOSTAS ESTRUTURAIS DE PLANEJAMENTO E MELHORIA CONTÍNUA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL	119
5.2.1 Criação de uma superintendência para assuntos relacionados ao consumo de energia elétrica residencial	119
5.2.2 Alteração na estrutura do Programa Brasileiro de Etiquetagem para equipamentos domésticos no Brasil	122
5.2.3 Atualização de programas de conscientização da população para o uso racional de energia	123
6 CONCLUSÃO	125
6.1 RESULTADOS OBTIDOS	128
6.1.1 O objetivo geral do trabalho	128
6.1.2 Os objetivos específicos do trabalho	129
6.2 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS	130
6.2.1 A importância das projeções futuras	130
6.2.2 A utilização dos recursos financeiros obtidos	131
6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	131
6.3.1 Pesquisa para aumento da eficiência em aquecedores solares	131
6.3.2 Refrigeração magnética no Brasil	132
6.3.3 Energia solar residencial	133
6.3.4 Financiamento e desenvolvimento das empresas nacionais	133
6.3.5 Avaliação de outros eletrodomésticos	134
6.3.6 A política de taxação de eletricidade variável	134
6.3.7 A avaliação de eficiência energética no setor industrial	134
6.4 CONTRIBUIÇÕES AO TEMA DE PESQUISA	135
6.5 CONTRIBUIÇÕES PARA O GRUPO DE PESQUISA	135
6.6 LIMITAÇÕES	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
APÊNDICE A – PROJEÇÕES REALIZADAS PELO MÉTODO ARIMA	154
A.1 PIB EM VALORES REAIS	154
A.2 RENDA PER CAPTA PAREADA PELO PODER DE COMPRA	159
A.3 ELETRODOMESTÍCOS COM MAIOR IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL	163
APÊNDICE B - TESTES E ANÁLISES ADICIONAIS DO MODELO ECONOMÉTRICO REGREDIDO POR MQO E DADOS COMPLETOS	167
B.1 TESES E ANÁLISES ADICIONAIS DA REGRESSÃO LINEAR POR MQO	167
B.1.1 A questão da multicolinearidade	167
B.1.2 A questão da heterocedasticidade	169
B.1.3 A questão da autocorrelação entre os resíduos	171
B.1.4 A questão da regressão espúria	174
B.2 VALORES COMPLETOS DA REGRESSÃO	176
APÊNDICE C - PESQUISA DE PREÇOS E IMPOSTOS INERENTES	178

C.1 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTES A REFRIGERADORES E <i>FREEZERS</i> PRODUZIDOS NO BRASIL	178
C.2 PESQUISA DE PREÇOS SOBRE O CUSTO MÉDIO DA TECNOLOGIA DE REFRIGERADORES E <i>FREEZERS</i> DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	180
C.3 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTE AOS CONDICIONADORES DE AR PRODUZIDOS NO BRASIL	181
C.4 PESQUISA DE PREÇOS SOBRE O CUSTO MÉDIO DA TECNOLOGIA DE CONDICIONADORES DE AR MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	183
C.5 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTES AOS CHUVEIROS E DUCHAS ELÉTRICAS PRODUZIDOS NO BRASIL	184
C.6 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTES AOS AQUECEDORES SOLARES PRODUZIDOS NO BRASIL	186

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estratificação do Consumo de Energia por Setor da Economia	7
Figura 2 – Evolução da geração de energia elétrica anual	8
Figura 3 – Representação da regressão por MQO	17
Figura 4 – Aplicação do método ARIMA	18
Figura 5 – Fator de ajuste junto ao modelo de regressão por MQO	19
Figura 6 – Ilustração do DOMELRE	46
Figura 7 – Propaganda do Monitor Top	46
Figura 8 – Representação de um sistema de refrigeração doméstico	47
Figura 9 – Representação de um mecanismo de compressor alternativo	48
Figura 10 – Ilustração da troca térmica em um evaporador	50
Figura 11 – Ilustração do consumo elétrico em um refrigerador	54
Figura 12 – Ilustração do funcionamento de um compressor de velocidade variável	55
Figura 13 – Ilustração um compressor linear	56
Figura 14 – Esquema de uma Válvula de Expansão Eletrônica	59
Figura 15 – Ilustração do Ciclo de Brayton	63
Figura 16 – Ilustração de um condicionador de ar tipo janela	67
Figura 17 – Ilustração de um condicionador de ar tipo <i>split</i>	68
Figura 18 – Sistema de Aquecimento Solar	76
Figura 19 – Modelo de Regressão Inicial	84
Figura 20 – Resultado gerado pelo Modelo de Regressão Inicial	85
Figura 21 – Modelo com a retirada das variáveis <i>LN_PIB</i> e <i>LN_POP</i>	87
Figura 22 – Resultado gerado pela Regressão	87
Figura 23 – Projeções até 2030	90
Figura 24 – Fluxo de caixa até 2030	117

II

Figura 25 – Comparativo Econômico-Financeiro da projeção realizada	116
Figura 26 – Estrutura Organizacional da EPE	120
Figura 27 – Relação institucional proposta aos órgãos públicos	123
Figura A1 – Exemplo de apresentação de resultados pela aplicação do método ARIMA no Minitab 14.1	154
Figura B1 – Resultado do teste de fator de inflação da variância	168
Figura B2 – Perturbações homecedásticas	169
Figura B3 – Perturbações heterocedásticas	170
Figura B4 – Resultado do teste de Breusch-Pagan-Godfrey	170
Figura B5 – Padrões de autocorrelação	172
Figura B6 – Resultado do teste de Durbin-Watson	173
Figura B7 – Estatística d de Durbin-Watson	173
Figura B8 – Resíduos da regressão em função do tempo	174
Figura B9 – Resíduos da regressão em função do tempo	175
Figura B10 – Resultado do teste de Engle-Granger	176

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – População Mundial em milhares de pessoas até o ano de 2010 e suas perspectivas	27
Tabela 2 – Evolução do PIB mundial em valores reais (fixados em 2000). Valores em trilhões de dólares até o ano de 2030	31
Tabela 3 – Crescimento anual médio do PIB em termos reais ou constantes com base em 2000 da economia entre países e regiões	34
Tabela 4 – Renda Per Capita Anual (US\$ internacional) considerando a Paridade do Poder de Compra (PPC) em valores em termos reais com base em 2005.	36
Tabela 5 – Consumo de energia elétrica de eletrodomésticos no Brasil.	38
Tabela 6 – Evolução do consumo de energia elétrico residencial e possíveis indicadores associados	41
Tabela 7 - Refrigeradores comercializados no Brasil	57
Tabela 8 – Características dos refrigerantes para refrigeradores e freezers	60
Tabela 9 – Comparativo de Eficiência em Condicionadores de ar tipo Split	71
Tabela 10 – Características dos refrigerantes para refrigeradores e condicionadores de ar	73
Tabela 11 – Projeções do Consumo de Energia do Setor Residencial Brasileiro até 2030 em valores médios	91
Tabela 12 – Comparativo entre as Projeções do Consumo de Energia do Setor Residencial Brasileiro até 2030 em valores médios	102
Tabela 13 – Preço médio e impostos referentes aos refrigeradores e freezers comercializados no Brasil	107
Tabela 14 – Comparativo entre o preço médio de produtos (refrigeradores)	107
Tabela 15 – Preço médio e impostos referentes aos Condicionadores de Ar comercializados no Brasil	108
Tabela 16 – Comparativo entre o preço médio de produtos (Condicionadores de ar)	109
Tabela 17 – Preço médio de chuveiros e duchas elétricas	110
Tabela 18 – Preço médio de aquecedores solares com conceito mais simplificado	111
Tabela 19 – Alterações na arrecadação tributária devido à utilização de produtos de maior eficiência energética	116

Tabela A1– Evolução do PIB mundial em valores reais (fixados em 2000) até 2030 em trilhões de dólares	158
Tabela A2 – Renda Per Capita Anual (US\$ internacional) considerando a Paridade do Poder de Compra (PPC) em valores em termos reais com base em 2005	162
Tabela A3 – Produção anual de Refrigeradores, Freezers, Chuveiros e Duchas Elétricas	165
Tabela B1 – Dados completos da regressão	177
Tabela C1 – Pesquisa de preços dos Refrigeradores e Freezers produzidos no Brasil	179
Tabela C2 – Pesquisa de preços para comparativo entre tecnologias de velocidade variável (inverter) para Refrigeradores e Freezers	181
Tabela C3 – Pesquisa de preços dos Refrigeradores e Freezers produzidos no Brasil	182
Tabela C4 – Pesquisa de preços para comparativo entre tecnologias de velocidade variável (inverter) para Condicionadores de Ar.	184
Tabela C5 – Pesquisa de preços dos Chuveiros e Duchas	185
Tabela C6 – Pesquisa de preços dos Aquecedores Solares	186
Tabela C7 – Pesquisa de preços dos Aquecedores Solares de conceito mais simplificado	187

LISTA DE SÍMBOLOS

α – Proporção de alteração do valor γ no período correspondente

β – Coeficiente de regressão da variável i

δ – Média de γ

γ_t – Valor da variável dependente estudada na regressão no período t

t – Variável de tempo

u_t – Termo de erro aleatório ou perturbação estocástica

X_{it} – Valor da variável independente i no período t

Arcon – Série de dados sobre a produção de condicionadores de ar no Brasil

Chuv – Série de dados sobre a produção de chuveiros no Brasil

Energia – Série de dados sobre o consumo de energia no setor residencial no Brasil

LN_Arcon – Logaritmo natural da série Arcon

LN_Chuv – Logaritmo natural da série Chuv

LN_Energia – Logaritmo natural da série Energia

LN_PIB – Logaritmo natural da série PIB

LN_POP – Logaritmo natural da série POP

LN_PPC – Logaritmo natural da série PPC

LN_RF – Logaritmo natural da série RF

PE – Série de dados sobre a produção de eletrodomésticos no Brasil

PIB – Série de dados do PIB brasileiro

POP – Série de dados sobre a população do Brasil

PPC – Série de dados da renda per capita pareada a o poder de compra brasileira

RF – Série de dados sobre a produção de refrigeradores e freezers no Brasil

LISTA DE ABREVIATURAS

AAE - Avaliação Ambiental Estratégica

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

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ARIMA - Modelo Auto-regressivo Integrado de Média Móvel

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

CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética

Cofins - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

DASOL - Departamento Nacional de Aquecimento Solar

DOE - *Department of Energy*

Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

EMC - Efeito Magneto Calórico

ENCE - Etiqueta de Eficiência Energética

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

FGTS - Fundo de Garantia por Tempo de Serviço

GCPS - Grupo Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação

IMF - *International Monetary Fund*

IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados

INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MEC - Ministério da Educação

MME - Ministério de Minas e Energia

MQO - Mínimos Quadrados Ordinários

NCM - Nomenclatura Comum do Mercosul

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

Pasep - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PIB - Produto Interno Bruto

PIS - Programa de Integração Social

PROALCOOL - Programa Nacional do Alcool

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia

QUALISOL - Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar

SIN - Elétrico Interligado Nacional

SNA-52 - *System of national accounts and tables*

SUFRAMA - Superintendência da Zona Franca de Manaus

UN - *United Nations*

UNEP - *United Nation Environment Programme*

RESUMO

OLIVEIRA, M. H. F. (2014). Avaliação do consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro: propostas de ações governamentais para o aumento de sua eficiência. São Carlos, 2014, 182p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Com o desenvolvimento sócio-econômico brasileiro nos últimos vinte anos, a população tem maior acesso a bens de consumo fazendo com que a eletricidade consumida apresente crescimento acelerado, resultando na necessidade de altos investimentos em geração e transmissão de energia elétrica. Em contrapartida, as instituições governamentais responsáveis pelo consumo de energia têm tomado ações de baixa representatividade para o aumento da eficiência energética dos eletrodomésticos mais impactantes, o que reduziria a necessidade em investimentos. O trabalho identifica quais itens têm maior influência no consumo de energia elétrica no setor residencial e quais tecnologias ao redor do mundo podem ser utilizadas para reduzir seu consumo. Por meio de modelos baseados em econometria, a necessidade do consumo de eletricidade residencial brasileira é projetada até o ano de 2030 e avaliam-se quais resultados poderão ser obtidos caso, por meio de isenção tributária, o uso de tecnologias mais eficientes seja incentivado ao longo dos anos. Por meio de uma avaliação econômico-financeira, analisa-se quais seriam os impactos da diminuição em arrecadação do Estado pela redução dos impostos junto à redução da necessidade de investimentos em geração e transmissão de energia. Por fim, um conjunto de ações governamentais são propostas para que o país consiga manter, de forma sustentável, uma política com maior atuação na eficiência energética no setor residencial.

Palavras-chave: Energia Elétrica, Eficiência Energética, Ações Governamentais, Econometria.

ABSTRACT

OLIVEIRA, M. H. F. (2014). An evaluation of electric energy consumption in the Brazilian residential sector: a set of governmental proposals in order to increase its efficiency. São Carlos, 2014, 182p. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Regarding the economic and social development in Brazil in the latest twenty years, the population access to consumer goods and electricity has been increasing in an accelerated way, resulting on the necessity of high investments in energy generation and transmission. Nevertheless, the government institutions responsible for the energy consumption have taken actions with low representativeness to increase the efficiency of home appliances with more impact. The present work identifies which items present more influence on electricity consumption in the residential sector and which technologies, all over the world, can be used to reduce its consumption. By the use of econometric models, the energy consumption has been projected until 2030 and also which results shall be achieved in case of the government incentivizes the use of more efficient technologies by tax reductions. By the use of a financial and economic evaluation, the impacts of the lower incomes to the government, due to tax reductions, have been compared against the reduction of the necessity of investments on energy generation and transmission. Lastly, a set of governmental actions have been proposed in order to handle the country to a sustainable police, with higher energy efficiency for the residential sector.

Key-words: Electricity, Energy Efficiency, Governmental Actions, Econometrics.

1 APRESENTAÇÃO

A energia é essencial para a organização econômica e social de todos os países. As formas de produção e o consumo de energia apresentam uma série de impactos sobre o desenvolvimento econômico, social e o meio-ambiente, fazendo com que os recursos energéticos, e sua utilização, ocupem um papel de destaque no âmbito empresarial, governamental ou em áreas de pesquisa (PINTO JUNIOR et al 2007).

Ao longo da história o uso da energia tem contribuído para o desenvolvimento humano, propiciando melhores condições de moradia, saúde, transporte e acesso à informação, estendendo-se como uma das bases para a sociedade moderna, associado ao crescimento econômico e necessário frente ao aumento populacional mundial. Nos últimos 50 anos a demanda energética mundial triplicou e pode triplicar novamente nos próximos trinta anos (DIAS, 2007).

Nesse cenário, reduzir o consumo energético e utilizar fontes de energia mais eficientes, limpas e que diminuam os impactos quanto ao aquecimento global são fatores chave ao desenvolvimento humano e ao futuro do planeta.

O Brasil vive um momento de desenvolvimento onde a demanda por recursos é crescente (JAEGER, 2009; THE WORLD BANK, 2011); apesar da privilegiada presença de recursos naturais, problemas ambientais e racionamento podem ocorrer.

A política energética nacional é alvo de grande discussão: Rodrigues e Costa (2012) afirmam que desde o início do século XXI o estado tem direcionado a expansão energética pelo uso excessivo do petróleo, se distanciando do conceito de sustentabilidade e diversificação da fonte. Sauer (2013) relata que fontes alternativas de menor impacto ambiental, como a eólica e fotovoltaica, devem ter um progresso

extraordinário nos próximos anos, entretanto esses meios têm uma participação e importância bastante reduzidas na esfera política brasileira.

No que diz respeito à geração de energia elétrica, o crescimento em sua utilização, altas temperaturas e os períodos de estiagem prolongada no final de 2012 e início de 2013 colocaram em risco o abastecimento nacional, intensificando o uso de termelétricas para geração adicional de energia elétrica, trazendo à tona discussões sobre um possível racionamento (BOADLE, 2013; GASPAR, 2012).

Para suprir a demanda de energia elétrica elevada pelo crescimento econômico, o plano decenal publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), órgão filiado ao Ministério de Minas e Energia (MME), apresentou que a potência instalada do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN) deve evoluir de 119,5 GW para 183,1 GW até o ano no período de 2013 a 2022. Essa evolução faz-se necessária para suprir a demanda por energia elétrica nacional anual, que passará de 520.000 GWh para 785.100 GWh de 2013 a 2022. Estima-se que o investimento necessário para esta expansão seja da ordem de R\$ 200 bilhões de reais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA e EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

Embora os investimentos sejam estritamente necessários para o desenvolvimento da infra-estrutura energética no país, a redução do consumo é fundamental na busca por sustentabilidade. Hinrichs e Kleinbach (2003) destacam duas maneiras de reduzir a quantidade de energia consumida: pelo ajuste técnico, caracterizado pelo uso de processos e produtos mais eficientes; e pela mudança do estilo de vida, que significa uma utilização mais consciente de um produto ou recurso. Entretanto, melhorar hábitos quanto ao consumo energético não é uma tarefa simples.

Com o crescimento econômico brasileiro nos últimos anos e ascensão social das camadas sociais pobres da população, eletrodomésticos, automóveis e bens de consumo

têm seus níveis de produção e uso elevados, fazendo-se necessária a busca por produtos e processos cada vez mais eficientes energeticamente.

Este trabalho destina-se a buscar e discutir a utilização de tecnologias de maior eficiência energética no setor **residencial brasileiro**, propondo ações governamentais que incentivem a comercialização e distribuição de eletrodomésticos de maior eficiência energética que, portanto, reduzam consideravelmente o consumo de energia elétrica no país e contribuam para diminuição de seu impacto ambiental.

1.1 A POLÍTICA ENERGÉTICA NACIONAL

Com as crises do petróleo ocorridas em 1973 e 1979, a percepção mundial voltou-se à necessidade de discutir o planejamento energético por uma óptica multi-setorial. No Brasil, os anos seguintes à crise foram marcados por ações para redução da dependência energética externa, como a canalização de investimentos para exploração e extração do petróleo nacional, a criação de programas para substituição de combustíveis, como o Programa Nacional do Alcool (PROALCOOL), e pelo maior uso de hidroeletricidade (JANUZZI, 2004).

Para promoção de estudos e expansão do sistema elétrico brasileiro, foi criado em 1982 o Grupo Coordenador de Planejamento dos Sistemas Elétricos (GCPS), órgão colegiado integrado por 35 empresas concessionárias, coordenadas pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). O modelo de expansão utilizado combinava um imposto único sobre a energia elétrica e créditos obtidos por empréstimos no exterior.

Em 1995, com o esgotamento da capacidade de investimentos do setor público para a expansão da infra-estrutura elétrica e a diminuição de acesso a créditos externos, o governo brasileiro promoveu uma ampla reestruturação, iniciando o processo de

concessões ao capital privado para geração e transmissão de energia elétrica (SANTOS, 2000).

Com o expressivo aumento da participação do capital privado no país, em 2000, as atribuições do antigo GCPS passaram a ser coordenadas diretamente pelo Ministério de Minas e Energia (MME). No ano de 2004 iniciou-se um processo de reestruturação do planejamento energético no Brasil, definindo-se as principais entidades inseridas ao setor elétrico, bem como suas funções (ZIMMERMANN, 2007):

- Conselho Nacional de Política Energética (CNPE): órgão de assessoramento a presidência da república para homologação da política energética;
- Ministério de Minas e Energia (MME): responsável pela formulação e implantação de políticas para o setor energético;
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): responsável pela regulação e fiscalização da produção, transmissão e comercialização de energia elétrica;
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE): responsável pela execução dos estudos de planejamento energético;
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE): responsável pela administração da contratação das instalações de geração e liquidação das diferenças contratuais de todos os agentes do setor elétrico;
- Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS): responsável pela administração da contratação de instalações de transmissão;
- Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE): responsável pelo monitoramento das condições de suprimento de energia elétrica;
- Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás): exerce a função de holding das empresas estatais federais de energia elétrica; administra e encargos e fundos

setoriais; realiza a comercialização de energia elétrica da hidroelétrica Itaipu Binacional e de fontes alternativas de energia – PROINFA.

No que se refere à conservação do consumo de energia, as primeiras ações governamentais datam de 1985, quando foi criado o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), sendo gerido por uma Secretaria-Executiva subordinada a Eletrobrás. O programa teve atuação discreta até os anos de 2001 e 2002, quando ocorreu a crise energética conhecida como “apagão”, iniciando um racionamento imediato de 20% do consumo de energia elétrica nacional (GALL, 2002; SOUZA, RODRIGUES e REIS, 2004). Mediante a crise, o PROCEL promulgou suas atividades em aparelhos eletrodomésticos de maior consumo energético, inserindo-os no Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e delimitando índices de eficiência energética para que pudessem ser comercializados, o que culminou ao longo dos anos em avanço tecnológico em condicionadores de ar, refrigeradores, *freezers* entre outros eletrodomésticos (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2012a).

1.2 JUSTIFICATIVAS PARA O TRABALHO

Embora a implantação do PBE tenha trazido grandes benefícios e reduções no consumo energético brasileiro, a evolução do programa mostra-se tímida frente ao desenvolvimento econômico e social ocorrido no Brasil nos últimos anos e projetado para o futuro. No que diz respeito ao consumo de energia elétrica residencial, tema central desta tese, a evolução da eficiência energética dos produtos comercializados no país é pouco significativa:

- Nos Refrigeradores e *Freezers*, produtos de alta relevância no consumo em uma residência, os índices de eficiência energética foram estabelecidos ainda em 2005. Já para Condicionadores de Ar, cada vez mais presentes nos domicílios brasileiros, os índices mínimos de eficiência foram implantados somente em 2007, apesar de novas alterações em 2009 e uma alteração inexpressiva prevista para 2014, há espaço significativo para melhora (FONSECA, 2012; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2005a, 2007, 2009, 2013);
- **Em 2012, o consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro correspondeu a 23,6% de toda a energia elétrica consumida no país**, apenas atrás do setor industrial, que consome 42,3% da energia gerada. Em termos gerais, o consumo energético do país cresce vertiginosamente; no período de 1990 a 2012 o consumo de energia elétrica mais que duplicou (THE WORLD BANK, 2013);
- Em 1990, o consumo de energia elétrica no setor residencial foi de 48.666 GWh, já em 2012 o valor consumido foi de 117.646 GWh, representando uma **variação relativa de 142%** (THE WORLD BANK, 2013). Um aumento substancialmente maior que o **crescimento populacional de 34%** no mesmo período (UNITED NATIONS, 2012);
- As Figuras 1 e 2 apresentam respectivamente a estratificação setorial do consumo de energia elétrica no país e a evolução de seu consumo desde 1970;

Figura 1 – Estratificação do Consumo de Energia por Setor da Economia.
 Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia (2013)

Figura 2 – Evolução da geração de energia elétrica anual.
 Fonte: Adaptado de Ministério de Minas e Energia (2013).

- O consumo de energia elétrica referente ao setor residencial brasileiro pode ainda apresentar maior crescimento nos próximos anos. Em 2013 o governo brasileiro criou uma linha de crédito de R\$ 18,7 bilhões para os beneficiários do programa “Minha Casa, Minha Vida” adquirirem móveis e eletrodomésticos. Cada família pode financiar até R\$ 5 mil com taxa de juros de 5% ao ano e prazo de 48 meses para pagamento (MENDES, 2013);
- Além da necessidade crescente de energia, ainda espera-se um aumento grande nos custos de produção. Em 2015 é previsto que tais custos impliquem no aumento tarifário de 30%. Este aumento pode influenciar na redução da qualidade de vida de considerável porção da população brasileira e pode representar um retrocesso na evolução social atualmente observada (FONSECA, 2012; MEIRA, 2011);
- O aumento dos custos de geração de energia elétrica é proveniente, entre outros fatores, da maior geração por termoelétricas, pela necessidade de investimentos em infra-estrutura e pela redução da capacidade de geração das usinas hidroelétricas nacionais já em atividade, já que devido ao assoreamento dos rios sua capacidade de geração deve diminuir ao longo dos próximos anos (BOADLE, 2013; GASPAR, 2012; MIRANDA, 2011);
- Em 2011 o governo publicou o Plano Nacional de Eficiência Energética até o ano de 2030, entretanto seu escopo trata timidamente a questão do consumo no setor residencial (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

No que se refere às publicações científicas referentes ao consumo de energia residencial no país, são escassos os trabalhos ao longo dos anos:

- No período anterior à crise do apagão, Andrade e Lobão (1997) analisaram a elasticidade da renda e preço da energia elétrica frente sua demanda no setor residencial. Discutiu-se no trabalho a influência da queda dos preços dos eletrodomésticos e seu efeito no consumo de eletricidade nas residências;
- Goldenberg (1998) realizou um uma análise do cenário brasileiro quanto ao consumo de energia, comparando necessidades do país junto a países desenvolvidos da Europa. Entre as discussões apresentadas no trabalho, projetava-se que não haveria problemas de escassez nos vinte anos seguintes;
- Cohen, Lenzen e Schaeffer (2005) analisaram as características gerais do consumo de energia residencial do país, buscando suas principais fontes e realizando estratificações por classes sociais, com base em doze diferentes capitais brasileiras;
- Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) avaliaram o consumo de energia residencial brasileiro identificando os eletrodomésticos mais impactantes e sua utilização anual em doze diferentes estados;
- Achão e Schaefer (2009) realizaram uma análise por decomposição do consumo de energia elétrica residencial no país, permitindo a estratificação por atividades (maior número de domicílios), por intensidade (aumento do consumo médio por consumidor) e estrutural (maior participação de classes sociais de menor renda).

1.3 O CENÁRIO INTERNACIONAL FRENTE AO CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL

Outros países têm buscado alternativas para redução de seu consumo energético residencial, o que traz à tona a discussão sobre qual é o nível atual de eficiência energética no Brasil e que ações podem ser tomadas para aumentá-la:

- A China, com seu amplo crescimento econômico, permite que sua população apresente um poder de compra cada vez maior. Já em 2001, a Universidade da Califórnia, em parceria com institutos do governo chinês, realizou um completo estudo sobre a eficiência, as tendências tecnológicas e o crescimento de utilização de condicionadores de ar domésticos (grandes impactantes no consumo de energia) utilizados na China (FRIDLEY et al, 2001);
- O governo norte-americano, por sua vez, apresenta diferentes programas para redução acentuada de consumo de energia no setor residencial, como por exemplo, o estudo de residências que apresentem tecnologias mais eficientes e uso de energia solar (CHRISTIAN, 2008);
- O governo escocês, dentre suas medidas para reduzir o consumo de energia no país, apresenta um programa para busca de mudança comportamental da população quanto ao uso consciente de energia elétrica, utilizando-se de campanhas de *marketing* e trabalhando o conceito de sustentabilidade em várias áreas da educação (THE SCOTTISH GOVERNMENT, 2010);

- Ainda na Europa, Almeida et al (2011) promoveram um estudo em doze diferentes países da União Européia observando que tipo de tecnologia utilizada pelas pessoas em geral tem aumentado mais o impacto no consumo de energia elétrica residencial;
- O conselho da cidade de Melbourne na Austrália desenvolveu uma estratégia para utilização de sistemas de ar condicionado mais eficientes, utilizando um melhor *design* de ventilação para novas residências (ADVANCED ENVIRONMENTAL CONCEPTS PTY LTD, 2003);
- No Japão há grande preocupação em reduzir as emissões em CO₂, visto que o país tem mantido seus níveis de emissão marginalmente acima do que o estipulado em 1990 pelo Protocolo de Kyoto. Uma das alternativas pesquisadas é a busca da redução do consumo de energia residencial por meio de incentivos financeiros aos consumidores que atinjam patamares pré-estabelecidos de redução (MIZOBUCHI e TAKEUCHI, 2012);
- Um estudo realizado pela Universidade de *Berkley* e a *United Nations* (UN) avaliou o programa do governo mexicano que desde 2009 já subsidiou a substituição de Condicionadores de Ar e Refrigeradores em mais de 1,5 milhões de residências. Como resultado, o estudo ressalta grandes ganhos em economia de energia e grande redução nas emissões de CO₂, relatando a importância e necessidade da utilização de produtos domésticos de maior eficiência energética (DAVIS, FUCHS e GERTLER, 2012).

1.4 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar as tecnologias impactantes ao consumo de energia elétrica residencial no Brasil e propor um conjunto de ações governamentais que resultem no uso de tecnologias mais eficientes nos próximos anos. O uso de tecnologias mais eficientes deve contribuir para o desenvolvimento econômico e ambiental no país. Este objetivo será discutido pela seguinte hipótese:

- Reduzindo-se a quantidade de impostos sobre produtos de maior eficiência haverá significativa redução no consumo de energia elétrica e a redução de impostos será financeiramente compensada pela menor necessidade de investimentos em geração.

O horizonte de avaliação escolhido para a discussão a que se destina este trabalho é até o ano de 2030. Embora os estudos oficiais do governo busquem projeções a cada dez anos, buscou-se um horizonte maior, visto que grande parte dos investimentos em energia e infra-estrutura apresentam vida econômica média superior a quinze anos (ANEEL, 2000).

Além de seu objetivo principal, este trabalho apresenta quatro objetivos específicos, que visam aumentar o conhecimento e discussões sobre o tema de pesquisa:

- Criar um modelo matemático, com base em econometria, que estime, com boa aceitação estatística, o consumo energético nacional residencial até 2030, em função da produção de eletrodomésticos no país e indicadores sócio-econômicos;

- Avaliar indicadores sócio-econômicos do Brasil frente a outros países utilizando dados padronizados do *The World Bank* e do *United Nations* (UN), contextualizando a realidade atual e realizando previsões futuras por meio de séries temporais;
- Identificar e discutir o conceito tecnológico dos itens de maior impacto no consumo energético residencial no Brasil;
- Identificar e discutir novas tecnologias presentes no mundo que possam contribuir para redução do consumo energético doméstico em geral, levando em conta sua adequabilidade ao contexto brasileiro.

1.5 MÉTODO

Para que os objetivos sejam alcançados, é necessário desenvolver um método de pesquisa que permita a estruturação das informações de forma lógica e organizada. Levando em conta os objetivos a serem explorados, este trabalho é sustentado por três conceitos de pesquisa: a pesquisa documental, a pesquisa bibliográfica e modelagem matemática (GIL, 2007; MIGUEL et al 2010).

1.5.1 Pesquisa documental

A pesquisa documental consiste na busca de informações em documentos que não receberam o tratamento analítico necessário aos objetivos da pesquisa (GIL, 2007). Para elaboração desta tese, fez-se necessária uma ampla busca em documentos e

relatórios de instituições diversas como, por exemplo, a *United Nations* (UN), o Departamento de Energia Norte-Americano (DOE) e instituições do governo brasileiro, como por exemplo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério de Minas e Energia (MME), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

1.5.2 Pesquisa bibliográfica

Para a execução de revisão bibliográfica compactuada ao tema, fez-se necessária a pesquisa e estudo de variados textos em livros, artigos, dissertações e teses. A primeira parte do trabalho consistiu em buscar e entender indicadores sócioeconômicos que pudessem contextualizar a situação atual do país frente a outras regiões do mundo, para possíveis comparações socioeconômicas e energéticas. Em um segundo momento, o foco da pesquisa bibliográfica foi entender as características do consumo de energia elétrica brasileira e fatores associados ao seu crescimento.

A pesquisa bibliográfica realizada também se estende ao entendimento de equipamentos e eletrodomésticos utilizados nas residências brasileiras, bem como novas tecnologias com maior eficiência energética ao redor do mundo.

Para elaboração de métodos de modelagem matemática, foi necessária a pesquisa em livros e demais publicações relacionadas a modelos matemáticos para séries temporais e econometria.

1.5.3 Modelos econométricos

Para projeção do consumo energético residencial brasileiro nos próximos anos e a possível economia pelo uso de tecnologias mais eficientes, fez-se necessária a utilização de um modelo matemático que se adequasse à realidade pesquisada.

Este trabalho desenvolve seus modelos utilizando os conceitos e princípios da econometria, área da economia que estuda e aplica métodos estatísticos para a análise de fenômenos econômicos (KENNEDY, 2009). Dentre os diferentes tipos de modelos utilizados pela econometria, as séries temporais permitem a utilização de dados ao longo do tempo para previsões em períodos futuros.

O modelo central da tese deve ser capaz de relacionar e quantificar a evolução do consumo energético residencial nacional frente a variáveis de natureza sócio-econômica.

O relacionamento entre as variáveis foi obtido por uma regressão linear pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). A *Variável Dependente: Consumo Energético Residencial* no Brasil foi regredido ao longo dos anos junto a *Variáveis Explicativas* (PIB, *Demanda por Eletrodomésticos*, etc.). Em outras palavras, o comportamento da *Variável Dependente* foi explicado pela variação das *Variáveis Explicativas* ao longo dos anos. A Figura 3 representa o conceito:

REGRESSÃO LINEAR POR MQO

Figura 3- Representação da regressão por MQO.

Criada a equação de regressão, o próximo passo foi prever a demanda energética residencial futura do país. Obtendo-se o comportamento futuro das *Variáveis de Explicativas*, pode-se obter a previsão do *Consumo Energético Residencial* ao longo dos próximos anos. Para realização das previsões das *Variáveis Explicativas*, foi aplicado o Modelo Auto-regressivo Integrado de Média Móvel (ARIMA) junto aos valores históricos, obtendo-se suas previsões anuais futuras.

PREVISÃO PARA OS PRÓXIMOS ANOS

Figura 4- Aplicação do método ARIMA.

Para que os objetivos do trabalho sejam alcançados, é necessário que o modelo simule condições futuras levando em conta a hipótese da existência de incentivos governamentais para a utilização de tecnologias domésticas mais eficientes. Para representar este ganho de eficiência, foi criado um *fator de ajuste* junto às *Variáveis Explicativas* relacionadas à demanda por produtos de maior impacto no consumo energético brasileiro. A Figura 5 representa graficamente o conceito proposto.

PREVISÃO PARA OS PRÓXIMOS ANOS COM AJUSTE

Figura 5 – Fator de ajuste junto ao modelo de regressão por MQO.

O intuito do modelo é comparar a projeção do consumo energético residencial brasileiro junto a um cenário que considere a utilização de produtos eletrodomésticos mais eficientes. Assim é possível obter informações sobre a economia de energia obtida pelo aumento da eficiência energética.

Em uma segunda etapa, os resultados são associados a dados financeiros, ou seja, busca-se mensurar o montante que o estado brasileiro precisará investir na geração de energia em comparação ao quanto poderá economizar, caso incentive de maneira fiscal, ou por meio de financiamentos, a utilização de produtos de maior eficiência energética.

A opção pela criação de modelos específicos para previsão neste trabalho justifica-se no fato de não existirem outras pesquisas que relacionem o consumo energético às variáveis apresentadas.

1.6 SÉRIES TEMPORAIS MULTI-VARIADAS

A análise de regressão ocupa-se do estudo da dependência de uma variável, a *Variável Dependente*, em relação a uma ou mais variáveis, as *Variáveis Explicativas*, com o objetivo de prever os valores médios. As regressões, na econometria, são obtidas por relações estatísticas, onde o comportamento de um conjunto de variáveis é utilizado para cálculo de coeficientes que estimem as associações entre elas.

As *séries temporais* são conjuntos de observações cujo valores são apresentados em intervalos de tempos regulares, como por exemplo, valores anuais do PIB, taxa de desemprego mensal, etc. (GUJARATI, 2004). Desta forma, para este tipo de dado é necessário trabalhar em uma escala pré-definida de tempo.

A Equação 1 apresenta um modelo de regressão múltiplo de série temporal:

$$\gamma_t = \beta_1 + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \dots + \beta_n X_{nt} + u_t \quad (\text{Eq.1.1})$$

Em que:

γ_t é o valor da variável estudada no período t ;

β_1 é o coeficiente de regressão do intercepto;

β_2 é o coeficiente de regressão da variável explicativa X_2 ;

β_3 é o coeficiente de regressão da variável explicativa X_3 ;

β_n é o coeficiente de regressão da variável explicativa X_n ;

u_t é o termo de *erro aleatório* ou *perturbação estocástica*;

t é variável de tempo.

Os coeficientes posicionam os dados, fazendo com que a *Variável Dependente* seja explicada pelas demais variáveis. O *erro aleatório*, *resíduo* ou *perturbação estocástica* corresponde a erros não explicáveis pela regressão.

Para o cálculo dos coeficientes de regressão, utilizou-se o método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Este método é desenvolvido para minimizar a soma dos resíduos ao quadrado; desta forma a superfície da regressão estimada é a mais próxima possível dos dados observados (STOCK e WATSON, 2004).

As regressões são baseadas em estatística, desta forma cada coeficiente deve apresentar um grau de aceitação estatístico adequado ao intervalo de confiança buscado na análise. Vale a ressalva que alguns pressupostos devem ser analisados para que a regressão seja confiável conceitualmente e matematicamente (GUJARATI, 2004; GREENE, 2008). Para a construção do modelo econométrico proposto, utilizou-se o *software Stata®*. O Apêndice B deste trabalho apresenta informações adicionais sobre o modelo, bem como testes estatísticos necessários para que a regressão se mostre confiável conceitual e matematicamente.

1.7 MODELO AUTO-REGRESSIVO INTEGRADO DE MÉDIA MÓVEL (ARIMA)

O ARIMA é bastante utilizado para construção de modelos de previsão. O termo deriva do inglês *autoregressive integrated moving average*, que significa modelo auto-regressivo integrado de média móvel. Sua sistematização foi realizada pelos estatísticos George Box e Gwilym Jenkins, o que torna o modelo conhecido também por Modelo de Box e Jenkins (1970).

O propósito do ARIMA é encontrar um modelo que represente precisamente padrões passados e futuros das séries temporais (MEDEIROS, 2006). Segundo Gujarati

(2004), o ARIMA pode ser definido pela integração entre dois processos: um processo auto-regressivo (AR – *autoregressive*) e um processo de média móvel (MA - *moving average*).

De maneira geral um processo auto-regressivo de p -ésima ordem pode ser denotado por:

$$(\gamma_t - \delta) = \alpha_1(\gamma_{t-1} - \delta) + \alpha_2(\gamma_{t-2} - \delta) + \dots + \alpha_p(\gamma_{t-p} - \delta) + u_t \quad (\text{Eq.1.2})$$

Em que:

γ_t é o valor da variável estudada no período t ;

δ é a média de γ ;

α é proporção de alteração do valor γ no período correspondente;

u_t é um termo de erro aleatório.

Já um processo de média móvel pode ser denotado por:

$$\gamma_t = \mu + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} + \beta_2 u_{t-2} + \beta_q u_{t-q} \quad (\text{Eq.1.3})$$

Em que:

γ_t é o valor da variável estudada no período t ;

μ é uma constante;

u é o termo de erro estocástico;

β é o fator de média móvel.

Assim entende-se que γ no período t corresponde a uma constante mais uma média móvel de erros do termo corrente e passado.

Naturalmente é possível que γ apresente características tanto de um processo auto-regressivo (AR) e de média móvel (MA), sendo chamado de modelo ARMA, descrito por:

$$\gamma_t = \theta + \alpha_1 \gamma_{t-1} + \beta_0 u_t + \beta_1 u_{t-1} \quad (\text{Eq.1.4})$$

Onde θ representa um termo constante (intercepto). Em geral, em um processo ARMA (p, q) haverá p termos auto-regressivos e q termos de média móvel.

Em termos gerais o método ARMA é baseado na hipótese de séries temporais fracamente estacionárias, ou seja, suas médias e variâncias são constantes, no entanto muitas séries econômicas não são estacionárias. Para que seja possível trabalhar os dados de uma série temporal não estacionária e torná-la com característica estacionária é necessário diferenciá-la d vezes, criando assim um modelo ARIMA. Portanto, entende-se que uma série ARIMA (p, d, q), onde p indica o número de termos auto-regressivos, d , o número de vezes em que a série tem de ser diferenciada, e q o número de termos de média móvel.

Para execução dos cálculos necessários para aplicação do modelo ARIMA às variáveis de entrada deste trabalho foi utilizado o *software Minitab®*, que apresenta comandos específicos para sua aplicação. Maiores considerações sobre os modelos a serem desenvolvidos, bem como detalhes sobre os cálculos a serem realizados serão detalhados no Apêndice A deste trabalho.

1.8 LOCALIZAÇÃO DO TEMA NO CONTEXTO DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

A Engenharia de Produção caracteriza-se por conceitos de características interdisciplinares abrangendo diferentes áreas da Engenharia e das Ciências Aplicadas. Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (2013) suas principais áreas de atuação são:

- Engenharia de Operações e Processos da Produção;
- Logística;
- Pesquisa Operacional;
- Engenharia da Qualidade;
- Engenharia do Produto;
- Engenharia Organizacional;
- Engenharia Econômica;
- Engenharia do Trabalho;
- Engenharia da Sustentabilidade;
- Educação em Engenharia de Produção.

Dentre as áreas listadas, entende-se que o presente trabalho engloba temas de diferentes áreas, entretanto seu foco é mais voltado a Engenharia Econômica, a qual engloba a Gestão Econômica, Gestão de Custos, a Gestão de Investimentos e a Gestão de Riscos.

1.9 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. O primeiro capítulo consiste na apresentação do trabalho, bem como a definição dos objetivos, justificativa e o método de pesquisa.

O Capítulo 2 realiza a contextualização sócio-econômica do Brasil frente a outras regiões do mundo, explorando indicadores ao longo do tempo. Também são estudadas características do consumo energético residencial brasileiro, os eletrodomésticos de maior impacto e suas demandas no país.

O Capítulo 3 é destinado a discutir os conceitos técnicos dos eletrodomésticos de maior consumo energético no Brasil, e compará-los com novas tecnologias disponíveis no mundo, que poderiam reduzir o impacto no consumo energético nacional, caso fossem utilizadas no país.

No Capítulo 4 o modelo econométrico para avaliação do consumo energético residencial brasileiro é apresentado, sendo realizadas projeções para o consumo futuro. Também são discutidos resultados que consideram a implantação de tecnologias de maior eficiência energética, permitindo uma análise comparativa.

No Capítulo 5 são apresentadas propostas para o direcionamento de ações governamentais para maior eficiência no consumo de energia elétrica residencial no país. A conclusão do trabalho é apresentada no Capítulo 6.

O Apêndice A é destinado a apresentação dos procedimentos, dados e cálculos para aplicação do modelo ARIMA para os indicadores sócio-econômicos e a produção anual de eletrodomésticos. O Apêndice B é destinado a detalhes dos dados e cálculo do modelo regressivo estimado pelo MQO. O Apêndice C trata da pesquisa de preços de produtos e impostos inerentes.

2 PERSPECTIVAS SÓCIO-ECONÔMICAS E O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL NO BRASIL

No cenário mundial e nacional, a demanda por energia elétrica mostra-se preocupante. Ao longo dos últimos vinte anos intensificou-se a discussão sobre a real necessidade do consumo energético mundial e as consequências que a demanda por energia pode trazer ao planeta.

Um dos fatores que justifica o crescimento da demanda energética no mundo é o crescimento econômico, que está intimamente ligado a maiores atividades industriais, maior consumo de bens duráveis e não duráveis. Mesmo com as recentes crises econômicas: a norte-americana, iniciada em 2008 (KOTZ, 2009; AUERBACH e GALE, 2009) e a européia em 2009 (HEIN, TRUGER e VAN TREECK, 2011); a economia mundial ainda apresenta crescimento importante.

O Brasil, a Rússia, a Índia e a China, batizados em 2003 pelo banco Goldman Sachs como BRICs, se destacam pelos avanços em seu desenvolvimento, o que deve trazer mudanças para economia mundial nos próximos anos (WILSON e PURUSHOTHAMAN, 2003).

2.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CRESCIMENTO POPULACIONAL BRASILEIRO E MUNDIAL

Com base em dados estatísticos do estudo *World Population Prospects* (UNITED NATIONS, 2012), foi construída a Tabela 1, onde é mostrado o crescimento demográfico de diferentes regiões e países do mundo, bem como suas perspectivas até o ano de 2030.

A população mundial ainda cresce em altas taxas. Segundo as estimativas da *United Nations* este valor ultrapassará a marca de 8,30 bilhões de pessoas até o ano de 2030, o que corresponde a um aumento superior a 30,0 % quando comparado à população mundial de 2010, de 6,89 bilhões de pessoas.

Tabela 1- População Mundial em milhares de pessoas até o ano de 2010 e suas perspectivas.

Ano / País ou Região	Brasil	América do Sul ¹	Rússia	Índia	China	EUA	Canadá	União Européia	África	Japão	Oceania	Mundo
1990	149.650	145.927	148.244	873.785	1.145.195	253.339	27.701	175.432	635.287	122.251	26.967	5.306.425
1995	161.848	159.760	148.699	964.486	1.213.987	266.324	29.302	180.702	720.931	124.487	29.044	5.726.239
2000	174.425	173.008	146.758	1.053.898	1.269.117	282.496	30.667	183.111	811.101	125.720	31.130	6.122.770
2005	185.987	185.490	143.843	1.140.043	1.307.593	296.820	32.283	186.431	911.120	126.393	33.532	6.506.649
2010	194.946	197.609	142.958	1.224.614	1.341.335	310.384	34.017	189.052	1.022.234	126.536	36.593	6.895.889
2015	203.294	209.615	142.229	1.308.221	1.369.743	323.885	35.624	190.494	1.145.316	126.072	39.355	7.284.296
2020	210.433	221.038	141.022	1.386.909	1.387.792	337.102	37.163	192.010	1.278.199	124.804	42.056	7.656.528
2025	216.238	231.592	139.034	1.458.958	1.395.256	349.758	38.585	193.150	1.417.057	122.771	44.651	8.002.978
2030	220.492	241.004	136.429	1.523.482	1.393.076	361.680	39.850	193.888	1.562.047	120.218	47.096	8.321.380
Variação Percentual entre 1990 e 2010	30,3%	35,4%	-3,6%	40,2%	17,1%	22,5%	22,8%	7,8%	60,9%	3,5%	35,7%	30,0%
Variação Percentual entre 2010 a 2030	13,1%	22,0%	-4,6%	24,4%	3,9%	16,5%	17,1%	2,6%	52,8%	-5,0%	28,7%	20,7%

¹ - Exceto Brasil

Fonte: Adaptado de United Nations (2012).

Maior população implica em maior produção de alimentos, bens de consumo, aumento das relações de importação e exportação, fazendo com que a economia mundial tenha que crescer, resultando em um maior consumo energético.

Pelo estudo apresentando, a população mundial, de forma geral diminuirá seu ritmo de crescimento: todavia, observa-se que a África, conhecida pela escassez de recursos, deverá enfrentar grandes problemas de excedente populacional (crescimento de mais de 50% em 20 anos). Também, é possível observar que a Índia, em desenvolvimento, ultrapassará a população chinesa, caracterizada por forte controle de natalidade por parte do governo (SCHARPING, 2002).

Embora o crescimento populacional brasileiro esperado seja menor que o de outras regiões do mundo, muito devido ao envelhecimento populacional do país (NASRI, 2008; CAMARANO e KANSO, 2009), a perspectiva de aumento populacional de 13,1% entre 2010 até 2030 ainda é considerável.

2.2 MENSURAÇÕES SOBRE AS ATIVIDADES ECONÔMICAS NO BRASIL NOS ÚLTIMOS ANOS

A necessidade de crescimento econômico é mandatória para a implantação de políticas de distribuição de renda, melhora da qualidade de vida da população do país e para o suprimento da demanda por bens de consumo, necessário devido ao crescimento populacional (FROYEN, 2001).

Embora nos últimos anos as crises econômicas mundiais tenham sido bem evidentes, o Brasil manteve índices de crescimento consideráveis e, além disso, houve melhora no poder aquisitivo da população de baixa renda do país.

Mensurar as atividades econômicas de um país e realizar comparações com outras regiões do globo não é uma tarefa simples, são necessários indicadores econômicos concisos e aplicáveis a diferentes países. Mesmo com a ampla divulgação, por parte da imprensa, da melhora na economia nacional e das condições de vida dos trabalhadores, são poucos os trabalhos desenvolvidos para mensuração, comparação e análise das atividades econômicas brasileiras nos últimos anos.

Para medição e comparação das atividades econômicas de um país, utiliza-se o sistema de contas elaborado pela *United Nations* denominado *System of national accounts and tables (SNA-52)* (UNITED NATIONS, 2008). Segundo Rossetti (2002), os esforços mais evidentes para criação deste sistema de contas ocorreram no período inicial da grande depressão (década de 30) e após a segunda grande guerra (década de 50), tendo em vista diferentes fatores como políticas anti-depressão, desenvolvimento sócio-econômico, estudos estatísticos, entre outros.

No banco de dados do *The World Bank* (2012 e 2013), uma série de indicadores é fornecida segundo os padrões da SNA-52, permitindo a análise comparativa entre países e regiões conforme apresentado a seguir.

2.2.1 O Produto Interno Bruto (PIB)

Na economia define-se o PIB como o valor agregado de todos os bens e serviços finais produzidos dentro do território econômico de um país, independentemente da nacionalidade dos proprietários das unidades produtoras (SANDRONI, 1999). Esse indicador é o mais utilizado para mensurar o tamanho de uma economia, já que considera toda a produção gerada, bem como a presença do estado (governo) e de agentes internacionais (importação e exportação) em seu cálculo (ROSSETTI, 2002).

Em 2008 o Produto Interno Bruto brasileiro, pela primeira vez, chegou ao patamar dos dez maiores do mundo e em 2010 atingiu o posto de sétima economia mundial (JAEGER, 2009).

Dois tipos de indicadores são mais utilizados para representar os agregados econômicos de um país: o PIB em valores *nominais ou correntes* e o PIB em valores em *termos reais ou constantes*, onde são fixados os preços de um período ou ano base para referência.

Quando utilizado o PIB em valores *nominais ou correntes*, os agregados econômicos (conjunto de setores da economia) são contabilizados em moeda corrente, o que faz com que os valores do PIB também o sejam. Assim, os preços são registrados em seus valores de mercado, onde existe a presença de agentes inflacionários ou deflacionários que podem comprometer uma análise (ROSSETI, 2002).

Por exemplo: um país com inflação extrema poderia apresentar amplo crescimento anual se seus dados fossem analisados em valores *nominais ou correntes*. Por isso, normalmente utiliza-se para análise da taxa de crescimento do PIB valores em *termos reais ou constantes*, onde são fixados os preços de um período ou ano base para referência, o que melhora a análise comparativa. Neste trabalho foram utilizados os valores disponíveis no banco de dados do *The World Bank* (2013) do PIB em *termos reais*, com preços fixados em 2000.

A Tabela 2 apresenta a evolução anual do PIB brasileiro em comparação a outros países e regiões do globo. Para melhor visualização dos dados, os valores foram apresentados em intervalos de cinco anos. Os valores em escala anual, assim como os cálculos realizados para as projeções até 2030, são detalhados no Apêndice A desta tese.

Tabela 2- Evolução do PIB mundial em *valores reais* (fixados em 2000). Valores em trilhões de dólares até o ano de 2030.

País / Ano	Brasil	América do Sul ¹	Rússia	Índia	China	EUA	Canadá	União Européia	África	Japão	Oceania	Mundo
1990	0,502	0,422	0,386	0,270	0,445	7,058	0,544	6,792	0,806	4,150	0,342	24,284
1995	0,584	0,544	0,240	0,347	0,793	7,995	0,592	7,312	0,931	4,450	0,388	27,239
2000	0,645	0,603	0,260	0,460	1,198	9,899	0,725	8,484	1,106	4,667	0,475	32,249
2005	0,740	0,702	0,350	0,644	1,909	11,150	0,822	9,310	1,369	4,980	0,560	37,007
2010	0,916	0,856	0,414	0,963	3,246	11,598	0,873	9,724	1,880	5,010	0,572	41,348
2015	1,022	1,018	0,513	1,252	4,699	12,747	0,960	10,261	2,354	5,215	0,643	46,630
2020	1,144	1,133	0,663	1,546	6,317	13,876	1,041	10,934	2,858	5,438	0,704	51,401
2025	1,269	1,247	0,860	1,848	8,151	15,003	1,121	11,607	3,370	5,660	0,765	56,201
2030	1,395	1,361	1,101	2,160	10,206	16,129	1,202	12,281	3,889	5,881	0,826	60,999
Parcela sobre o PIB Mundial em 1990	2,1%	1,7%	1,6%	1,1%	1,8%	29,1%	2,2%	28,0%	3,3%	17,1%	1,4%	100,0%
Parcela sobre o PIB Mundial em 2010	2,2%	2,1%	1,0%	2,3%	7,9%	28,0%	2,1%	23,5%	4,5%	12,1%	1,4%	100,0%
Parcela sobre o PIB Mundial em 2030	2,3%	2,2%	1,8%	3,5%	16,7%	26,4%	2,0%	20,1%	6,4%	9,6%	1,4%	100,0%

¹ - Exceto Brasil

Fonte: Adaptado de *The World Bank* (2013) até ano de 2010. Para os anos de 2015, 2020, 2025 e 2030 utilizou-se dados projetados pelo ARIMA (Apêndice A).

As projeções até o ano 2030 foram obtidas pela aplicação do método ARIMA, onde dados históricos desde a década de 1960¹ foram utilizados nas projeções futuras. Os intervalos de confiança adotados foram de 95%. Um intervalo de confiança é um intervalo estimado de um parâmetro de interesse de uma população. Em vez de estimar o parâmetro por um único valor, é dado um intervalo de estimativas prováveis (SARTORIS, 2003).

Observa-se, pelos dados, que quando comparado às décadas passadas o Brasil conseguiu aumentar sua parcela de contribuição ao PIB mundial. Também é possível observar que nos EUA e na União Européia houve diminuição de suas economias frente ao PIB mundial. Este fenômeno foi ainda mais caracterizado no Japão, que em 1990 detinha 17,1% do PIB mundial e em 2010 teve sua participação reduzida a 12,1%. O *Japan Center for Economic Research* (2006) considera que esta queda foi causada pela presença de uma bolha na economia do país na década de 90, posteriormente a efeitos causados pela deflação enfrentada pelo país, após este período.

Entre os BRICs, a China mostra o maior crescimento: em 1990 seu PIB representava apenas 1,8% do PIB mundial (menos do que apresentava o Brasil na mesma época). Já em 2010 atingiu o valor de 7,9%, *em termos constantes*.

No cenário econômico internacional, diferentes órgãos realizam previsões para o PIB, entretanto poucos deles explicitam os métodos e critérios utilizados. Dentre as previsões de maior relevância destacam-se as do *International Monetary Fund (IMF)* que, no entanto, restringe-se a divulgar dados de curto prazo, insuficientes a este trabalho. Outro órgão que realiza previsões é *United States Department of Agriculture (USDA)*, porém com um viés bastante otimista (INTERNATIONAL MONETARY

¹ Para melhor ajuste de modelo para alguns países o cálculo foi realizado a partir de 1980. Para a Rússia só há dados a partir de 1989.

FUND, 2013; UNITED STATES DEPARTMENT OF AFRICULTURE, 2013), justificando as necessidades de projeções próprias nesta tese.

As previsões são construídas a partir de dados passados projetando-os para o futuro por meio da matemática e da estatística. Em termos gerais, mudanças políticas, guerras, fenômenos naturais, entre outras ações, podem afastar a realidade futura da realidade projetada. No entanto as previsões fornecem importantes informações, servindo como base de comparação, decisão e tomada de ações para correções sobre expectativas futuras.

A Tabela 3 mostra o crescimento anualizado dos países em discussão e complementa as informações apresentadas na Tabela 2

Observando os dados, é possível perceber claramente os problemas de crescimento enfrentados pela Rússia no período imediatamente pós-socialismo e sua recuperação econômica nos últimos anos.

De maneira geral os países e regiões mais desenvolvidos (EUA, União Européia e Japão) que ficaram mais expostos aos efeitos das crises internacionais, apresentaram projeções com crescimento médio mais baixo até 2030.

A China, que apresentou índices de crescimento muito agressivos nas décadas de 90 e de 2000, conforme os valores projetados, deve diminuir o ritmo de crescimento até 2030 a valores inferiores a 6% ao ano.

O Brasil, a partir dos anos 2000, apresentou um crescimento maior do que a média mundial, porém abaixo dos outros BRIC's. O *Deutsche Bank Research*, em trabalho realizado por Jaeger (2009), descreve o país com excelentes saldos e liquidez, grande flexibilidade fiscal e com um setor bancário bem capitalizado, o que permite manter um crescimento sustentável, porém faz fortes ressalvas às necessidades de reformas estruturais e maior necessidade de poupança (corte de gastos públicos).

Tabela 3 – Crescimento anual médio do PIB em termos reais ou constantes com base em 2000 da economia entre países e regiões.

País / Ano	Brasil	América do Sul ¹	Rússia	Índia	China	EUA	Canadá	União Européia	África	Japão	Oceania	Mundo
Crescimento Médio Anual (1991-2000)	2,56%	3,67%	-3,61%	5,48%	10,45%	3,45%	2,94%	2,26%	3,22%	1,19%	3,35%	2,88%
Crescimento Médio Anual (2001-2010)	3,60%	3,63%	4,88%	7,69%	10,49%	1,62%	1,89%	1,40%	5,50%	0,75%	1,93%	2,53%
Crescimento Médio Anual (2011-2020)	2,25%	2,85%	4,82%	4,85%	6,89%	1,81%	1,78%	1,18%	4,28%	0,83%	2,10%	2,20%
Crescimento Médio Anual (2021-2030)	2,00%	1,85%	5,20%	3,40%	4,91%	1,52%	1,45%	1,17%	3,13%	0,79%	1,60%	1,73%

¹ - Exceto Brasil

Fonte: Adaptado de *The World Bank* (2013) para 1991-2000 e 2001-2010. Para os outros períodos utilizou-se dados projetados pelo ARIMA (Apêndice A).

2.2.2 A Renda per Capita baseada na *Paridade de Poder de Compra*

A Renda per Capita baseada na *Paridade de Poder de Compra* é um indicador que permite comparar o poder aquisitivo da população entre países.

Sabe-se que uma mesma quantia em dinheiro permite a aquisição de diferentes quantias de bens ou serviços em cada país ou região do mundo, o que dificulta comparativos. Atuando nesta inconveniência, são utilizados índices multilaterais que ajustam o poder aquisitivo por diferentes categorias de dispêndios, criando uma mesma base para comparação (ROSSETI, 2002; THE WORLD BANK, 2008).

Os dados apresentados na Tabela 4 mostram a Renda Per Capita de cada país ajustada em função da *Paridade do Poder de Compra* e coletados no banco de dados do *The World Bank*, realizando-se previsões com o método ARIMA. Os dados apresentados tomam como *valores em termos reais ou constantes* o índice de preços de 2005. Os valores são apresentados pelo conceito do US\$ internacional, ou seja, considera a renda anual *per capita* de cada país considerando o poder de compra que teriam nos Estados Unidos.

Observa-se que o Brasil apresentou melhora em sua *Renda Per Capita Pareada pelo Poder de Compra*. Em 2010, superou pela primeira vez US\$ 10.000 anuais por habitante, valor quatro vezes maior do que o da China. Em contrapartida, quando comparado aos EUA, o poder de compra foi um quarto do norte-americano.

Pelas projeções realizadas, em 2030, estima-se que a *Renda Per Capita Pareada pelo Poder de Compra (PPC)* de um brasileiro tenha valor médio de US\$ 19.106, enquanto a estimativa média mundial estará posicionada em US\$ 13.648. A China com todo seu crescimento econômico conseguiu elevar sua renda de apenas US\$ 392 em 1990 para US\$ 2.425 em 2010. Em 2030 o valor médio previsto para este indicador é de US\$ 6.669, cerca de metade da média mundial.

Tabela 4 - *Renda Per Capita Anual* (US\$ internacional) considerando a *Paridade do Poder de Compra (PPC)* em valores em termos reais com base em 2005.

País / Ano	Brasil	América do Sul ¹	Rússia ²	Índia	China	EUA	Canadá	União Européia	África	Japão	Oceania	Mundo
1990	7.175	6.453	12.626	1.244	392	28.274	26.941	20.394	2.388	26.129	22.291	6.771
1995	7.716	7.542	7.851	1.452	658	30.025	27.778	21.507	2.369	27.593	23.839	7.003
2000	7.909	7.720	8.613	1.769	949	35.082	32.447	24.704	2.554	28.613	27.570	7.845
2005	8.509	8.455	11.853	2.300	1.464	37.732	35.033	26.791	2.866	30.310	30.648	8.795
2010	10.056	10.227	14.183	3.214	2.425	37.491	35.223	27.618	3.350	30.573	31.846	9.817
2015	11.643	12.629	-	4.226	3.485	39.865	38.171	29.233	3.942	32.609	33.879	10.018
2020	13.785	15.336	-	5.273	4.546	42.231	41.001	30.840	4.438	34.704	35.975	11.710
2025	16.259	18.422	-	6.356	5.608	44.592	43.419	32.437	4.994	36.285	38.038	12.673
2030	19.106	22.035	-	7.478	6.669	46.945	46.250	34.025	5.536	37.887	40.118	13.648

¹ - Exceto Brasil

² - Dados disponíveis para a Rússia não resultaram em previsões com coeficientes estatísticos dentro do intervalo de confiança aceitável para esta tese (90%).

Fonte: Adaptado de *The World Bank* (2012).

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR RESIDENCIAL BRASILEIRO

O consumo residencial de energia elétrica brasileiro corresponde a quase 25% de toda a energia elétrica gerada no país. Em 1990, seu valor registrado foi de 48.666 GWh. Em 2012, atingiu 117.646 GWh, um crescimento de 141,7% em 22 anos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2012). Esse crescimento foi substancialmente maior do que o crescimento populacional e o crescimento do PIB no mesmo período, de 32,8% e de 89,2% respectivamente (UNITED NATIONS, 2010; THE WORLD BANK, 2013).

A progressão econômica brasileira e o ganho em poder aquisitivo da população podem estar diretamente associados a uma maior demanda por eletrodomésticos, causando maior impacto no consumo de energia elétrica no país. A quantidade de modelos e tipos de eletrodomésticos e eletroeletrônicos disponíveis à população brasileira é grande, sendo necessário estratificar quais itens têm maior influência no consumo residencial.

A Tabela 5 apresenta uma estratificação de quais aparelhos eletrodomésticos têm maior impacto no consumo residencial brasileiro. Os valores são baseados em estudos da Eletrobrás (2012) e apresentam os principais eletrodomésticos comercializados atualmente.

Tabela 5 – Consumo de energia elétrica de eletrodomésticos no Brasil.

Aparelhos Elétricos	Dias Estimados	Média	Consumo Médio Mensal	
	Uso/Mês	Utilização/Dia	KWh	Percentual do Total
Aparelho De Dvd	8	2 h	0,24	0,04%
Aparelho De Som 3 Em 1	20	3 h	6,6	1,08%
Ar Cond. Split De 10.001 A 15.000 Btu	30	8 h	193,76	31,73%
Aspirador De Pó	30	20 min	7,17	1,17%
Batedeira	8	20 min	0,4	0,07%
Cafeteira Elétrica	30	1 h	6,565	1,08%
Chuveiro Elétrico - 5500 W	30	32 min	88	14,41%
Computador	30	8 h	15,12	2,48%
Ferro Elétrico A Vapor - 1200 W	12	1 h	7,2	1,18%
Forno Elétrico	30	1 h	15	2,46%
Forno Micro-Ondas - 25 L	30	20 min	13,98	2,29%
Freezer Vertical Frost Free	30	24 h	54	8,84%
Geladeira 2 Portas	30	24 h	48,24	7,90%
Lâmpada Fluorescente Comp. - 23 W	30	5 h	3,45	0,56%
Lâmpada Incandescente - 40 W	30	5 h	6	0,98%
Lâmpada Incandescente - 60 W	30	5 h	9	1,47%
Lâmpada Incandescente - 100 W	30	5 h	15	2,46%
Lavadora De Louças	30	40 min	30,86	5,05%
Lavadora De Roupas	12	1 h	1,764	0,29%
Liquidificador	15	15 min	0,806	0,13%
Monitor	30	8 h	13,2	2,16%
Notebook	30	8 h	4,8	0,79%
Prancha (Chapinha)	20	30 min	0,33	0,05%
Rádio Elétrico Pequeno	30	10 h	1,5	0,25%
Rádio Relógio	30	24 h	3,6	0,59%
Roteador	30	8 h	1,44	0,24%
Sanduicheira	30	10 min	3,348	0,55%
Secador De Cabelo - 1000 W	30	10 min	5,215	0,85%
Secadora De Roupa	8	1 h	14,92	2,44%
Telefone Sem Fio	30	24 h	2,16	0,35%
Torradeira	30	10 min	4	0,66%
Tv Em Cores - 32" (Lcd)	30	5 h	14,25	2,33%
Ventilador De Mesa	30	8 h	17,28	2,83%
Videogame	15	4 h	1,44	0,24%

Fonte: Adaptado de Eletrobrás (2012).

Pela tabela apresentada, os *Condicionadores de Ar*, os *Chuveiros Elétricos*, os *Refrigeradores* e os *Freezers* são os produtos que têm maior impacto no consumo elétrico residencial, entretanto o estudo da Eletrobrás (2012) não leva em conta a disparidade de eletrodomésticos presentes em diferentes domicílios.

Ghisi, Gosh e Lamberts (2007) realizaram um estudo considerando o nível de utilização de 17 diferentes tipos de eletrodomésticos em 12 estados brasileiros. Como resultado descobriu-se que os *Refrigeradores* são responsáveis por 33% do total de energia elétrica consumida pelos domicílios no país; os *Freezers* por 9%; os *Chuveiros Elétricos* por 20%; e os *Condicionadores de Ar* por 10%. Desta forma, concluiu-se que tais eletrodomésticos são responsáveis 72% de todo o consumo de energia elétrica residencial no país, por isso, serão o foco da discussão tecnológica desta tese.

Para que seja desenvolvido o modelo econométrico de regressão múltipla proposto no capítulo inicial deste trabalho, são necessários dados que expressem o volume desses eletrodomésticos em uso no Brasil.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012), na sua seção Famílias e Domicílios, divulga a quantidade de domicílios que possuem refrigeradores, *freezers*, televisores, máquinas de lavar roupa e rádios: no entanto é quantificado apenas se há ou não o eletrodoméstico e não a quantidade em funcionamento (uma mesma residência pode, por exemplo, ter mais de um refrigerador operando). Os dados lá apresentados também só se resumem aos cinco produtos citados, não abrangendo outros produtos de alto consumo de energia elétrica, como os condicionadores de ar e chuveiros.

Devido à dificuldade de mensuração, optou-se por trabalhar com o volume de eletrodomésticos mais impactantes produzidos no Brasil, ano a ano. A produção anual de tais eletrodomésticos é um bom indicador, pois representa, ano a ano, a entrada de novos produtos em domicílios e pode ser obtida com boa exatidão. Seu crescimento está diretamente associado ao crescimento econômico e ao aumento no consumo de energia elétrica:

- A quantidade de *Condicionadores de Ar* produzidos anualmente no país foi obtida por meio de consulta à Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), que dispõe dos valores de produção nacional desde 1988 (SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS, 2013a);
- A quantidade de *Refrigeradores e Freezers* produzidos no país apresenta registro no IBGE somente a partir de 2000, entretanto em estudo apresentado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) são apresentados dados desde 1990 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013; COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2012 apud INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2012 e ELETROS, 2010);
- No que diz respeito aos *Chuveiros Elétricos*, a única fonte disponível foi obtida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013) que disponibiliza dados a partir de 2000: entretanto, por meio de um painel de especialistas de integrantes da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE) foram estimados dados para o período de 1990 a 1999.

A Tabela 6 faz uma compilação dos dados discutidos, mostrando a variação do consumo residencial de energia elétrica no Brasil, a evolução do volume de produção dos eletrodomésticos mais impactantes e indicadores sócio-econômicos. As projeções futuras foram obtidas pela aplicação do método ARIMA. Assim como realizado nas demais seções do capítulo, os dados são apresentados em intervalos de cinco anos. O conjunto de dados completos, ano a ano, e os cálculos envolvidos são detalhados no Apêndice A.

Tabela 6 – Evolução do consumo de energia elétrica residencial e possíveis indicadores associados.

Ano	Consumo de Energia Residencial (GWh)	PIB Real do Brasil (Trilhões de US\$)	Renda per Capta PPC Anual (US\$)	População (milhares de pessoas)	Ref. e Freezers (unidades produzidas)	Cond. De Ar (unidades produzidas)	Chuveiros (unidades produzidas)
1990	48.666	0,502	7.175	149.650	2.837.880	37.448	8.941.651
1995	63.581	0,584	7.716	161.848	4.258.411	416.887	11.965.946
2000	83.613	0,645	7.909	174.425	3.876.207	833.667	16.013.135
2005	83.193	0,740	8.509	185.987	5.296.945	945.306	16.746.502
2010	108.457	0,916	10.056	194.946	7.861.223	2.182.238	19.904.509
2015	-	1,022	11.643	203.294	8.646.884	3.395.425	22.014.366
2020	-	1,144	13.785	210.433	9.431.007	5.220.300	24.124.990
2025	-	1,269	16.259	216.238	10.213.597	7.045.229	26.236.381
2030	-	1,395	19.106	220.492	10.994.656	9.158.865	28.348.539
Variação Percentual entre 1990 e 2010	122,9%	82,6%	40,2%	30,3%	177,0%	5727,4%	122,6%
Variação Percentual entre 2010 a 2030	-	52,3%	90,0%	13,1%	39,9%	319,7%	42,4%

Fonte: Adaptado de *The World Bank* (2012); Superintendência da Zona Franca de Manaus (2013); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013) até 2010. Os valores para 2015, 2020, 2025 e 2030 foram obtidos pelas projeções pelo método ARIMA (Apêndice A).

O **Consumo de Energia do Setor Residencial Brasileiro** será projetado em função da evolução dos indicadores sócio-econômicos e produção dos eletrodomésticos mais impactantes, conforme a regressão múltipla a ser discutida no Capítulo 4. Por meio de econometria pode-se identificar relações e quantificar o impacto de cada variável no consumo total.

Observa-se que o volume de produção de *Refrigeradores*, *Freezers*, *Condicionadores de Ar* e *Chuveiros* teve um crescimento muito alto nos últimos anos, tornando indispensáveis discussões sobre qual o nível atual de eficiência destes produtos e que tecnologias estão disponíveis para aumento de sua eficiência. O próximo capítulo é destinado a tais discussões.

3 TECNOLOGIAS QUE PODEM DIMINUIR O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DOMÉSTICO NO BRASIL

Conforme discutido no capítulo anterior a utilização de refrigeradores, *freezers*, condicionadores de ar e os chuveiros elétricos são os maiores impactantes no consumo de energia elétrica residencial no Brasil. Esses produtos atualmente são regulamentados pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), sendo etiquetados conforme sua eficiência junto ao Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que busca classificar os produtos de maior eficiência energética.

A eficiência de um sistema pode ser definida como sendo a capacidade desse sistema de utilizar, da melhor maneira possível, os recursos disponíveis e de aproveitar, ao máximo, as condições ambientais para obter o desempenho ótimo em alguma dimensão (MARIANO, 2007). Neste trabalho o aumento de eficiência energética está associado a produtos que desempenhem funções semelhantes, porém com menor consumo de energia.

No cenário internacional a preocupação com a eficiência energética com este tipo de eletrodoméstico foi seriamente tratada. Em 1992 o conselho e o parlamento da Comunidade Econômica Européia instituíram um comitê específico para revisão e lançamento de eletrodomésticos, culminando em um programa de etiquetagem compulsório em 1999 (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Nos Estados Unidos, o Departamento de Energia (DOE) estabelece limites máximos de consumo de energia para refrigeradores e também concede aos fabricantes incentivos financeiros proporcionais à redução do consumo de energia de seus produtos. As metas de redução e os limites máximos de consumo de energia são continuamente

atualizados, obrigando os fabricantes a melhorar constantemente a eficiência de seus produtos (PÖTTKER, 2006).

No Brasil os rótulos de Eficiência Energética são usados de forma voluntária desde 1989. No ano de 2001, mediante a crise energética, o governo brasileiro introduziu a Lei 10.295 (BRASIL, 2001) e padrões de mínima eficiência passou a ser obrigatória para os equipamentos elétricos adquirirem a Etiqueta de Eficiência Energética (ENCE) ou Selo PROCEL.

Embora os produtos em discussão sejam etiquetados quanto à sua eficiência, entende-se que ainda há espaço para melhoria: a concepção de tecnologia primária desses produtos permanece a mesma ao longo dos anos, fazendo com que novas tecnologias disponíveis ao redor do mundo possam ser utilizadas. Além disso, as alterações quanto os índices de eficiência para cada produto carecem de atualização:

- Para os refrigeradores e *freezers* a última atualização do Regulamento Específico para uso da ENCE ocorreu em 2006 (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2005a);
- Para os condicionadores de ar: em 2011 houve atualização da portaria que rege a legislação deste tipo de produto, contudo os índices de eficiência são os mesmos desde 2002. Para 2014 espera-se uma melhoria muito pouco significativa (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2011; INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2013);
- Para os chuveiros elétricos: os índices de eficiência foram definidos em 2005, entretanto tratam-se apenas de indicadores de potência consumida. Em regiões mais frias, como o Sul e Sudeste, o regulamento indica o uso de produtos de

baixa eficiência, com selo PROCEL F e G (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA, 2005b e 2014).

3.1 REFRIGERADORES E FREEZERS UTILIZADOS NO BRASIL

A necessidade por refrigeração tem um contexto histórico amplo. Segundo PÖTTKER (2006), em 1856 James James Harrinson introduziu o primeiro equipamento comercial para a produção de frio, com base no princípio de refrigeração por compressão mecânica de vapor. Até então, o resfriamento de bebidas, de alimentos e até mesmo a climatização de ambientes eram realizados com gelo natural.

Os sistemas de refrigeração mecânica eram utilizados principalmente na produção de gelo e em câmaras frias para armazenagem de alimentos e de bebidas. Esses equipamentos, geralmente de grande porte, eram movidos por máquinas a vapor, de difícil controle e operadas manualmente.

Após o surgimento do motor elétrico no final do século XIX, um novo impulso foi dado ao seguimento. Em 1905, a *Automatic Refrigerating Company*, originária da *General Electric*, utilizou as melhores idéias contidas nas patentes da época para desenvolver um sistema de refrigeração automático para estabelecimentos comerciais e residenciais. Em 1914, a *Mechanical Refrigerator Company* desenvolveu um sistema de refrigeração chamado *DOMELRE*, uma contração de *Domestic Electric Refrigerator*., conforme exposto na Figura 6. Já em 1927, a *General Electric* lançou o *Monitor Top*, que se tornou um grande sucesso em vendas, pois possuía custo e consumo de energia inferiores aos dos concorrentes. A Figura 7 mostra um anúncio veiculado pela *General Electric* (PÖTTKER, 2006).

Figura 6 - Ilustração do DOMELRE

Fonte: NAGENGAST (2004).

Figura 7 - Propaganda do Monitor Top

Fonte: NAGENGAST (2004).

O mercado de refrigeração apresentou grande crescimento ao longo dos anos e é notório que os refrigeradores são um dos eletrodomésticos mais encontrados nos domicílios. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), no ano de 2009, 93,4% dos domicílios brasileiros possuíam refrigeradores, o que equivale a 54.716 milhões de produtos. Quanto aos *freezers*, a quantidade de domicílios que tinham esses eletrodomésticos era de 8.919 milhões de domicílios, o que equivale a 15,2%.

3.1.1 Os sistemas de refrigeração por compressão em refrigeradores e freezers

Os refrigeradores e *freezers* encontrados no mercado mundial seguem, em geral, o conceito do Ciclo Padrão de Compressão a Vapor (STOCKER e JABARDO, 2002). Houve melhorias nos componentes e nos produtos atuais, no entanto a concepção termodinâmica desses produtos é bastante similar aos fabricados antigamente.

O fenômeno frigorífico da refrigeração é resultante de transformações físicas sofridas por um fluido refrigerante durante seu percurso em um sistema fechado de refrigeração. Tal sistema é composto basicamente por um compressor, um evaporador e um mecanismo de expansão (no caso dos refrigeradores domésticos, um tubo capilar), conforme exposto pela Figura 8.

Figura 8 – Representação de um sistema de refrigeração doméstico.

Observa-se pela Figura 8 que os sistemas de refrigeração são constituídos por cinco elementos principais:

- **Compressor**

O *compressor* é responsável por succionar o fluído refrigerante que retorna do evaporador e comprimi-lo por meio de uma bomba mecânica. Esse processo faz com que o refrigerante eleve acentuadamente suas pressões e temperaturas, chegando ao estado de vapor superaquecido (DINÇER, 2003). O trabalho ($\dot{W}$) necessário para o fenômeno de compressão nos refrigeradores domésticos advém de um motor elétrico de indução acoplado à bomba mecânica. A Figura 9 apresenta o mecanismo de compressão de um compressor alternativo².

Figura 9 – Representação de um mecanismo de compressor alternativo.

² Os compressores alternativos utilizam um sistema biela-manivela-pistão e são os mais utilizados em refrigeradores e *freezers* por atenderem o nível de capacidade térmica necessários e também por apresentarem menor custo de fabricação (WOO e O'NEIL, 2006).

▪ Condensador

O fluido refrigerante em alta pressão e temperatura, proveniente do compressor, realiza trocas térmicas com o meio externo ($\dot{Q}_{condensador}$), transformando-se gradualmente em líquido; contudo mantém-se em alta pressão e temperatura. Nos refrigeradores domésticos os condensadores são constituídos basicamente de tubos aramados na coloração preta, o que facilita a troca térmica com a temperatura ambiente.

▪ Válvula de Expansão ou Capilar

Os mecanismos de expansão restringem a vazão de fluido refrigerante pelo sistema, fazendo com que sua vazão seja reduzida drasticamente. Esse processo faz com que sua pressão e temperatura também sejam bastante reduzidas. Nos refrigeradores domésticos, por exemplo, apresentam *temperatura de evaporação*³ de por volta de -23,3°C.

Por apresentarem menor custo, nos refrigeradores domésticos convencionais os dispositivos de expansão normalmente utilizados são chamados de capilares. Trata-se de um tubo de cobre com diâmetro reduzido que recebe o fluido (já na fase líquida) do condensador e promove sua perda de carga, dividindo o sistema de refrigeração em um lado de alta e outro de baixa pressão (DINÇER, 2003);

▪ Evaporador

³ Valor padrão definido pela ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*).

O evaporador recebe o fluido refrigerante do capilar, ainda na fase líquida, e inicia-se um processo de evaporação; por meio da absorção do calor presente na superfície da tubulação, o refrigerante obtém energia para sua evaporação.

A fonte de calor ($\dot{Q}_{\text{evaporador}}$) nos refrigeradores domésticos são os alimentos e demais tipos de cargas térmicas a serem resfriadas ou congeladas ($\dot{Q}_{\text{alimentos}}$), e também, o próprio calor ambiente ($\dot{Q}_{\text{ambiente}}$), que tende a vencer ao longo tempo o isolamento térmico do refrigerador. A Figura 10 ilustra a troca térmica em um evaporador.

Figura 10 – Ilustração da troca térmica em um evaporador.

Ao longo de seu percurso no evaporador o refrigerante passa da fase líquida para o estado de vapor. É importante que, antes de retornar ao compressor, todo o refrigerante já se encontre totalmente em seu estado de vapor saturado, ou até mesmo de vapor superaquecido, onde não há a presença de líquido em sua composição. Por ser incompressível, a chegada de líquido ao compressor pode danificar o sistema e diminuir

a concentração de óleo lubrificante na parte mecânica do compressor (STYLIANOU e NIKANPOUR, 1996).

▪ **Refrigerantes**

Fluidos frigoríficos, fluídos refrigerantes, ou simplesmente refrigerantes, são as substâncias empregadas como veículos térmicos na realização dos ciclos de refrigeração. Além de seu desempenho adequado no sistema de refrigeração a utilização de uma substância para uso em sistemas de refrigeração ultrapassa a sua não toxicidade ou possuir propriedades termodinâmicas adequadas. Rowland e Molina⁴ (1975) mostraram que o fluído refrigerante largamente utilizado nos sistemas de refrigeração, o CFC-12 (da família dos cloro-fluor-carbonos), possuía altíssimo índice de depreciação da camada de ozônio, o que fez com que fosse descontinuado na década de 90, embora seus efeitos ainda sejam sentidos (CALM et al, 1999; KANG et al 2011).

No Brasil, o fluído mais utilizado em refrigeradores domésticos é o HFC-134a. Apesar de sua contribuição na degradação da camada de ozônio ser bastante pequena, sua contribuição ao efeito aquecimento global é significativa, conforme será tratado no item 3.2.4.

3.2 NOVAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS À REFRIGERAÇÃO DOMÉSTICA NO BRASIL

3.2.1 Os compressores com velocidade de refrigeração variável

⁴ Este trabalho deu a Robert e Molina o prêmio Nobel em Química no ano de 1995.

Em todo o processo de um sistema de refrigeração doméstico, o compressor é responsável por fornecer trabalho ao fluido refrigerante. Entretanto, seu funcionamento não é contínuo; existe, no interior dos refrigeradores, termostatos ou sensores eletrônicos (ajustáveis) que controlam seu período ligado e desligado em função da temperatura interna no produto (HERMES, 2006).

Muitos são os fatores que afetam o consumo de energia de um refrigerador, entre eles a eficiência do compressor (capacidade de refrigeração em função de seu consumo), o fluido refrigerante utilizado e sua isolamento térmica (à medida que o material é mais isolante, menor é a troca de calor entre o gabinete e o meio externo, fazendo com que o produto fique frio por mais tempo; não sendo necessário o funcionamento do compressor) (DINÇER, 2003). A Figura 11 exemplifica o consumo de energia em um refrigerador.

Figura 11 – Ilustração do consumo elétrico em um refrigerador.

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

Já no período de *Alta Demanda*, quando o refrigerador é utilizado mais vezes ocorre, também, uma maior quantia de carga térmica (alimentos, sucos, refrigerantes, etc.). Observa-se, então, que o sistema necessita maior tempo de funcionamento para suprir a demanda para absorção de calor.

No período de *Demanda Contínua* entende-se, por exemplo, que uma grande quantidade térmica foi inserida no produto, fazendo com que sistema tenha que funcionar continuamente.

O sistema de refrigeração da Figura 11 ilustra o uso de um compressor alternativo com rotação constante; em países como o Brasil, onde a frequência da energia gerada é 60Hz, os compressores funcionam em uma rotação próxima a 3600 RPM. A cada rotação do compressor, o pistão compressor (Figura 9) emite o refrigerante comprimido para os demais componentes do sistema. Desta maneira, a capacidade do compressor é fixa: ou ele está desligado, ou está ligado em sua rotação nominal.

Desta forma, o sistema acaba sendo projetado para atender a máxima carga térmica necessária, já que o compressor estará ligado (capacidade máxima) ou desligado (não há bombeamento de fluído refrigerante pelo o sistema).

Ao longo dos anos, percebeu-se que o uso de compressores que pudessem variar sua velocidade de rotação em função da carga térmica exigida pelo sistema poderia ser um grande recurso para a economia de energia. O primeiro conceito deste tipo de equipamento surgiu na Universidade de Purdue nos Estados Unidos; Cohen et al (1976) estimaram que uma economia entre 28% a 35% poderia ser obtida pela utilização de compressores que pudessem variar sua capacidade frigorífica. Lida et al (1982) utilizaram compressores de capacidade variável em bombas de calor⁵, obtendo redução

⁵ Uma bomba de calor tem um funcionamento similar a de um sistema de refrigeração, no entanto na refrigeração o evaporador é o foco do sistema para geração de frio; em uma bomba de calor o objetivo é

no consumo energético em até 26%, quando comparados a um compressor convencional.

Os resultados positivos fizeram com que este tipo de tecnologia evoluísse ao longo dos anos, fazendo com que a partir da segunda metade da última década este conceito fosse bastante aplicado em refrigeradores e *freezers* de alta eficiência, principalmente no Japão, Europa, Estados Unidos e Canadá (TASSOU e QUERESCHI, 1996; DONLON et al, 2002; PÖTTKER, 2006; MARCINICHEN et al, 2008).

A Figura 12 ilustra o consumo de energia de um sistema aplicado com um compressor alternativo de velocidade variável frente a um sistema aplicado com compressor comum, fazendo um comparativo com a Figura 11.

Figura 12 – Ilustração do funcionamento de um compressor de velocidade variável.
Fonte: adaptado de MAASS (2011).

A rotação do compressor se adéqua à necessidade frigorífica do sistema: em períodos de *Baixa Demanda*, o compressor trabalha em uma velocidade de rotação baixa e, à medida que a demanda por frio se eleva, a velocidade de rotação do compressor aumenta, propiciando maior vazão de fluido refrigerante para o sistema.

Em termos mecânicos, o conceito de um compressor de velocidade variável é similar ao de um compressor comum. Já quanto ao motor elétrico (que movimenta o *kit* mecânico), existem diferenças consideráveis: os compressores comuns apresentam motores de indução monofásicos que têm alimentação em corrente alternada (AC), fazendo com que sua rotação seja dependente da frequência da geração da rede elétrica; já os compressores de velocidade variável funcionam em corrente contínua (DC), fazendo com que sua rotação seja associada à variação de frequência solicitada por uma placa eletrônica de controle. Percebe-se que este tipo de equipamento necessita de sinais digitais e recurso eletrônico para o funcionamento. Assim, deve se utilizar na alimentação um inversor de frequência para que seja possível alimentar o produto em AC e operá-lo em DC (TOMASELLI, 2004; HA, 2006).

Fica evidente que existem custos para utilização desta tecnologia; no entanto, os produtos mais recentes com esta funcionalidade fornecem uma economia de energia de cerca de 30% (PÖTTKER, 2006; MAASS, 2011).

Em 2012 a empresa Panasonic iniciou a produção de refrigeradores com essa tecnologia no Brasil com foco no mercado *high-end*, que consiste em produtos de valor agregado a pessoas de alto poder aquisitivo.

3.2.2 Refrigeradores com compressores com tecnologia linear

Além dos compressores de velocidade variável, nos últimos anos tem se intensificado a pesquisa sobre o uso de compressores lineares. Tais compressores usam o princípio de um motor elétrico mais simples e não tem a necessidade de uma biela para revolucionar o eixo e o pistão (SUH, HEO e KIM, 2006; LEE et al 2008). A Figura 13 ilustra seu conceito.

Figura 13 – Ilustração um compressor linear.
Fonte: adaptado de MAASS (2011).

Nos compressores lineares, o mecanismo que propicia a compressão do refrigerante também é um pistão; no entanto, é a potência gerada pelo motor em “H” que faz com que o pistão se desloque contrapondo uma mola de retorno. À medida que o sistema necessita de maior capacidade térmica, a potência gerada no motor elétrico aumenta, vencendo a força da mola e gerando maior deslocamento. Em uma situação onde há necessidade de refrigeração menor, a potência gerada pelo motor também é menor, gerando menor compressão da mola e, conseqüentemente, um curso menor do pistão (BAILEY, DADD e STONE, 2011). Assim este tipo de sistema possui capacidade de refrigeração variável e, além disso, seu conceito mecânico é mais eficiente do que os dos compressores alternativos. Com a tecnologia linear podem ser obtidas reduções no consumo energético em valores superiores a 30% (BROADHURST e ORR, 2010).

A empresa sul-coreana *LG Eletronics* e a empresa neozelandesa *Fisher & Paykel* (em parceria com a brasileira *Embraco*⁶, subsidiária do grupo *Whirlpool*) são os primeiros grupos a investirem nessa tecnologia promissora lançando produtos no mercado. Pelo fato de ser uma tecnologia bastante recente, os compressores lineares não serão considerados neste trabalho, visto que seu uso em larga escala depende de grandes investimentos em instalações fabris. Além disso, até o ano de 2012, pelo fato de haverem poucos produtos deste tipo no mercado, não se sabe ao certo seu grau de confiabilidade em campo.

A Tabela 7 apresenta um comparativo entre produtos comercializados no mercado brasileiro que apresentam as tecnologias apresentadas até então.

Tabela 7 - Refrigeradores comercializados no Brasil.

Fabricante	Índice de Eficiência Energética (C/Cp)	Variação de Eficiência Energética	Código de Modelo do Produto	Classe no Selo Procel
Electrolux (compressor alternativo comum)	0,840	-	DFW48	A
Whirlpool / Consul (compressor alternativo comum)	0,805	-4,17%	CRM34G	A
Whirlpool / Kitchen Aid* (compressor alternativo comum)	0,780	-7,14%	KRK55	A
Mabe / GE (compressor alternativo comum)	0,971	15,60%	ZICS360	D
Electrolux (compressor alternativo velocidade variável)*	0,694	-17,38%	SSI79	A
Panasonic (compressor alternativo velocidade variável)	0,623	-25,83%	NR-B461YZ-W3	A
LG (compressor linear)*	0,616	-26,67%	GC-L217BSKV	A

* Produtos importados.

Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2012a).

⁶ O compressor linear desenvolvido pela *Embraco* e *Fisher & Paykel* não utiliza óleo para sua lubrificação. Trata-se um avanço na área ambiental, pois não há necessidade de descarte em uma eventual troca. A ausência de óleo também propicia melhor troca de calor no sistema de refrigeração entre o refrigerante e condensadores e evaporadores (MAASS, 2011; BAILEY, DADD e STONE, 2011).

O *Índice de Eficiência Energética (C/Cp)* é uma medida desenvolvida pelo Procel. Sua composição considera o valor de *consumo atual* do produto (*C*) dividido pelo *consumo padrão* (*Cp*), que se refere ao valor médio de consumo em produtos equivalentes em 2001, ano em que foi implantada a certificação compulsória de refrigeradores e *freezers* quanto à eficiência energética. Quanto menor o índice, mais eficiente é o refrigerador.

A terceira coluna da Tabela 7, *Variação de Eficiência Energética*, apresenta o grau de eficiência dos produtos, tomando como referência o produto *DFW48* da *Electrolux*, um exemplo comum de produto selo A no Brasil. Observa-se que os produtos em velocidade variável superam, em média, 20% a eficiência energética dos refrigeradores comuns (tipo *On/Off*) selo A.

3.2.3 Válvulas de Expansão Eletrônicas

No final da década 90, acompanhando a explosão na tecnologia de computadores, de *microchips* e de PLCs (Controladores Lógico-Programáveis) as Válvulas de Expansão Eletrônicas foram introduzidas nos produtos de refrigeração (DERN, 2005). Este tipo de equipamento substitui a utilização de capilares, controlando a vazão do sistema antes da entrada do evaporador, fazendo com que as temperaturas sejam atingidas mais rapidamente, o que gera menor consumo energético (CHOI e KIM, 2003). Apesar de propiciar melhoria técnica aos produtos, este tipo de dispositivo não é utilizado no Brasil, já que apresenta maior custo. Segundo Pöttker (2006) a aplicação desses dispositivos, combinada à aplicação de compressores de velocidade variável, implica na redução de 13% do consumo energético em relação aos sistemas com

compressores com velocidade variável e capilares. A Figura 14 ilustra o funcionamento de uma Válvula de Expansão Eletrônica.

Figura 14 – Esquema de uma Válvula de Expansão Eletrônica.
Fonte: Pöttker (2006).

À medida que há necessidade de frio, o sensor interno do refrigerador (termostato eletrônico) emite sinais eletrônicos para uma placa de controle, que por sua vez aumenta a corrente que passa pela bobina, fazendo com que o pistão suba, permitindo maior vazão de refrigerante ao evaporador. Conforme atingisse a temperatura desejada, a corrente diminui e a mola força o pistão para baixo, restringindo a vazão para o evaporador.

3.2.4 Fluidos refrigerantes aplicados em refrigeradores domésticos no Brasil

Com a descoberta dos impactos maléficos causados pelo R12 (CFC-12 ou CCl_2F_2) na camada de ozônio, o uso deste refrigerante foi descontinuado em todo o mundo, conforme acordado pelo Protocolo de Montreal em 1987. Embora os países desenvolvidos tenham eliminado seu uso em 1996, países em desenvolvimento tiveram um programa progressivo de proibição do uso. No caso do Brasil, somente no ano de 2010 a comercialização deste refrigerante foi totalmente proibida. Entretanto, seguindo as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, desde 1999 os

refrigeradores e *freezers* fabricados já não utilizam mais o R12 (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2000).

Os fabricantes migraram em para o R134a (HFC-134a ou $C_2H_2F_4$), que se trata de uma solução da família dos hidro-fluor-carbonos desenvolvida pela *DuPont* que se caracteriza principalmente por não agredir a camada de ozônio e apresentar propriedades termodinâmicas bem próximas do R12, o que facilitou a migração (DUPONT, 2012; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO, 2008).

Enquanto a maioria absoluta dos países do continente americano, africano e asiático iniciou a utilização do R134a, os países da Comunidade Européia voltaram-se para o uso de hidrocarbonetos em seus sistemas de refrigeração. Para os refrigeradores domésticos iniciou-se a utilização do isobutano (ou C_4H_{10}) (LITTLE Inc., 2002; PIMENTA, 2011).

A Tabela 8 traz um comparativo entre os refrigerantes discutidos. O indicador ODP significa *Ozone Depleting Potential* e consiste em colocar em escala o quanto um fluido refrigerante é danoso à camada de Ozônio, tomando como valor de referência o R11, que tem um único átomo de Cloro em sua composição. O indicador GWP significa *Global Warming Potential* e consiste em mensurar o quanto um quilo de refrigerante contribui para o aquecimento global; o valor de referência consiste em um quilo de CO_2 .

Tabela 8 – Características dos refrigerantes para refrigeradores e *freezers*.

Família	Composição Química	Sigla	ODP	GWP	Tempo na atmosfera (anos)
cloro-fluor-carbonos	CCl_3F	CFC-11 ou R11	1	4000	45
cloro-fluor-carbonos	CCl_2F_2	CFC-12 ou R12	1	8500	100
hidro-cloro-fluor-carbonos	$C_2H_2F_4$	HFC-134a ou R134a	0	1300	13,6
Hidrocarbonetos	C_4H_{10}	isobutano ou R600a	0	3	1
compostos inorgânicos	CO_2	744	-	1	-

Fonte: UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2012) apud WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (2007).

Observa-se que o refrigerante utilizado no mercado europeu (isobutano ou R600a) contribui em uma escala muito menor ao aquecimento global do que o R134a. Quanto às propriedades termodinâmicas, o isobutano apresenta pressões de evaporação e condensação mais baixas que as do R134a, fazendo com que sua aplicação resulte em refrigeradores e *freezers* de maior eficiência (MACLAINE-CROSS e LEONARDI, 1997). Nenhum dos refrigerantes em discussão é tóxico, no entanto o R600a é inflamável. Apesar de sua carga ser pequena nos refrigeradores e *freezers*, fazendo com que eventuais vazamentos não apresentem periculosidade, a utilização do R600a na indústria exige equipamentos e condições de segurança adequadas, como tanques especiais e aparato anti-incêndio, exigindo investimentos aos fabricantes de linha branca no Brasil.

No Brasil, o isobutano foi implantado pela empresa de origem alemã *B/S/H - Bosch und Siemens Hausgeräte* (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 2006). Mesmo com a venda desta unidade ao grupo mexicano *Mabe* em 2009, o isobutano continua sendo o refrigerante utilizado na unidade fabril em questão (REUTERS, 2009). No último ano outros dois grandes fabricantes (*Whirlpool* e *Electrolux*) lançaram produtos aplicáveis a R600a, porém em volumes de produção bastante reduzidos.

No mundo existem pesquisas referentes à utilização de diferentes tecnologias para fluídos refrigerantes, agentes de expansão e aerossóis que atendam aos requisitos técnicos, de segurança e ambientais de suas aplicações cada vez melhor (LITTLE Inc., 2002) como, por exemplo, o HFO-1234yf, com características semelhantes ao R134a, está sendo introduzido em condicionadores de ar automotivos. Esse refrigerante não atinge a camada de ozônio, apresenta GWP igual a 4 e sua permanência na atmosfera é de apenas 12 dias (TALLEY, 2010; ASAKA et al, 2011).

3.2.5 Refrigeradores baseados no efeito magneto calórico

Uma das tecnologias de refrigeração mais promissoras é a que se baseia no chamado Efeito Magneto Calórico (EMC). Este fenômeno foi descoberto em 1881 pelo físico alemão Emil Warburg, que percebeu que existiam certos tipos de ligas metálicas que, quando colocados sob a presença de campo magnético (no caso um ímã), ganhavam temperatura (REIS, 2005). O efeito de transmitir calor em função de ondas magnéticas tem sido estudado em várias áreas da engenharia, incluindo área da refrigeração. A NASA, por exemplo, utilizou este conceito para refrigeração de sensores infravermelhos atingindo temperaturas próximas ao zero absoluto (0 K ou - 273°C) (BENDFORD, 1979).

Dois ciclos de refrigeração têm sido utilizados para aproveitamento do Efeito Magneto Calórico: o ciclo de Refrigeração Magnética Passiva (*Passive Magnetic Refrigeration* - PMR), ou ciclo de Ericsson, e o ciclo de Refrigeração Magnética Ativa (*Active Magnetic Refrigeration* - AMR), ou ciclo de Brayton. Por ter sido mais utilizado nas pesquisas mais recentes, o presente trabalho apresentará o ciclo ativo (LI et al 2008; WANG e WU, 2012), conforme exposto na Figura 15.

Figura 15 – Ilustração do Ciclo de Brayton.
Fonte: Reis (2005).

Na primeira parte do ciclo ilustrada pela Figura 15, denominada *1-Processo Adiabático*, o material magneto calórico é submetido a um campo magnético externo, que aumenta sua temperatura a um valor superior à temperatura ambiente.

Na segunda parte do ciclo, *2-Processo Isocampo*, um fluido é direcionado ao material, fazendo com que o mesmo troque calor com o ambiente (radiador externo) enquanto o material magnético é resfriado, já que o fluido que advém do refrigerador está a uma temperatura menor do que o material.

Na terceira parte, *3-Processo Adiabático*, o campo magnético até então presente junto ao material magnético é retirado, fazendo com que ele perca temperatura. Desta forma, a extremidade esquerda do material tem sua temperatura diminuída a valores menores do que o radiador interno (ou interior do refrigerador).

No quarto e último estágio do ciclo, *4-Processo Isocampo*, o fluido sai do radiador externo (à temperatura ambiente) em direção ao radiador interno (interior do refrigerador). Neste caminho o fluido cede calor ao material magnético, diminuindo sua temperatura a valores mais baixos que o volume a ser refrigerado. Com a entrada do fluido no radiador interno, ocorre troca de calor com a parte interna do refrigerador. O ciclo permanece em execução de modo que o efeito de refrigeração atenda à necessidade de frigorífica do refrigerador ou *freezer*. Dependendo da temperatura que se deseja atingir, pode ser necessário utilizar ciclos sobrepostos, para que seja gerado um efeito cascata para troca de calor (EGOLF et al 2007).

O fluido utilizado não é chamado de refrigerante e sim de regenerador, já que o mesmo não passa por compressão e mudança de estado, como os refrigerantes. Nos estudos verificados, tem se utilizado composições entre álcool e água.

Por não ser necessária a compressão de gases para se obter o ciclo de refrigeração, o conceito de produtos que utilizam o Efeito Magneto Calórico é mais

eficiente do que os sistemas de refrigeração atuais; entretanto, não há consenso em quanto de energia pode-se economizar este conceito. Islam et al (2009) acreditam que produtos com base em Lantânio possam gerar refrigeradores aproximadamente 60% mais eficientes que os atuais. Já Kitanovski et al (2007) e os pesquisadores da empresa *Camfridge* (INSTITUTE OF PHYSICS, 2006) apresentaram resultados de consumo até 50% inferiores aos produtos atuais de mercado.

As limitações tecnológicas para a aplicação desta tecnologia em larga escala em refrigeradores domésticos não se constituem em problemas de engenharia de refrigeração, mas sim de ciência dos materiais. Ainda não se conhece um composto magnético barato e bom condutor térmico que seja eficiente em uma grande faixa de temperatura ambiente: os compostos utilizados atualmente, como o Gadolínio, são muito caros. Estima-se que seu custo por quilo ultrapasse US\$ 6.500. Materiais de custos mais baixos, como os lantanídeos, oxidam com facilidade, alterando seu potencial magnético (REIS, 2006; FERNANDES, 2007; BHANSALI, 2007).

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

3.3 CONDICIONADORES DE AR UTILIZADOS NO BRASIL

A primeira unidade moderna de ar condicionado foi inventada em 1902 por Willis Carrier, em Buffalo, nos EUA. Depois de se formar em engenharia mecânica na Universidade Cornell. Carrier iniciou experiências com o condicionamento de ar como

forma de resolver um problema prático para a empresa gráfica *Sackett-Wilhelms Lithographing and Publishing* de Nova Iorque. A empresa se deparava com o seu trabalho prejudicado no verão, estação em que o papel absorvia a umidade do ar e se dilatava. Por outro lado, as cores impressas nos dias úmidos não se alinhavam nem se fixavam como as cores impressas em dias mais secos, o que gerava imagens borradas e obscuras.

Carrier teorizou que poderia retirar a umidade da gráfica pelo resfriamento do ar. Seguindo aquele princípio, projetou e construiu o primeiro aparelho de ar, projetado para melhorar o controle do processo de produção na gráfica. Mais tarde, a tecnologia de Carrier foi aplicada para aumentar a produtividade nos postos de trabalho e a crescente procura daquela tecnologia levou à criação da empresa *Carrier Air Conditioning Company of America*, ainda hoje um importante fabricante de equipamentos para condicionamento de ar no mundo (NEEDHAM, 1986).

Na década de 1950, a utilização de condicionadores de ar domésticos expandiu-se de forma impressionante. No Brasil, o aumento do poder aquisitivo da população, a presença de produtos importados a preços mais competitivos devido à valorização do câmbio para importação e a presença de grandes fabricantes na Zona Franca de Manaus, permitem com que os condicionadores estejam cada vez mais presentes nos domicílios brasileiros (PUATASSO, 2011; SUPERINTENDENCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS, 2012).

3.3.1 Sistema de refrigeração nos parelhos condicionadores de ar domésticos

Embora seja utilizado em aplicações diferentes, o conceito termodinâmico dos sistemas de refrigeração para condicionamento de ar é bastante semelhante ao dos

refrigeradores e *freezers*, seguindo o princípio de refrigeração por compressão. Em aplicações residenciais, dois tipos de produtos são comumente encontrados: os aparelhos condicionadores tipo janela e os do tipo *split*.

Os condicionadores de ar tipo janela são constituídos por um conjunto mecânico único, conforme pode ser observado na Figura 16.

Figura 16 – Ilustração de um condicionador de ar tipo janela.

Por meio de um compressor o fluido refrigerante é comprimido e libera calor ao *ambiente externo* por meio do *condensador*. Passando por uma *válvula de expansão* ou um *capilar*, o fluído apresenta queda de pressão e temperatura; assim, quando direcionado ao *evaporador* ele propicia a troca térmica junto ao ar proveniente do *ambiente interno*. O *ventilador interno* é responsável por captar o ar quente proveniente do local onde se deseja refrigerar, fazendo-o passar pelo *evaporador*, retornando assim

ao ambiente em menor temperatura, caracterizando o fenômeno frigorífico (O'NEAL e PENSON, 1988).

A função do *ventilador externo* é aumentar a vazão de ar no *condensador*, melhorando a condição de troca térmica entre o fluido refrigerante (em alta temperatura) e o *ambiente externo*.

A Figura 17 apresenta um sistema de ar condicionado tipo *split*.

Figura 17 – Ilustração de um condicionador de ar tipo split.
Fonte: Adaptado de Gree (2012).

A concepção de um condicionador de ar *split* é semelhante à de um produto de janela, no entanto o sistema é dividido em duas partes. A primeira delas é a *Unidade Condensadora* que fica na área externa ao ambiente a ser refrigerado; nela estão localizados o *compressor*, o *condensador*, o *ventilador externo* e o *dispositivo de expansão*. A *Unidade Evaporadora* é composta pelo evaporador e pelo ventilador interno. Esta parte do produto fica instalada no interior do espaço a ser refrigerado. As

duas unidades são ligadas por cabos conectores que transportam o refrigerante (KIM e BULLARD, 2000).

Assim como nos refrigeradores, o funcionamento dos condicionadores de ar se dá de forma cíclica. Quando atingida a temperatura desejada (normalmente regulada no *display* do produto), o compressor e os ventiladores são desligados; quando a temperatura ambiente sobe, o produto automaticamente é ligado para manter o local resfriado.

A *temperatura de evaporação*⁷ refere-se à temperatura do refrigerante na entrada do evaporador. Um condicionador de ar não trabalha com temperaturas de evaporação tão baixas quanto à de um refrigerador, já que a função do produto é propiciar conforto térmico e não resfriar ou congelar alimentos. Essa característica faz com que a condição de compressão do refrigerante apresente maior massa específica, necessitando de maior potência elétrica do compressor para realizar a compressão. Nos condicionadores de ar domésticos, normalmente são utilizados compressores do tipo rotativos, mais eficientes que os compressores alternativos utilizados em refrigeradores.

3.4 NOVAS TECNOLOGIAS APLICÁVEIS AOS CONDICIONADORES DE AR DOMÉSTICOS NO BRASIL

3.4.1 Os compressores com velocidade de refrigeração variável em condicionadores de ar

Se nos refrigeradores e *freezers* a tecnologia de compressores de velocidade variável praticamente não é encontrada nos produtos no Brasil, nos condicionadores de

⁷ Segundo a ASHARE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), a temperatura de evaporação padronizada para refrigeradores é de -23,3°C. Já para os condicionadores de ar, essa temperatura é +7,2°C.

ar a presença dessa tecnologia é mais evidente. No ano de 2011 iniciou-se o processo de importação de produtos asiáticos com essa tecnologia, o que resultou na criação de uma portaria interministerial regulando a quantidade de importação e ações para o desenvolvimento local desta tecnologia, resguardando assim grupos com fábricas no Brasil. Além disso, o governo, em junho de 2012, aumentou o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) de 20% para 35% para todos os tipos de ar condicionado importados tipo *split* (velocidade variável ou não) no país (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR, 2011 e DUARTE, 2012).

O fato é que, apesar de já introduzidos no mercado nacional, os produtos com velocidade variável tem um preço mais acentuado, chegando a custar 50% mais caro que os produtos comuns.

Alguns fabricantes, como a *Samsung* e *LG* produzem no Brasil condicionadores de ar *inverter* (nome comercial dado aos produtos de velocidade variável) em sua linha de produtos mais sofisticada. O princípio de funcionamento é o mesmo que nos refrigeradores e *freezers*; ou seja, os compressores alteram sua velocidade de rotação em função da necessidade de frio no ambiente. Já em 2001, estudos na Universidade de Berkley apontavam que os produtos com princípio de velocidade variável desempenhavam eficiência de 15 a 45% maior do que os produtos “*On-Off*” (FRIDLEY et al 2001). Além de compressores com velocidade variável, esses produtos dispõem também de ventiladores com velocidade variável nas suas unidades condensadoras. Esses componentes do sistema variam sua velocidade rotação em resposta à necessidade de frio no ambiente a ser refrigerado, reduzindo o consumo de energia.

3.4.2 Condicionadores de ar com compressores com tecnologia linear

Embora ainda não haja condicionadores de ar com compressores lineares para condicionadores de ar, este conceito vem sendo bastante pesquisado nos últimos anos e está bastante próximo. Em 2004, pesquisadores da empresa *LG* apresentaram um protótipo funcional de compressor linear aplicado a um condicionador de ar doméstico de capacidade frigorífica nominal de 12.00 BTU/h (LEE et al 2004). A Tabela 9 apresenta um comparativo entre os índices obtidos junto a produtos do mercado nacional, incluindo produtos com velocidade variável.

Tabela 9 – Comparativo de Eficiência em Condicionadores de ar tipo *Split*.

Fabricante	Capacidade Frigorífica Nominal (BTU/h)	C.O.P (W/W)	Variação de C.O.P	Código de Modelo do Produto	Classe no Selo Procel
Whirlpool / Brastemp	12.000	3,21	-	BBJ12B	A
Whirlpool / Consul	12.000	3,21	0,00%	CBY12B	A
Electrolux	12.000	3,21	0,00%	BI12F	A
Springer Carrier	12.000	2,70	-15,89%	42RYCB012515LA	D
Gree	12.000	2,81	-12,46%	GWHN12DBND1A3A/I	C
Samsung (velocidade variável)*	12.000	4,31	34,27%	AQV12KBBAXXAZ	A
Fujitsu (velocidade variável)*	12.000	3,76	17,13%	AOBR12LCC	A
Protótipo LG (linear)	12.000	3,66	14,02%	-	-

* Produtos importados. Apresentam compressores de velocidade variável e válvulas de expansão variadas eletronicamente.

Fonte: Adaptado de Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (2012b).

O índice *Coefficient of Performance (C.O.P)* refere-se a relação de quantos Watts frigoríficos o sistema gera em função da potência elétrica consumida em Watts. Portanto, quanto maior for o valor desse índice, mais eficiente é o condicionador de ar (STOECKER e JABARDO, 2002).

Os primeiros produtos listados na Tabela 9 apresentam tecnologia “*On-Off*” (ligam o desligam em função da necessidade de frio). A coluna *Variação de C.O.P* apresenta a variação de eficiência de cada produto, tomando como referência o produto fabricado pela *Whirlpool*, da marca *Brastemp* e código BBJ12B. Percebe-se que os produtos de velocidade variável citados são mais eficientes do que o protótipo linear apresentado pela *LG*. Vale a ressalva de que o conceito mecânico do linear é mais eficiente do que dos produtos rotativos em geral; portanto, com o evolução das pesquisas existe a tendência desses produtos superarem a eficiência dos conceitos de velocidade variável atual.

3.4.3 Fluidos refrigerantes aplicados em condicionadores de ar domésticos no Brasil

O fluído refrigerante⁸ utilizado nos condicionadores de ar produzidos no Brasil é o R22 ou CHF₂Cl. Embora seu uso seja regulado conforme protocolo de Montreal, que permite sua utilização de maneira decrescente até 2040, o R22 é danoso à camada de ozônio (PROTOCOLO DE MONTREAL, 2012). Assim, possíveis programas governamentais incentivando o uso de produtos sem esse refrigerante, poderiam reduzir o tempo para descontinuação desta substância.

⁸ Por apresentarem necessitarem de pressões e temperaturas de evaporação maiores que nos refrigeradores e *freezers* (AHSRAE).

O principal substituto do R22 no exterior é o R410A, utilizado nos EUA e Ásia (PAYNE e DOMANSKI, 2002), entretanto percebe-se no mercado o surgimento do R32, uma mistura R410A, do R407C e do R290 (THE INSTITUTE OF REFRIGERATION, 2012). A Tabela 10 é uma atualização da Tabela 8 e mostra todos os fluídos refrigerantes discutidos no capítulo e seus graus de contribuições à depleção da camada de ozônio e contribuição ao aquecimento global. Os itens em azul são aplicados em condicionadores de ar domésticos.

Tabela 10 – Características dos refrigerantes para refrigeradores e condicionadores de ar.

Família	Composição Química	Sigla	ODP	GWP	Tempo na atmosfera (anos)
Clorofluorcarbonos	CCl ₃ F	CFC-11 ou R11	1	4000	45
Clorofluorcarbonos	CCl ₂ F ₂	CFC-12 ou R12	1	8500	100
Hidroclorofluorcarbonos	CHF ₂ Cl	HCFC-22 ou R22	0,034	1900	11,8
Hidroclorofluorcarbonos	CH ₂ F ₂ e CHF ₂ CF ₃	HFC-410A ou R410A	0	2340	32,6
Hidroclorofluorcarbonos	C ₂ H ₂ F ₄	HFC-134a ou R134a	0	1300	13,6
Hidroclorofluorcarbonos	-	HFC-32 ou R32	0	675	-
Hidrocarbonetos	C ₄ H ₁₀	R600a	0	3	1
Hidrocarbonetos	CH ₃ CH ₂ CH ₃	R290a	0	3	1
compostos inorgânicos	CO ₂	744	-	1	-

Fonte: adaptado de United States Environmental Protection Agency (2012) apud World Meteorological Organization (2007); Melo (2010); Peixoto (2010); The Institute of Refrigeration, (2012).

A preocupação com o uso de refrigerantes e seu impacto ambiental é crescente, por isso o uso de hidrocarbonetos e refrigerantes naturais, como a própria água e ar são objetos de discussão. Em 2004 a *Coca-Cola Company*, *Unilever* e *McDonald's* iniciaram uma parceria buscando alternativas em refrigeração para seus *freezers* e expositores comerciais, chamada *Refrigerants Naturally*. Atualmente, o grupo conta ainda com participação da transnacional *Pepsico*, do *Greenpeace* e do *United Nation Environment Programme* (UNEP), divisão das Nações Unidas responsável por sua atuação ambiental (REFRIGERANTS NATURALLY, 2012).

3.4.4 Condicionadores de ar baseados no efeito magneto calórico

Assim como refrigeradores *e freezers*, condicionadores de ar podem, no futuro, serem projetados com o princípio Magneto Calórico. No entanto, essa tecnologia ainda se encontra no campo da inovação. MUELLER et al (2010) apresentaram um protótipo de sistema de refrigeração baseado no Efeito Magneto Calórico que poderá ser utilizado em um sistema de ar condicionado; entretanto, a capacidade térmica apresentara valores de capacidade frigorífica de 375 BTU/h, um valor muito baixo se comparado às necessidades domésticas de refrigeração. Por outro lado, o *C.O.P* obtido pelo protótipo foi 5,00 W/W, comparando esse valor aos apresentados produtos da Tabela 9, pode-se dizer que o conceito é 55% mais eficiente que condicionadores de ar *On/Off* selo “A”, comercializados no Brasil, na atualidade. Segundo os autores, o conceito pode ser adaptado para produtos de capacidade frigorífica maior.

3.5 CHUVEIROS ELÉTRICOS NO BRASIL

O chuveiro elétrico é um grande impactante no consumo da energia elétrica consumida nas residências brasileiras. Este conceito é uma patente dos anos de 1950, período em que se iniciara a expansão da eletricidade no Brasil e o incremento da urbanização, difundindo-se especialmente nas regiões Sul e Sudeste e permitindo que o hábito indígena do banho diário se consolidasse. Apesar desses méritos, o chuveiro elétrico apresenta sérias desvantagens, sendo caracterizado por um nível de eficiência energética muito baixo (NOGUEIRA, 2007).

O chuveiro elétrico é um aquecedor de passagem, isto é, aquece a água no momento de uso, e para tanto requer uma potência elevada, sobretudo quando a vazão e

a diferença de temperatura desejadas são grandes. Por isso, os chuveiros, além de apresentarem alto consumo de energia nas residências (em kWh), também têm impacto direto nas condições de suprimento em capacidade elétrica oferecida pelas concessionárias de energia, já que os banhos em geral acontecem no período de maior carga da rede, entre as 18 e 21 horas (SOUZA, MIRANDA e SILVA, 2010 apud ALVARENGA, 1998).

Uma ducha elétrica pequena consome cerca de 4 kW e apresenta baixos preços, no entanto seu funcionamento exige uma potência elétrica alta, impactando os custos de geração, transmissão, distribuição de energia nas concessionárias. O que faz que em outros países, tipicamente se empregam combustíveis para aquecer água e quando se usa aquecimento elétrico, empregam-se aquecedores de acumulação, com potência bastante limitada.

O segundo grande defeito dos chuveiros é sua baixa eficiência na conversão energética. A energia elétrica é uma forma nobre de energia e sua conversão em calor provoca perda irreversível. Um chuveiro elétrico típico usa menos de 5% da disponibilidade energética que exige, o resto é desperdiçado. Enquanto a eletricidade é produzida em centrais hidrelétricas esse problema é apenas grave mas, em cenários ou regiões onde a participação da geração termelétrica é aumentada, existe um grande contra-senso: queimar um combustível para obter calor, para produzir eletricidade, para novamente obter calor significa multiplicar por três o desperdício de energia (NOGUEIRA, 2007). Devido a essas características, estudos sobre a utilização de diferentes tecnologias para aquecimento de água devem ser discutidos no Brasil.

3.6 NOVAS TECNOLOGIAS PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL

3.6.1 Aquecedores solares

A tecnologia de aquecedores solares vem sendo utilizada no Brasil desde a década de 60; no entanto, seu uso comercial em maior escala foi iniciado na década seguinte (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2005). Esse tipo de sistema é composto basicamente por *coletores solares*, um *boiler* e um *sistema elétrico auxiliar*, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Sistema de Aquecimento Solar.
Fonte: SOLETROL (2012).

Por meio dos *coletores solares*, a água é aquecida pela energia solar, sendo encaminhada ao *boiler*, que é constituído por um reservatório termicamente isolado com a função de manter a água em alta temperatura, disponibilizando-a para uso em banhos ou torneiras em geral. Em dias onde não há sol, ou mesmo em períodos noturnos onde não há reserva de água quente no *boiler*, é possível utilizar-se do *sistema elétrico auxiliar* para aquecer a água do reservatório. Em geral, esse tipo de sistema aquece a água por meio de resistências elétricas, fazendo com que seu nível de eficiência seja

baixo. Tendo em vista que o Brasil é país tropical bastante iluminado, um sistema de aquecimento bem dimensionado requer baixa utilização do *sistema elétrico auxiliar*, reduzindo o impacto no consumo de energia elétrica.

O sistema de aquecimento apresentado é bastante simples, podendo haver grandes variações tecnológicas em seu nível de automação (por exemplo, sistemas que fazem com que a água só circule pelo *boiler* em períodos de sol, evitando a mistura de água fria com água aquecida em períodos noturnos), como também na concepção dos componentes (por exemplo, existem vários tipos de placas coletoras, cujo formato ou isolamento, permitem um maior aquecimento de água por área solar de coleta).

Vale a ressalva que o conceito de um coletor solar é bastante diferente das células fotovoltaicas. A função dos coletores é captar a energia térmica vinda do sol e direcioná-la à água que passa por suas tubulações. Já as células fotovoltaicas têm a função de converter a energia luminosa do sol em energia elétrica, trata-se de um conceito mais sofisticado e caro, impróprio para uso no aquecimento de água, já que para sua utilização seria necessário converter a energia elétrica em energia térmica para aquecimento.

Tendo em vista os benéficos econômicos da utilização da energia solar para aquecimento de água, o DASOL (Departamento Nacional de Aquecimento Solar da ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento) e *Green solar* (Grupo de Estudo em Energia da PUC-Minas), financiados pelo FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos), criaram a Rede Brasil de Capacitação em Aquecimento Solar que visa dar sustentabilidade a projetos de substituição de chuveiros elétricos, capacitando e atualizando profissionais nas diferentes áreas de atuação junto ao aquecimento solar, como instaladores, bombeiros hidráulicos, técnicos em manutenção, projetistas e consultores, fabricantes e empreendedores, etc.

Em um estudo comparativo apresentado pela parceria, domicílios equivalentes com e sem aquecimento solar foram comparados e a economia de energia elétrica registrada foi de 30% a 50% (REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR, 2010), valores maiores do que a taxa média de 22,6%, apresentada no trabalho de Oliveira et al (2008), que analisaram o potencial de redução no consumo de energia para o estado de Goiás pela utilização de aquecedores solares.

O governo brasileiro tem incentivado o uso de sistemas de aquecimento solar para promover a redução tomando uma série de ações ao longo dos anos (MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA, 2010):

- QUALISOL (Programa de Qualificação de Fornecedores de Sistemas de Aquecimento Solar), que é resultado de um Protocolo firmado entre o INMETRO, o PROCEL e ABRAVA e visa aumentar o conhecimento de fornecedores em relação ao aquecimento solar, a qualidade das instalações e a satisfação do consumidor final;
- NORMASOL que foi criado com apoio do MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia) e da FINEP com o objetivo de revisar e elaborar todo o conjunto de normas relacionadas ao aquecimento solar no Brasil;
- O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) para Coletores Solares, coordenado pelo INMETRO, que definiu a metodologia, os critérios específicos e os níveis de eficiência energética para comparar os diferentes modelos de coletores disponíveis no mercado nacional.

Apesar das ações tomadas não existe um programa nacional para utilização do aquecimento solar. Além disso, um dos grandes empecilhos para expansão desta tecnologia em maior escala, sobretudo em domicílios de menor renda, é o custo

envolvido do equipamento comparado aos chuveiros e duchas elétricas, mesmo havendo a compensação tempos depois pela economia de energia gerada (NOGUEIRA, 2007; SOUZA, MIRANDA e SILVA, 2010).

3.6.2 Bombas de Calor para o aquecimento de água

Este tipo de tecnologia é bastante utilizado em regiões dos EUA, Canadá e Europa. Seu conceito é similar ao de um equipamento de refrigeração, no entanto o foco do sistema é o condensador, fazendo com que o calor por eles dissipado seja utilizado para aquecer a água (SPORKET, 2001; SILBERSTEIN, 2002). Com uma bomba de calor, uma quantidade de energia elétrica promove um efeito térmico seis a oito vezes maior do que o conseguido no chuveiro elétrico (NOGUEIRA, 2007).

Embora sejam consideravelmente eficientes quando comparadas aos chuveiros elétricos, é necessário o uso de energia elétrica para o funcionamento do compressor e, além disso, provoca discussões quanto à classificação energética e possíveis fluidos refrigerantes a serem utilizados.

Considerando o alto potencial da energia solar no Brasil, um país tropical de clima quente, as bombas de calor não serão consideradas neste trabalho.

3.6.3 Sistemas de Aquecimento de água utilizando aquecedores a GLP ou gás natural

O aquecimento de água utilizando aquecedores a Gás Natural ou GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) também são alternativas para a redução do consumo de energia elétrica no Brasil. Normalmente, este tipo de sistema é constituído basicamente em um

sistema de caldeiras que aquece a água para o uso. São subdivididos em dois tipos principais: os aquecedores de passagem (que aquecem a água somente no momento de uso) e os aquecedores de acumulação (que apresentam um sistema isolado para acumular água quente, o que aumenta sua eficiência).

No Brasil, o custo equivalente do gás (GLP ou natural) é mais baixo que o da energia elétrica, o que faz com que essa alternativa seja economicamente viável frente ao uso dos chuveiros elétricos ao longo do tempo. Segundo um estudo amplo apresentado por Lafay (2005), o baixo custo de implantação e manutenção desse tipo de sistema, faz também com que os aquecedores a gás tenham melhor viabilidade econômico-financeira frente aos sistemas de aquecimento solar, já que se desprendem totalmente da necessidade de energia elétrica, ainda necessária nos sistemas de aquecimento solar para aquecimento dos *boilers* em situações onde a água aquecida não é suficiente.

Apesar de sua viabilidade, os combustíveis utilizados por esses aquecedores não são renováveis, não sendo constituída assim uma solução sustentável (LAFAY, 2005), por isso esse conceito não será considerado neste trabalho.

3.7 OUTRAS TECNOLOGIAS QUE PODEM SER UTILIZADAS NO FUTURO PARA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA

3.7.1 Refrigeradores acionados por energia solar

A utilização de refrigeradores acionados por energia solar também se mostra promissora. Com o avanço da eletrônica, já é possível obter compressores de velocidade variável que sejam alimentados por baterias, ou mesmo por sistemas acoplados às

células fotovoltaicas, responsáveis por transformar energia térmica, advinda do sol, em energia elétrica. A empresa norte-americana *Masterflux* desenvolveu compressores de velocidade variável que podem ser alimentados em corrente contínua (característica dos geradores solares) e que podem ser aplicados em refrigeradores e condicionadores de ar.

Também, são estudados sistemas mistos de forma com que, ao longo do dia, na presença de sol, a energia gerada além de alimentar o compressor, também carregue baterias, permitindo o funcionamento do produto em horários noturnos (MASTERFLUX, 2012; EKREN ET AL 2012; HUANG et al 1998).

3.7.2 Sistema casa do futuro (*Smart House*)

No mundo moderno as pessoas estão cada vez mais atarefadas, ocasionando uma alta demanda por sistemas e dispositivos que facilitem seu dia a dia. Setores empresariais diversos voltaram sua atenção para esse mercado emergente, surgindo o conceito de *Smart House* ou Casa do Futuro, envolvendo a integração desde empresas fabricantes de computadores e equipamentos eletro-eletrônicos até companhias fornecedoras de energia elétrica, gás e água (ORATT JÚNIOR, 2001).

O conceito de *Smart House* tem sido estudado de maneiras diversas, porém suas aplicações convergem para uma situação em que eletrodomésticos sejam integrados a um computador para melhor funcionalidade, comodidade, saúde, conforto e otimização de funcionamento, resultando em melhor *performance* energética (HELAL et al, 2005). Nas *Smart Houses*, também é discutida a possibilidade de geração de energia a base de luz solar, cogitando-se ainda sua “venda” em horário de desuso para as concessionárias de energia por meio de créditos para uso posterior.

Em 2008, o *Oak Ridge Laboratory* apresentou um trabalho solicitado pelo Departamento de Energia americano (DOE – *U.S. Department of Energy*). Foi apresentado o projeto da quinta geração de casas protótipo abastecidas por energia solar. O resultado do projeto foi considerado satisfatório em relação às gerações de protótipos anteriores, apresentando uma casa que consome cerca de 40% menos de energia elétrica, em relação a uma casa equivalente comum. Trata-se de um grande avanço no objetivo do projeto, que busca obter uma casa funcional que tenha consumo energético de redes externas próximo a zero (CHRISTIAN, 2008).

Embora esse tipo de tecnologia seja factível, em curto prazo as tecnologias envolvidas para sua aplicação ainda apresentam alto custo; além disso, a implantação em domicílios já existentes é tecnicamente complexa, não sendo viável a curto e médio prazo, que é a proposta deste trabalho.

3.7.3 Refrigeradores com controles adaptativos baseado em lógica *Fuzzy*

A lógica *Fuzzy* consiste em associar informações vagas e imprecisas, de modo que possam ser utilizados para cálculos ou inferências (ZADEH, 1965). Nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos produtos com controladores que se adaptam à condição de uso de funcionamento do produto pelo uso dessa lógica. Por exemplo, o controlador percebe que em horários noturnos o refrigerador é pouco utilizado e, assim, é criado um padrão para que nesses períodos os produtos trabalhem com temperaturas maiores, já que não haverá abertura de portas. Sempre nesses períodos o refrigerador trabalha em baixa potência, permitindo maiores valores em seu interior. Quando o produto estiver perto de seu horário maior de uso, inicia-se o processo de maior abaixamento térmico, aumentando a frequência de rotação do compressor (DI FELICE et al, 2010).

4 PERSPECTIVAS PARA O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL ATÉ 2030

Conforme discutido nos capítulos anteriores, a demanda por energia elétrica no setor residencial brasileiro irá crescer nos próximos anos, assim a utilização de conceitos tecnológicos mais eficientes são importantes para minimizar seus impactos.

Este capítulo é dedicado a projetar, por meio da econometria, o consumo residencial nos próximos anos, considerando a evolução de variáveis sócio-econômicas e da produção dos eletrodomésticos de maior impacto.

A realidade do consumo energético residencial brasileiro foi projetada tomando como referência seus moldes atuais, sendo realizado um comparativo projetando mecanismos para o aumento de eficiência energética.

4.1 MODELO ECONOMETRICO PARA PROJEÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL

4.1.1 O modelo inicial

Na Figura 19 é representado o modelo econométrico de regressão proposto para o consumo de energia do país. A *Variável Dependente* - Consumo Energético Residencial - no Brasil deve ser regredida ao longo dos anos junto às *Variáveis Explicativas* (PIB, Produção de Eletrodomésticos, etc.). Ou seja, o comportamento da *Variável Dependente* é explicado pela variação das *Variáveis Explicativas* ao longo dos anos (Tabela 6 desta tese).

MODELO DE REGRESSÃO

Variável Dependente

Variáveis Explicativas

Figura 19 – Modelo de Regressão Inicial.

As nomenclaturas entre parênteses na figura (*Energia*, *PIB*, *PPC*, *RF*, *Chuv* e *POP*) representam o nome de cada variável do modelo.

4.1.2 Transformação da série em estacionária

Normalmente as séries temporais apresentam caráter não-estacionário, ou seja, apresentam média e variância que variam ao longo do tempo. O caráter não estacionário pode criar relações entre variáveis que não são necessariamente verdadeiras. Para propiciar caráter estacionário a esta série de dados, as variáveis foram todas tratadas em função de seu logaritmo natural ($LN_Energia$, LN_PIB , LN_PPC , LN_RF , LN_Arcon , LN_Chuv , LN_POP) (GREENE, 2008 ; GUJARATI, 2004);

4.1.3 Análise da regressão

Utilizando o software *Stata*® realizou-se a regressão por MQO das variáveis em discussão. A Figura 20 apresenta os resultados.

regress LN_Energia LN_PIB LN_PPC LN_RF LN_Arcon LN_Chuv LN_POP						
Source	SS	df	MS	Number of obs = 23		
Model	1.3950734	6	.232512233	F(6, 16) = 70.65		
Residual	.052657009	16	.003291063	Prob > F = 0.0000		
Total	1.44773041	22	.065805928	R-squared = 0.9636		
				Adj R-squared = 0.9500		
				Root MSE = .05737		

LN_Energia	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
LN_PIB	-.1488579	1.71272	-0.09	0.932	-3.779662	3.481946
LN_PPC	1.426346	1.626868	0.88	0.394	-2.022461	4.875153
LN_RF	-.1444591	.1182327	-1.22	0.239	-.3951012	.106183
LN_Arcon	.0727107	.0243871	2.98	0.009	.0210123	.124409
LN_Chuv	.4343658	.2233148	1.95	0.070	-.0390404	.907772
LN_POP	-.4351788	1.864718	-0.23	0.818	-4.388204	3.517846
_cons	-5.344207	24.31162	-0.22	0.829	-56.88253	46.19412

Figura 20 –Resultado gerado pelo Modelo de Regressão Inicial.

Os valores circulos em verde são os *coeficientes* referentes a cada uma das *Variáveis Explicativas* da tese, incluindo a variável *_cons* que representa o intercepto da regressão. Desta forma a variável *LN_Energia* é explicada pelas somatória das demais variáveis multiplicadas por seus coeficientes e somada a um valor de intercepto (STOCK e WATSON, 2004).

Os *p-values* marcados em vermelho representam a significância dos coeficientes calculados na regressão. A significância é a esperança matemática de erro dentro de um intervalo de confiança (SARTORIS, 2003). Por exemplo, um *p-value* de 0,05 significa

que a probabilidade do coeficiente obtido para a *variável independente* estar fora do intervalo calculado é de apenas 5%.

Em linhas gerais a análise econométrica requer boa avaliação de indicadores, em modelos com complexidade média e alta, valores de significância próximos a 0,100 são aceitáveis (ADKINS e HILL, 2007). Entretanto os *p-values* mostrados na Figura 20 são bastante elevados, em alguns casos com valores próximos a 1,000. Assim a regressão obtida não apresenta boa confiança e não deve ser utilizada.

4.1.4 Ajuste do modelo

O modelo de regressão proposto tem bom embasamento teórico e trabalha com indicadores econômicos temporais. Uma alternativa que pode ser analisada nesses casos é a redução de variáveis explicativas, já que seu excesso pode trazer ruído à análise de dados (GUJARATI, 2004). Foram retiradas do modelo as variáveis *LN_PIB* e *LN_POP*, já que apresentaram altos *p-values* (Figura 20), resultando no modelo abaixo representado na Figura 21.

MODELO DE REGRESSÃO

Variável Dependente

Variáveis Explicativas

Figura 21 – Modelo com a retirada das variáveis *LN_PIB* e *LN_POP*.

Utilizando o software *Stata*® é realizada a nova regressão das variáveis em discussão. A Figura 22 apresenta os resultados.

```
. regress LN_Energia LN_PPC LN_RF LN_Arcon LN_Chuv
```

Source	SS	df	MS	Number of obs =	23
Model	1.39313551	4	.348283877	F(4, 18) =	114.83
Residual	.054594898	18	.00303305	Prob > F =	0.0000
Total	1.44773041	22	.065805928	R-squared =	0.9623
				Adj R-squared =	0.9539
				Root MSE =	.05507

LN_Energia	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
LN_PPC	1.181082	.3400209	3.47	0.003	.4667243	1.895439
LN_RF	-.1467339	.1107338	-1.33	0.202	-.3793771	.0859092
LN_Arcon	.0690747	.0229285	3.01	0.007	.0209037	.1172457
LN_Chuv	.3017885	.135239	2.23	0.039	.0176619	.585915
_cons	-3.048469	1.564586	-1.95	0.067	-6.335543	.2386046

Figura 22 – Resultado gerado pela Regressão.

Na regressão com menos variáveis observa-se que os resultados se tornaram apropriados; com exceção da variável LN_RF (que representa a produção anual de Refrigeradores e *Freezers*), todos os p -valores apresentaram significância abaixo de 0,100.

O p -value de LN_RF foi de 0,202. Mesmo acima de 0,100, o valor obtido é satisfatório já que o modelo tem bom embasamento lógico e teórico. O período de análise foi limitado entre 1990 até 2012, visto que não há dados para produção dos eletrodomésticos anteriores a esse período. Entende-se que caso fosse possível trabalhar com períodos mais longos este p -value diminuiria consideravelmente.

Utilizando os coeficientes de regressão para cada variável foi possível representar Consumo de Energia Residencial ($LN_Energia$), conforme função abaixo:

$$\begin{aligned} \ln Energia_t = & 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln RF_t + 0,0691 \times \ln Arcon_t + \\ & 0,3017 \times \ln Chuv_t - 3,0484 \end{aligned} \quad (Eq\ 4.1)$$

Onde t representa o período na série temporal (nesta tese, o período é anual).

O ajuste da regressão mostrou-se bastante satisfatório, já que os coeficientes de determinação R^2 e $R^2_{ajustado}$ (circulados em azul na Figura 22) tiveram valores elevados, acima de 0,9500, ou seja, mais de 95% do *Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial* é explicado pelas variáveis da regressão.

Analisando a equação 4.1 observa-se que os coeficientes de quase todas as variáveis são positivos, ou seja, aumentando-se essas variáveis haverá aumento no consumo de energia. A única *variável explicativa* com coeficiente negativo é a referente aos *Refrigerados e Freezers*.

Isso pode ser explicado pelo fato de que em grande parte das vezes em que *Refrigeradores* são vendidos, sua função é a substituição de um equipamento antigo. Por ser um bem de consumo de vida útil relativamente alto, parte dos domicílios brasileiros apresenta produtos antigos, produzidos em períodos anteriores ao processo de etiquetagem do Selo PROCEL. Tais produtos podem consumir até quatro vezes mais do que um produto novo de mercado, isso sem considerar as novas possibilidades tecnológicas tratadas no capítulo 3 (CARDOSO, 2008).

4.1.5 Testes e análises adicionais ao modelo

Para a aceitação de um modelo econométrico, uma série de pressupostos devem ser analisados assegurando que não exista viés ou incoerências em seus dados ou especificação. O Apêndice B desta tese apresenta análises e testes estatísticos do modelo adotado, assegurando que não haja multicolinearidade, heterocedasticidade e auto-correlação entre resíduos (GUJARATI, 2004; GREENE, 2008; ADKINS e HILL, 2007).

4.2 A PROJEÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO RESIDENCIAL

A partir do modelo apresentado, é possível realizar projeções do consumo energético residencial brasileiro nos próximos anos substituindo na Equação 4.1 as projeções para as variáveis explicativas nos próximos anos, obtidas pela aplicação do método ARIMA, conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Projeções até 2030.

A Tabela 11 apresenta os valores projetados médios para o consumo de Energia Residencial até o ano de 2030. Os dados são complementares aos dados apresentados na Tabela 6 do capítulo 3 desta tese. As variáveis destacadas em azul compõem o modelo de regressão apresentado.

Tabela 11 – Projeções do Consumo de Energia do Setor Residencial Brasileiro⁹ até 2030 em valores médios.

Ano	Consumo de Energia Residencial (GWh)	PIB Real do Brasil (Trilhões de US\$)	Renda per Capta PPC Anual (US\$)	População (milhares de pessoas)	Ref. e Freezers (unidades produzidas)	Cond. De Ar (unidades produzidas)	Chuveiros (unidades produzidas)
1990	48.666	0,502	7.175	149.650	2.837.880	37.448	8.941.651
1995	63.581	0,584	7.716	161.848	4.258.411	416.887	11.965.946
2000	83.613	0,645	7.909	174.425	3.876.207	833.667	16.013.135
2005	83.193	0,74	8.509	185.987	5.296.945	945.306	16.746.502
2010	108.457	0,916	10.056	194.946	7.861.223	2.182.238	19.904.509
2015	167.476	1,022	11.643	203.294	8.646.884	3.395.425	22.014.366
2020	214.065	1,144	13.785	210.433	9.431.007	5.220.300	24.124.990
2025	269.561	1,269	16.259	216.238	10.213.597	7.045.229	26.236.381
2030	336.730	1,395	19.106	220.492	10.994.656	9.158.865	28.348.539
Variação Percentual entre 1990 e 2000	71,8%	28,5%	10,2%	16,6%	36,6%	2126,2%	79,1%
Variação Percentual entre 2000 e 2010	29,7%	42,0%	27,1%	11,8%	102,8%	161,8%	24,3%
Variação Percentual entre 2010 a 2020	97,4%	24,9%	37,1%	7,9%	20,0%	139,2%	21,2%
Variação Percentual entre 2020 a 2030	57,3%	21,9%	38,6%	4,8%	16,6%	75,4%	17,5%

⁹ Dados apresentados a cada cinco anos. Os dados anuais são apresentados no Apêndice B do trabalho.

Pelas projeções apresentadas, o consumo de energia em 2030 será quase o triplo do valor registrado em 2010. O crescimento do consumo está associado à maior evolução da economia do país e melhoria no poder aquisitivo da população que tende a consumir mais energia e comprar mais eletrodomésticos.

Os *Condicionadores de Ar* mostraram maior evolução na quantidade produzida em termos percentuais entre os eletrodomésticos discutidos. Atualmente, mesmo entre domicílios de classe média, sua penetração ainda é baixa. Em 2000, quatro fabricantes de condicionadores residenciais estavam instalados no Brasil (Electrolux, Whirlpool, Carrier e Elgin). Em 2013 o número de grandes fabricantes de condicionadores de pequeno porte no país subiu para onze (incluindo grandes multinacionais asiáticas como LG, Samsung, Hitachi). Em 2014, outros fabricantes como Daikin, Fujitsu e Toshiba devem iniciar produção nacional. O interesse de grandes fabricantes no mercado nacional reflete a economia em ascensão de um país com regiões de altas temperaturas durante todo o ano (SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS, 2013b).

O aumento do consumo energético residencial e maior possibilidade de compra são importantes e indicam melhora na condição de vida da população, entretanto é necessário que o estado assegure o suprimento energético futuro com os menores impactos possíveis.

4.3 REFLEXÕES SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA RESIDENCIAL

Conforme apresentado ao longo do capítulo 3 desta tese, existem no mundo tecnologias que, quando aplicadas, podem contribuir consideravelmente com a redução do consumo residencial. Caso o governo, por meio de incentivos fiscais ou

financiamentos, promovesse a maior comercialização de produtos de maior eficiência energética, o consumo de energia elétrica, bem como investimentos em meios de geração, poderia diminuir.

Neste item do capítulo são realizadas projeções considerando a utilização de tecnologias mais eficientes para o consumo de energia a partir de 2016.

4.3.1 Refrigeradores e *Freezers* mais eficientes

Os Refrigeradores e *Freezers* vendidos no Brasil podem ter sua eficiência aumentada conforme o item 3.2.2 desta tese. Quando comparados aos produtos selo A no Procel, o aumento em eficiência pela utilização do conceito de velocidade variável é cerca de 20%. Quando comparado a produtos selo D do Procel, o valor chega a 40%.

Desta forma, é tecnicamente factível supor que, a partir de 2016, os índices de eficiência destes produtos sejam aumentados em 20%. Como a tecnologia é sempre crescente, para 2021 também seria possível planejar mais 10% de aumento em eficiência. E para 2026, mais 10%.

A data inicial escolhida foi 2016, já que permitiria que os fabricantes nacionais se preparassem em tempo hábil para alterações. Para representar essas alterações, *ponderadores matemáticos* serão incluídos na equação 4.1 frente à variável *RF*:

- **Refrigeradores e *Freezers* a partir de 2016 com melhoria mínima de 20% em eficiência energética**

Em relação ao total do *Consumo de Energia Elétrica Residencial*, estabelecer aumento da eficiência energética em 20% de uma gama de produtos equivale a diminuir a quantidade desses produtos produzidos neste mesmo percentual.

Como no caso específico dos Refrigeradores e *Freezers* o coeficiente de regressão é negativo, ou seja, novos produtos produzidos substituem produtos de tecnologia menos eficiente; produtos mais eficientes têm um maior efeito de substituição.

Desta forma o *ponderador matemático* seria positivo, ou seja, o aumento de eficiência de 20% seria equivalente a aumentar em 20% a produção de Refrigeradores e *Freezers* (RF). A equação 4.2 mostra regressão atualizada quanto ao indicador. O *ponderador matemático* é destacado em verde para valores a partir de 2016:

$$\ln Energia_t = 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln (1,20 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln Arcon_t + 0,3017 \times \ln Chuv_t - 3,0484$$

(Eq 4.2)

- **Refrigeradores e *Freezers* a partir de 2021 com melhoria mínima de 10% em eficiência energética**

Conforme exposto no capítulo 3, muitas tecnologias disponíveis devem aumentar a eficiência energética ainda mais nos próximos anos. De maneira análoga a equação anterior, um *ponderador matemático* em verde corresponde ao aumento de 10% em eficiência a partir de 2021:

$$\ln Energia_t = 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln (1,10 \times 1,20 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln Arcon_t + 0,3017 \times \ln Chuv_t - 3,0484$$

(Eq 4.3)

- **Refrigeradores e Freezers a partir de 2026 com melhoria mínima adicional de 10% em eficiência energética**

A partir de 2026, acredita-se que a eficiência energética dos produtos deve continuar evoluindo. Assim como nas equações anteriores, um novo *ponderador matemático* em verde corresponde ao aumento de 10% em eficiência a partir de 2026:

$$\ln Energia_t = 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln (1,10 \times 1,10 \times 1,20 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln Arcon_t + 0,3017 \times \ln Chuv_t - 3,0484$$

(Eq 4.4)

4.3.2 O efeito *rebound*

Em conservação e economia energética, a definição do efeito *rebound* refere-se ao comportamento sistêmico onde as introduções de novas tecnologias mais eficientes aumentam a quantidade de uso do bem utilizado. Desta forma a eficiência energética adquirida não é percebida em sua totalidade, pois o consumidor aumentará sua frequência de uso do novo produto.

Entretanto, os *Refrigeradores e Freezers* são eletrodomésticos para conservação térmica de alimentos ligados continuamente, seu uso não aumenta ou diminui por um

produto ser mais ou menos eficiente, como ressaltam os estudos de Yu et al (2013) na China e de Nadel (2012) nos EUA.

Para os *Condicionadores de Ar*, Nadel (2012) estima o efeito *rebound* seja da ordem de 2%, pois associado ao conforto térmico, pouca diferenciação há em seu uso. Já para equipamentos para aquecimento de água, a discussão é um pouco mais complexa, já que os meios de aquecimento entre outros países possuem concepções tecnológicas diferentes e não existem estudos que quantifiquem este efeito a chuveiros e duchas elétricas. Para esta tese o valor considerado é de 10%, valor potencial mínimo do efeito *rebound* para aquecimento de água apresentado por Greening, Greene e Diffligio (2000).

4.3.3 Condicionadores de Ar mais eficientes

Para contribuir com a economia de energia residencial, projeções com ponderadores matemáticos são aplicados sequencialmente nos anos de 2016, 2021 e 2026, como fora realizado com os *Refrigeradores e Freezers*.

Conforme apresentado no item 3.4.2, um *Condicionador de Ar* com velocidade variável pode produzir uma economia de 35% frente a um produto Selo A Procel. Essa economia chega a 50% quando comparada a um produto Selo D.

Assim, é tecnicamente factível supor que a partir de 2016 os índices de eficiência destes produtos fossem aumentados em 20%. Como a tecnologia é sempre crescente, para 2021 também seria possível planejar mais 10% de aumento em eficiência. E para 2026, mais 10%.

- **Condicionadores de Ar a partir de 2016 com melhoria mínima de 20% em eficiência energética**

Em relação ao total do *Consumo de Energia Elétrica Residencial*, aumentar a eficiência energética em 20% de um produto equivale a diminuir a quantidade de produtos neste mesmo percentual. Ou seja, o equivalente produtivo seria de 80% do valor real.

O *ponderador matemático*, destacado em verde, apresenta a economia de energia, enquanto o ponderador em laranja o efeito *reubond* de 2% a partir de 2016:

$$\ln Energia_t = 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln(1,20 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln(0,80 \times 1,02 \times Arcon_t) + 0,3017 \times \ln Chuv_t - 3,0484$$

(Eq 4.5)

- **Condicionadores de Ar a partir de 2021 com melhoria mínima de 10% em eficiência energética**

A partir de 2021, acredita-se que a eficiência energética poderá ser elevada em mais 10%. A equação 4.6 atualiza a regressão, o *ponderador matemático* destacado em verde apresenta a economia de energia (90%), enquanto o ponderador em laranja o efeito *reubond*:

$$\begin{aligned}
\ln Energia_t = & 1,1810 \times \ln PPC_t \\
& - 0,1467 \times \\
& \ln (1,20 \times 0,8 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln (0,90 \times 1,02 \times 0,80 \times 1,02 \times Arcon_t) + 0,3017 \\
& \times \ln Chuv_t - 3,0484
\end{aligned}$$

(Eq 4.6)

- **Condicionadores a partir de 2026 com melhoria mínima adicional de 10% em eficiência energética**

A partir de 2026, acredita-se que a eficiência energética pode aumentar em mais 10%. O *ponderador matemático* destacado em verde apresenta a economia de energia (90%), enquanto o ponderador em laranja o efeito *rebound*. A equação 4.7 atualiza a regressão:

$$\begin{aligned}
\ln Energia_t = & 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln (1,20 \times 1,10 \times 1,10 \times RF_t) + \\
& 0,0691 \times \ln (0,90 \times 1,02 \times 0,90 \times 1,02 \times 0,80 \times 1,02 \times Arcon_t) + 0,3017 \times \ln Chuv_t - 3,0484
\end{aligned}$$

(Eq 4.7)

4.3.4 Aparelhos para aquecimento de água mais eficientes

Conforme apresentado no capítulo anterior, os *Chuveiros Elétricos* são aquecedores de passagem cuja eficiência energética é bastante baixa, desta forma a maneira mais adequada para conseguir ganhos em eficiência seria pelo uso de

Aquecedores Solares cujos valores médios de economia energética são da ordem de 30%.

Conceitualmente, os *Aquecedores Solares* podem ser considerados bens substitutos dos chuveiros elétricos (OLIVEIRA et al 2008). Desta forma, caso houvesse incentivos governamentais, haveria uma tendência de substituição de chuveiros pelos aquecedores.

- **Aumento na demanda por Aquecedores Solares a partir de 2016 com substituição de 20% dos chuveiros elétricos produzidos**

Conforme apresentado na Tabela 11, a quantidade de *Chuveiros* produzidos continuará a crescer ao longo dos próximos anos. Considerando que os aquecedores solares possam substituir 20% da quantidade de chuveiros a ser produzida, ponderadores matemáticos podem ser inclusos na equação de regressão de modo a projetar este cenário.

O *ponderador matemático* destacado em verde apresenta a economia de energia (30% de economia) pelo uso dos *Aquecedores Solares*. O *ponderador matemático* em laranja representa o efeito *rebound* de 2%. O *ponderador matemático* em azul representa a parcela de *Chuveiros* substituída a partir de 2016 (20%). E equação 4.8 apresenta os conceitos:

$$\begin{aligned} \ln Energia_t = & 1,1810 \times \ln PPC_t \\ & - 0,1467 \times \ln (1,20 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln (0,80 \times 1,02 \times Arcon_t) + \\ & 0,3017 \times \ln [0,2 \times (0,7 \times 1,02 \times Chuv_t) + 0,8 \times Chuv_t] - 3,0484 \end{aligned}$$

(Eq 4.8)

- **Aumento na demanda por Aquecedores Solares a partir de 2021 com substituição de mais 20% dos chuveiros elétricos produzidos**

Com um programa bem embasado, a quantidade de aquecedores solares que substituam os chuveiros pode crescer consideravelmente, desta forma considerar-se-á que a partir de 2021 mais 20% da produção de chuveiros seja substituída pelo aquecimento solar. Também, considera-se que seu ganho médio em economia possa ser acrescido de 30% para 45%, devido ao maior desenvolvimento tecnológico do produto.

Conforme apresentado no capítulo 3, as resistências elétricas para aquecimento nos *boilers* são os grandes responsáveis pelo consumo de energia elétrica nos sistemas de aquecimento de água por energia solar. Com a evolução técnica é possível automatizar e melhorar a concepção tecnológica desses conjuntos, ou mesmo utilizar sistemas integrados de aquecimento de passagem em períodos onde não haja água quente nos *boilers*.

A equação 4.9 apresenta os conceitos. O ponderador matemático em laranja representa o *efeito reubond*, o ponderador em verde a economia de energia (45%) e o ponderador em azul apresenta a parcela adicional de *Chuveiros* substituída por *Aquecedores Solares*:

$$\begin{aligned} \ln Energia_t = & 1,1810 \times \ln PPC_t \\ & - 0,1467 \times \ln (1,20 \times 0,8 \times RF_t) + 0,0691 \times \ln (0,90 \times 1,02 \times 0,80 \times 1,02 \times Arcon_t) + \\ & 0,3017 \times \ln [0,2 \times 0,2 \times (0,55 \times 1,02 \times Chuv_t) + 0,6 \times Chuv_t] - 3,0484 \end{aligned}$$

(Eq 4.9)

- **Aumento na demanda por Aquecedores Solares a partir de 2026 com substituição de mais 20% dos chuveiros elétricos produzidos**

Para 2026, projeta-se que os Aquecedores Solares possam vir a substituir mais 20% dos chuveiros produzidos anualmente e que seu ganho em eficiência aumente de 45% para 55%. A equação 4.10 apresenta os conceitos. O ponderador matemático em laranja representa o *efeito reubond*, o ponderador em verde a economia de energia (55%) e o ponderador em azul apresenta a parcela adicional de *Chuveiros* substituída por *Aquecedores Solares*:

$$\ln Energia_t = 1,1810 \times \ln PPC_t - 0,1467 \times \ln (1,20 \times 1,10 \times 1,10 \times RF_t) +$$

$$0,0691 \times \ln (0,90 \times 1,02 \times 0,90 \times 1,02 \times 0,80 \times 1,02 \times Arcon_t) +$$

$$0,3017 \times \ln [0,2 \times 0,2 \times 0,2 \times (0,45 \times 1,02 \times Chuv_t) + 0,4 \times Chuv_t] - 3,0484$$

(Eq 4.10)

4.3.5 Economia em Energia Elétrica possível pela projeção até 2030

As projeções apresentadas representam uma realidade futura onde a economia energética pode ser aumentada pelo uso crescente de tecnologia. A Tabela 12 apresenta um comparativo entre a realidade projetada com e sem o aumento tecnológico proposto nos itens anteriores:

Tabela 12 – Comparativo entre as Projeções do Consumo de Energia do Setor Residencial Brasileiro até 2030 em valores médios.

Ano	Consumo de Energia Residencial (GWh)	Consumo de Energia Residencial (GWh) com Redução
2015	167.476	167.476
2020	214.065	202.463
2025	269.561	240.228
2030	336.730	277.070
Economia Média (2016-2020) Percentual	5,7%	
Economia Média (2021-2025) Percentual	12,2%	
Economia Média (2026-2030) Percentual	21,5%	
Valor Médio Anual (GWh) de Redução Consumo (2016-2030)	30.705	
Economia Real Acumulada (GWh)	460.580	

Caso o aumento em eficiência energética discutido fosse implantado nos moldes discutidos, haveria grande economia no consumo de energia elétrica. No período de 2016 a 2020 a quantidade economizada seria de 5,7% em todo o setor residencial. No período de 2021 a 2025 a economia seria de 12,2%. Por fim, no período de 2026 a 2030 a economia de energia projetada seria de aproximadamente 21,5%.

Em valores absolutos, o valor economizado acumulado projetado no período de 2015 a 2030 foi **460.580 GWh**, quase quatro vezes maior que o consumo energético residencial em 2012, de 117.646 GWh, por exemplo.

Conforme apresentado no Capítulo 1 desta tese, o governo deve realizar investimentos da ordem de R\$ 200 bilhões de reais para suprir o acréscimo do consumo energia elétrica em todos os setores da economia do Brasil (não só no residencial) que passará de 520.000 GWh para 785.100 GWh anuais entre 2013 a 2022 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA e EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2013).

Com base nesta informação, o valor médio de investimento do governo para o aumento de cada GWh em energia consumido é de R\$ 754.432,29. Este valor, no entanto, refere-se à realidade ao término de 2012, ano de divulgação dos dados. Para esta tese, os dados econômicos tomam como referência o início do ano de 2014; desta forma esse valor foi corrigido no tempo pelo taxa de juros do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia - Selic¹⁰ (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2014). Portanto, o valor médio de investimento para o acréscimo anual de cada GWh atualizado é de **R\$ 816.842,70.**

Considerando que a implantação das tecnologias mais eficientes traria uma economia média no consumo anual de **30.705 GWh**, a necessidade em investimentos em geração de energia seria reduzida cerca **25¹¹ bilhões de reais até 2030.**

¹⁰ O valor médio da taxa Selic no período foi 8,273%.

¹¹ Valor exato calculado **R\$ 25.081.155.130,14.**

5 AÇÕES GOVERNAMENTAIS PARA AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL NO BRASIL

Mesmo projetando um cenário com ações intensivas para redução do consumo de energia residencial do Brasil, a taxa de crescimento ainda é alta, o que reafirma a importância de medidas de aumento na eficiência energética.

As projeções e comparativos apresentados no capítulo anterior são referentes à realidade atual de eficiência dos produtos comercializados no Brasil. É possível que nos próximos anos o governo busque o aumento da eficiência energética, no entanto as metas terão a representatividade necessária?

Embora não haja sinais de alterações significativas da política de consumo de energia elétrica pelo Procel, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) lançou em 2013 o Plano de Ação Conjunta Inova Energia.

O Inova Energia tem como objetivo fomentar e apoiar planos de negócios de inovação, coordenando ações de fomento e instrumentos de apoio financeiro disponíveis entre Finep, BNDES e ANEEL. Por meio de subscrição, empresas e empreendedores são selecionados para desenvolver projetos de inovação em energia que obrigatoriamente utilizem recursos de Pesquisa e Desenvolvimento.

Três linhas temáticas são abrangidas pelo programa: Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grid) e Transmissão em Ultra-Alta Tensão (UAT); Geração de Energia através de Fontes Alternativas; e Veículos Híbridos e Eficiência Energética Veicular.

O Inova deve contribuir para o desenvolvimento nacional, entretanto **a questão do consumo energético residencial não é tratada de maneira focalizada**. Outro fato importante, é que o valor orçado para financiamentos de **3 bilhões de reais**

(FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS, 2013) é bastante inferior à redução em investimentos em energia projetada no capítulo anterior, em **25 bilhões de reais**.

Além disso, o programa incumbido pelo aumento da eficiência energética residencial, o Procel, mostra-se desatualizado neste segmento, conforme discutido nos Capítulos 1 e 3, reforçando a necessidades de novas ações no país.

As próximas seções do capítulo foram separadas em dois grandes grupos:

- O primeiro deles refere-se a propostas iniciais para redução do consumo de energia, levando em conta as projeções apresentadas no capítulo anterior;
- O segundo grupo é focado em propostas estruturais, de planejamento e melhoria contínua que garantam o aumento da eficiência energética no setor residencial ao longo dos anos.

5.1 PROPOSTAS INICIAIS PARA IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL

Considerando o cenário projetado no Capítulo 4, onde há diminuição do crescimento do consumo energético por meio do uso de equipamentos mais eficientes, a opção imediata para sua implantação pode vir de políticas governamentais que reduzam a tributação incidente sobre produtos de maior eficiência.

5.1.1 Aumento na demanda por Refrigeradores e *Freezers* mais eficientes

A utilização de tecnologias mais eficientes normalmente apresenta um incremento de custo aos consumidores finais; no entanto a desoneração tributária sobre estes produtos pode aumentar sua competitividade.

A tributação nos Refrigeradores e *Freezers* é regida pela NCM 84182100 e NCM 84183000, respectivamente. Cada NCM (Nomenclatura Comum do Mercosul) indica a natureza dos produtos e também a tributação vigente (RECEITA FEDERAL, 2014a). No caso dos Refrigeradores e *Freezers* os impostos obrigatórios são o PIS/Pasep, o Cofins e o IPI (tributos federais). Também é obrigatório o ICMS (tributo estadual).

O Programa de Integração Social (PIS) e o Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público (Pasep), conhecidos pela sigla PIS/Pasep são tributos federais que têm o objetivo de financiar o pagamento do seguro-desemprego, abono e participação na receita dos órgãos e entidades para trabalhadores de empresas públicas e privadas (SHINGAKI, 2008).

O Cofins (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social) constitui-se como um tributo federal destinado ao financiamento da seguridade social. A arrecadação deste imposto serve como fator de segurança às arrecadações do FGTS (Fundo de Garantia por Tempo de Serviço).

O ICMS (Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação) é um imposto que cada um dos Estados institui e define sua alíquota vigente (SECRETARIA DA FAZENDA, 2014).

O IPI (Imposto sobre Produtos Industrializados) é um imposto federal incidente na produção ou importação de produtos industrializados (RECEITA FEDERAL, 2014b). Nos últimos anos o IPI tem sido utilizado como um agente moderador para

atividade econômica do país, onde sua alíquota pode ser reduzida para incentivar a comercialização de certos bens de consumo (CANO e SILVA, 2010).

A Tabela 13 apresenta um comparativo entre o preço médio de refrigeradores produzidos no Brasil e os impostos a eles inerentes. A pesquisa de preços para obtenção do preço médio, bem como o cálculo de tributação são apresentados no Apêndice C.

Tabela 13 – Preço médio e impostos referentes aos refrigeradores e *freezers* comercializados no Brasil.

	Preço Médio sem Impostos	PIS/Pasep (1,65%)	Cofins (7,60%)	ICMS¹ (12%)	IPI (15%)	Preço Médio com Impostos
Refrigeradores e Freezers	R\$ 1.361,022	R\$ 28,52	R\$ 131,35	R\$ 207,39	R\$ 259,24	R\$ 1.987,53

¹- O valor do ICMS varia de acordo a cada estado. O valor de 12% é o mais comum entre os estados que contemplam fabricantes de refrigeradores e *freezers*.

² - O valor do IPI considerado foi 15%, detalhes no Apêndice C.

A Tabela 14 faz um comparativo entre conceitos de refrigeradores no Brasil com capacidade variável de refrigeração (alta eficiência energética) e os comparam junto a refrigeradores similares, que não utilizam o conceito de capacidade variável.

A pesquisa de preços de produtos também é apresentada no Apêndice C.

Tabela 14 - Comparativo entre o preço médio de produtos (refrigeradores).

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

Comparando o preço de venda médio sem impostos entre produtos similares, que diferem basicamente no conceito de capacidade variável, é possível estimar o *Custo Médio desta Tecnologia*, R\$ 245,71. Este valor é inferior ao IPI médio recolhido no Brasil para Refrigeradores e *Freezers*, R\$ 259,24 (Tabela 13).

Desta forma, entende-se que o aumento da eficiência energética de Refrigeradores e *Freezers* em 20% a partir de 2016 (proposto no capítulo anterior) é tecnicamente e economicamente viável. O índice de eficiência energética pode aumentar em 20% para todas as classes do Selo Procel (A, B, C e D). Os produtos considerados selo A seriam isentos de IPI, tendo preços aceitáveis ao consumidor final. Esse tipo de política ainda incentivaria os fabricantes a desenvolver produtos de maior eficiência em sua estratégia mercadológica.

É evidente que tal isenção impactaria em menor arrecadação do Estado, assunto a ser discutido no item 5.1.4 deste capítulo.

5.1.2 Aumento na demanda por Condicionadores de Ar mais eficientes

De maneira análoga aos Refrigeradores e *Freezers*, os Condicionadores de Ar de maior eficiência energética poderiam ser desonerados tributariamente, promovendo maior incentivo a seu uso.

A Tabela 15 apresenta o preço médio de condicionadores de ar com capacidade frigorífica entre 9.000 e 18.000 BTU/h produzidos no Brasil e impostos incidentes, de acordo a NCM 84151011 e a NCM 84151090 (RECEITA FEDERAL, 2014a). Um melhor detalhamento sobre a construção da tabela é apresentado no Apêndice C.

Tabela 15 – Preço médio e impostos referentes aos Condicionadores de Ar comercializados no Brasil.

	Preço Médio sem Impostos	PIS/Pasep (1,65%)	Cofins (7,60%)	ICMS¹ (12%)	IPI (20%)	Preço Médio com Impostos
Condicionadores de Ar	R\$ 1.084,916	R\$ 22,73	R\$ 104,70	R\$ 165,32	R\$ 275,53	R\$ 1.653,21

¹-O valor de 12% é o mais comum para faturamento de condicionadores de ar da Zona Franca de Manaus (pólo de fabricação) a outras regiões do Brasil.

A Tabela 16 faz um comparativo entre Condicionadores de Ar com capacidade variável de refrigeração e os comparam com produtos similares, porém que não utilizam o conceito de capacidade variável (detalhes no Apêndice C).

Tabela 16 - Comparativo entre o preço médio de produtos (Condicionadores de ar).

Produto	Especificação	Preço Médio <u>sem Impostos</u>	Diferença
Samsung AQV12PSBT (inverter)	Capacidade Variável	R\$ 1.189,22	R\$ 295,55
Samsung AQ12UWBVXAZ (on/off)	Comum	R\$ 893,67	
LG AS-Q122BRW0 (inverter)	Capacidade Variável	R\$ 1.311,19	R\$ 328,13
LG TS-C122ERM (on/off)	Comum	R\$ 983,06	
Consul CBF12CB (inverter)	Capacidade Variável	R\$ 1.167,47	R\$ 216,56
Consul CBU12CB (on/off)	Comum	R\$ 950,91	
Custo Médio da Tecnologia			R\$ 280,08

Observa-se na Tabela 15 que o valor do IPI médio para *Condicionadores de Ar* em R\$ 275,53 é muito próximo ao *Custo Médio da Tecnologia* utilizada em produtos com capacidade de refrigeração variável em R\$ 280,08 (Tabela 16).

Com base nesses valores, o aumento da eficiência energética de Condicionadores de Ar em 20% a partir de 2016 (proposto no capítulo anterior) mostra-se economicamente viável. Assim como nos refrigeradores, seria possível aumentar o índice de eficiência energética em 20% para todas as classes do Selo Procel (A, B, C e D). Produtos considerados selo A seriam isentos de IPI, tendo preços aceitáveis ao consumidor final.

5.1.3 Aumento na demanda por Aquecedores Solares para água em detrimento ao uso de Chuveiros Elétricos

Diferentes dos Refrigeradores, *Freezers* e Condicionadores de Ar, a substituição dos Chuveiros e Duchas Elétricas por Aquecedores Solares envolve um maior distanciamento tecnológico e de custo.

Os Chuveiros Elétricos são equipamentos bem mais simples e de preço mais acessível à população. A Tabela 17 apresenta um comparativo ao preço médio deste tipo de produto e os impostos nele incidentes. São classificados de acordo com a NCM 8516.10.00, isentos de IPI (RECEITA FEDERAL, 2014a).

Tabela 17 - Preço médio de chuveiros e duchas elétricas.

	Preço Médio sem Impostos	PIS/Pasep (1,65%)	Cofins (7,60%)	ICMS¹ (12%)	IPI (0%)	Preço Médio com Impostos
Chuveiros e Duchas Elétricas	R\$ 95,33	R\$ 2,00	R\$ 9,20	R\$ 14,53	R\$ 0,00	R\$ 121,049

¹- O valor do ICMS varia de acordo a cada estado. O valor de 12% é o mais comum entre os estados que contemplam fabricantes de chuveiros e duchas elétricas.

Frente aos chuveiros e duchas, os aquecedores solares constituem-se em um conceito mais caro, já que são necessárias placas para aquecimento da água e reservatórios. O preço médio de aquecedores solares é R\$ 3.104,83 (método de cálculo no Apêndice C), entretanto existem no mercado produtos de conceito simplificado onde o sistema é constituído por duas placas ligadas a um reservatório sem resistência elétrica¹² e um aquecedor de passagem. Em períodos nublados é utilizado o aquecedor de passagem, semelhante aos chuveiros elétricos.

A Tabela 18 apresenta o preço médio de mercado de um produto simplificado e seus impostos incidentes. A tributação vigente para os aquecedores solares de água é definida pela NCM 8419.19.10, tais produtos têm isenção de IPI (RECEITA FEDERAL, 2014a) e também são isentos de ICMS, conforme o convênio 101/97

¹² Por não apresentar sistemas de boiler com resistência elétrica sua eficiência energética é maior de que a maioria dos conceitos de aquecimento solar.

ratificado por todos os Estados da União (PRADO, 2011). Maiores informações sobre a construção da tabela são apresentadas no Apêndice C.

Tabela 18 - Preço médio de aquecedores solares com conceito mais simplificado.

	Preço Médio sem Impostos	PIS/Pasep (1,65%)	Cofins (7,60%)	ICMS (0%)	IPI (0%)	Preço Médio com Impostos
Aquecedor Solar	R\$ 856,77	R\$ 15,58	R\$ 71,75	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 944,10

Embora o preço deste produto seja mais acessível quando comparado a outros modelos de aquecedores no mercado, seu preço é cerca de oito vezes maior do que o preço médio de um chuveiro elétrico. Desta forma, a projeção do capítulo anterior para substituição de 20% dos chuveiros produzidos por aquecedores solares a partir de 2016, é uma tarefa complexa, exigindo um conjunto de ações para alcançá-las:

- **Isenção de PIS/Pasep e Cofins para Aquecedores Solares**

A primeira ação deve ser voltada para a redução do seu preço final dos aquecedores de maneira a tornar seu preço mais acessível. Com relação aos impostos vigentes, tais produtos já apresentam isenção de IPI e ICMS. Entretanto, as isenções poderiam ser também aumentadas para o PIS/Pasep e para os Cofins.

Por se tratarem de impostos cuja arrecadação tem, em tese, finalidades trabalhistas, a isenção do PIS/Pasep e dos Cofins deve ser tratada com atenção. Segundo a Receita Federal (2014c), o governo brasileiro já isenta, destes tributos, produtos destinados à exportação, organizações cooperativas, condomínios, venda de gás natural, venda de carvão mineral, venda de energia pela Itaipu Binacional, máquinas e equipamentos utilizados na fabricação de papéis, entre outros produtos e serviços, o que torna plausível uma proposta de isenção para tecnologias de aquecimento solar.

Mesmo com a isenção tributária total (Tabela 18), a diferença de preço entre aquecedores e chuveiros elétricos continuaria muito significativa. Como uma opção para o aumento da utilização dos aquecedores solares, o programa governamental Minha Casa, Minha Vida poderia ter total adesão a esse tipo de equipamento.

▪ **Aumento do uso de Aquecedores Solares no Programa Minha Casa, Minha Vida**

O programa Minha Casa Minha Vida na área urbana é dividido por 3 faixas de renda mensal: até R\$ 1.600 (faixa 1), até R\$ 3.100 (faixa 2) e até R\$ 5.000 mil (faixa 3). Todas as construções destinadas a famílias na faixa 1 obrigatoriamente são entregues com aquecedores solares. No entanto, esta medida só é destinada à faixa de renda 1, obras para famílias classificadas nas faixas 2 ou 3 não têm obrigatoriedade de aquecedores solar (PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO, 2014; DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR, 2014).

Segundo Andrade (2012) aproximadamente 60% das construções financiadas pelo programa Minha Casa, Minha Vida são destinadas às famílias das faixas 2 e 3; desta forma a obrigatoriedade no uso de aquecedores solares para essas residências traria uma contribuição significativa para a consolidação desta tecnologia frente aos chuveiros elétricos.

Em fevereiro de 2014 o Departamento Nacional de Energia Solar (DASOL) enviou um ofício à presidência da república, aos ministros da Casa Civil, Minas e Energia, Cidades e Meio Ambiente solicitando a maior utilização da energia solar e maior adesão ao programa Minha Casa, Minha Vida (DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR, 2014a).

Outra consideração importante é que à medida que o volume de produção dos aquecedores solares aumente, o preço deve diminuir devido a ganhos em escala, aumentando a acessibilidade desta tecnologia (ALTOÉ, 2012; MOREIRA, 2013).

▪ **Informativo para comparação entre tecnologias para os consumidores**

Tendo em vista que os aquecedores solares são mais eficientes que os chuveiros elétricos, a diferença de preço pode ser avaliada em função da redução da conta de energia elétrica, trazendo incentivo aos consumidores.

Por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), o governo poderia criar informativos mostrando possibilidades ao consumidor.

Outra ação poderia ser o desenvolvimento de *softwares* de simulação, permitindo aos consumidores avaliar sua rotina de uso de água aquecida, diferença entre preços de produtos, a projeção em economia na conta de energia, etc. Este *software* poderia ser disponibilizado no site do Procel e também distribuído a lojistas no atendimento aos consumidores.

5.1.4 Comparativo econômico-financeiro entre a menor arrecadação tributária e a menor necessidade de investimentos na geração de energia elétrica pelo aumento da eficiência energética

A utilização de produtos mais eficientes poderá ajudar o país a frear o crescimento do consumo energético. Por outro lado, incentivar sua comercialização por meio de isenções tributárias pode reduzir consideravelmente a arrecadação do estado, trazendo à tona a viabilidade econômica da proposta apresentada.

A Tabela 19 quantifica perdas e ganhos de receita tributária até 2030, caso o cenário de maior eficiência energética projetado no Capítulo 4 fosse subsidiado por isenções discutidas nos itens anteriores. Para construção da tabela foram assumidas as seguintes premissas:

- Hoje em dia 85% dos Refrigeradores e *Freezers* domésticos produzidos no Brasil são classificados como Selo A (já que não há pesquisas nem banco de dados sobre este percentual, este valor foi obtido por um painel de especialistas da empresa Esmaltec S.A. e Mabe LTDA). Considerou-se que esse percentual será o mesmo após o aumento de eficiência nos índices a cada cinco anos;
- Aproximadamente 70% dos Condicionadores de Ar entre 9.000 a 18.000 BTU/h produzidos no Brasil são classificados como Selo A do Procel (como também não existem fontes confiáveis sobre este percentual, foi utilizada a opinião de especialistas das empresas Electrolux, Whirlpool e Samsung). Considerou-se que este percentual se manterá após o aumento de eficiência nos índices a cada cinco anos;
- Para o cálculo das alterações na receita tributária, o preço médio dos Refrigeradores e *Freezers* considerado foi R\$ 1.901,11 (Tabela 13) e para os Condicionadores de Ar R\$ 1.653,21 (Tabela 15);
- Uma alíquota de 20% de IPI foi incorporada junto aos Chuveiros e Duchas Elétricas a partir de 2016, já que do ponto de vista da eficiência energética, não há justificativa para que sejam isentos. Considerando o preço médio do atual R\$

121,05 (Tabela 17), o acréscimo médio de IPI no preço final do produto seria R\$ 24,21;

- Para os Aquecedores Solares o preço médio utilizado foi R\$ 2.024,47 (média aritmética entre o preço médio de produtos convencionais do mercado e modelo de baixo custo). A isenção de PIS/Pasep e Cofins somada seria de R\$ 187,26;
- A previsão de produção de Refrigeradores, *Freezers* e Condicionadores de Ar seguiu o método ARIMA (conforme Capítulo 2);
- Para os sistemas de aquecimento de água, considerou-se que os Aquecedores Solares irão substituir os Chuveiros Elétricos gradativamente, conforme Capítulo 4, resultando na diminuição do volume de Chuveiros e Duchas Elétricas;
- Para projeção da perda de arrecadação de impostos nos Aquecedores Solares, considerou-se que o volume de produtos que deixarão de ter impostos recolhidos é o equivalente a 1,00 % da produção total de Chuveiros projetada originalmente pelo ARIMA (Capítulo 2) até 2030, haja vista que a alta demanda futura por Aquecedores Solares só ocorrerá em função de ações governamentais específicas, portanto não deve ser vista como perda de receita, já que esse volume de produção não ocorreria originalmente. O valor de 1,0% foi definido com base na produção de reservatórios para aquecedores em 2012 em comparação a produção de chuveiros no mesmo ano (DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR, 2014b).

Tabela 19 – Alterações na arrecadação tributária devido à utilização de produtos de maior eficiência energética.

Ano	Ref. e Freezers (unidades produzidas)	Cond. De Ar (unidades produzidas)	Chuveiros (unidades produzidas)	Aquec. Solares (unidades produzidas)	Ref. e Freezers (Redução de Receita em Impostos ¹)	Cond. De Ar (Redução de Receita em Impostos ¹)	Chuveiros (Ganho de Receita em Impostos ²)	Aquecedores de Água (Redução de Receita em Impostos ³)	Redução Conjunta na Arrecadação de Impostos
2016	8.803.831	3.886.520	17.949.144	4.487.286	-R\$ 1.940.034.208,74	-R\$ 749.596.998,92	R\$ 434.548.776,24	-R\$ 42.014.458,82	-R\$ 2.297.096.890,236
2017	8.960.717	4.290.479	18.286.819	4.571.705	-R\$ 1.974.605.999,91	-R\$ 827.508.975,21	R\$ 442.723.892,83	-R\$ 42.804.872,04	-R\$ 2.402.195.954,332
2018	9.117.542	4.439.692	18.624.519	4.656.130	-R\$ 2.009.164.348,98	-R\$ 856.287.835,73	R\$ 450.899.609,83	-R\$ 43.595.343,32	-R\$ 2.458.147.918,192
2019	9.274.305	4.848.551	18.962.243	4.740.561	-R\$ 2.043.709.035,56	-R\$ 935.144.879,92	R\$ 459.075.907,87	-R\$ 44.385.870,77	-R\$ 2.564.163.878,382
2020	9.431.007	5.220.300	19.299.992	4.824.998	-R\$ 2.078.240.280,04	-R\$ 1.006.844.481,30	R\$ 467.252.806,32	-R\$ 45.176.456,27	-R\$ 2.663.008.411,292
2021	9.587.648	5.507.112	14.728.324	9.818.883	-R\$ 2.112.758.082,40	-R\$ 1.062.162.198,55	R\$ 356.572.728,88	-R\$ 45.967.099,83	-R\$ 2.864.314.651,898
2022	9.744.227	5.900.361	14.981.673	9.987.782	-R\$ 2.147.262.222,29	-R\$ 1.138.008.526,43	R\$ 362.706.303,33	-R\$ 46.757.801,43	-R\$ 2.969.322.246,822
2023	9.900.745	6.282.023	15.235.040	10.156.693	-R\$ 2.181.752.920,06	-R\$ 1.211.620.058,03	R\$ 368.840.313,56	-R\$ 47.548.559,22	-R\$ 3.072.081.223,753
2024	10.057.202	6.640.001	15.488.425	10.325.617	-R\$ 2.216.230.175,73	-R\$ 1.280.663.632,87	R\$ 374.974.774,09	-R\$ 48.339.375,05	-R\$ 3.170.258.409,553
2025	10.213.597	7.045.229	15.741.829	10.494.552	-R\$ 2.250.693.768,91	-R\$ 1.358.820.362,46	R\$ 381.109.670,41	-R\$ 49.130.247,06	-R\$ 3.277.534.708,026
2026	10.369.931	7.451.008	10.663.500	15.995.251	-R\$ 2.285.143.919,99	-R\$ 1.437.083.363,97	R\$ 258.163.344,68	-R\$ 49.921.177,12	-R\$ 3.513.985.116,394
2027	10.526.204	7.855.064	10.832.461	16.248.691	-R\$ 2.319.580.628,95	-R\$ 1.515.014.048,74	R\$ 262.253.875,97	-R\$ 50.712.165,24	-R\$ 3.623.052.966,961
2028	10.682.416	8.283.583	11.001.434	16.502.150	-R\$ 2.354.003.895,80	-R\$ 1.597.662.936,79	R\$ 266.344.707,46	-R\$ 51.503.211,40	-R\$ 3.736.825.336,535
2029	10.838.567	8.718.177	11.170.418	16.755.628	-R\$ 2.388.413.720,54	-R\$ 1.681.483.516,17	R\$ 270.435.829,46	-R\$ 52.294.313,74	-R\$ 3.851.755.720,980
2030	10.994.656	9.158.865	11.339.416	17.009.123	-R\$ 2.422.809.882,80	-R\$ 1.766.479.451,42	R\$ 274.527.251,68	-R\$ 53.085.474,13	-R\$ 3.967.847.556,670

¹ - Isenção do IPI para Refrigeradores, Freezers e Condicionadores de Ar Selo A.² - Criação de uma alíquota de 20% de IPI para Chuveiros e Duchas Elétricas.³ - Isenção de PIS/Pasep e Confins para Aquecedores Solares.

Observa-se pela coluna *Redução Conjunta na Arrecadação de Impostos* da Tabela 19 que a isenção de tributos trará grandes perdas de arrecadação ao estado. No entanto, a fria comparação entre valores absolutos ano a ano não é válida, uma vez que o dinheiro tem valor no tempo, fazendo-se necessária a utilização de uma taxa de desconto adequada para avaliar o fluxo de caixa referente à perda em arrecadação em valor presente (REBELATTO, 2004; CASAROTTO FILHO e KOPITTE, 2010)

Conforme apresentado no final do capítulo anterior, a data zero desta avaliação é o ano de 2014, desta forma as perdas de arrecadação até esta data devem ser descontadas a taxa de juros definida, como ilustrado na Figura 24:

Figura 24 – Fluxo de caixa até 2030.

Por se tratar de uma avaliação de longo prazo, para a taxa de desconto decidiu-se utilizar o valor médio entre 2009 a 2013 da taxa de juros do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) de 9,597% a.a. (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2014). Considerada a taxa básica de juros da economia, entende-se que para o que o

governo não se mostre deficitário, seu acúmulo de ganhos financeiros anuais deve ser ao menos igual ao valor da Selic. O *Valor Presente Calculado* para a *Redução Conjunta na Arrecadação de Impostos* foi -R\$ 20.541.685.074,513 (aproximadamente R\$ 20,5 bilhões).

A Figura 25 apresenta um comparativo entre a redução em investimentos devido ao aumento da eficiência energética (final do Capítulo 4) e a compara com as reduções em arrecadação devido às isenções tributárias propostas.

Figura 25 – Comparativo Econômico-Financeiro da projeção realizada.

Comparados na data zero da avaliação (início de 2014), o cenário projetado para aumento da eficiência energética diminuirá em R\$ 25,081 bilhões de reais a necessidade em investimentos para geração de energia até 2030, entretanto tal cenário levará ao governo brasileiro uma redução em arrecadação de R\$ 20,541 bilhões.

Caso as propostas apresentadas sejam implantadas, este cenário trará um *Saldo Positivo* de R\$ 4,539 bilhões. Uma quantia bastante considerável que poderia ser destinada a outras áreas de necessidade do país, como educação e saúde, ou mesmo, em financiamentos para a maior utilização e desenvolvimento de aquecedores solares.

Além de seu valor econômico-financeiro, a realização de uma política voltada para maior eficiência energética contribuiria para redução de impactos ambientais na construção de usinas para geração de energia e, também, para um menor impacto no aquecimento global, já que a menor necessidade de geração diminuiria a quantidade de CO₂ lançada atmosfera anualmente.

5.2 PROPOSTAS ESTRUTURAIS DE PLANEJAMENTO E MELHORIA CONTÍNUA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR RESIDENCIAL

Para que as projeções apresentadas ao longo do trabalho sejam alcançadas, a cada cinco anos é necessário que os índices e metas sejam revisados. Desta forma, faz-se necessário que as instituições governamentais desenvolvam conhecimento tecnológico e econômico para desenvolver e implantar estratégias que garantam o aumento contínuo da eficiência energética. Os próximos itens do capítulo são destinados a esta discussão.

5.2.1 Criação de uma superintendência para assuntos relacionados ao consumo de energia elétrica residencial

No que diz respeito à estrutura organizacional política energética brasileira, o Ministério de Minas e Energia (MME) é o órgão de maior relevância, responsável pela formulação e implantação de políticas energéticas. O MME é assessorado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), órgão público responsável pela execução dos estudos de planejamento energético nacional. A Figura 26 apresenta a atual estrutura organizacional da EPE.

Figura 26 – Estrutura Organizacional da EPE.
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2014).

Dentro da EPE existem quatro diferentes diretorias, dentre elas a Diretoria de Estudos de Energia Elétrica, composta pela Superintendência de Projetos, Superintendência de Planejamento da Geração e Superintendência de Transmissão.

Nenhuma das superintendências é focada especificamente na economia de energia elétrica, sobretudo no setor residencial. Desta forma, acredita-se que uma alternativa seja a criação de uma **Superintendência de Economia no Consumo de Energia Elétrica**, que pudesse trabalhar em estudos para o aumento da eficiência energética em todos os setores da economia (não apenas no residencial, tema central deste trabalho).

No âmbito do consumo energético residencial, esta superintendência teria como possíveis funções:

- Desenvolver um grupo de estudos para conhecimento e divulgação de tecnologias de maior eficiência energética que possam ser implantadas no país em curto, médio e longo prazo. Por meio desses estudos, o governo teria embasamento para planejar e executar ações para o aumento de eficiência energética a cada cinco anos;
- Tal grupo teria, como campo de estudo, todas as principais tecnologias envolvidas no consumo residencial nacional, não somente os refrigeradores, *freezers*, condicionadores de ar e aquecedores de água. Com a gestão energética destinada a uma maior diversidade tecnológica, a eficiência energética apresentaria ganhos ainda maiores ao projetado neste trabalho;
- Criação de um conselho para discussão periódica do consumo de energia residencial, composto por membros da própria EPE, membros de outras

empresas públicas, como Eletrobrás e Inmetro, pesquisadores de instituições universitárias e membros de instituições empresariais, como Eletros e ABINEE;

- Promover junto ao Ministério da Educação (MEC) informações e subsídios para a disseminação de boas práticas na utilização de energia no âmbito residencial por meio de um programa que abranja o ensino fundamental e médio.

5.2.2 Alteração na estrutura do Programa Brasileiro de Etiquetagem para equipamentos domésticos no Brasil

A criação desta superintendência alteraria de maneira significativa a estrutura do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Nos dias atuais o PBE para os equipamentos domésticos é conduzido pelo Procel, segmento da Eletrobrás que atua em parceria com o Inmetro (órgão técnico e executor).

A presença da EPE em estudos e pesquisas forneceria subsídios para a Eletrobrás (Procel) definir suas estratégias e metas para o aumento da eficiência e para que o Inmetro realizasse sua execução.

A estratégia para economia teria participação do Ministério da Fazenda, entidade que promulgaria o incentivo à eficiência por meio da isenção de impostos. A Figura 27 simboliza as novas relações institucionais propostas.

Figura 27 – Relação institucional proposta aos órgãos públicos.

5.2.3 Atualização de programas de conscientização da população para o uso racional de energia

O programa Procel na Educação Básica foi desenvolvido pela Eletrobrás para disseminação de informações no combate ao desperdício de energia, abrangendo 21.000 escolas brasileiras no período de 1995 a 2006. Para a participação no programa, as escolas de ensino fundamental e médio, interessadas, se dirigiam à secretaria da educação para que houvesse contato com a concessionária de energia elétrica da região para inclusão em seu planejamento executivo (PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 2014).

Em 2006 o MEC contabilizou 203.973 escolas de ensino básico e médio; levando em conta os dados apresentados, o percentual abrangido pelo Procel na

Educação Básica atingiu menos de 11% das escolas brasileiras (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2007).

Entende-se que a atualização do programa deve contribuir para o maior aproveitamento dos recursos energéticos, porém sua abrangência deve ser aumentada. A execução do programa Procel na Educação poderia ser realizada diretamente pelo Ministério da Educação como um programa padrão a todas as escolas do Brasil, não se fazendo necessária a participação das concessionárias para sua realização, o que facilitaria sua execução em maior escala. Para atualização do material além da Eletrobrás, também poderiam ser obtidos conteúdos referentes a estudos da Superintendência de Economia no Consumo de Energia Elétrica, órgão da EPE cuja criação foi proposta no item 5.2.1.

As ações propostas ao longo do capítulo apresentam significativa mudança à política energética no setor residencial e, caso implantadas, direcionarão o governo a um cenário de maior integração entre órgãos e entidades, maior eficiência energética e de considerável redução da necessidade em investimentos, contribuindo para maior sustentabilidade do país.

6 CONCLUSÃO

A questão energética é fundamental para o desenvolvimento econômico e para o bem estar social, constituindo-se em um assunto que deve ser tratado com grande importância para o Brasil. No que se refere ao consumo de energia elétrica residencial, observa-se alto crescimento da demanda energética em valores muito superiores ao crescimento populacional, principalmente em função do aumento do poder aquisitivo da população nos últimos anos, gerando assim a necessidade de investimentos na geração de energia. Em contraponto à necessidade de expansão, a política brasileira referente à eficiência energética dos eletrodomésticos mostra-se pouco atuante, havendo condições para melhoria tecnológica dos conceitos atualmente utilizados.

No mundo todo é possível observar a preocupação para a evolução e criação de novas tecnologias de maior eficiência energética para eletrodomésticos em geral, sobretudo àqueles relacionados à refrigeração e aquecimento de água, de maior impacto no consumo de energia elétrica. Dado este contexto, uma das primeiras preocupações deste trabalho foi realizar uma discussão técnica a respeito de produtos e conceitos que possam melhorar a eficiência energética dos refrigeradores, condicionadores de ar e sistemas para aquecimento de água em curto e médio prazo.

Por meio de modelos econométricos, o Consumo de Energia Elétrica do Setor Residencial foi projetado até 2030, levando em conta perspectivas da Renda per Capta pareada ao Poder de Compra da população e perspectivas para produção anual de Refrigeradores, *Freezers* e Condicionadores de Ar. Dois cenários foram analisados: o primeiro considerou as projeções originais, sem alterações na política energética atual; o segundo cenário considerou ações específicas que podem ser implementadas para

aumentar a eficiência energética dos eletrodomésticos mais impactantes, permitindo estimar a economia no consumo de eletricidade anual.

As ações buscadas têm como objetivo promover o uso de Refrigeradores, *Freezers* e Condicionadores de Ar mais eficientes e, além disso, planejar o aumento de eficiência energética desses produtos a cada cinco anos. Para os sistemas de aquecimento de água foi elaborado um plano de evolução tecnológica onde Chuveiros e Duchas elétricas são gradativamente substituídos por Aquecedores Solares.

A idéia central é que a evolução tecnológica ocorra com os menores impactos possíveis aos consumidores, ou seja, os preços finais dos produtos mais eficientes devem ser acessíveis. Desta forma, buscou-se alternativas tributárias para implantação dessas tecnologias, reduzindo a incidência de impostos junto a produtos e conceitos mais eficientes. A avaliação econômico-financeiro da proposta resultou atraente, já que a redução da necessidade de investimentos em geração e distribuição de energia elétrica é superior à diminuição na arrecadação em impostos.

Para que as projeções apresentadas ao longo do trabalho sejam alcançadas, é necessário que os índices e metas sejam periodicamente revisados. Desta forma, faz-se necessário que as instituições governamentais desenvolvam conhecimento tecnológico e econômico para implantar estratégias que garantam o aumento contínuo da eficiência energética. Conforme discutido, entende-se que a estrutura governamental responsável por definir estas estratégias deva ser melhorada, contando com a atuação direta da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) junto aos demais órgãos envolvidos.

Além dos aspectos econômico-financeiros retratados, a contribuição obtida se estende a outros campos da sustentabilidade. Com a menor necessidade de energia elétrica, menores impactos ambientais devem ocorrer, sejam eles pela menor necessidade de construção e expansão de sistemas de geração, como também pela

menor emissão de CO₂ na atmosfera, principalmente em casos de geração de eletricidade por usinas termoelétricas.

Os resultados apresentados se referem somente à economia de energia no setor residencial, entretanto as ações propostas, caso implementadas, trarão benefícios também ao setor comercial, já que os produtos discutidos também são utilizados em lojas, consultórios médicos, escritórios, entre outros estabelecimentos. Assim, entende-se que o potencial de economia de energia elétrica a ser alcançado pelas ações propostas é superior ao retratado no trabalho.

A diminuição do uso dos Chuveiros Elétricos também traria benefícios adicionais ao sistema de transmissão brasileiro. Por apresentarem potência elétrica elevada, seu uso sobrecarrega o sistema de transmissão no horário de pico, das dezoito às vinte e uma horas, fator que seria sensibilizado ao longo dos anos pela implantação em maior escala dos Aquecedores Solares.

Outro fator importante é que uma política tributária voltada para eficiência energética tende a direcionar os fabricantes a buscarem produtos mais eficientes, o que deve contribuir a médio e longo prazo para o desenvolvimento tecnológico do país.

Mesmo que as propostas não sejam implantadas com exatidão aos moldes discutidos, os resultados apresentados no trabalho trazem a discussão do quão importante são as ações para aumento da eficiência energética. As metas propostas no trabalho são bastante agressivas e mesmo considerando um cenário onde sejam totalmente executadas, o consumo de energia elétrica ainda será elevado, o que corrobora com a relevância do tema e a importância da atuação direta do Estado nesta questão.

6.1 RESULTADOS OBTIDOS

6.1.1 O objetivo geral do trabalho

O objetivo geral do trabalho consistira *em avaliar as tecnologias impactantes ao consumo de energia elétrica residencial no Brasil e propor um conjunto de ações governamentais que resultem no uso de tecnologias mais eficientes nos próximos anos.* Entende-se que o objetivo foi atingido, uma vez o trabalho buscou descrever produtos de impacto ao consumo residencial, seu conceito tecnológico, tecnologias mais eficientes e meios para aplicá-las no Brasil.

Como complemento a discussão central, foi levantada a hipótese de que *reduzindo-se a quantidade de impostos sobre produtos de maior eficiência haverá significativa redução no consumo de energia elétrica e a redução de impostos será financeiramente compensada pela menor necessidade de investimentos na geração.*

A hipótese é verdadeira uma vez que no horizonte de planejamento até o ano de 2030 estima-se que haverá redução média do consumo de energia elétrica anual de 30.705 GWh. Para efeito de comparação, o valor anual reduzido corresponde a 32% da energia gerada pela hidroelétrica de Itaipu em 2000, seu ano recorde.

Com relação à avaliação econômico-financeira, a necessidade em investimentos para geração de energia até 2030 será reduzida em R\$ 25,081 bilhões e a política de estímulo fiscal resultará, para o governo brasileiro, numa diminuição em arrecadação de R\$ 20,541 bilhões. Estes valores levam a um retorno positivo de R\$ 4,539 bilhões, que poderá ser utilizado em outras áreas do setor público, como educação, saúde ou financiamento de inovações tecnológicas.

6.1.2 Os objetivos específicos do trabalho

Além do objetivo geral cinco objetivos específicos foram definidos:

- **Criação de um modelo matemático para projeção do consumo de energia elétrica no setor residencial até 2030**

Os modelos criados atenderam a proposta do trabalho, pois permitiram a projeção do consumo energético e a comparação de possibilidades para sua diminuição. Os estimadores das regressões apresentaram-se representativos. Em complemento, foram realizadas avaliações adicionais para que os pressupostos lógicos e matemáticos que embasam a modelagem em econometria fossem garantidos, propiciando confiabilidade aos valores apresentados.

- **Avaliar indicadores sócio-econômicos do Brasil frente a outros países utilizando dados padronizados do *World Bank* e da *United Nations* (UN), contextualizando a realidade atual e realizando previsões futuras por meio de séries temporais**

Indicadores sociais e econômicos do Brasil e outros países e regiões foram coletados e analisados, permitindo comparações em uma base de dados homogênea e confiável. Com a realização das projeções, foi possível discutir o que se espera no futuro para cada um desses indicadores até 2030.

- **Identificação e discussão do conceito tecnológico dos itens de maior impacto no consumo energético residencial no Brasil**

Identificou-se que os Refrigeradores, *Freezers*, Condicionadores de Ar e Chuveiros Elétricos são os produtos de maior consumo em energia e as concepções técnicas atualmente utilizadas nesses produtos foram discutidas. Em complemento, a previsão de produção anual de cada um deles foi projetada, permitindo analisar o comportamento futuro de suas demandas.

- **Identificar e discutir novas tecnologias presentes no mundo que possam contribuir para redução do consumo energético doméstico em geral, levando em conta sua adequabilidade ao contexto brasileiro**

Como complemento do objetivo anterior, fez-se necessária a identificação e discussão técnica de quais tecnologias podem ser aplicadas para o aumento da eficiência energética do setor residencial, direcionando as metas propostas no trabalho. Buscou-se discutir suas características com bom detalhamento técnico para que o texto apresentado possa ser utilizado como fonte bibliográfica para pesquisas futuras.

6.2 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

6.2.1 A importância das projeções futuras

Por meio dos modelos econométricos de séries temporais, projeções futuras podem ser obtidas a partir de dados históricos, como realizado neste trabalho. As

projeções buscam representar a realidade futura caso fatores específicos não incidam sobre a realidade analisada. Políticas governamentais, guerras, graves crises econômicas podem ocorrer, o que aumenta a incerteza sobre o futuro. Entretanto, a projeção apresentada retrata-se no cenário atual, ou seja, apresenta-se o que é esperado para o futuro caso a política de eficiência energética e o desenvolvimento econômico se mantenham dentro das perspectivas atuais, desconsiderando a presença de possíveis fatores específicos que possam vir a ocorrer.

6.2.2 A utilização dos recursos financeiros obtidos

No trabalho de projeção realizado, os aquecedores solares têm papel fundamental, pois substituirão gradativamente as duchas e chuveiros elétricos e deverão ter sua eficiência energética melhorada a cada cinco anos.

A indústria dos aquecedores solares, entretanto, ainda se manifesta como uma parcela pequena produção frente às tecnologias atualmente utilizadas e, além disso, para que a evolução da eficiência energética ocorra, é necessário que o setor invista em pesquisa e desenvolvimento, por isso, parte do resultado positivo da avaliação econômico-financeiro apresentado no trabalho, poderia ser utilizado em financiamentos a este setor.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.3.1 Pesquisa para aumento da eficiência em aquecedores solares

Do ponto de vista tecnológico, os sistemas de aquecimento solar ainda podem evoluir muito em eficiência. Desta forma, entende-se que pesquisas relacionadas a esses produtos sejam importantes.

Com a evolução e acessibilidade dos sistemas de automação, diversos mecanismos podem ser incorporados aos aquecedores solares para aumentar sua eficiência como, por exemplo, sensores de automação que permitam relacionar a quantidade de água no *boiler* em função da incidência de sol. Um sistema deste tipo poderia otimizar a quantidade de água a ser aquecida em função de dias de pouco sol, evitando o uso de resistências elétricas.

Outra necessidade é estudar a influência e possibilidades de isolamento térmica para os *boilers* e as tubulações de água aquecida nesses sistemas. Quanto melhor o isolamento, mais tempo consegue-se conservar a água aquecida pela incidência solar, assim menor será a necessidade de aquecimento por resistências.

6.3.2 Refrigeração magnética no Brasil

Embora no país existam renomados centros de pesquisa em ciências dos materiais, no que diz respeito às pesquisas relacionadas às ligas metálicas para utilização do efeito magneto-calórico, os trabalhos são pouco representativos, por isso entende-se que este campo de pesquisa deve ser incentivado, pois inserirá o país em uma nova área de pesquisas em alta tecnologia.

Entende-se que este tipo de desenvolvimento poderá trazer grande retorno financeiro à medida que se consiga viabilizar esta tecnologia em aplicações domésticas.

6.3.3 Energia solar residencial

Os equipamentos residenciais para geração de energia elétrica por sistemas fotovoltaicos e eólicos são cada vez mais pesquisados e começam a ser utilizados em escala, no mundo todo. Entende-se que trabalhos que integrem tais tecnologias aos sistemas de aquecimento solar possam ser representativos, ampliando possibilidades de aplicação e eficiência.

Existe, também, a possibilidade da utilização de refrigeradores e *freezers* alimentados diretamente em corrente contínua pela energia elétrica gerada por células fotovoltaicas. Pesquisas que analisem alternativas para viabilização desses sistemas são importantes, já que tais eletrodomésticos poderão, ao longo do tempo, ser retirados da rede elétrica comum, representando grande economia em energia.

6.3.4 Financiamento e desenvolvimento das empresas nacionais

É importante que a evolução tecnológica das soluções em energia elétrica sejam, cada vez mais, obtidas pelo desenvolvimento de empresas nacionais. Nos dias atuais, o comércio internacional e a troca de informações são bastante acelerados. Neste cenário, muitas são as críticas a respeito da perda de competitividade da indústria nacional, frente a empresas estrangeiras.

Neste sentido, são importantes pesquisas que visem aumentar a competitividade das empresas brasileiras no setor de energia residencial, avaliando os cenários mercadológicos, inovações, projetos de investimento, estudos em políticas públicas, financiamentos por órgãos públicos e privados, a legislação e suas implicações, características de comércio internacional no setor, etc.

6.3.5 Avaliação de outros eletrodomésticos

Embora o trabalho tenha sido destinado aos eletrodomésticos de maior impacto no consumo residencial, os demais eletrodomésticos comercializados hoje em dia também têm influência no consumo. Desta forma, pesquisas referentes a tecnologias para aumento do nível de eficiência energética de outros eletrodomésticos são importantes e podem apresentar contribuições substanciais para redução do consumo em eletricidade.

6.3.6 A política de taxação de eletricidade variável

São cada vez mais comuns os trabalhos e produtos dedicados à taxação variável de energia, seja ela pela utilização de relógios de medição inteligentes, que aumentam o valor cobrado em horários de pico, ou pelo mapeamento de padrões de consumo, que geram metas a serem cumpridas aos consumidores, fornecendo em alguns casos, reembolsos financeiros.

Embora esses métodos sejam menos efetivos que o aumento em eficiência, dado que limitam o uso de energia pelo consumidor, tratam-se de ações importantes. Por isso, sugere-se a realização de trabalhos que avaliem sua eficácia e promovam possíveis análises comparativas junto a outros países que já adotam ou estudam tais medidas.

6.3.7 A avaliação de eficiência energética no setor industrial

O setor industrial é o que tem maior consumo de energia elétrica no país. Desta forma, entende-se que trabalhos que visem aumentar a eficiência do setor são importantes para a sustentabilidade nacional.

Como se trata de um setor com diferentes segmentos e características, acredita-se que sejam necessários trabalhos específicos para cada segmento (metalurgia, siderurgia, automotiva, eletrônica, etc.).

6.4 CONTRIBUIÇÕES AO TEMA DE PESQUISA

No que diz respeito aos trabalhos referentes ao tema no Brasil, as primeiras discussões retrataram principalmente aspectos econômicos, como Andrade e Lobão (1997) e Goldenberg (1998) que avaliaram, respectivamente, a elasticidade de preços e o consumo de eletricidade do Brasil junto a outros países.

Dentre as publicações que acrescentaram discussões técnicas a linha de pesquisa, Cohen, Lenzen e Schaeffer (2005) apresentaram as principais fontes no consumo de energia residencial geral no país, já Ghisi, Gosch e Lamberts (2007) buscaram estratificar os eletrodomésticos de maior influência.

O presente trabalho complementa a discussão dos eletrodomésticos de maior impacto ao consumo, trazendo possibilidades de melhoria com conceitos utilizados ao redor do mundo. Do ponto de vista econômico, o trabalho posiciona-se na questão do planejamento energético futuro e o quanto a busca por eficiência pode contribuir para o desenvolvimento da país.

6.5 CONTRIBUIÇÕES PARA O GRUPO DE PESQUISA

Nos estudos de pós-graduação na linha de pesquisa em Economia, Organizações e Gestão do Conhecimento da Secretaria de Engenharia de Produção (SEP) da Universidade de São Paulo, diferentes trabalhos têm discutido questões energéticas em profundidade, englobando temas como análises sócio-ambientais, o desenvolvimento sustentável, a matriz energética nacional, o uso de fontes alternativas, entre outros. No entanto, este é o primeiro trabalho do grupo que se dedica especificamente à questão do consumo de energia elétrica do setor residencial, ampliando a área de atuação das pesquisas vigentes.

No campo da econometria, embora o grupo já tenha desenvolvido repertório razoável, com diversos trabalhos na área, este é o primeiro que utiliza modelos de séries temporais. Desta forma, acredita-se que a revisão conceitual realizada e o modelo projetado possam servir como material de estudo para outros trabalhos que utilizem este tipo de modelagem.

6.6 LIMITAÇÕES

O trabalho é baseado em conceitos de sustentabilidade (equidade social, prudência ecológica e eficiência econômica) (DIAS, 2007). Assim, discussões sobre novas tecnologias são fundamentadas em opções de melhor conceito energético, associado a impactos ambientais menores. Neste contexto, a Avaliação por Ciclo de Vida é uma maneira bastante conceituada onde o impacto geral de componentes ou produtos são avaliados, desde a extração de matéria prima, seus processos até o descarte de componentes ou do produto final (BORTOLIN, 2009). Entretanto, este conceito não será utilizado nesta tese por necessitar de informações detalhadas sobre componentes, processos de fabricação em geral, possibilidades de variação, o que foge do escopo

deste trabalho, focado em diferentes conceitos tecnológicos para diferentes tipos de produtos.

Para avaliação de projetos públicos em geral, a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) desde a década de 90 tem sido destaque em trabalhos nacionais e internacionais. Seu conceito é baseado em uma extensa avaliação de fatores (energéticos, ambientais, territoriais, políticos, etc.) que permitam a comparação e decisão entre projetos em geral, como linhas de transmissão de energia ou exploração petróleo (SANTOS, 2009). Embora seus conceitos sejam importantes, sua aplicação também foge do escopo desta tese, que considera uma cadeia de produtos já existentes e trabalha com cenários econométricos para discutir o resultado de ações voltadas à maior eficiência energética no âmbito residencial.

Também com respeito a suas limitações, este trabalho tem destina-se ao aumento da eficiência energética por meio da utilização de produtos mais eficientes, porém não discute tecnologias para geração de energia e sua eficiência, um assunto complementar ao discutido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACHÃO, C; SCHAEFFER, R. Decomposition analysis of the variations in residential electricity consumption in Brazil for the 1980–2007 period: Measuring the activity, intensity and structure effects, **Energy Policy**, Volume 37, Issue 12, December 2009, Pages 5208-5220, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.07.043>

ADKINS, L.C; HILL, R.C. **Using Stata for principles of econometrics**. 3th Edition. John Wiley & Son, Inc, 2007.

ADVANCED ENVIRONMENTAL CONCEPTS PTY LTD. **Air conditioning design strategy**. Melbourne City Council, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica Brasil**. 2 ed. Brasília, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Estudo de vida útil econômica e taxa de depreciação**, Volume 1/2. Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá, 2000.

ÁGUAS CLARAS. Materiais de construção.
Disponível em <www.mcaguasclaras.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

ALMEIDA, A.D. FONSECA, P.; SCHLMOMANN, B.; FEILBERG, N. Characterization of the household electricity consumption in the EU, potential energy savings an specific policy recommendations. **Energy and Buildings**, 43, 1884-1894. 2011.

ALTOÉ, L. **Análise técnico-econômica e ambiental da certificação brasileira do uso de aquecedores solares de água em edificações residenciais**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2012.

ALVARENGA, C. **Fontes alternativas de energia: energia solar**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 207 p.

AMERICANAS. **Eletrodomésticos**.
Disponível em <www.americanas.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

ANDRADE, G.V.M. **Políticas habitacionais brasileiras: uma avaliação do programa minha casa minha vida em suas duas edições**. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Áreas da engenharia de produção**.
Disponível em <<http://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>>. Acesso em outubro de 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. Protocolo de Montreal. 20 anos de resultados positivos. **Caderno Especial**, 2008.

AUERBACH, A. J.; GALE, W. G. The economic crisis and the fiscal crisis: 2009 and beyond. **Tax Notes**, 2009. Vol. 125, n.1

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

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic**. Fatores acumulados. Disponível em <<http://www.bcb.gov.br/?SELICACUMUL>>. Acesso em abril de 2014.

MARIANO, B.E. Conceitos Básicos de Análise de Eficiência produtiva. **Simpósio Brasileiro de Engenharia de Produção – SIMPEP 2007**.

BHANSALI, S.; RAHMAN, M.; KIM, S.; GHIRLANDA, S.; HERNANDEZ, C.; ADAMS, C.; BETHALA, B; ROSARIO, L; SAMBANDAM, S. **Prototype and simulation model for a magnetocaloric refrigerator**. Research Period: September 2002 to September 2007. University of South Florida, 2007.

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

BORTOLIN, A.R. **A avaliação do ciclo de vida: principais métodos e estudo comparativo entre o cesto de plástico e o de inox de uma lavadora de roupa**. Dissertação (Mestrado). SEP - Departamento de Engenharia de Produção. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M. **Times series analysis: forecasting and control**. San Francisco: Holden Day, 1970.

BRASIL. **Lei nº 10.295 de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17, out, 2001.

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

CALM, J.M.; WUEBBLES, D. J.; JAIN, A.K. Impacts on global ozone and climate from use and emission of 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoroethane (HCFC-123). **Climatic Change 42: 439–474**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.

CAMARANO. A. A.; KANSO, S. Perspectivas de crescimento para a população brasileira: velhos e novos resultados. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. **Texto para discussão**, n. 1426. ISSN 1415-4765.

CANO, W. SILVA, A.L.G. Política industrial do governo Lula. Texto para Discussão. **IE/UNICAMP** n. 181, julho 2010. ISSN 0103-9466.

CARDOSO, R.F. **Avaliação da economia de energia atribuída ao programa selo PROCEL em freezers e refrigeradores**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2008.

CASA E CONSTRUÇÃO.

Disponível em <www.cec.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

CASA LÍDER.

Disponível em <www.casaliderpresentes.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

CASAS BAHIA. **Eletrrodomésticos**.

Disponível em <www.casasbahia.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

CASAROTTO FILHO, N; KOPITTKE, B.H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. Ed.9. São Paulo: Atlas, 2000.

CHOI, J.M.; KIM, Y.C. Capacity modulation of an inverter-driven multi-air conditioner using electronic expansion valve. **Energy**, Vol. 28: 141-155, 2003.

CHRISTIAN, J.E. **Building a 40% energy saving home in the mixed-humid climate**. Oak Ridge National Laboratory. Research Toward Zero Energy Homes. U.S. Departamento of Energy – DOE, 2008.

COHEN, R.; HAMILTON, J. F.; EARSON, J. T. Possible Energy Conservation Through Use of Variable Capacity Compressors. **International Compressor Engineering Conference**. Paper 97, 1974.

COHEN, C.; LENZEN, M.; SCHAEFFER, R. Energy requirements of households in Brazil, **Energy Policy**, Volume 33, Issue 4, March 2005, Pages 555-562, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2003.08.021>

COIFA NOVA

Disponível em < www.coifanova.com.br/ >. Acesso em fevereiro de 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Emissões no setor de refrigeração e ar condicionado**. São Paulo, 2011.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Substituição de gás refrigerante R-134a na produção de freezers e refrigeradores. Produção mais limpa. **Casos de Sucesso**, nº37. Janeiro, 2007.

DAVIS, L.W.; FUCHS, A.; GERTLER, P.J. Cash for Coolers. **NBER Working Paper** No. 18044. National Bureau of Economic Research, 2012.

DERN, C. D. Electronic expansion valves. **ASHRAE Journal**, pp 88-90, March, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR. ABRAVA propõe ao Governo mais aquecedores solares e menos consumo de energia. **Notícias ABRAVA**, 2014a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR. **Dados de mercado**, Disponível em <<http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>>. Acesso em março de 2014b.

DI FELICE, M. PIRODDI, L.; LEVA, A.; BOER, A. Adaptive temperature control of a household refrigerator. **American Control Conference**, 2009.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

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

DONLON, J.; ACHHAMMER, J.; IWAMOTO, H.; IWASAKI, M. Power modules for appliance motor control. **Industry Applications Magazine**, Vol. 8, No. 4, July/Aug., 2002, pp. 26-34.

DUARTE, G. **Governo aumenta IPI para moto, micro-ondas e ar-condicionado**. Jornal da Globo, 01 de junho de 2012. Disponível em <<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/06/governo-aumenta-ipi-para-moto-micro-ondas-e-ar-condicionado.html>>

DUPONT. Linha Suva de Fluidos Refrigerantes. Para aplicações em Refrigeração e Ar Condicionado. **Catálogo Técnico**, 2012.

EGOLF, P.W.; KITANOVSKI, A.; VUARNOZ, D.; DIEBOLD, M.; BESSON, C. An introduction to magnetic refrigeration. **Proceeding of the 22th International Congress of Refrigeration**, ICR 07-B1-1612, August 21-26. Beijing, 2007.

ELETROBRÁS. **Eletrodomésticos: estimativa de consumo médio mensal de eletrodomésticos de acordo com um uso hipotético**. Disponível em <<http://www.eletronbras.com/ELB/main.asp?TeamID=%7B32B00ABC-E2F7-46E6-A325-1C929B14269F%7D>>. Acesso em abril de 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. INSTITUCIONAL. **Organograma 2014**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/acessoainformacao/Paginas/institucional.aspx>> Acesso em março de 2014.

EKREN, O.; MEHMET, A.E.; EREK, A. Experimental assessment of energy storage via variable speed compressor. **International Journal of Refrigeration**. Volume 34, Issue 6, September 2011, Pages 1424–1435.

EUROPEAN COMMISSION. **Energy policy for a competitive Europe**. Disponível em <http://ec.europa.eu/energy/index_en.htm>. Acesso em abril de 2011.

EXTRA. Casa e escritório. **Eletrodomésticos**. Disponível em <www.extra.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

FAST SHOP. **Eletrodomésticos**. Disponível em <www.fastshop.com.br/loja/>. Acesso em fevereiro de 2014.

FERNANDES, N.A.D. **Aplicações do efeito magnetocalórico: design e automatização de dispositivos**. Dissertação (mestrado). Universidade de Aveiro. Portugal, 2007.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. Site da Financiadora de Estudos e Projetos. **Apresentação do programa Inova energia 2013**. Disponível em <<http://www.finep.gov.br/inovaenergia>>.

FONSECA, E.S. **Paralelo político Portugal/Brasil sobre eficiência energética**. Dissertação (mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro. Portugal, 2012.

FRIDLEY, D.G.; ROSENQUIST, G.; JIANG, L. LI, A.; XIN, D.; CHENG, J. **Technical and economic analysis of energy efficiency of Chinese room air conditioners**. Lawrence Berkeley National Laboratory. University of Califórnia, 2001.

FRIGELAR. **Ar condicionado**.

Disponível em <www.frigelar.com.br/>. Acesso em fevereiro de 2014.

FROYEN, T. **Macroeconomia**. São Paulo: Saraiva, 2001.

GALL, N. **Apagão na política energética**. Instituto Fernand Braudel de Economia Mundial. Fundação Armando Álvares Penteado, São Paulo-SP. Vol. 32, 2002.

GASPAR, M. **Brasil caminha para o racionamento de energia**. Economia. Veja. São Paulo, 2012.

Disponível em <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/brasil-caminha-para-o-ramontamento-de-energia>>. Acesso em outubro de 2012.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GHISI, E; GOSCH, S; LAMBERTS, R. Electricity end-uses in the residential sector of Brazil, **Energy Policy**, Volume 35, Issue 8, August 2007, Pages 4107-4120, ISSN 0301-4215, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2007.02.020>

GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 12, n. 33, Agosto, 1998.

GREE. **Marca mundial em ar condicionado**. Disponível em <<http://www.gree.com.br/pt/>>. Acesso em Junho de 2012.

GREENE, W.H. **Econometric analysis**. 6th Edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.

GREENING, L.A; GREENE, D.L; DIFIGLIO, C. Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey. **Energy Policy**, Volume 28, Issues 6–7, June 2000, Pages 389-401, ISSN 0301-4215.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. 3 ed. São Paulo: Makron Books, 2004.

HA, S. Intelligent HVAC system for better environment. 18th International Compressor Engineering Conference. **11th International Refrigeration and Air Conditioning Conference**, July, 2006.

HEIN, E.; TRUGER, A.; VAN TREECK, T. **The European financial and economic crisis: alternative solutions from a post-Keynesian perspective**. Hans Böckler Foundation. Macroeconomic Policy Institute, 2011.

HELAL, S; MANN, W; EL-ZABADANI, H; KING, J; KADDOURA, Y; JANSEN, E. The gator tech smart house: a programmable pervasive space. **Computer** Vol. 38, 2005.

HERMES, C.J.L. **Uma metodologia para a simulação transiente de refrigeradores domésticos**. Tese de doutorado em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. Tradução da 3 ed. norte-americana. São Paulo: Thomson Learning, 2003.

HUANG, B.J.; J.M. PETRENKO; CHANG V.A e ZHUK, K.B. Solar ejector cooling system using refrigerant R141b. **Solar Energy** Vol. 64, 1998.

ISLAM, M.S.; HANH, D.T.; KHAN, F.A.; HAKIM, M.A.; MINH, D.L.; HOANG, N.N.; HAI, N.H, CHAU, N. Giant magneto-caloric effect around room temperature at moderate low field variation in $\text{La}_{0.7}(\text{Ca}_{1-x}\text{Sr}_x)_{0.3}\text{MnO}_3$ perovskites. **Physica B** 404 p. 2495–2498. Elsevier, 2009.

INSTITUTE OF PHYSICS. **Towards the magnetic fridge**. Disponível em <<http://phys.org/news64851465.html>>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio 2001-2009**, 2010.

Disponível em:

<<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PD279&sv=&t=domicilios-particulares-permanentes-por-posse-de-geladeira>>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de refrigeradores, freezers e chuveiros elétricos**. Atendimento ao usuário. Disponível em <ibge@ibge.gov.br>. Acesso em maio de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Séries estatísticas & séries históricas**.

Disponível em <http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&no=6> Acesso em abril de 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. Portaria n.º 410, de 16 de agosto de 2013. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16, ago, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. Programa brasileiro de etiquetagem. **Eficiência energética**. Disponível em <<http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficiencia.asp>> Acesso em abril de 2012a.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Linha de aparelhos elétricos fixos de aquecimento instantâneo de água. Regulamento Específico para uso da Ence.** 2005b.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Refrigeradores e assemelhados (congeladores, combinados e conservadores). Regulamento Específico para uso da Ence.** 2005a.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. Programa brasileiro de etiquetagem. **Tabela de chuveiros elétricos.** Brasília, DF, 16, fev, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. Programa brasileiro de etiquetagem. **Tabela de condicionadores de ar split hi-wall.** Brasília, DF, 05, de junho de 2012b.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Programa brasileiro de etiquetagem. **Tabela de refrigeradores e freezers.** 24 de abril de 2012a.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. **Portaria Interministerial.º 364, de 24 de dezembro de 2007.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24, dez, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. **Portaria n.º 215, de 23 de julho de 2009.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23, jul, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE. **Portaria n.º 410, de 16 de agosto de 2013.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16, ago, 2013.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **IMF eLibrary data.** Disponível em <<http://www.imf.org/external/data.htm>>. Consultado em julho de 2013.

JAEGER, M. **Brazil 2020: economic & political scenarios - update.** International topics. Deutsche Bank Research. Frankfurt, 2009.

JANUZZI, G.M. **A conservação e o uso eficiente da energia.** ComCiencia, Ed.61. São Paulo, 2004.

JAPAN CENTER FOR ECONOMIC RESEARCH. The Japanese economy in transition under population decrease. **The 33rd Medium-term Forecast of the Japanese Economy Fiscal Years 2006-2020.** Tokyo.

KANG, S.M.; POLVANI, L.M.; FYFE, J.C.; SIGMOND, M. *Impact of polar ozone depletion on subtropical precipitation.* **Science** 332, 951. New York, 2011.

KIM, M.; BULLARD, C.W. Dynamic characteristics of a R-410A split air-conditioning system. **International Journal of Refrigeration**. Volume 24, Issue 7, July 2001, Pages 652–659.

KITANOVSKI, A.; VUARNOZ, D.; DIEBOLD, M.; GONIN, G.; EGOLF, P.W. Application of magnetic refrigeration and its assessment. **Annual report**, 2007. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK. Bundesamt für Energie BFE. Suisse, 2007.

KOTZ, D. M. The financial and economic crisis of 2008: a systemic crisis of neoliberal capitalism. **Review of Radical Political Economics**, 2009. Vol. 41 n.3 305-317.

KENNEDY, P. **Manual de econometria**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

LAFAY, J.M.S. **Análise energética de sistemas de aquecimento de água com energia solar e gás**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

LEE, H; KI, S.; JUNG, S.; RHEE, W. The innovative green technology for refrigerators development of innovative linear compressor. **International Compressor Engineering Conference**. Paper 1867, 2008.

LEROY MERLIN. **Climatização e ventilação**.

Disponível em <www.leroymerlin.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

LI, J.; NUMAZAWA, T. MATSUMOTO, K.; NAKAGOME, H. Numerical modeling on reciprocating active magnetic refrigeration regenerator at room temperature. **International Cryocooler Conference**, May 17-20, 2008. Atlanta, 2008.

LIDA, K.; YAMAMOTO, T.; KURODA, T.; HIBI, H. Development of energy saving oriented variable capacity system heat pump. **ASHRAE Trans**, Vol. 88, pp. 441-449, 1982.

LITTLE Inc., A.D. Global comparative analysis of HFC and alternative Technologies for air conditioning, foam, solvent, aerosol propellant and fire protection applications. **Final Report to Alliance for Responsible Atmospheric Policy**, 2002.

MAASS, G.J. Uso da eletrônica em compressores de capacidade variável. **SEPOC – Seminário de Eletrônica de Potência e Controle 2011**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MACLAINE-CROSS, I.L.; LEONARDI, E. Why hydrocarbons save energy. **AIRAH Journal**, vol. 51, no. 6, June, pp. 33-38, 1997.

MAGAZINE LUIZA. **Eletrodomésticos**.

Disponível em <www.magazineluiza.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

MARCINICHEN, J. B.; SCHURT, L.C.; MELO, C.; VIEIRA, L.A.T. Performance evaluation of a plug-in refrigeration system running under the simultaneous control of compressor speed and expansion valve opening. **International Refrigeration and Air Conditioning Conference**. Paper 921, 2008.

MASTERFLUX. **Makers of AC and DC variable speed compressors**. Disponível em <<http://www.masterflux.com/>>. Acesso em junho de 2012.

MEDEIROS, A.L. **Regressão múltipla e o modelo ARIMA na previsão do preço da arroba do boi gordo**. Dissertação (mestrado). Instituto de Engenharia de Produção e Gestão. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2006.

MEIRA, U. Instrumentos de política para promoção da eficiência energética. **Paper apresentado no I Seminário Luso-Brasileiro de Políticas e Práticas de Eficiência Energética**, Coimbra, Portugal, 2011.

MELO, C. Uso de refrigerantes alternativos em refrigeração doméstica e equipamentos compactos de refrigeração comercial. **Difusão do uso de fluidos refrigerantes alternativos em sistemas de refrigeração e condicionamento de ar (Seminário)**. Porto Alegre, 2010.

MENDES, P. **Famílias do minha casa terão R\$ 5 mil para eletrodomésticos e móveis**. Portal G1. Brasília, 2013.

Disponível em <<http://g1.globo.com/politica/noticia/2013/06/familias-do-minha-casa-terao-r-5-mil-para-elerodomesticos-e-moveis.html>>.

MOREIRA, F.B. **Coletores solares em instalações prediais: desempenho e viabilidade técnico-econômica para sistemas de aquecimento de chuveiros**. Trabalho de diplomação em engenharia civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

MIGUEL, P.A.C.; FLEURY, A.; MELLO, C.H.P.; NAKANO, D.N.; TURRIONI, J.B.; HOO; LINDA, L.H.; MORABITO, R.; MARTINS, R.A.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Evolução da educação especial no Brasil. **Secretaria de educação especial**, 2007.

Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/brasil.pdf>>. Acesso em abril de 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2022**. Brasília, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano nacional de eficiência energética. **Premissas e diretrizes básicas na elaboração do plano**. Departamento de Desenvolvimento Energético, 2010.

Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2010/PNEf_Premissas_e_Dir_Basicas.pdf>

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Séries históricas**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em agosto de 2013.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. Portaria interministerial nº 171, de 4 de julho de 2011. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 08, jul, 2011.

MIZOBUCHIA, K.; TAKEUCHI, K. The influences of financial and non-financial factors on energy-saving behavior: a field experiment in Japan. **Energy Policy**. Volume 63, pag. 775–787. December 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Séries históricas**. Disponível em <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em agosto de 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2022**. Brasília, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano nacional de eficiência energética**. Brasília, 2010.

MIRANDA, R.B. **A influência do assoreamento na geração de energia elétrica: um estudo de caso na usina hidroelétrica de Três Irmãos-SP**. Dissertação (Mestrado). SHS - Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MIZOBUCHIA, K.; TAKEUCHI, K. The influences of financial and non-financial factors on energy-saving behavior: a field experiment in Japan. **Energy Policy**. Volume 63, pag. 775–787. December 2013.

MULLER, C.; VASILE, C.; RISSER, M.; HEITZLER, J.; KEITH, B. New air-conditioning and refrigeration Magnetocaloric gas free system. 2010 **International Symposium on Next-generation Air Conditioning and Refrigeration Technology**, February 2010. Tokyo, Japan.

NADEL, S. **The rebound effect large or small: large or small?** American Council for Energy-Efficient Economy. Washington DC, 2012.

NAGENGAST, B. Electric refrigerators vital contribution to households. **ASHRAE Journal**. pp S2-S9. November, 2004.

NASRI, F. O envelhecimento populacional no Brasil. Demografia e epidemiologia do envelhecimento. **Revista do Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein**. São Paulo, 2008. Vol. 6. s4-s6. ISSN 1679-4580.

NEEDHAM, J., **Science and Civilization: Volume 4**, Physics and Physical Technology, Part 2, Mechanical Engineering, Taipei: Caves Books Ltd., 1986.

NOGUEIRA, L.H. Uso racional: a fonte energética oculta. **Estudos avançados** 21 (59), 2007.

O'NEAL, D.L.; PENSON, S.B. **An analysis of efficiency improvements in room air conditioners**. Energy Systems Laboratory Department of Mechanical Engineering Texas A&M University, 1988.

OLIVEIRA, L.F.C; FERREIRA, R.C; ALMEIDA, R.A; LOBATO, E.J.V; MEDEIROS, A.M.M. Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares no estado de Goiás. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal , v. 28, n. 3, Sept. 2008.

ORATTI JUNIOR, O. **Smart Home : uma interface para o gerenciamento de redes domésticas**. Dissertação (Mestrado). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

PAULUCY ELETROS. **Aquecedor solar de água**.

Disponível em <www.paulucyeletros.com.br>

PAUTASSO, D. Gree no Brasil: a trajetória de uma multinacional chinesa de condicionadores de ar. **Central de Cases**. Escola Superior de Propaganda e Marketing. Porto Alegre, 2011.

PAYNE, W.V.; DOMANSKI, P.A. A Comparison of an R22 and an R410A Air Conditioner Operating at High Ambient Temperatures. **International Refrigeration and Air Conditioning Conference**. Paper 532, 2002.

PEIXOTO, R.A. **Uso de fluidos refrigerantes hidrocarbonetos em refrigeração doméstica, comercial e ar condicionado estacionário**. Instituto Mauá de tecnologia, 2008.

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

PIMENTA, J. Uso de hidrocarbonetos em sistemas de refrigeração e ar condicionado. **Difusão do uso de fluídos alternativos em sistemas de refrigeração e ar condicionado (Seminário)**. Brasília, 2011.

PINTO JUNIOR, H. Q.; ALMEIDA, E. F.; BONTEMPO, J.V.; IOOTTY, M.; BICALHO, R. G. **Economia da energia: fundamentos econômicos, evolução histórica e organização industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

PONTO FRIO. **Eletrodomésticos**.

Disponível em <www.pontofrio.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

PÖTTKER, G. **Análise do efeito combinado de compressores e expansores de ação variável sobre o desempenho de sistemas de refrigeração**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PRADO, F.A.D. Incentivos fiscais para energias alternativas. **XVII Simpósio Jurídico ABCE**, 2011.

PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO. Site do PAC. **Minha casa minha vida**.

Disponível em <<http://www.pac.gov.br/minha-casa-minha-vida>>. Acesso em fevereiro de 2014.

PROTOCOLO DE MONTREAL. **Proteção da camada de ozônio**.

Disponível em

<<http://www.protocolodemontreal.org.br/eficiente/sites/protocolodemontreal.org.br/pt-...23/06/2012>>. Acesso em junho de 2012.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procel na educação básica**.

Disponível em <<http://www.eletrobras.com/EducacaoProcel/escolas.asp>>. Acesso em abril de 2014.

REBELATTO, D.A.N. **Projeto de investimentos**. Barueri-SP: Manole, 2004.

RECEITA FEDERAL. Site da Receita Federal. **Contribuição para o PIS/PASEP e COFINS**.

Disponível em <<http://www.receita.fazenda.gov.br/pessoajuridica/pispasepcofins/>>. Acesso em fevereiro de 2014c.

RECEITA FEDERAL. Site da Receita Federal. **Imposto sobre produtos industrializados**.

Disponível em <<http://www.receita.fazenda.gov.br/aliquotas/impsobprodindustr.htm>>. Acesso em fevereiro de 2014b.

RECEITA FEDERAL. Site da Receita Federal. **Pesquisa de NCM**.

Disponível em <<http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/PesquisarNCM.jsp>>. Acesso em fevereiro de 2014a.

REDE BRASIL DE CAPACITAÇÃO EM AQUECIMENTO SOLAR. **Noções iniciais sobre o aquecimento solar**.

Disponível em <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manualiniciais.pdf>>. Acesso em julho de 2012.

REFRIGERANTS NATURALLY. Disponível em

<<http://www.refrigerantsnaturally.com/>>. Acesso em junho de 2012.

REFRIREDE

Disponível em <www.refrirede.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

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

REUTERS. Mexicana Mabe compra BSH Continental por R\$ 70 milhões. **G1- Portal de Notícias da Globo**.

Disponível em <http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL1214638-9356,00.html> Acesso em de julho de 2009.

RICARDO ELETRO. **Eletrodomésticos.**

Disponível em <www.ricardoeletro.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

RODRIGUES, M. G.; COSTA, F. J. P. Energia e sustentabilidade no século XXI: o caso do Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.3, n.1, p. 60-79, 2012.

ROSSETTI, J. P. **Introdução à Economia**. 19 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ROWLAND, F. S.; MOLINA, M. J. Chlorofluoromethanes in the environment. **Rev. Geophys.**, 13(1), 1–35, 1975.

SANDRONI. **Novíssimo dicionário de economia**. São Paulo: Editora Best Seller, 1999.

SANTOS, S.M. **A avaliação ambiental estratégica e o plano nacional de energia: um estudo das potenciais contribuições**. 2009. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SARTORIS, A. **Estatística e introdução à econometria**. Saraiva, 2003.

SAUER, I. **Política Energética**. Estudos Avançados. 2012, vol.27, n.78, p. 238-264.

SCHARPING, T. **Birth control in China 1949-2000: population policy and demographic development**. New York: Routledge Curzon, 2003.

SECRETARIA DA FAZENDA. Site da Secretaria da Fazenda. **Produtos e serviços - ICMS**.

Disponível em <http://www.fazenda.sp.gov.br/oquee/oq_icms.shtm>. Acesso em fevereiro de 2014.

SELF SHOPELETRO. **Eletrodomésticos**.

Disponível em <www.selfshopeletro.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

SHINGAKI, M. **Gestão de impostos para pessoas físicas e jurídicas**. Ed. 8. São Paulo-SP: Saint Paul Editora, 2008.

SHOPBOT

Disponível em <www.shopbot.com.br/>. Acesso em fevereiro de 2014.

SHOPDESCONTO

Disponível em <www.shopdesconto.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

SILBERSTAIN, E. **Heat pumps**. Delmar Cengage Learning, 2002.

SOLETROL. **Aquecedores solares de água**.

Disponível em <<http://www.soletrol.com.br/>>. Acesso em julho de 2012.

SOLETROL. **Aquecedores solares de água.**

Disponível em <<http://www.soletrol.com.br>>. Acesso em fevereiro de 2014.

SOUZA, D. L. O.; RODRIGUES, M.; REIS, D. R. Crise energética 2001: providencial e reflexiva. **Revista Educação & Tecnologia**, 2004. N. 8. ISSN: 2179-6122.

SOUZA, K.T.; MIRANDA, L.S.; SILVA, M.A. Aquecimento de água através do uso de coletores planos. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense** v. 1, p. 51-57, 2010.

SPORKET, F. **Análise teórico experimental dos evaporadores de uma bomba de calor.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

STOCK, J.H.; WATSON, M.W. **Econometria.** São Paulo: Addison Wesley, 2004.

STOECKER, W.F.; JABARDO J.M.S. **Refrigeração industrial, 2ª ed.** São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2002.

SUH, K.; HEO, D.; AND KIM, H. CAE/CFD Application for Linear Compressor. **International Compressor Engineering Conference.** Paper 1726, 2006.

SUPERINTENDÊNCIA DO PÓLO INDUSTRIAL DE MANAUS. **Pólo industrial de Manaus. Catálogo de empresas em produtos.**

Disponível em <http://www.suframa.gov.br/publicacoes/site_pim/mecanico.htm>. Acesso em novembro de 2013b.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. **Histórico da produção de condicionadores de ar no Brasil.** Disponível em <sampaio@suframa.gov.br>. Acesso em abril de 2013a.

SUPERINTENDÊNCIA DA ZONA FRANCA DE MANAUS. **Perfil das empresas com projetos aprovados com a Suframa.** Disponível em <www.suframa.gov.br>. Acesso em abril, 2012.

STYLIANOU, M.; NIKANPOUR, D. Performance Monitoring, Fault Detection and Diagnosis of Reciprocating Chillers. **ASHRAE Transactions** **102(2): pp. 615-627**, 1996.

TALLEY, E. R1234yf Refrigerant. **Presentations.** Paper 19, 2010.

Disponível em <http://opensiuc.lib.siu.edu/auto_pres/19>

TASSOU, S. A.; QURESHI, T. Q. Review Paper - Variable-speed capacity control in refrigeration systems. **Applied Thermal Engineering**, vol. 16(2): 103-113, 1996.

TELHANORTE

Disponível em <www.telhanorte.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

TOMASELLI, L.C. **Estudo de acionamentos à velocidade variável para motores de indução monofásicos com capacitor permanente para aplicações em ventiladores.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

THE INSTITUTE OF REFRIGERATION. R32 for Air Conditioning - a low GWP, low flammable solution. **ACHPI 34**. London: November, 2012.

THE SCOTTISH GOVERNMENT. **Conserve and save: the energy efficiency: action plan for Scotland**. October 2010.

THE WORLD BANK. **World development indicators database**. New York, 2011.

THE WORLD BANK. **Data**

Disponível em <<http://data.worldbank.org/>>. Acesso em abril de 2012.

THE WORLD BANK. **Data**

Disponível em <<http://data.worldbank.org/>> Acesso em junho de 2013.

THE WORLD BANK . **Global purchasing power parities and real expenditures**. 2005 International Comparison Program. Washington DC, 2008.

THOMPSON, A.T; LOBÃO, W.J.A. Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. **Texto para discussão n° 489**. IPEA, 1997.

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

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **The Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer**. Kenya, 2000.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Real GDP (2005 dollars) Historical**. Economic Research Service. International Macroeconomic Data Set.

Disponível em <http://www.ers.usda.gov/data-products/international-macroeconomic-data-set.aspx#.Uoblxfk_tBz>. Acesso em julho de 2013.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Ozone Layer Protection – Science**. Acesso em junho de 2012.

WAL-MART. **Eletrodomésticos**.

Disponível em <<http://www.walmart.com.br/>>. Acesso em fevereiro de 2014.

WANG, H.; WU, G. Optimization of the performance characteristics in an irreversible regeneration magnetic Brayton refrigeration cycle. **Science China**. Physics, Mechanics & Astronomy. February 2012 Vol. 55 No. 2: 187–194.

WEBARCONDICIONADO

Disponível em <www.webarcondicionado.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

WILSON, D.; PURUSHOTHAMAN. R. **Dreaming with BRICs: the path to 2050**. Goldman Sachs global economics paper, 2003. N. 99.

WOO, S.; O'NEAL, D.L., Reliability Design of the Newly Designed Reciprocating Compressor for a Refrigerator. **International Compressor Engineering Conference**. Paper 1818, 2006. Disponível em <<http://docs.lib.purdue.edu/icec/1818>>

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006. **Global Ozone Research and Monitoring Project**—Report No. 50, 572 pp., Geneva, Switzerland, 2007.

YU, B; JUNYI, Z; FUJIWARA, A. Evaluating the direct and indirect rebound effects in household energy consumption behavior: a case study of Beijing. **Energy Policy**, Volume 57, June 2013, Pages 441-453.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and control** vol 8, 1965.

ZIMMERMAN, M.P. **Aspectos técnicos e legais associados ao planejamento da expansão de energia elétrica no novo contexto regulatório brasileiro**. 2007. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2007.

ZOOM

Disponível em <www.zoom.com.br>. Acesso em fevereiro de 2014.

APÊNDICE A – PROJEÇÕES REALIZADAS PELO MÉTODO ARIMA

A.1 PIB EM VALORES REAIS

Os valores do PIB reais foram obtidos por meio do método ARIMA obtido pela aplicação do *software* estatístico *Minitab® Release 14.1*.

Os dados utilizados para regressão fazem parte do banco de dados do *The World Bank* (2013) no período de 1960 a 2012. Para melhor ajuste da regressão optou-se por utilizar o período de 1980 a 2012 para a maior parte dos países e regiões em estudo. Os dados históricos foram regredidos pelo método ARIMA. As equações de regressão obtidas possibilitaram as projeções anuais até 2030.

O *Minitab* automaticamente utiliza a distribuição t de *student* para testar a significância dos coeficientes de regressão calculados o que é apropriado a situações de períodos mais reduzidos (SARTORIS, 2003).

A Figura A1 apresenta um breve explicativo sobre a apresentação de resultados.

Figura A1- Exemplo de apresentação de resultados pela aplicação do método ARIMA no *Minitab 14.1*.

Nas projeções realizadas, buscou-se utilizar significância de 10% para os coeficientes de regressão, ou seja, os valores do *p-value* inferiores a 0,100. Os itens abaixo apresentam o resultado da regressão pela aplicação do *software*:

▪ **Brasil - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0032	0,0507	19,80	0,000
MA	1	0,8770	0,1596	5,49	0,000

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 33, after differencing 32

Residuals: SS = 11334,3 (backforecasts excluded)
MS = 377,8 DF = 30

▪ **América do Sul (excluindo Brasil) - ARIMA (1,2,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,5017	0,2298	2,18	0,037
MA	1	0,9387	0,1529	6,14	0,000

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 33, after differencing 31

Residuals: SS = 9367,70 (backforecasts excluded)
MS = 323,02 DF = 29

▪ **Rússia - ARIMA (1,2,1) com intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,4199	0,2467	1,70	0,105
MA	1	1,1357	0,2245	5,06	0,000
Constant		1,0499	0,1394	7,53	0,000

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 24, after differencing 22

Residuals: SS = 5522,89 (backforecasts excluded)
MS = 290,68 DF = 19

▪ **Índia - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0058	0,0554	18,17	0,000
MA	1	0,4845	0,2780	1,74	0,092

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 32, after differencing 31
 Residuals: SS = 4460,52 (backforecasts excluded)
 MS = 153,81 DF = 29

▪ **China - ARIMA (1,2,1) com intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,8015	0,2670	3,00	0,006
MA	1	0,9264	0,2363	3,92	0,001
Constant		1,7763	0,5670	3,13	0,004

Differencing: 2 regular differences
 Number of observations: Original series 33, after differencing 31
 Residuals: SS = 17805,7 (backforecasts excluded)
 MS = 635,9 DF = 28

▪ **EUA - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,9997	0,0070	143,31	0,000
MA	1	0,9840	0,0592	16,63	0,000

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 33, after differencing 32
 Residuals: SS = 894992 (backforecasts excluded)
 MS = 29833 DF = 30

▪ **Canadá - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0000	0,0000	326965,64	0,000
MA	1	1,0820	0,0001	7420,89	0,000

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 33, after differencing 32
 Residuals: SS = 4854,31 (backforecasts excluded)
 MS = 161,81 DF = 30

▪ **União Européia - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0000	0,0076	131,38	0,000
MA	1	0,9562	0,0836	11,44	0,000

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 53, after differencing 52
 Residuals: SS = 674204 (backforecasts excluded)
 MS = 13484 DF = 50

▪ **África - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0032	0,0906	11,07	0,000
MA	1	0,7392	0,3075	2,40	0,026

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 23, after differencing 22

Residuals: SS = 38207,4 (backforecasts excluded)
MS = 1910,4 DF = 20

▪ **Japão - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,9991	0,0119	84,25	0,000
MA	1	0,9064	0,0690	13,14	0,000

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 53, after differencing 52

Residuals: SS = 395641 (backforecasts excluded)
MS = 7913 DF = 50

▪ **Oceania - ARIMA (1,1,1) com intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0,6942	0,3987	-1,74	0,098
MA	1	-0,9115	0,3462	-2,63	0,016
Constant		20,123	6,302	3,19	0,005

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 23, after differencing 22

Residuals: SS = 4545,63 (backforecasts excluded)
MS = 239,24 DF = 19

▪ **Mundo - ARIMA (2,2,2) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,8228	0,1553	5,30	0,000
AR	2	-0,3523	0,1584	-2,22	0,031
MA	1	1,6667	0,0323	51,62	0,000
MA	2	-0,7385	0,0900	-8,20	0,000

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 53, after differencing 51

Residuals: SS = 7430224 (backforecasts excluded)
MS = 158090 DF = 47

A Tabela A1 apresenta o conjunto dos valores obtidos nas projeções (em azul).

Tabela A1- Evolução do PIB mundial em valores reais (fixados em 2000) até 2030 em trilhões de dólares.

Ano	Brasil	Am. do Sul	Rússia	Índia	China	EUA	Can.	EU	África	Japão	Oc.	Mun.
1980	0,430	0,384	-	0,158	0,183	5,138	0,412	5,347	0,000	2,820	0,000	17,837
1981	0,411	0,385	-	0,167	0,192	5,268	0,426	5,359	0,000	2,902	0,000	18,194
1982	0,414	0,373	-	0,173	0,210	5,164	0,414	5,416	0,000	2,983	0,000	18,256
1983	0,400	0,367	-	0,185	0,233	5,397	0,425	5,516	0,000	3,031	0,000	18,720
1984	0,421	0,378	-	0,193	0,268	5,786	0,450	5,657	0,000	3,125	0,000	19,580
1985	0,454	0,377	-	0,203	0,304	6,023	0,472	5,799	0,000	3,284	0,000	20,306
1986	0,491	0,403	-	0,212	0,331	6,230	0,483	5,961	0,000	3,381	0,000	20,986
1987	0,508	0,421	-	0,221	0,370	6,427	0,504	6,128	0,000	3,509	0,000	21,723
1988	0,508	0,427	-	0,242	0,411	6,691	0,529	6,385	0,000	3,747	0,000	22,733
1989	0,524	0,412	-	0,256	0,428	6,929	0,543	6,609	0,000	3,945	0,000	23,588
1990	0,502	0,422	0,386	0,270	0,445	7,058	0,544	6,792	0,806	4,150	0,342	24,284
1991	0,509	0,453	0,366	0,273	0,486	7,039	0,532	6,875	0,836	4,288	0,341	24,665
1992	0,507	0,485	0,313	0,288	0,554	7,279	0,537	6,935	0,856	4,323	0,343	25,184
1993	0,531	0,503	0,286	0,302	0,632	7,488	0,549	6,920	0,875	4,331	0,359	25,631
1994	0,559	0,526	0,250	0,322	0,715	7,796	0,576	7,120	0,901	4,368	0,374	26,476
1995	0,584	0,544	0,240	0,347	0,793	7,995	0,592	7,312	0,931	4,450	0,388	27,239
1996	0,596	0,562	0,231	0,373	0,872	8,298	0,602	7,450	0,976	4,568	0,404	28,158
1997	0,616	0,597	0,234	0,388	0,953	8,672	0,627	7,691	0,996	4,639	0,419	29,235
1998	0,617	0,609	0,222	0,412	1,028	9,061	0,653	7,921	1,027	4,544	0,436	29,928
1999	0,618	0,589	0,236	0,442	1,106	9,502	0,689	8,164	1,050	4,538	0,458	30,918
2000	0,645	0,603	0,260	0,460	1,198	9,899	0,725	8,484	1,106	4,667	0,475	32,249
2001	0,653	0,606	0,273	0,484	1,298	10,007	0,738	8,668	1,131	4,676	0,486	32,785
2002	0,671	0,587	0,286	0,502	1,416	10,190	0,759	8,783	1,156	4,688	0,505	33,436
2003	0,678	0,602	0,307	0,544	1,558	10,445	0,774	8,907	1,221	4,755	0,522	34,334
2004	0,717	0,654	0,329	0,590	1,715	10,819	0,798	9,133	1,297	4,885	0,543	35,739
2005	0,740	0,702	0,350	0,644	1,909	11,150	0,822	9,310	1,369	4,980	0,560	37,007
2006	0,769	0,753	0,378	0,704	2,151	11,449	0,845	9,618	1,456	5,081	0,575	38,505
2007	0,816	0,794	0,411	0,773	2,457	11,671	0,864	9,926	1,535	5,201	0,596	40,037
2008	0,858	0,829	0,432	0,812	2,693	11,668	0,870	9,950	1,618	5,141	0,615	40,613
2009	0,852	0,829	0,398	0,885	2,940	11,260	0,846	9,523	1,647	4,817	0,623	39,677
2010	0,916	0,856	0,414	0,963	3,246	11,598	0,873	9,724	1,880	5,010	0,572	41,348
2011	0,941	0,898	0,432	1,038	3,548	11,808	0,895	9,880	1,962	4,982	0,586	42,557
2012	0,949	0,936	0,447	1,079	3,824	12,069	0,912	9,857	2,056	5,081	0,606	43,613
2013	0,973	0,966	0,466	1,137	4,108	12,295	0,928	9,991	2,155	5,126	0,619	44,666
2014	0,998	0,993	0,488	1,194	4,400	12,521	0,944	10,126	2,255	5,171	0,631	45,668
2015	1,022	1,018	0,513	1,252	4,699	12,747	0,960	10,261	2,354	5,215	0,643	46,630
2016	1,046	1,041	0,539	1,310	5,006	12,973	0,976	10,395	2,454	5,260	0,655	47,577
2017	1,071	1,065	0,567	1,368	5,321	13,198	0,992	10,530	2,555	5,305	0,667	48,525
2018	1,095	1,088	0,598	1,427	5,645	13,424	1,008	10,665	2,656	5,349	0,680	49,479
2019	1,120	1,111	0,630	1,486	5,977	13,650	1,025	10,799	2,757	5,394	0,692	50,439
2020	1,144	1,133	0,663	1,546	6,317	13,876	1,041	10,934	2,858	5,438	0,704	51,401
2021	1,169	1,156	0,699	1,605	6,667	14,101	1,057	11,069	2,960	5,483	0,716	52,362
2022	1,194	1,179	0,737	1,666	7,024	14,327	1,073	11,203	3,062	5,527	0,728	53,322
2023	1,219	1,202	0,776	1,726	7,391	14,552	1,089	11,338	3,164	5,572	0,741	54,282
2024	1,243	1,224	0,817	1,787	7,767	14,778	1,105	11,473	3,267	5,616	0,753	55,241
2025	1,269	1,247	0,860	1,848	8,151	15,003	1,121	11,607	3,370	5,660	0,765	56,201
2026	1,294	1,270	0,904	1,910	8,544	15,228	1,137	11,742	3,473	5,705	0,777	57,160
2027	1,319	1,293	0,951	1,972	8,946	15,453	1,154	11,877	3,576	5,749	0,789	58,120
2028	1,344	1,316	0,999	2,034	9,357	15,679	1,170	12,011	3,680	5,793	0,801	59,080
2029	1,369	1,338	1,049	2,097	9,777	15,904	1,186	12,146	3,785	5,837	0,813	60,039
2030	1,395	1,361	1,101	2,160	10,206	16,129	1,202	12,281	3,889	5,881	0,826	60,999

A.2 RENDA PER CAPTA PAREADA PELO PODER DE COMPRA

De maneira análoga à metodologia utilizada para a projeção do PIB, o método ARIMA foi utilizado para projeção da Renda per Capta Pareada pelo Poder de Compra. Também foi utilizado o banco de dados do *The World Bank* (2013). O período de análise foi de 1980 a 2011 para a maior parte das regressões.

Os itens abaixo apresentam o resultado da regressão pela aplicação do *software*:

▪ **Brasil - ARIMA (1,3,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0,7200	0,1866	-3,86	0,001
MA	1	1,0856	0,0157	69,31	0,000

Differencing: 3 regular differences

Number of observations: Original series 31, after differencing 28

Residuals: SS = 1844204 (backforecasts excluded)
MS = 70931 DF = 26

▪ **América do Sul (excluindo Brasil) - ARIMA (1,2,3) com intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-1,0001	0,0238	-42,09	0,000
MA	1	-0,7578	0,1966	-3,85	0,001
MA	2	0,9207	0,2564	3,59	0,001
MA	3	0,7190	0,2077	3,46	0,002
Constant		36,235	7,864	4,61	0,000

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 31, after differencing 29

Residuals: SS = 1406933 (backforecasts excluded)
MS = 58622 DF = 24

▪ **Rússia - Dados insuficientes, não foi possível obter um modelo bem ajustado**

▪ **Índia - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0069	0,0599	16,82	0,000
MA	1	0,5166	0,2347	2,20	0,036

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 31, after differencing 30
 Residuals: SS = 44602,8 (backforecasts excluded)
 MS = 1593,0 DF = 28

▪ **China - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0,6442	0,2892	-2,23	0,034
MA	1	-0,9054	0,2273	-3,98	0,000

Differencing: 2 regular differences
 Number of observations: Original series 31, after differencing 29
 Residuals: SS = 10698,9 (backforecasts excluded)
 MS = 396,3 DF = 27

▪ **EUA - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,9994	0,0102	97,64	0,000
MA	1	0,9751	0,0507	19,25	0,000

Differencing: 1 regular difference
 Number of observations: Original series 51, after differencing 50
 Residuals: SS = 15109834 (backforecasts excluded)
 MS = 314788 DF = 48

▪ **Canadá - ARIMA (1,2,4) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-1,0008	0,0359	-27,90	0,000
MA	1	-0,6229	0,1969	-3,16	0,004
MA	2	1,3066	0,1986	6,58	0,000
MA	3	0,6755	0,1923	3,51	0,002
MA	4	-0,3719	0,2285	-1,63	0,117

Differencing: 2 regular differences
 Number of observations: Original series 31, after differencing 29
 Residuals: SS = 8581633 (backforecasts excluded)
 MS = 357568 DF = 24

▪ União Européia - ARIMA (1,1,1) sem intercepto

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,9989	0,0225	44,38	0,000
MA	1	0,9181	0,1471	6,24	0,000

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 31, after differencing 30

Residuals: SS = 5025615 (backforecasts excluded)
MS = 179486 DF = 28

▪ África - ARIMA (2,2,2) sem intercepto

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,3849	0,2570	5,39	0,000
AR	2	-0,9166	0,1625	-5,64	0,000
MA	1	1,5334	0,3640	4,21	0,000
MA	2	-0,8800	0,3324	-2,65	0,014

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 29, after differencing 27

Residuals: SS = 15090,1 (backforecasts excluded)
MS = 656,1 DF = 23

▪ Japão - ARIMA (2,2,3) sem intercepto

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0,9836	0,4168	-2,36	0,027
AR	2	-0,7296	0,3455	-2,11	0,045
MA	1	-0,6659	0,3138	-2,12	0,044
MA	2	0,6135	0,2342	2,62	0,015
MA	3	0,8208	0,2563	3,20	0,004

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 31, after differencing 29

Residuals: SS = 9215314 (backforecasts excluded)
MS = 383971 DF = 24

▪ Oceania - ARIMA (1,2,3) sem intercepto

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0,8824	0,1787	-4,94	0,000
MA	1	-0,4594	0,1960	-2,34	0,028
MA	2	0,8520	0,1975	4,31	0,000
MA	3	0,7156	0,1776	4,03	0,000

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 30, after differencing 28

Residuals: SS = 2470703 (backforecasts excluded)
MS = 102946 DF = 24

▪ **Mundo - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0024	0,0519	19,33	0,000
MA	1	0,8399	0,1758	4,78	0,000

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 31, after differencing 30

Residuals: SS = 440268 (backforecasts excluded)
MS = 15724 DF = 28

A Tabela A2 apresenta o conjunto dos valores e projeções (**em azul**).

Tabela A2 - Renda Per Capita Anual (US\$ internacional) considerando a Paridade do Poder de Compra (PPC) em valores em termos reais com base em 2005.

Ano	Brasil	Am. do Sul	Rússia	Índia	China	EUA	Can.	UE	África	Japão	Oc.	Mun.
1980	7.567	7.324	-	895	186	22.611	23.070	16.587	2.671	18.778	18.363	5.930
1981	7.067	7.179	-	928	194	22.959	23.584	16.574	2.619	19.186	18.746	5.942
1982	6.945	6.830	-	940	208	22.291	22.635	16.709	2.558	19.584	18.965	5.871
1983	6.557	6.551	-	987	228	23.086	23.019	16.979	2.498	19.764	18.654	5.917
1984	6.751	6.595	-	1.003	259	24.533	24.124	17.379	2.464	20.252	19.307	6.080
1985	7.134	6.425	-	1.034	290	25.317	25.043	17.754	2.425	21.151	19.911	6.194
1986	7.549	6.705	-	1.060	311	25.944	25.393	18.196	2.369	21.645	20.472	6.293
1987	7.669	6.845	-	1.079	341	26.527	26.128	18.657	2.335	22.356	20.901	6.407
1988	7.519	6.801	-	1.159	373	27.365	27.076	19.368	2.340	23.767	21.567	6.581
1989	7.628	6.438	13.066	1.203	383	28.074	27.294	19.953	2.356	24.922	21.947	6.708
1990	7.175	6.453	12.626	1.244	392	28.274	26.941	20.394	2.388	26.129	22.291	6.771
1991	7.164	6.785	11.962	1.232	422	27.826	26.021	20.469	2.406	26.914	21.935	6.751
1992	7.018	7.112	10.219	1.276	476	28.377	25.929	20.535	2.390	27.067	21.808	6.760
1993	7.233	7.225	9.344	1.312	536	28.810	26.246	20.422	2.356	27.046	22.540	6.777
1994	7.503	7.428	8.179	1.374	600	29.630	27.244	20.954	2.348	27.187	23.212	6.886
1995	7.716	7.542	7.851	1.452	658	30.025	27.778	21.507	2.369	27.593	23.839	7.003
1996	7.762	7.662	7.589	1.535	716	30.801	27.925	21.888	2.434	28.248	24.504	7.158
1997	7.903	8.000	7.718	1.569	775	31.804	28.799	22.534	2.465	28.615	25.079	7.346
1998	7.787	8.028	7.329	1.638	827	32.847	29.721	23.164	2.494	27.958	25.799	7.425
1999	7.692	7.656	7.829	1.729	883	34.053	31.107	23.826	2.506	27.866	26.844	7.591
2000	7.909	7.720	8.613	1.769	949	35.082	32.447	24.704	2.554	28.613	27.570	7.845
2001	7.902	7.650	9.073	1.832	1.021	35.116	32.694	25.207	2.572	28.603	27.897	7.921
2002	8.003	7.327	9.546	1.871	1.106	35.428	33.349	25.491	2.596	28.611	28.672	8.034
2003	7.990	7.456	10.292	1.998	1.209	36.003	33.640	25.775	2.658	28.953	29.279	8.216
2004	8.344	7.986	11.088	2.133	1.323	36.951	34.344	26.355	2.776	29.738	30.126	8.520
2005	8.509	8.455	11.853	2.300	1.464	37.732	35.033	26.791	2.866	30.310	30.648	8.795
2006	8.753	8.971	12.878	2.479	1.641	38.369	35.730	27.616	2.975	30.933	31.070	9.139
2007	9.196	9.508	14.016	2.686	1.864	38.744	36.124	28.413	3.091	31.660	31.627	9.506
2008	9.583	9.940	14.767	2.781	2.033	38.371	35.948	28.448	3.180	31.307	31.997	9.647

Tabela A2 - Continuação.

Ano	Brasil	Am. do Sul	Rússia	Índia	China	EUA	Can.	UE	África	Japão	Oc.	Mun.
2009	9.438	9.813	13.623	2.993	2.208	36.705	34.527	27.147	3.262	29.372	31.718	9.457
2010	10.056	10.227	14.183	3.214	2.425	37.491	35.223	27.618	3.350	30.573	31.846	9.817
2011	10.149	10.820	-	3.413	2.635	37.966	36.211	27.942	3.454	32.280	32.210	10.004
2012	10.646	11.282	-	3.614	2.849	38.441	36.801	28.265	3.575	31.584	32.670	10.192
2013	10.878	11.688	-	3.817	3.060	38.916	37.121	28.588	3.704	31.936	33.045	10.380
2014	11.326	12.187	-	4.020	3.273	39.391	37.851	28.911	3.829	33.010	33.495	10.569
2015	11.643	12.629	-	4.226	3.485	39.865	38.171	29.233	3.942	32.609	33.879	10.758
2016	12.080	13.164	-	4.432	3.697	40.339	38.901	29.555	4.040	33.132	34.321	10.947
2017	12.456	13.643	-	4.640	3.909	40.812	39.221	29.877	4.129	33.823	34.712	11.137
2018	12.901	14.214	-	4.850	4.122	41.286	39.951	30.198	4.221	33.674	35.148	11.328
2019	13.322	14.729	-	5.060	4.334	41.759	40.270	30.519	4.324	34.229	35.544	11.519
2020	13.785	15.336	-	5.273	4.546	42.231	41.001	30.840	4.438	34.704	35.975	11.710
2021	14.243	15.887	-	5.487	4.759	42.704	41.320	31.160	4.560	34.745	36.376	11.902
2022	14.730	16.531	-	5.702	4.971	43.176	42.051	31.480	4.681	35.271	36.803	12.094
2023	15.222	17.118	-	5.918	5.183	43.648	42.369	31.799	4.795	35.636	37.207	12.286
2024	15.736	17.798	-	6.137	5.396	44.120	43.101	32.118	4.898	35.805	37.632	12.480
2025	16.259	18.422	-	6.356	5.608	44.592	43.419	32.437	4.994	36.285	38.038	12.673
2026	16.800	19.138	-	6.578	5.820	45.063	44.151	32.755	5.089	36.602	38.460	12.867
2027	17.354	19.798	-	6.800	6.032	45.534	44.469	33.073	5.191	36.853	38.868	13.062
2028	17.924	20.550	-	7.024	6.245	46.004	45.200	33.391	5.302	37.287	39.289	13.257
2029	18.507	21.246	-	7.250	6.457	46.475	45.518	33.708	5.418	37.589	39.699	13.452
2030	19.106	22.035	-	7.478	6.669	46.945	46.250	34.025	5.536	37.887	40.118	13.648

A.3 ELETRODOMOMÉSTICOS COM MAIOR IMPACTO NO CONSUMO DE ENERGIA RESIDENCIAL

O volume de produção dos eletrodomésticos de maior impacto no consumo residencial também foi projetado pelo método ARIMA,

Para os Condicionadores de Ar foi utilizada a base de dados da SUFRAMA (2013) no período de 1988 a 2013.

Para os Refrigeradores e Freezers foram utilizados dados da CETESB (2012) e IBGE (2013) no período de 1990 a 2010.

No que diz respeito aos Chuveiros Elétricos, a única fonte disponível foi o IBGE (2013), que disponibiliza dados a partir de 2000, entretanto por meio de um painel de

especialistas de integrantes da ABINEE (Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica) foram estimados dados para o período de 1990 a 1999.

Os itens abaixo apresentam o resultado da regressão pela aplicação do *software*:

▪ **Refrigeradores e Freezers - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	0,9996	0,0048	207,33	0,000
MA	1	1,0221	0,0080	127,42	0,000

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 21, after differencing 20

Residuals: SS = 6508677301181 (backforecasts excluded)
MS = 361593183399 DF = 18

▪ **Condicionadores de Ar - ARIMA (2,2,2) com intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	-0,7478	0,3406	-2,20	0,041
AR	2	-0,5244	0,2570	-2,04	0,055
MA	1	0,4714	0,3429	1,37	0,185
MA	2	0,7824	0,3916	2,00	0,060
Constant		23464,2	1,4	16611,76	0,000

Differencing: 2 regular differences

Number of observations: Original series 26, after differencing 24

Residuals: SS = 1597251722809 (backforecasts excluded)
MS = 84065880148 DF = 19

Embora a significância da Média Móvel para defasagem (AR: 1) seja maior do que 0,100, entende-se que esta característica se deu pelo número limitado de períodos em análise e pela falta de homogeneidade do mercado nos primeiros anos em que os produtos foram introduzidos no Brasil, ganhando escala nos últimos 10 anos.

▪ **Chuveiros e Duchas Elétricas - ARIMA (1,1,1) sem intercepto**

Final Estimates of Parameters

Type		Coef	SE Coef	T	P
AR	1	1,0001	0,0183	54,57	0,000
MA	1	0,9849	0,2206	4,46	0,000

Differencing: 1 regular difference

Number of observations: Original series 21, after differencing 20

Residuals: SS = 26455258035308 (backforecasts excluded)

MS = 1469736557517 DF = 18

A Tabela A3 apresenta o conjunto de valores anuais e as dos valores obtidos nas projeções (**em azul**).

Tabela A3 – Produção anual de Refrigeradores, Freezers, Chuveiros e Duchas Elétricas.

Ano	Ref. e Freezers (unidades produzidas)	Cond. De Ar (unidades produzidas)	Chuveiros (unidades produzidas)
1988	-	5.864	-
1989	-	5.728	-
1990	2.837.880	37.448	8.941.651
1991	3.197.692	40.010	9.478.150
1992	3.521.504	40.203	10.046.839
1993	3.863.316	137.377	10.649.649
1994	4.205.128	253.733	11.288.628
1995	4.258.411	416.887	11.965.946
1996	5.466.054	644.029	12.683.903
1997	4.942.035	566.790	13.444.937
1998	4.061.626	742.420	14.251.633
1999	3.679.207	594.614	15.106.731
2000	3.876.207	833.667	16.013.135
2001	4.086.359	687.089	17.893.486
2002	3.945.170	742.047	14.618.033
2003	4.888.335	1.191.837	15.214.036
2004	5.419.934	1.013.935	16.085.219
2005	5.296.945	945.306	16.746.502
2006	6.128.610	904.864	19.430.707
2007	7.318.636	1.018.148	19.592.692
2008	6.694.221	940.475	20.887.843
2009	7.599.290	1.066.753	19.592.692
2010	7.861.223	2.182.238	19.904.509
2011	8.018.478	2.784.016	20.326.419
2012	8.175.672	2.267.666	20.748.360
2013	8.332.804	3.000.000	21.170.331
2014	8.489.874	3.559.151	21.592.333
2015	8.646.884	3.395.425	22.014.366
2016	8.803.831	3.886.520	22.436.430
2017	8.960.717	4.290.479	22.858.524
2018	9.117.542	4.439.692	23.280.649
2019	9.274.305	4.848.551	23.702.804
2020	9.431.007	5.220.300	24.124.990

Tabela A3 – Continuação.

Ano	Ref. e Freezers (unidades produzidas)	Cond. De Ar (unidades produzidas)	Chuveiros (unidades produzidas)
2021	9.587.648	5.507.112	24.547.207
2022	9.744.227	5.900.361	24.969.455
2023	9.900.745	6.282.023	25.391.733
2024	10.057.202	6.640.001	25.814.042
2025	10.213.597	7.045.229	26.236.381
2026	10.369.931	7.451.008	26.658.751
2027	10.526.204	7.855.064	27.081.152
2028	10.682.416	8.283.583	27.503.584
2029	10.838.567	8.718.177	27.926.046
2030	10.994.656	9.158.865	28.348.539

APÊNDICE B - TESTES E ANÁLISES ADICIONAIS DO MODELO ECONOMÉTRICO REGREDIDO POR MQO E DADOS COMPLETOS

B.1 TESES E ANÁLISES ADICIONAIS DA REGRESSÃO LINEAR POR MQO

Para que uma regressão linear tenha boa aceitação estatística, alguns pressupostos matemáticos são estabelecidos. O modelo deve ter baixa multicolinearidade entre suas variáveis independentes, os resíduos de sua regressão não devem apresentar heterocedasticidade e também não devem ser autocorrelacionados. Quando aplicada em séries temporais, também deve-se ter cuidado para que a regressão não apresente resultados espúrios (GUJARATI, 2004; GREENE, 2008; ADKINS e HILL, 2007).

O Capítulo 4 (Figura 21) propôs um modelo econométrico de série temporal regredido pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Este apêndice é dedicado a testes adicionais que garantam a boa aceitação do modelo e também se destina à apresentação dos dados completos da regressão.

B.1.1 A questão da multicolinearidade

A *multicolinearidade* ocorre quando uma *variável independente* do modelo pode ser descrita como uma combinação linear de outra *variável independente* presente no modelo. Seja Y_i uma função de uma regressão linear:

$$Y_i = \hat{\beta}_2 x_{2i} + \hat{\beta}_3 x_{3i} + \hat{u}_i \quad \text{Eq. C1}$$

Se $x_{2i} = \lambda x_{3i}$, onde λ é uma constante, tem-se *multicolinearidade* perfeita

Se $x_{3i} = \lambda x_{3i} + v_i$, onde λ é uma constante, tem-se *multicolinearidade* imperfeita.

A presença de *multicolinearidade* implica que a *variável independente* está sendo explicada sob a influência de outros dados de comportamento proporcionais. Dentre os efeitos mais comuns ocasionados pela presença de *multicolinearidade* pode-se destacar o aumento da variância dos estimadores β e, por consequência, o aumento do erro-padrão desses estimadores (GUJARATI, 2004).

Uma maneira para a verificação da presença de *multicolinearidade* em um modelo de regressão é pelo cálculo *fator de inflação da variância* (VIF). Quanto maior este fator, maior a variância dos estimadores β . Valores de VIF superiores a 10 podem incorrer em modelos com a presença de *multicolinearidade* (KUTNER et al, 2004; TAMHANE e DUNLOP, 2000).

Utilizando o comando *vif* do software *Stata*®, calculou-se o *fator de inflação da variância* da regressão apresentada no Capítulo 4. O resultado é apresentado na Figura B1.

. vif

Variable	VIF	1/VIF
LN_PPC	12.19	0.082038
LN_Chuv	9.53	0.104902
LN_RF	8.92	0.112120
LN_Arcon	5.74	0.174182
Mean VIF	9.10	

Figura B1 – Resultado do teste de *fator de inflação da variância*.

Conforme os resultados apresentados, o VIF médio da regressão foi inferior a 10,00. Analisando os resultados de cada *variável independente* isoladamente, observa-se

que a variável *LN_PPC* (Renda Per Capta Pareada ao poder de compra) apresentou um valor ligeiramente maior do que 10,00, entretanto pelo bom ajuste das demais variáveis e pelo baixo *p-value* (0,003) que esta variável apresentou na regressão (Figura 22 do Capítulo 4), entende-se que não há presença de *multicolinearidade*.

B.1.2 A questão da heterocedasticidade

Os estimadores de um modelo de regressão por MQO devem apresentar variância mínima para sejam considerados os melhores estimadores não viesados (MELNV) para a realidade em discussão (GUJARATI, 2004).

Para que este pressuposto seja obtido é necessário que os resíduos da regressão se comportem de maneira *homocedástica*. A Figura B2 apresenta esta situação.

Figura B2 – Perturbações homecedásticas.

Fonte: Gujarati (2004).

Para todas as variáveis independentes (X_i) os resíduos se distribuem de maneira semelhante, o que caracteriza a *homocedasticidade*.

A Figura B3 apresenta uma situação onde os resíduos são *heterocedásticos*.

Figura B3 – Perturbações heterocedásticas.
Fonte: Gujarati (2004).

Observa-se que os resíduos se distribuem de maneira diferente para cada variável independente em análise (X_i) o que diminui a consistência dos estimadores.

O teste de *Breusch-Pagan-Godfrey* é bastante aceito e utilizado para avaliação da presença de *heterocedasticidade* (GUJARATI, 2004; GREENE, 2008). O *Stata*® propicia sua execução pelo comando `estat hettest`.

A Figura B4 apresenta o resultado do teste.

```
. estat hettest
```

```
Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
Ho: Constant variance
Variables: fitted values of LN_Energia

chi2(1)          =      0.41
Prob > chi2      =     0.5208
```

Figura B4 – Resultado do teste de *Breusch-Pagan-Godfrey*.

O teste realizado leva em consideração as seguintes hipóteses:

H_0 : o modelo tem variâncias constantes (*homocedástico*);

H_1 : o modelo não tem variâncias constantes (*heterocedástico*).

Tomando como referência a distribuição *chi-quadrado*, é realizado o teste de hipótese. O resultado obtido pelo cálculo de probabilidade foi 0,5208, maior que o valor padrão da distribuição *chi-quadrado* de 0,41, desta forma aceita-se a hipótese nula que afirma que o modelo é *homocedástico*.

B.1.3 A questão da autocorrelação entre os resíduos

Outra importante hipótese do modelo linear clássico é que não haja *autocorrelação* entre os resíduos encontrados. Em outras palavras, para uma série temporal supõe-se que o resíduo referente a uma observação em um dado momento não seja influenciado pelo resíduo de outra observação em outro momento de tempo (GUJARATI, 2004).

A presença de correlação em um modelo não interfere nas características de linearidade e ausência de viés na MQO, entretanto os estimadores β já não são os mais eficientes (MELNV), pois apresentam aumento de variância, já que o modelo passa a apresentar tendências periódicas causadas pela *autocorrelação*.

A Figura B5 apresenta as situações onde os resíduos são analisados em função do tempo. Nos itens *a*, *b*, *c* e *d* há presença de algum tipo de correlação. No item *e* nenhum tipo de padrão é observado, o que indica que não há presença de *autocorrelação* entre os resíduos.

Figura B5 – Padrões de *autocorrelação*.
Fonte: GUJARATI (2004).

Um método bastante aceito no meio acadêmico para verificar a presença de *autocorrelação* é o teste de *Durbin-Watson*. Sua base matemática consiste em computar uma soma ponderada dos resíduos, de tal forma que seja possível detectar algum padrão no seu comportamento (GUJARATI, 2004). O *Stata*® propicia sua execução pelo comando *estat dwatson*, conforme apresenta a Figura B6.

```
. estat dwatson
```

```
Durbin-Watson d-statistic( 5, 23) = 1.100382
```

Figura B6 – Resultado do teste de *Durbin-Watson*.

A partir do número de variáveis independentes (5), o número de períodos analisados (23) e a estatística d calculada (1,100382), monta-se um gráfico com base na tabela estatística de *Durbin-Watson*, apresentado na Figura B7 (GUJARATI, 2004).

Figura B7 – Estatística d de *Durbin-Watson*.
Fonte: Adaptado de Gujarati (2004).

Pelo resultado da análise da estatística d não é possível identificar a presença da *autocorrelação* entre os resíduos.

Como os resultados da análise de *Durbin-Watson* foram inconclusivos, uma alternativa para a verificação da *autocorrelação* é pela análise gráfica dos resíduos em função do tempo.

Utilizando o comando *predict residuos, r* do *Stata*®, os resíduos da regressão são calculados. Eles consistem na diferença entre os valores reais do *Consumo de Energia Residencial* de 1990 a 2012 e os valores calculado pela função de regressão no mesmo período.

A Figura B8 apresenta a evolução dos resíduos em função do tempo. Nenhum padrão ou série em princípio é identificado, o que corrobora com a inexistência de *autocorrelação* no modelo de regressão.

Figura B8 – Resíduos da regressão em função do tempo.

B.1.4 A questão da regressão espúria

Ao se trabalhar com modelos de série temporal, em muito dos casos as variáveis apresentam comportamento não estacionário, ou seja, sua média e variância têm alterações muito significativas ao longo do tempo. Essa característica pode levar a séries com bons estimadores estatísticos, onde as variáveis podem ter grande associação conjunta devido a evolução natural de seus valores ao longo do tempo, entretanto com embasamento lógico e conceitual inexistente, gerando uma regressão espúria (GUJARATI, 2004).

Para inibir este tipo de associação de dados, o modelo proposto no Capítulo 4 foi trabalhado em função do logaritmo natural buscando dar caráter estacionário a série temporal.

Em termos estatísticos o teste de *Engle-Grander* (ADIKINS, 2007) é utilizado para avaliar se séries temporárias são espúrias ou não. Seu embasamento teórico consiste na criação de uma regressão auxiliar para os resíduos a fim de verificar se os mesmos têm comportamento não estacionário ao longo do tempo, caracterizando uma regressão espúria.

Utilizando o software *Stata*®, o teste de teste de *Engle-Grander* pode ser realizado seguindo os comandos apresentados na Figura B9.

Figura B9 – Comandos para teste de *Engle-Grander*.

A Figura B10 apresenta o resultado gerado para a regressão.

```
. regress D.residuos L.residuos L.D.residuos, noconstant
```

Source	SS	df	MS	Number of obs = 21		
Model	.019740771	2	.009870385	F(2, 19) = 4.93		
Residual	.038060728	19	.002003196	Prob > F = 0.0189		
Total	.057801499	21	.002752452	R-squared = 0.3415		
				Adj R-squared = 0.2722		
				Root MSE = .04476		

D.residuos	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
residuos						
L1.	-.7111601	.2272011	-3.13	0.006	-1.186697	-.2356228
LD.	.3073839	.2145684	1.43	0.168	-.141713	.7564808

Figura B10 – Resultado do teste de *Engle-Granger*.

Neste teste as seguintes hipóteses estão sendo avaliadas:

H_0 : os resíduos não são estacionários (a regressão é espúria);

H_1 : os resíduos são estacionários (a regressão não é espúria).

Analisando *p-value* de 0,006 para os *resíduos defasados* (L1), rejeita-se fortemente a hipótese nula, já que este valor é inferior a significância estatística buscada neste trabalho de 0,1000.

O *p-value* referente aos resíduos *defasados e diferenciados* (LD) foi de 0,1680. Embora o valor obtido tenha sido pouco maior do que a significância buscada, entende-se que este efeito tenha ocorrido devido a restrição de dados a partir de 1990, em uma amostragem maior o valor do *p-value* tenderia a diminuir, já que o modelo tem bom embasamento lógico-conceitual e boa aceitabilidade estatística.

B.2 VALORES COMPLETOS DA REGRESSÃO

A Tabela 11 no Capítulo 4 apresentou os resultados da regressão no período de cada cinco anos. A Tabela B1 apresenta a série de valores anualmente.

Tabela B1 – Dados completos da regressão.

Ano	Consumo de Energia Residencial (GWh)	Renda per Capta PPC Annual (US\$)	Produção Ref. e Freezers	Produção de Cond. de Ar	Produção de Chuveiros
1990	48666	7174,76	2837880	37448	8941651
1991	51037	7163,73	3197692	40010	9478150
1992	51865	7017,95	3521504	40203	10046839
1993	53629	7232,88	3863316	137377	10649649
1994	55952	7503,39	4205128	253733	11288628
1995	63581	7716,22	4258411	416887	11965946
1996	69056	7762,49	5466054	644029	12683903
1997	74071	7902,96	4942035	566790	13444937
1998	79378	7787,39	4061626	742420	14251633
1999	81291	7692,21	3679207	594614	15106731
2000	83613	7909,11	3876207	833667	16013135
2001	73770	7901,68	4086359	687089	17893486
2002	72740	8002,60	3945170	742047	14618033
2003	76143	7990,10	4888335	1191837	15214036
2004	78577	8343,61	5419934	1013935	16085219
2005	83193	8509,43	5296945	945306	16746502
2006	85810	8753,23	6128610	904864	19430707
2007	90881	9196,42	7318636	1018148	19592692
2008	95585	9583,21	6694221	940475	20887843
2009	101779	9437,51	7599290	1066753	19592692
2010	108457	10055,89	7861223	2182238	19904509
2011	111971	10149,40	8018478	2784016	20326419
2012	117646	10646,10	8175672	2267666	20748360
2013	152174	10877,90	8332804	3000000	21170331
2014	162064	11325,70	8489874	3559151	21592333
2015	167476	11643,20	8646884	3395425	22014366
2016	177156	12079,80	8803831	3886520	22436430
2017	185564	12456,00	8960717	4290479	22858524
2018	194506	12900,90	9117542	4439692	23280649
2019	203905	13321,70	9274305	4848551	23702804
2020	214065	13785,10	9431007	5220300	24124990
2021	224003	14243,10	9587648	5507112	24547207
2022	234904	14730,30	9744227	5900361	24969455
2023	245980	15221,80	9900745	6282023	25391733
2024	257548	15735,50	10057202	6640001	25814042
2025	269561	16258,50	10213597	7045229	26236381
2026	282080	16800,00	10369931	7451008	26658751
2027	294982	17353,50	10526204	7855064	27081152
2028	308435	17923,70	10682416	8283583	27503584
2029	322332	18507,20	10838567	8718177	27926046
2030	336730	19106,40	10994656	9158865	28348539

APÊNDICE C - PESQUISA DE PREÇOS E IMPOSTOS INERENTES

C.1 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTES A REFRIGERADORES E *FREEZERS* PRODUZIDOS NO BRASIL

Para obtenção do preço médio dos Refrigeradores e *Freezers* produzidos no Brasil foi realizada uma pesquisa em sites de tradicionais varejistas brasileiros em produtos comumente comercializados. Os dados são referentes ao mês de fevereiro de 2014.

Dois tipos de refrigeradores são mais comumente comercializados no Brasil: os de uma porta e os de duas portas. Os produtos de uma porta se constituem em um conceito mais simples e de menor custo, onde o refrigerador está integrado ao compartimento superior, o congelador. Estima-se que 40% dos produtos comercializados sejam classificados como uma porta.

Nos produtos duas portas um dos compartimentos tem a função de *Freezer* trabalhando em temperaturas negativas e um compartimento com a função de resfriamento. Estima-se que 60% dos produtos vendidos no país sejam de duas portas.

A Tabela C1 apresenta as informações obtidas:

Tabela C1 – Pesquisa de preços dos Refrigeradores e *Freezers* produzidos no Brasil.

Modelo (Marca)	Tipo	Preço Encontrado	Fonte
DC49A (Electrolux)	2 portas	R\$ 1.498,41	Extra
BRM48NR (Brastemp)	2 portas	R\$ 2.494,90	Extra
DC50X (Consul)	2 portas	R\$ 2.079,90	Extra
DC80(Electrolux)	2 portas	R\$ 2.879,91	Extra
BRE50NB (Brastemp)	2 portas	R\$ 2.245,41	Extra
Continental One (Continetal)	2 portas	R\$ 4.409,91	Extra
DF52 (Electrolux)	2 portas	R\$ 2.245,41	Extra
GR-S507GSM (Electrolux)	2 portas	R\$ 2.889,90	Extra
BRE50NE (Brastemp)	2 portas	R\$ 2.788,20	Extra
BRM50NR (Brastemp)	2 portas	R\$ 2.749,00	Magazine Luiza
RCCT495 (Continental)	2 portas	R\$ 1.649,00	Magazine Luiza
DF36X (Electrolux)	2 portas	R\$ 1.849,00	Magazine Luiza
RT38FDA (Samsung)	2 portas	R\$ 2.199,00	Magazine Luiza
BRE50NR	2 portas	R\$ 3.299,00	Magazine Luiza
RFGE70 (GE)	2 portas	R\$ 2.198,00	Wal-Mart
RT38FEAJDSL (Samsung)	2 portas	R\$ 2.398,00	Wal-Mart
DC44 (Electrolux)	2 portas	R\$ 1.357,90	Wal-Mart
DC52 (Electrolux)	2 portas	R\$ 2.478,00	Wal-Mart
GR-B507GSQ (LG)	2 portas	R\$ 2.388,00	Wal-Mart
NR-BT46VB1XB (Panasonic)	2 portas	R\$ 2.168,64	Ricardo Eletro
NR-BT46VB1W (Panasonic)	2 portas	R\$ 2.099,00	Ricardo Eletro
BRB39ABANA (Brastemp)	1 porta	R\$ 1.299,00	Ricardo Eletro
CRB36ABBNA (Consul)	1 porta	R\$ 1.149,00	Ricardo Eletro
CRB39 (Consul)	1 porta	R\$ 1.199,00	Magazine Luiza
RFE39 (Electrolux)	1 porta	R\$ 1.279,00	Magazine Luiza
CR39AB (Consul)	1 porta	R\$ 1.198,00	Wal-Mart
CRG36A (Consul)	1 porta	R\$ 1.298,00	Wal-Mart
ROC29 (Esmaltec)	1 porta	R\$ 899,00	Selfshop
ROC34 (Esmaltec)	1 porta	R\$ 921,50	Selfshop
Preço Médio 1 porta com Impostos		R\$ 1.155,313	
Preço Médio 2 portas com Impostos		R\$ 2.398,309	
Preço Médio RF com Impostos		R\$ 1.901,110	

Fonte: Adaptado de Extra (2014), Magazine Luiza (2014), Wal-Mart (2014), Ricardo Eletro (2014) e Selfshop (2014).

O *Preço Médio RF com Impostos* foi obtido pela média ponderada entre os preços médios dos produtos uma porta (40%) e duas portas (60%).

A tributação nos Refrigeradores e *Freezers* é regida pela NCM 84182100 e NCM 84183000 (RECEITA FEDERAL, 2014a). Para esses produtos os impostos

incidentes são o PIS/Pasep (1,65%), Cofins (7,60%), ICMS (12%) e IPI (15%). A tributação do produto é realizada conforme a equação abaixo:

$$\text{Preço Médio com Impostos} = \frac{\text{Preço Médio sem Impostos}}{(1 - \text{PIS/Pasep} - \text{Cofins} - \text{ICMS})} \times (1 + \text{IPI})$$

(Eq C.1)

Embora o IPI para esses produtos seja de 15%, no período em que foi realizada a pesquisa de preços a alíquota estava temporariamente em 10%, já que o governo federal a reduzira para incentivar a atividade econômica industrial no país (RECEITA FEDERAL, 2014a).

Aplicando-se a equação C.1 obtêm-se o *Preço Médio sem Impostos* para Refrigeradores e *Freezers*, de R\$ 1.361,022.

Para a construção da Tabela 14 no Capítulo 5, foi considerada a alíquota de IPI original de 15%, resultando em um *Preço Médio com Impostos* para Refrigeradores e *Freezers* de R\$ 1.987,525.

C.2 PESQUISA DE PREÇOS SOBRE O CUSTO MÉDIO DA TECNOLOGIA DE REFRIGERADORES E *FREEZERS* DE MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

No Brasil, dois fabricantes produzem refrigeradores que utilizam capacidade de refrigeração variável (Whirlpool e Panasonic). Produtos similares com e sem capacidade variável foram pesquisados, permitindo a comparação de preços, apresentada na Tabela C2.

Tabela C2 – Pesquisa de preços para comparativo entre tecnologias de velocidade variável (*inverter*) para Refrigeradores e *Freezers*.

Produto	Especificação	Fast Shop	Ricardo Eletro	Wal-Mart	Ponto Frio	Preço Médio	Preço Médio sem Impostos ¹	Diferença entre Preços Médios sem Impostos
Panasonic NR-BT48PV1W (<i>inverter</i>)	Refrigerador Inverter	R\$ 2.225,60	R\$ 2.399,00	-	-	R\$ 2.312,30	R\$ 1.655,40	R\$ 298,58
Panasonic NR-BT46VB1W (<i>on/off</i>)	Refrigerador On/Off	R\$ 1.691,46	R\$ 2.099,00	-	-	R\$ 1.895,23	R\$ 1.356,81	
Brastemp BRE51NB (<i>inverter</i>)	Refrigerador Inverter	-	-	R\$ 2.338,20	R\$ 2.447,91	R\$ 2.393,06	R\$ 1.713,21	R\$ 192,83
Brastemp BRE50NB (<i>on/off</i>)	Refrigerador On/Off	-	-	R\$ 2.248,20	R\$ 1.999,20	R\$ 2.123,70	R\$ 1.520,38	

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

¹ – No período da pesquisa a alíquota de IPI estava em 10%.

A partir da pesquisa em diferentes varejistas, obteve-se o preço médio de cada produto em análise. Aplicando-se a equação C1 obteve-se o preço médio sem impostos dos produtos, permitindo mensurar o aumento de preço referente a utilização do conceito de velocidade variável para Panasonic e Whirlpool (representadas respectivamente em verde e azul na tabela). Pela média aritmética dos valores adicionais para cada fabricante, encontrou-se o *Custo Médio da Tecnologia* de R\$ 245,71, discutido no Capítulo 5.

C.3 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTE AOS CONDICIONADORES DE AR PRODUZIDOS NO BRASIL

De maneira análoga ao que foi feito para os Refrigeradores e *Freezers*, foi realizada uma pesquisa dos preços de Condicionadores de Ar comercializados no Brasil entre 9.000 a 18.000 BTU/h, conforme a Tabela C3.

Tabela C3 – Pesquisa de preços dos Refrigeradores e *Freezers* produzidos no Brasil.

Modelo (Marca)	Tipo	Preço Encontrado	Fonte
2455910 (Brize)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 1.699,90	Extra
1000046174 (Springer)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 2.199,90	Extra
PRF18 (Elgin)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 3.599,00	Extra
PI18R/PE18R (Electrolux)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 2.229,00	Ricardo Eletro
CCI18DB (Consul)	Janela -18.000 BTU/h	R\$ 1.499,00	Ricardo Eletro
CBF18/CBG18CB (Consul)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 2.499,00	Ricardo Eletro
42MLQB18M5 (Midea)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 1.849,00	Central do Ar Cond.
Ecoturbo (Electrolux)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 2.199,00	Americanas
KOS18QC (Komeco)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 2.270,50	Webarcondicionado
110264242 (Samsung)	Split - 18.000 BTU/h	R\$ 1.849,00	Shotime
TS-H122ERM1 (LG)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.548,00	Wal-Mart
AS-Q122BRW0 (LG)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.998,00	Wal-Mart
PAC AN 120 (De'longhi)	Portátil - 12.000 btu/h	R\$ 2.298,00	Wal-Mart
TE18F / TI18F (Electrolux)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 2.098,00	Wal-Mart
38KQE12S5 (Springer)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.399,90	Extra
CCY12DB (Consul)	Janela -12.000 BTU/h	R\$ 1.349,90	Extra
Philco (PH12000F)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.199,90	Extra
TE12R/TI12R (Electrolux)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.699,90	Extra
SRF12000 (Elgin)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.044,05	Webarcondicionado
AQ12UWBVXAZ (Samsung)	Split - 12.000 BTU/h	R\$ 1.329,05	Magazine Luiza
CCN10DBANA (Consul)	Janela -10.000 BTU/h	R\$ 1.198,00	Wal-Mart
EM10F (Electrolux)	Janela - 10.000 BTU/h	R\$ 1.099,00	Casas Bahia
Duo (Springer)	Janela - 10.000 BTU/h	R\$ 1.169,00	Refrigerede
38KQE09S5 (Springer)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 1.399,90	Extra
Vize (Midea)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 1.149,90	Extra
ASV09 (Samsung)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 1.458,00	Wal-Mart
38KCJ09M5/42MLCC09M5 (Midea)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 999,00	Ricardo Eletro
Princess (Komeco)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 1.189,05	Leroy Merlin
SGCJAS09UWBUXX (Samsung)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 1.127,33	Fast Shop
SRFI-9000-2 / SRFE-9000 (Elgin)	Split - 9.000 BTU/h	R\$ 949,00	Multi-ar
Preço Médio AC com Impostos		R\$ 1.653,206	

Fonte: Adaptado de Extra (2014), Ricardo Eletro (2014), Frigelar (2014), Americanas (2014), Webarcondicionado (2014), Wal-Mart (2014) e Casas Bahia (2014), Refrigerede (2014), Leroy Merlin (2014), Fast shop (2014) e Multiar (2014).

A tributação dos Condicionadores de Ar é regida, pela NCM 84151011 e a NCM 84151090, onde os impostos incidentes são PIS/Pasep (1,65%), Cofins (7,60%), ICMS (12%) e IPI (20%) (RECEITA FEDERAL, 2014a). Aplicando-se a equação C1 obteve-se o *Preço Médio AC sem Impostos*, de R\$ 1.084,916.

C.4 PESQUISA DE PREÇOS SOBRE O CUSTO MÉDIO DA TECNOLOGIA DE CONDICIONADORES DE AR MAIOR EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Assim como apresentado para os Refrigeradores e *Freezers*, foi realizada uma pesquisa de preços em Condicionadores de Ar de características similares, que se diferenciam basicamente pelo conceito de velocidade variável (*inverter*). Produtos dos fabricantes Samsung, LG e Whirlpool (Consul) foram analisados.

A Tabela C4 apresenta os resultados.

Tabela C4 – Pesquisa de preços para comparativo entre tecnologias de velocidade variável (*inverter*) para Condicionadores de Ar.

Produto	Especificação	Fast Shop	Magazine Luiza	Wal-Mart	Ponto Frio	Preço Médio	Preço sem Impostos	Diferença entre Preço Médio sem Impostos
Samsung AQV12PSBT (inverter)	Ar Condicionado Inverter	R\$ 1.832,50	R\$ 1.804,05	-	R\$ 1.799,90	R\$ 1.812,15	R\$ 1.189,22	R\$ 295,55
Samsung AQ12UWBVXAZ (on/off)	Ar Condicionado On/Off	R\$ 1.456,41	R\$ 1.329,05	-	R\$ 1.299,90	R\$ 1.361,79	R\$ 893,67	
LG AS-Q122BRW0 (inverter)	Ar Condicionado Inverter	-	-	R\$ 1.998,00	-	R\$ 1.998,00	R\$ 1.311,19	R\$ 328,13
LG TS-C122ERM (on/off)	Ar Condicionado On/Off	-	-	R\$ 1.498,00	-	R\$ 1.498,00	R\$ 983,06	
Consul CBF12CB (inverter)	Ar Condicionado Inverter	-	R\$ 1.779,00	-	-	R\$ 1.779,00	R\$ 1.167,47	R\$ 216,56
Consul CBU12CB (on/off)	Ar Condicionado On/Off	-	R\$ 1.449,00	-	-	R\$ 1.449,00	R\$ 950,91	

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

A diferença entre os preços médios (última coluna da Tabela C4) representa o custo adicional do produto com tecnologia mais eficiente. Pela média aritmética dos valores adicionais de cada fabricante, encontrou-se o *Custo Médio da Tecnologia* para os Condicionadores de Ar de R\$ 280,08, discutido no Capítulo 5.

C.5 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTES AOS CHUVEIROS E DUCHAS ELÉTRICAS PRODUZIDOS NO BRASIL

De maneira análoga ao que foi realizado para os itens anteriores, foi realizada uma pesquisa sobre os preços de Chuveiros e Duchas Elétricas produzidos no Brasil. A Tabela C5 apresenta os valores obtidos.

Tabela C5 – Pesquisa de preços dos Chuveiros e Duchas.

Modelo (Marca)	Tipo	Preço Encontrado	Fonte
Ducha Optima 5500W (Thermosystem)	Ducha / Chuveiro	R\$ 199,00	Wal-Mart
Jet Turbo 5500W (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 252,90	Wal-Mart
Corona Mega Banho (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 129,90	Wal-Mart
Jet Turbo 7500W (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 258,00	Wal-Mart
Ducha Digital Délus 5500W (Thermosystem)	Ducha / Chuveiro	R\$ 299,90	Wal-Mart
Banhão Press 4 (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 193,90	Wal-Mart
Mega Banho 4 (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 129,90	Wal-Mart
Tradição (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 134,00	Wal-Mart
Relax (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 84,60	Wal-Mart
Banhão Hand (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 79,90	Wal-Mart
Fashion 4 (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 64,90	Wal-Mart
Ducha Smart Multitemperaturas 7500W (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 79,00	Wal-Mart
Aqqua Flex (Fame)	Ducha / Chuveiro	R\$ 122,90	Telhanorte
Advanced (Eletrônica)	Ducha / Chuveiro	R\$ 162,90	Telhanorte
Banho Nosso 4 (Fame)	Ducha / Chuveiro	R\$ 94,90	Telhanorte
Kibanho (Fame)	Ducha / Chuveiro	R\$ 42,74	Zoom
Super Ducha 4 (Fame)	Ducha / Chuveiro	R\$ 35,41	Zoom
Ducha Elétrica 5400W (Forusi)	Ducha / Chuveiro	R\$ 45,90	Wal-Mart
Ducha 5500W (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 49,00	Wal-Mart
Jet Control (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 129,90	Magazine Luiza
Belo Banho (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 49,90	Magazine Luiza
Chuveiro Tradicional (Fame)	Ducha / Chuveiro	R\$ 93,90	Central do Ar Cond.
Chuveiro Elétrica Advanced (Lorenzetti)	Ducha / Chuveiro	R\$ 46,90	Central do Ar Cond.
Ducha SS (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 29,90	Central do Ar Cond.
Gorducha (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 44,34	Shopdesconto
Super Ducha 4 Plus (Fame)	Ducha / Chuveiro	R\$ 31,40	Casa Líder
Ducha Corona Tradicional (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 25,28	Racetools
Chuveiro Jato Obediente (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 67,99	Águas Clara
Ducha Space Power (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 130,41	Extra
Total Evolution (Corona)	Ducha / Chuveiro	R\$ 521,91	Extra
Preço Médio Chuv com Impostos		R\$ 121,049	

Fonte: Adaptado de Wal-Mart (2014), Telhanorte (2014), Zoom (2014), Magazine Luiza (2014), Shopdesconto (2014), Casa Líder (2014), Águas Claras (2014) e Extra (2014).

A tributação nos Chuveiros e Duchas Elétricas é regida pela NCM 8516.10.00. Para esses produtos os impostos incidentes são o PIS/Pasep (1,65%), Cofins (7,60%), ICMS (12%) e IPI (0%) (RECEITA FEDERAL, 2014a). Por meio da equação C1, obteve-se o *Preço Médio Chuv sem Impostos* de R\$ 95,33, apresentando no Capítulo 5.

C.6 PESQUISA DE PREÇOS REFERENTES AOS AQUECEDORES SOLARES PRODUZIDOS NO BRASIL

A Tabela C6 apresenta a pesquisa de preços para sistemas de *Aquecedores Solares* pesquisados em fevereiro de 2014.

Tabela C6 – Pesquisa de preços dos Aquecedores Solares.

Modelo	Tipo	Preço Encontrado	Fonte
Aquecedor Solar de Água - 400 Litros Baixa Pressão (Komeco)	2 placas / Baixa Pressão	R\$ 1.610,00	Paulucy
Aquecedor Solar Colsol 400 Litros certificado pelo INMETRO	3 placas / Alta Pressão	R\$ 3.030,00	Soletrol
Aquecedor Solar - Boyler 400L + 3 placas (frete não incluído)Aquecedor Solar - Boyler 400L + 3 placas	3 placas / Alta Pressão	R\$ 2.640,00	Coifa Nova
Reservatório para Aquecedor Solar Rinnai RTH - 600 Alta Pressão + Três placas coletoras RCS2000V	3 placas / Alta Pressão	R\$ 7.570,00	Coifa Nova
Reservatório para Aquecedor Solar Rinnai RTH-200 Baixa Pressão + Duas placas coletoras RCS1000V	2 placas / Baixa Pressão	R\$ 2.880,00	Coifa Nova
Kit Aquecedor Solar 200 Litros Belosol com 2 placas e Baby Ducha (ThermoSystem)	2 placas e Babyducha	R\$ 899,00	Casa e Construção
Preço Médio dos Aquecedores com Impostos		R\$ 3.104,833	

Fonte: Paulucy (2014), Soletrol (2014), Coifa Nova (2014) e Casa e Construção (2014).

Para os Aquecedores Solares a tributação vigente é definida pela NCM 8419.19.10. Os impostos a eles inerentes são o PIS/Pasep (1,65%) e o Cofins (7,60%), já que são isentos de IPI e ICMS (RECEITA FEDERAL, 2014a; PRADO, 2011). Desta forma, utilizando a equação C.1, o *Preço Médio dos Aquecedores Solares* sem impostos foi de R\$ 2.817,64.

A Tabela C7 apresenta a pesquisa de preços para sistemas de *Aquecedores Solares* de conceito mais simplificado, discutido no Capítulo 5.

Tabela C7 – Pesquisa de preços dos Aquecedores Solares de conceito mais simplificado.

Modelo	Tipo	Preço Encontrado	Fonte
Kit Aquecedor Solar 200 Litros Belosol com 2 placas e Baby Ducha (ThermoSystem)	2 placas e Babyducha	R\$ 899,00	Casa e Construção
		R\$ 1.043,10	Americanas
		R\$ 931 ,73	Leroy Merlin
		R\$ 890,19	Shopbot
Preço Médio		R\$ 944,10	

Fonte: Casa e Construção (2014), Americanas (2014), Leroy Merlin (2014) e Shopbot (2014).

Como uso da equação C.1, obteve-se o *Preço Médio dos Aquecedores Solares* de conceito mais simplificado sem impostos de R\$ 856,77.