

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA

Avaliação dos impactos energéticos na redução das emissões de CO₂ associadas aos mecanismos de Eficiência Energética no Brasil: uma proposta metodológica e estudo de caso

Nathália Duarte Braz Vieira

Itajubá, julho de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA

Nathália Duarte Braz Vieira

Avaliação dos impactos energéticos na redução das emissões de CO₂ associadas aos mecanismos de Eficiência Energética no Brasil: uma proposta metodológica e estudo de caso

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Jamil Haddad

Co-orientador: Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira

Julho de 2016
Itajubá

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
DE ENERGIA

Nathália Duarte Braz Vieira

Avaliação dos impactos energéticos na redução das emissões de CO₂ associadas aos mecanismos de Eficiência Energética no Brasil: uma proposta metodológica e estudo de caso.

Dissertação aprovada por banca examinadora em 20 de julho de 2016, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jamil Haddad (Orientador)

Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira (Co-Orientador)

Prof. Dr. Germano Lambert-Torres

Prof. Dr. Marcos Vinícius Xavier Dias

Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita

Itajubá

2016

AGRADECIMENTOS

À Deus, o autor da vida, por sempre ter mais a agradecer do que pedir.

Aos meus pais, Antônio Maria Claret (sempre presente) e Marlene, por acreditarem que a educação seria o melhor presente a receber.

Aos meus orientadores, Jamil Haddad e Luiz Augusto Horta Nogueira, pela confiança em meu trabalho e por terem me concedido a honra de trabalhar sob sua orientação, transmitindo suas valiosas experiências.

Aos professores e mestres do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, pela amizade e conhecimento inigualável transmitido. Aprender com vocês foi único.

Aos companheiros e colegas de mestrado, cujo apoio e amizade aliviaram o peso da caminhada e deram força para prosseguir quando parecia impossível.

Aos colegas e companheiros do EXCEN, pelos conselhos e auxílio sempre que necessário.

A CAPES e Eletrobras, pelo apoio financeiro que viabilizou a execução deste trabalho, e à ANEEL pelo fornecimento de dados.

A todos que, direta ou indiretamente participaram deste trabalho, o meu sincero obrigado.

RESUMO

As recentes discussões ambientais globais têm destacado a urgente necessidade de se criar mecanismos de mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Desde a década de 70, marcada por crises energéticas e pelo despertar do debate ambiental, a eficiência energética vem sendo proposta como instrumento viável de conciliação entre as demandas energéticas e equilíbrio do meio ambiente, ao permitir a execução de trabalho consumindo menos energia e conseqüentemente, com menores níveis de emissões. No Brasil, diversos são os mecanismos existentes para a promoção do uso racional de energia, que trabalham de forma integrada e ao mesmo tempo, com suas particularidades, tais como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), a Lei de Eficiência Energética e o Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), objetos deste trabalho. Os impactos energéticos destes mecanismos já são conhecidos e estudados enquanto a análise do potencial ambiental, porém, ainda é pouco desenvolvida. Neste sentido, este estudo busca propor uma abordagem metodológica para avaliação das emissões evitadas pelas iniciativas de eficiência energética atualmente em vigor no país, por meio da decomposição das economias globais para cada uso final e região conforme a curva de carga de cada setor e região geográfica, para correlacioná-las com o fator de emissão horário do sistema e assim, obter um resultado mais preciso. Nesse sentido, foram caracterizados perfis de carga de consumo nos diferentes segmentos econômicos e regiões. Para a abordagem realizada, estima-se que desde 2001 as ações do Procel tenham evitado a emissão de 26,2 MtCO₂, principalmente no setor residencial pelas ações em refrigeração e iluminação, sendo a região Sudeste a que mais contribuiu para este resultado. Já o PEE, contribuiu com 1,42 MtCO₂ evitadas, no período de 2009 a 2015, concentrando também seus maiores alcances no setor residencial. A Lei de Eficiência Energética por sua vez, evitou que fossem lançadas a atmosfera 3,79 MtCO₂, principalmente pelo banimento das lâmpadas incandescentes do mercado e regulamentação de lâmpadas fluorescentes compactas. A metodologia proposta alcançou resultados superiores aos reportados pela metodologia Procel, porém compatíveis com valores internacionais. Diante disso, este estudo reafirma a importância da eficiência energética como instrumento de mitigação a mudança climática e identifica as potencialidades existentes no Brasil para ampliação da ação destes mecanismos.

Palavras-chave: Economia de energia; emissões evitadas; programas de eficiência energética; curva de carga de consumo; Brasil.

ABSTRACT

The recent global environmental discussions have highlighted the urgent need to create mechanisms to mitigate and adapt to the climate change. Since the energy crisis in the 1970s, which triggered the environmental debate, energy efficiency has been proposed to be a viable instrument of coexistence between the energetic demand and the balance of the environment as less energy is used and emission levels are lowered. In Brazil there are many mechanisms to promote the rational use of energy, which work together and at the same time, with its particularities, such as the national National Program of Energy Conservancy (PROCEL), the Energy Efficiency Law, and ANEEL's Energy Efficiency Program (PEE), subjects of this study. The energetic impacts of these mechanisms are already known and studied while the analysis of the environmental potential is still little developed. Thus this study seeks to propose a methodological approach of evaluation of the emissions prevented by the existing energetic efficiency initiatives in the country through the decomposition of the global economies for each final use and region according to the load curve for each sector and geographical region, to correlate them with the system's hourly emission factor and therefore obtain a result that is closer to the reality. For this approach, it is estimated that Procel actions has prevented the emission of 26,2 MtCO₂ between 2001 and 2015, mainly in refrigeration and lighting in the residential sector, being the southeast the region that contributed most for this result. PEE contributed with 1,42 MtCO₂ avoided from 2009 to 2015, also focusing its greatest achievements in the residential sector. The Energy Efficiency Law, in turn, avoided the release into the atmosphere of 3,79 MtCO₂, especially by the ban of incandescent lamps and regulatory of compact fluorescent lamps. The proposed methodology has achieved superior results than those reported by Procel methodology, but consistent with international metrics. Thus, this study reaffirms the energy efficiency concernment as instrument for climate change mitigation and identifies the existing potential in Brazil to expand the action of these mechanisms.

Keywords: Energy savings; avoided emissions; energy efficiency programs; consumption load curve, Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Ranking mundial em eficiência energética em 2014	3
Figura 2.1 - Consumo setorial de eletricidade de 2005 a 2014.....	7
Figura 2.2 - Decomposição das variações no consumo de eletricidade no setor residencial (estrutura = regiões) no Brasil: 1980-2007 (GWh)	10
Figura 2.3 - Comparativo curva de consumo residencial por região e Brasil.....	11
Figura 2.4 – Participação média no consumo de eletricidade residencial dos usos finais para o Brasil no inverno e verão.....	12
Figura 2.5 - Posse de condicionadores de ar por estado em porcentagem de domicílios	12
Figura 2.6 - Vendas de equipamentos de ar condicionado (tipo <i>split</i> e janela)	13
Figura 2.7 - Distribuição do consumo de eletricidade no setor comercial.....	15
Figura 2.8 - Distribuição do consumo de eletricidade no setor público	15
Figura 2.9 - Consumo final de energia em agências bancárias brasileiras, localizadas em diversas capitais de Estados	15
Figura 2.10 – Comparação entre o consumo típico e eficiente (Boa Prática) de um escritório corporativo	16
Figura 2.11 - Curvas de carga típicas em diferentes estabelecimentos comerciais	17
Figura 2.12 - Curva de carga típica do setor comercial	17
Figura 2.13 - Relação entre o PIB setorial da indústria e o consumo de eletricidade (GWh)	18
Figura 2.14 - Variações nos perfis de carga para indústrias de mesmo segmento.....	19
Figura 2.15 - Curva de carga típica para o setor industrial.....	20
Figura 2.16 - Evolução da oferta interna de energia 1970-2013.....	21
Figura 2.17 - Participação de renováveis na matriz elétrica de diferentes países.....	22
Figura 2.18 - Histórico da evolução dos fatores de emissão do SIN (2006-2015) – Método análise de despacho	25
Figura 2.19 - Análise histórica da carga de energia do sistema e da energia armazenável máxima nos reservatórios	25
Figura 2.20 - Histórico da geração termelétrica convencional no SIN de 2000-2015.....	26
Figura 2.21 - Relação custo-benefício média dos projetos registrados no PEE	31
Figura 2.22 - Custo da energia conservada por segmento industrial	32
Figura 2.23 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia no âmbito do PBE.....	36
Figura 2.24 - Relação entre o Programa Brasileiro de Etiquetagem e os selos PROCEL e CONPET	37

Figura 2.25 – Exemplo de processo de determinação de economia de energia.....	40
Figura 2.26 - Distribuição das vendas anuais de equipamentos de acordo com a classe na situação original, e com a introdução do selo de eficiência, selo de endosso e IMEEs.....	41
Figura 3.1 - Fluxograma Esquemático - Linha do tempo da implementação da Lei de Eficiência Energética.....	54
Figura 3.2 - Participação dos diferentes usos finais/equipamentos no setor comercial.....	56
Figura 4.1 - Curva de regressão para o mercado de condicionadores de ar.....	60
Figura 4.2 - Curva de regressão para o mercado de iluminação.....	61
Figura 4.3 - Curva de carga residencial para Região Norte (verão).....	63
Figura 4.4 - Curva de carga residencial para Região Norte (inverno).....	63
Figura 4.5 - Curva de carga residencial para Região Nordeste (verão).....	63
Figura 4.6 - Curva de carga residencial para Região Nordeste (inverno).....	64
Figura 4.7 - Curva de carga residencial para Região Centro-Oeste (verão).....	64
Figura 4.8 - Curva de carga residencial para Região Centro-Oeste (inverno).....	64
Figura 4.9 - Curva de carga residencial para Região Sudeste (verão).....	65
Figura 4.10 - Curva de carga residencial para Região Sudeste (inverno).....	65
Figura 4.11 - Curva de carga residencial para Região Sul (verão).....	65
Figura 4.12 - Curva de carga residencial para Região Sul (inverno).....	66
Figura 4.13 - Curva de carga comercial.....	66
Figura 4.14 - - Curva de carga setor público.....	66
Figura 4.15 - Curva de carga do setor industrial.....	67
Figura 4.16 - Correlação entre participação das térmicas e fator de emissão.....	67
Figura 4.17 - Mix de combustíveis na oferta interna de energia elétrica.....	68
Figura 4.18 - Correlação dos fatores horários de emissão no período seco de 2000 a 2015.....	69
Figura 4.19 - Correlação dos fatores horários de emissão no período úmido de 2000 a 2015.....	69
Figura 4.20 - Distribuição regional das emissões evitadas pelo Procel entre 2001 e 2015.....	70
Figura 4.21 - Distribuição regional das emissões evitadas pelo Procel conforme uso final e setor econômico.....	71
Figura 4.22 - Evolução das emissões evitadas pelo Procel no setor residencial de 2003 a 2015.....	72
Figura 4.23 - Evolução das emissões evitadas pelo Procel de 2001 a 2015, por setor econômico....	73
Figura 4.24 - Evolução das emissões evitadas no setor comercial por uso final.....	74
Figura 4.25 - Emissões evitadas na indústria pelo Procel de 2003 a 2015.....	74
Figura 4.26 - Emissões evitadas pelo Procel Reluz de 2001 a 2014.....	75

Figura 4.27 - Emissões evitadas pelo Procel em cada região de acordo com a época do ano e período do dia.....	75
Figura 4.28 - Distribuição regional dos resultados do PEE	77
Figura 4.29 - Participação regional das emissões evitadas pelo PEE conforme o setor e uso final ..	78
Figura 4.30 - Distribuição das emissões evitadas no setor residencial em cada região geográfica pelo PEE.....	79
Figura 4.31 - Distribuição das emissões evitadas pelo PEE no setor comercial de 2009 a 2015, segundo uso final	80
Figura 4.32 - Distribuição das emissões evitadas pelo PEE no setor industrial, conforme uso final, de 2009 a 2015	80
Figura 4.33 - Distribuição das emissões evitadas no setor público conforme o uso final	81
Figura 4.34 - Emissões evitadas pelo PEE desagregadas por setor, conforme a estação e período do dia.....	82
Figura 4.35 - Emissões evitadas pelas ações executadas no âmbito da Lei de Eficiência Energética para os dados analisados entre 2008-2015	83
Figura 4.36 - Emissões evitadas pela Lei de Eficiência Energética por setor, região e uso final	84
Figura 4.37 - Emissões evitadas pela Lei 10.295/2001, desagregadas por setor, conforme a estação e período do dia.....	85
Figura 4.38 - Resultados finais do Procel (2003-2013), PEE (2009-2015) e Lei de Eficiência Energética (2003*-2015).....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Uso final de eletricidade por setor econômico, potenciais de eficiência energética e mecanismos utilizados no Brasil.....	8
Tabela 2.2 - Enquadramento das unidades consumidoras de energia elétrica nos setores comercial e público segundo a REN ANEEL 414/2010	14
Tabela 2.3 - Fatores de emissões associadas a eletricidade em diferentes países.....	24
Tabela 2.4 - Relação das tipologias dos projetos registrados no PEE de 2008 a setembro/2015	30
Tabela 2.5 - Portarias e Decretos do CGIEE no âmbito da Lei 10.295/2010	34
Tabela 2.6 - Principais resultados do PROCEL no período de 2009-2014.....	39
Tabela 2.7 - Geração de energia por fonte projetada e efetivamente ocorrida, entre 2001 e 2010....	44
Tabela 2.8 – Exemplos de metodologias empregadas para cálculo das emissões evitadas por projetos de eficiência energética e energia renovável na América do Norte	46
Tabela 3.1 - Mecanismos de eficiência energética e respectivos períodos analisados	48
Tabela 3.2 - Divisão regional do mercado de equipamentos - Dados disponíveis	49
Tabela 3.3 - Divisão setorial das economias conforme uso final.....	50
Tabela 3.4 - Divisão sazonal das economias conforme o uso final	50
Tabela 3.5 - Distribuição regional dos projetos do PEE analisados	52
Tabela 3.6 - Vida útil média dos equipamentos analisados e parâmetros de avaliação.....	53
Tabela 3.7 - Variação sazonal da participação dos diferentes usos finais por região no consumo de eletricidade.....	56
Tabela 3.8 - Distribuição do consumo de energia conforme uso final na indústria.....	57
Tabela 4.1 - Distribuição regional do parque industrial brasileiro de 2003-2013	61
Tabela 4.2 - Distribuição regional de refrigeradores de 2003 a 2008.....	61
Tabela 4.3 - Fatores de emissão (tCO ₂ /MWh) calculados via regressão linear para o período de 2000-2005	68
Tabela 4.4 - Comparativo dos resultados alcançados pela metodologia proposta e o reportado pelo PROCEL.	86
Tabela 4.5 - Valores de tCO ₂ evitado/MWh _{economizado} para diferentes iniciativas em eficiência energética.....	87

LISTA DE SIGLAS

- ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
- AEE – Ação de Eficiência Energética
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
- ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
- BEN – Balanço Energético Nacional
- BEU – Balanço de Energia Útil
- BRICs – Brasil, Rússia, Índia e China
- CBCS – Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis
- CGIEE - Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética
- CIMC – Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima
- CLASP - *Collaborative Labeling and Appliance Standards Program*
- CNT - Confederação Nacional do Transporte
- COELBA – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
- CONPET – Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
- COP – Conferência entre as Partes (ONU)
- CPD – Centro de Processamento de Dados
- DASOL – Departamento de Aquecimento Solar da ABRAVA
- EE – Energia Economizada
- ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
- EPP – Eficiência Energética nos Prédios Públicos
- EXCEN – Centro de Excelência em Eficiência Energética
- FNDCT - Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- GEM – Gestão Energética Municipal
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor
- IEA – *International Energy Agency*
- IIEC - *International Institute for Energy Conservation*
- IMEE – Índices Mínimos de Eficiência Energética
- INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- LBNL - *Lawrence Berkeley National Laboratory*

LED - *Light Emitting Diode*

LFC – Lâmpada Fluorescente Compacta

LFT – Lâmpada Fluorescente Tubular

M&V – Medição e Verificação

MCTI – Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MME – Ministério de Minas e Energia

MPEE - Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética

ONS – Operador Nacional do Sistema

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PEE – Programa de Eficiência Energética

PIA – Pesquisa Industrial Anual

PIB – Produto Interno Bruto

PIMVP - Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

PNAD – Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios

PNEf – Plano Nacional de Eficiência Energética

PNLT – Plano Nacional de Logística e Transporte

PNMC – Política Nacional de Mudança Climática

PPHU – Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso

POF – Pesquisa de Orçamentos Familiares

PROALCOOL – Programa Nacional do Alcool

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROESCO – Programa de Apoio à Empresas de Serviços de Conservação de Energia

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PPT – Programa Prioritário de Termelétricas

RCB – Relação Custo-Benefício

RDP – Redução de Demanda de Ponta

SEEG – Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa

SIN – Sistema Interligado Nacional

SINPHA – Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico

VRF – *Variable Refrigerant Flow* (sistemas de ar condicionado com fluxo variável de fluido refrigerante)

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS.....	xi
SUMÁRIO.....	xiii
1 Introdução.....	1
1.1 Objetivos.....	4
1.2 Justificativa do trabalho.....	4
1.3 Estrutura do trabalho.....	6
2 Aspectos teóricos e fundamentos.....	7
2.1 Caracterização do consumo de eletricidade no Brasil.....	7
2.1.1 Consumo residencial.....	9
2.1.2 Consumo comercial e público.....	14
2.1.3 Consumo Industrial.....	18
2.2 Emissões de CO ₂ associadas à geração e consumo de eletricidade no brasil.....	20
2.2.1 Evolução da matriz energética brasileira.....	20
2.2.2 Fatores de emissão da Matriz Elétrica Brasileira.....	23
2.3 Histórico da criação de políticas em eficiência energética no Brasil.....	27
2.4 Principais legislações em eficiência energética.....	28
2.4.1 Programa de Eficiência Energética da ANEEL (Lei 9.991/2000).....	29
2.4.2 Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001).....	33
2.5 Programas de Etiquetagem Energética.....	35
2.5.1 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL).....	38
2.6 Medição e verificação de economias de projetos de eficiência energética.....	39
2.7 Metodologias de análise das emissões evitadas por ações de eficiência energética.....	43
3 Metodologia.....	47
3.1.1 Construção da base de dados das economias de energia.....	47
3.1.2 Definição da linha de base.....	48
3.1.3 Tratamento dos dados de economia de energia.....	48

3.1.4	Hipóteses e critérios de distribuição das economias ao longo da curva de carga de consumo.	55
3.1.5	Cálculo dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional – Regressão linear dos dados	58
3.1.6	Modelagem proposta.....	59
4	Resultados e discussões	60
4.1	Economias de energia – informações tratadas	60
4.1.1	Análise Regional	60
4.1.2	Economias de energia tratadas	62
4.2	Fatores de Consumo de energia	62
4.2.1	Curvas de carga setoriais.....	62
4.3	Fatores de Emissão.....	67
4.4	Impactos ambientais decorrentes das ações de Eficiência Energética.....	70
4.4.1.1	Resultados – PROCEL	70
4.4.1.2	Resultados - Programa de Eficiência Energética da ANEEL	77
4.4.1.3	Resultados – Lei de Eficiência Energética	83
4.5	Resultados Gerais.....	85
4.6	Validação do Modelo	86
5	Conclusões	89
6	Referências bibliográficas.....	92
7	Publicações.....	104
	ANEXOS	106

1 INTRODUÇÃO

O efeito estufa antrópico e a mudança do clima são um dos principais temas quando se trata de problemas ambientais no contexto atual. Segundo Mendonça e Gutierrez (2000), estes fenômenos estão intimamente associados à elevação do consumo energético, dado o uso de combustíveis fósseis para a obtenção de energia nas mais diversas atividades do homem, principalmente nos setores de transportes, indústria e geração de energia, acarretando a emissão de grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera.

Logo, as atividades associadas à produção, transformação e ao consumo de energia contribuem significativamente para o incremento das emissões globais de gases de efeito estufa e seu entendimento se torna um ponto chave para implementação de ações preventivas as mudanças climáticas, tanto no Brasil quanto no mundo.

Há algumas décadas, as emissões do setor energético brasileiro não eram muito significativas dadas às características predominantemente hidrelétricas do parque gerador de energia (75%). Mas, a partir da década de 1970, com o aumento da demanda de energia no país, foi necessária a entrada de termelétricas a óleo diesel, óleo combustível e gás natural, e com isso as emissões de CO₂ no setor se tornaram mais intensas (GARCIA, 2009; GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

Desde então, as emissões do setor energético brasileiro têm crescido significativamente. Em 2014, o setor de energia foi responsável pela emissão de 479,14 milhões de toneladas brutas de CO₂, alta de 43% em relação as 335,7 milhões de toneladas em 2006, segundo o Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG)¹ (2015), englobando as atividades de exploração e extração de fontes primárias de energia; conversão de fontes primárias em fontes secundárias; e consumo final de energia em aplicações móveis ou estacionárias. Com isso, a participação da energia nas emissões totais foi de aproximadamente um terço (30,7%), contra 16,2% em 2006.

Desse modo, a redução nas emissões totais do Brasil implica no estabelecimento de políticas energéticas e na adoção de medidas efetivas de mitigação. Pacala e Socolow (2004) avaliaram as tecnologias e medidas mitigadoras disponíveis atualmente para a estabilização do carbono em 500 ± 50 ppm (concentração limite para prevenir uma mudança climática drástica), sem comprometer o suprimento da demanda energética mundial nos próximos 50 anos. Dentre as proposições, os autores destacam as medidas em eficiência energética como maiores potenciais de redução de

¹ O SEEG é uma iniciativa da organização não governamental Observatório do Clima, com o objetivo de fornecer estimativas anuais das emissões brasileiras de gases de efeito estufa, segundo as diretrizes do IPCC e com base nos inventários nacionais publicados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCTI), relatórios governamentais, institutos e centros de pesquisa. A iniciativa foi criada de modo a cobrir a defasagem entre a publicação dos inventários nacionais (média de 3 anos), cujo período coberto demora a captar a evolução das emissões, fornecendo dados atualizados.

emissões em 2050, a partir do acréscimo de eficiência em edificações, plantas geradoras de energia e veículos (incluindo a diminuição da dependência deste).

Uma ação de eficiência energética ou conservação de energia consiste na otimização e redução do consumo energético e justifica-se não só por apresentar vantagens ambientais em termos de redução de emissões, mas também por apresentar retornos de investimento. Segundo Goldemberg e Villanueva (2003), a eficiência energética pode ser alcançada pela minimização da demanda e das perdas de energia pela substituição e reutilização de materiais e calor, e pela utilização de tecnologias mais eficientes do ponto de vista energético que estejam comercialmente disponíveis.

No Brasil existem diversos mecanismos para promoção da conservação de energia, dentre os quais destacam-se o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET) e o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (SOUZA *et al.*, 2009). O país possui também instrumentos legais, tais como a lei n° 9.991/2000, que estabelece a obrigatoriedade de aplicação de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica em programas de eficiência energética no uso final; e a Lei de Eficiência Energética n° 10.295/2001, que estabelece níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de equipamentos eletrônicos fabricados ou comercializados no país, com base em indicadores técnicos pertinentes (GOLDEMBERG & LUCON, 2007).

Visando a integração das ações, em 2010 foi instituído o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que estabelece a meta de redução do consumo energético em 10% (em relação ao consumo base de 2009) até 2030, que representa uma economia total de 106,6 TWh, a partir da efetiva implementação dos mecanismos acima citados, a fim de se atingir este objetivo.

A eficiência energética é citada como importante instrumento de mitigação à mudança climática no Brasil. O Plano Nacional de Mudanças Climáticas, instituído pelo Decreto n° 6263/2007, tem dentre seus objetivos “[...] fomentar aumentos de eficiência no desempenho dos setores da economia na busca constante do alcance de melhores práticas” e estabelece ações conjuntas entre os diferentes programas governamentais e órgãos, tais como o Programa de Substituição e Promoção do Acesso a Refrigeradores Eficientes (que pretende substituir em 10 anos, 10 milhões de refrigeradores obsoletos), Decretos de Compras Públicas Eficientes, Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos, entre outras ações (CIMC, 2008).

Apesar de todos os instrumentos citados acima, o Brasil ocupou em 2014 o 15º lugar em eficiência energética no mundo, o que mostra que há ainda um grande espaço para novas iniciativas, principalmente nos setores industriais e legislativo (Figura 1.1).

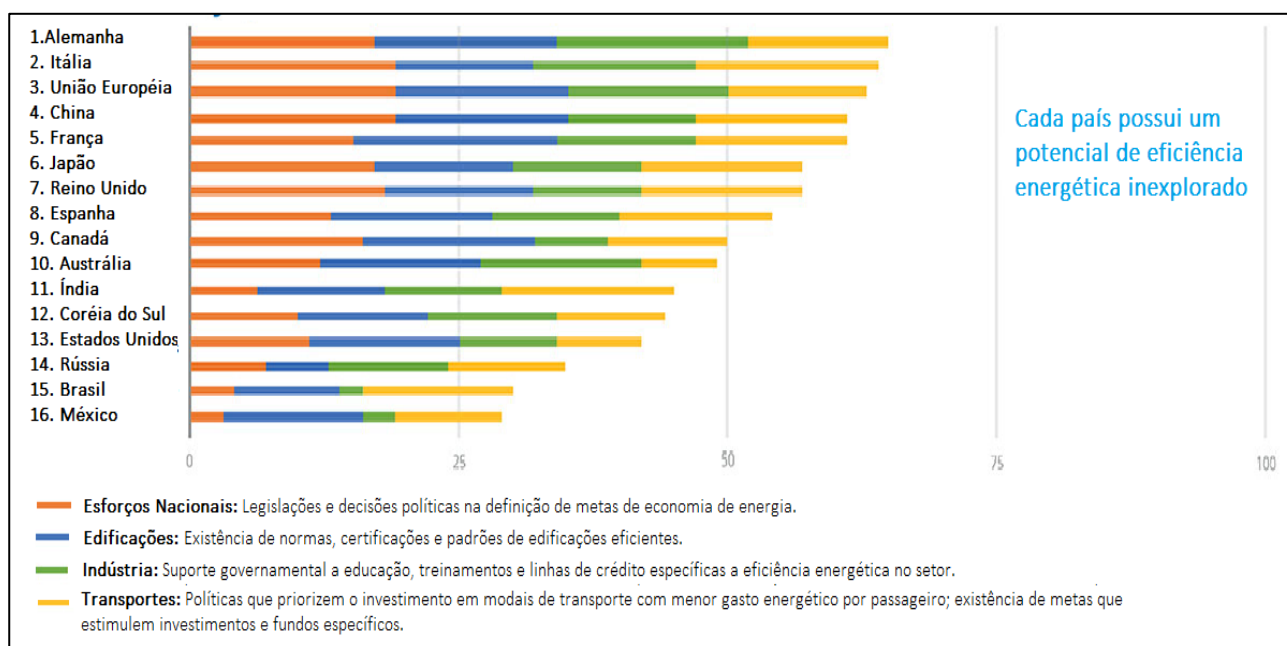


Figura 1.1 - Ranking mundial em eficiência energética em 2014

Fonte: Modificado de *American Council of Energy-Efficient Economy* (2014)

No entanto, a efetiva implementação das políticas públicas energéticas em eficiência energética demanda investimentos iniciais em treinamento, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, que devem ser justificados por meio dos ganhos em economia de energia. Porém as dificuldades quanto à medição e verificação (M&V) das medidas de conservação de energia atribuem maiores incertezas nos ganhos energéticos obtidos (CARDOSO, 2012), constituindo-se em um obstáculo à difusão e promoção do uso racional de energia.

Desse modo, a avaliação das economias atribuídas aos programas de eficiência é necessária para justificar os investimentos e pagamentos para o desempenho energético, além de auxiliar organizações na utilização eficiente de seus recursos e no alcance de seus objetivos ambientais, principalmente em termos de emissões de CO₂.

Atualmente, as emissões evitadas provenientes das ações dos programas de eficiência energética são contabilizadas de maneira geral, considerando o fator de emissão anual médio do Sistema Nacional Interligado (SIN) multiplicado pela energia economizada anualmente pelo programa. Com isso, os dados calculados apresentam grandes margens de incertezas ao não considerar a influência da curva de carga de consumo diária no despacho térmico e por consequência, nas emissões da matriz elétrica nacional.

Desse modo, a análise dos ganhos energéticos e ambientais dos diferentes programas nacionais de promoção do uso racional de energia decomposta em função da curva de carga de consumo diária do sistema, reduz incertezas relacionadas à eficácia destes frente a seu papel ambiental, e pode fornecer importantes informações, a serem utilizadas no direcionamento dos programas, diagnósticos e estudos futuros.

1.1 OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo geral a avaliação das economias de energia e emissões de CO₂ evitadas atribuídas aos principais programas e legislações vigentes no Brasil para promoção do uso racional da energia no setor elétrico, sob a abordagem de decomposição das economias ao longo da curva diária de consumo a partir de uma proposta metodológica, a fim de se determinar o real impacto ambiental das medidas em termos de emissões de CO₂ evitadas.

Para fins de aprofundamento, este estudo tem ainda os seguintes objetivos específicos:

- Levantamento das economias de energia atribuídas aos principais programas de eficiência energética no Brasil para criação de um banco de dados de informações;
- Formulação de uma modelagem de distribuição das economias de energia ao longo da curva de carga de consumo considerando diferentes aspectos tais como horário, estação, setor econômico e região a partir de estudos consolidados;
- Validação do modelo de cálculo das emissões de CO₂ evitadas pelas ações;
- Comparação entre as emissões verificadas a partir da metodologia proposta com as reportadas pelos programas²;
- Identificação das potencialidades ambientais dos programas de eficiência energética estudados.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

Em 2014, o setor energético brasileiro encontrava-se em uma atmosfera de crise, provocada por fatores políticos e climáticos. A falta de chuvas, o atraso em obras de transmissão, e o aumento no consumo incentivado tanto pela redução de tarifa através da Medida Provisória nº 579/2012, quanto pela redução de tributos para compra de eletrodomésticos em 2013, provocou a elevação drástica dos preços no mercado livre, que alcançaram o valor teto máximo de R\$ 822,00/MWh, levando o governo a subsidiar o funcionamento do setor (BATISTA, 2014; DA COSTA, 2014; PEREIRA,

² Dentre os programas analisados, somente o PROCEL reporta anualmente as emissões evitadas pelas ações.

2014). De forma a atender à crescente demanda, as termelétricas no país foram acionadas, e com o agravamento da estiagem em 2014, toda a capacidade disponível para este tipo de energia se encontrava em operação, elevando ainda mais os preços e os níveis de emissões de CO₂.

A recente crise energética traz a reflexão sobre a sustentabilidade do setor energético brasileiro e sobre como melhorar a atuação dos mecanismos existentes para garantir a segurança energética no país. De acordo com Grossman (2015), a atmosfera de crise pode produzir flexibilidade burocrática, renovação e expansão de políticas existentes, ou o realinhamento de grupos tanto fora quanto dentro do governo.

Dessa forma, o uso racional de energia e a eficiência energética voltam a ganhar papel de destaque no cenário atual, como instrumento privilegiado na ampliação da oferta de energia no país e cumprimento de metas de redução de consumo, por meio da criação das chamadas usinas virtuais, de forma rápida e a um menor custo (não necessita de grandes obras de engenharia que demandam tempo e investimentos expressivos), caracterizando-a como medida ideal em tempos de escassez. Segundo Mariotoni e Santos (2006), em tempo de crise, os estudos de eficiência energética podem fornecer dados importantes para definir mudanças na matriz energética.

Ademais, o Brasil tem assumido importantes compromissos em relação à mitigação da mudança climática. A Política Nacional de Mudança Climática (PNMC), instituída pela Lei 12.187/2009, estabelece o compromisso voluntário de adoção de ações de mitigação com vistas a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) entre 36,1% e 38,9% em relação às emissões projetadas até 2020, das quais o setor energético é responsável pela redução de 27,0% (MCTI, 2013). Sendo assim, entende-se que o setor enfrentará cenários restritivos em termos de emissões de GEE. Mais uma vez, a eficiência energética aparece como importante instrumento.

Logo, em um cenário onde a promoção do uso racional de energia ganha destaque, tanto em termos energéticos quanto ambientais, uma análise das políticas de eficiência sob uma nova abordagem que busca identificar um potencial ambiental se torna interessante. A decomposição das economias e resultados dos programas de eficiência energética existentes a partir da curva de carga de consumo pode apresentar diferentes diagnósticos e identificar potencialidades em termos de economias de energia e conseqüentemente emissões de CO₂ evitadas, fornecendo informações importantes a respeito da avaliação dos resultados e ganhos energéticos-ambientais das medidas hoje implementadas no Brasil.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para efetuar a avaliação dos impactos energéticos na redução das emissões de CO₂ associadas aos mecanismos brasileiros de eficiência energética (neste caso, o PROCEL, PEE da ANEEL e a Lei de Eficiência Energética), o presente estudo se divide em cinco capítulos principais.

O primeiro capítulo apresenta o contexto energético e ambiental brasileiro, destacando a importância da eficiência energética como instrumento de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, bem como os objetivos almejados e a justificativa para realização deste trabalho.

No segundo capítulo são apresentados os aspectos teóricos e fundamentos utilizados na execução deste estudo, que envolvem a caracterização do consumo de eletricidade nos diversos setores econômicos e da matriz elétrica brasileira, destacando os aspectos evolutivos e ambientais relacionados a esta. Neste capítulo são apresentados também os principais mecanismos de eficiência energética existentes hoje no país, o contexto histórico em que foram criados e sua finalidade. São apresentados ainda, as metodologias utilizadas para se estimar a economia de energia em programas de eficiência energética e cálculo das emissões evitadas encontradas na literatura.

O terceiro capítulo aborda os métodos utilizados para o cálculo e tratamento dos impactos energéticos, e posteriormente, avaliação dos benefícios ambientais. São apresentadas também a metodologia proposta por este estudo, que decompõe as economias obtidas pelas iniciativas de eficiência energética segundo as características regionais, setoriais e sazonais brasileiras, e os dados de entrada utilizados no modelo.

No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões obtidos pela aplicação do modelo proposto, para cada iniciativa de eficiência energética, desagregados por região geográfica, setor, período do ano e do dia. Ao final do capítulo, os resultados de cada programa são comparados entre si e com a metodologia atualmente utilizada, de modo a identificar o aumento de precisão obtido. Posteriormente, são apresentados valores típicos de emissões evitadas por MWh economizado para outros países, visando obter um intervalo no qual os valores resultantes devem estar inseridos.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as conclusões sobre os impactos ambientais estimados de redução de emissões de gases do efeito estufa, considerando os efeitos das variáveis incorporadas pela metodologia. Essa última análise permitiu concluir que algumas variáveis incorporadas às metodologias possuem um alto grau de impacto nas estimativas dos impactos ambientais das iniciativas de eficiência energética, sinalizando a importância de se continuar aprimorando este estudo em trabalhos futuros.

2 ASPECTOS TEÓRICOS E FUNDAMENTOS

Neste capítulo, serão apresentados os aspectos teóricos encontrados na literatura que auxiliaram na definição das formulações e parâmetros utilizados neste estudo.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO DE ELETRICIDADE NO BRASIL

Os mecanismos de eficiência energética no Brasil possuem diferentes linhas de ações, de acordo com o setor econômico para as quais são voltadas, de forma a identificar oportunidades de economia de energia, de acordo com a participação destes no consumo de energia elétrica nacional. O modo como a eletricidade é utilizada sempre foi objeto de estudos e assume papel importante nos estudos de eficiência energética (MARIOTONI & SANTOS, 2006).

A Figura 2.1 apresenta a evolução do consumo setorial de eletricidade desde 2005. De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN), o setor industrial é o maior consumidor de eletricidade no país (38,8%), seguido pelos setores residencial (24,9%) e comercial (17,1%) (EPE, 2015).

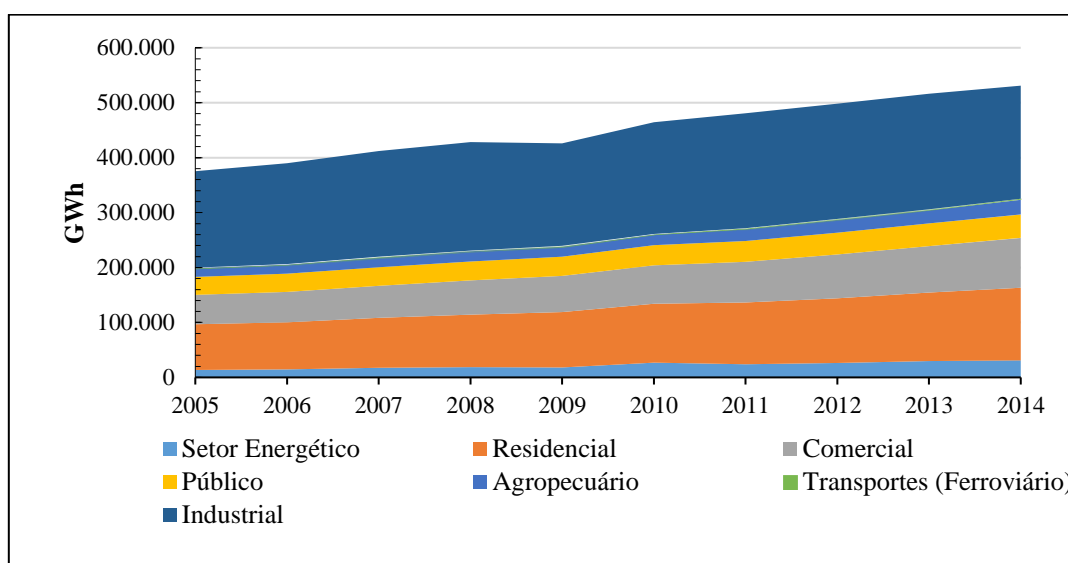


Figura 2.1 - Consumo setorial de eletricidade de 2005 a 2014

Fonte: Adaptado de EPE (2015)

Em cada setor econômico, a eletricidade é utilizada a partir de diferentes usos finais, de acordo com as atividades e particularidades de cada um, englobando principalmente a conversão de eletricidade para utilização como força motriz, geração de calor, refrigeração, iluminação, condicionamento ambiental, entre outros. Os usos finais de energia também tem sido matéria de interesse, dado que podem auxiliar no planejamento do sistema (GHISI *et. al*, 2007). A Tabela 2.1 sintetiza a

participação dos diferentes usos finais, conforme dados do Balanço de Energia Útil (BEU) (MME, 2005) e da Pesquisa de Posse de Hábitos e Uso (PPHU) (ELETROBRAS/PROCEL, 2006); os potenciais de economia de energia conforme o PNEf 2030; e os programas específicos a cada setor, existentes atualmente no país, citados com maior detalhe nos próximos capítulos.

Tabela 2.1 - Uso final de eletricidade por setor econômico, potenciais de eficiência energética e mecanismos³ utilizados no Brasil

Setor	Uso final de eletricidade (%)	Potencial de EE em 2030	Mecanismos de suporte	Mecanismos de controle	Mecanismos de Fundo
Industrial	Força motriz (69,0%), Eletrotermia (23,0%), Iluminação (6,0%) e Eletrólise (3,0%)	39,00%	PROCEL/ CONPET CNI/PBE/SEBRAE	Lei de Eficiência Energética/CGIEE; ANEEL/PEE; PNMC	RGR CT-Energ PEE PROESCO
Transportes	Força motriz (100,0%)	Não considerado	PROCONVE/CONPET	Lei de Eficiência Energética/CGIEE; PNMC e PNLT	CT-Energ
Setor energético	Calor de Processo (55,1%), Força Motriz (23,2%), Aquecimento Direto (21,2%), Iluminação (0,5%)	Não considerado	-	-	-
Comercial	Condicionamento de ar (47,0%), Iluminação (22,0%), Demais cargas (31,0%)	16,00%	PROCEL/CONPET; PBE/SEBRAE	Lei de Eficiência Energética/CGIEE; ANEEL/PEE; PNMC	RGR CT-Energ PEE PROESCO
Residencial	Aquecimento de água (24,2%), Refrigeração (22,0%), Condicionamento Ambiental (20,0%) e Iluminação (14,0%)	37,00%	PROCEL/CONPET PBE	Lei de Eficiência Energética/CGIEE; ANEEL/PEE; PNMC; PMCMV	RGR CT-Energ PEE
Público	Condicionamento de Ar (48,0%), Iluminação (23,0%), Equipamento Escritório (15,0%), Bombeamento de água e transporte vertical (14,0%)	7,00%	PROCEL/CONPET PBE	Lei de Eficiência Energética/CGIEE; ANEEL/PEE; PNMC	RGR CT-Energ PEE RELUZ PROESCO
Agropecuário	Força Motriz (70,2%), Calor de Processo (12,4%), Aquecimento Direto (15,2%), Refrigeração (1,5%), Iluminação (0,6%)	0,50%	PROCEL/CONPET PBE	Lei de Eficiência Energética/CGIEE; ANEEL/PEE; PNMC	RGR CT-Energ PEE PROESCO

Fonte: Elaborado a partir de Eletrobras/PROCEL (2006), MME (2005), MME (2008) e EPE (2014a).

³ A Agência Internacional de Energia classifica os mecanismos para promoção da eficiência energética, agregados em categorias (IEA, 2000 *apud* EPE, 2014a):

- Mecanismos de suporte: fornecem apoio para as mudanças de comportamento, seja na formação de técnicos através de cursos, treinamentos, como na elaboração e disponibilização de diagnósticos energéticos, ferramentas de análise, como “softwares”, portais na internet e publicações técnicas. Esse suporte é tanto para os usuários finais (consumidores), como para as empresas, indústrias etc.;
- Mecanismos de controle: são aqueles direcionados à mudança de comportamento no mercado de energia, em geral, de caráter mandatório, através da aplicação de condicionantes para licenciamento e concessão, requerimentos legais, critérios de desempenho etc.;
- Mecanismos de fundos: fornecem recursos para outros mecanismos, promovendo a comercialização/investimentos em eficiência energética, de forma comparativamente vantajosa. Os fundos, frequentemente são provenientes do orçamento do governo.

Os potenciais de conservação de cada segmento são estimados de acordo com as suas características tecnológicas, da capacidade de penetração das medidas de eficiência energética e dos custos envolvidos em cada processo. Conforme a Tabela 2.1, observa-se que os setores industrial, residencial e comercial, apresentam importantes potenciais de redução de consumo em 2030 e mecanismos de promoção da eficiência energética. Logo, para a análise proposta neste trabalho, se faz importante conhecer as particularidades ligadas ao consumo energético em cada um.

2.1.1 Consumo residencial

O primeiro estudo a caracterizar os usos finais do setor residencial foi realizado por Januzzi & Schipper (1991). Desde então, o uso da eletricidade nos domicílios vem sendo objeto de diferentes pesquisas, que buscam avaliar a influência de distintos fatores no consumo, tais como região geográfica, renda familiar, atividade econômica, marcos regulatórios, entre outros (ACHÃO & SCHAEFFER, 2009; GHISI *et al*, 2007; MARIOTONI & SANTOS, 2006; OLIVEIRA & REBELATTO, 2015; WACHSMANN *et al*, 2009).

Historicamente, o consumo energético no setor residencial brasileiro foi influenciado por diferentes fatores, em períodos específicos da história, principalmente a partir do chamado “Milagre Econômico”, na década de 70, onde o consumo per capita saltou de 430 kWh/hab. para 1.025 kWh/hab. (MARIOTONI & SANTOS, 2006). Segundo Achão e Schaeffer (2009), as variações no consumo residencial entre 1980 e 2007 resultaram principalmente do crescimento do número de consumidores e das mudanças no consumo específico de eletricidade nos domicílios. Em períodos de expansão econômica, o aumento da renda e acesso a linhas de crédito possibilitaram a população a compra de mais eletrodomésticos e a maior utilização de eletricidade. Por outro lado, em períodos de recessão, alta inflação e crescentes tarifas (tais como o período Collor, a privatização do setor elétrico e o “apagão”), o uso de energia declina, como mostra a Figura 2.2 .⁴

⁴ Os efeitos determinantes foram decompostos no estudo do seguinte modo:

- **Efeito de atividade:** variações no consumo residencial em termos da variação no número de domicílios com acesso a eletricidade (número de consumidores residenciais). Ex: Programa Luz para Todos, regularização de consumidores clandestinos, mudanças na classificação de clientes convencionais/baixa renda.
- **Efeito de intensidade:** variações no consumo residencial em termos de variação no consumo médio residencial, ou consumo per capita. Ex: Redução/aumento tarifário; incremento de renda e aumento na posse de equipamentos domésticos, racionamento de energia
- **Efeito estrutural:** variações no consumo residencial em termos da variação na participação do número de consumidores de cada região geográfica no total nacional e a variação na participação relativa de consumidores baixa-renda e convencional no total nacional. Ex: crescimento no número de consumidores em regiões onde se consome menos energia (relativo a transferência de renda e programas de assistência do governo).

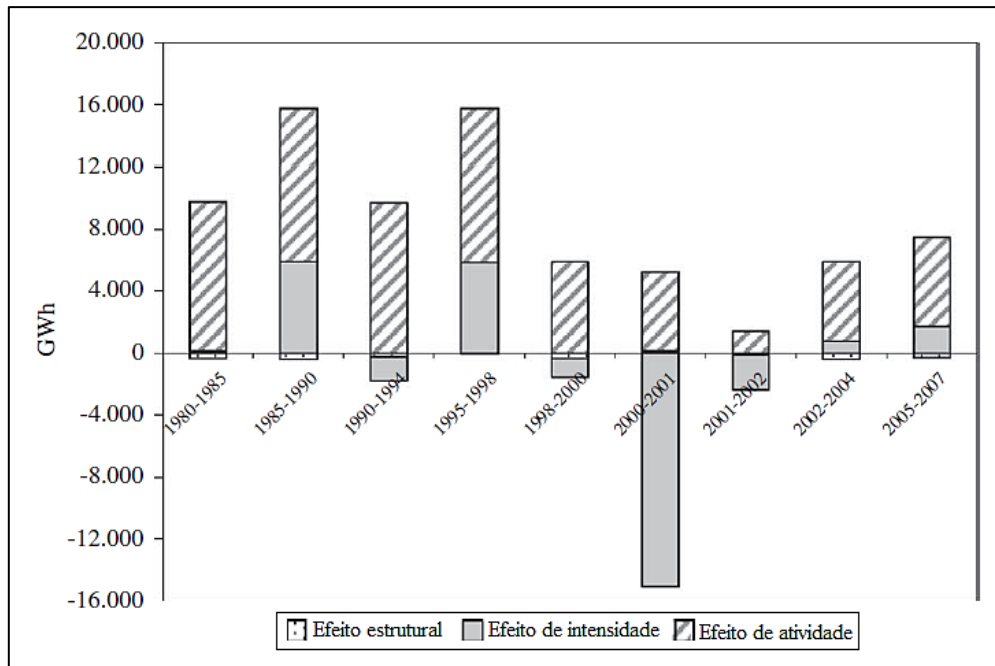


Figura 2.2 - Decomposição das variações no consumo de eletricidade no setor residencial (estrutura = regiões) no Brasil: 1980-2007 (GWh)

Fonte: Modificado de Achão & Schaeffer (2009)

A importância de se conhecer os padrões de consumo no setor residencial, principalmente relacionado aos usos finais da energia, se atribui a coincidência entre os picos de demanda do sistema e dos domicílios, parâmetro determinante em estudos de planejamento energético e expansão de oferta. Do mesmo modo, a avaliação do potencial de conservação de energia elétrica do setor residencial se inicia a partir da definição de um indicador de consumo específico de eletricidade, levando em conta as diferenças climáticas e a existência de variações acentuadas nos padrões de consumo de eletricidade em cada uma das cinco regiões geográficas do Brasil (ALMEIDA *et al*, 2001).

Assim, ao caracterizar a forma como os hábitos de uso variam de acordo com o período do dia, estação do ano e região do país (Figura 2.3), a PPHU constitui uma importante ferramenta para estudos relacionados ao consumo residencial.

A Figura 2.3, apresenta a existência de um pico de carga de consumo no período das 17h às 21h, período onde a taxa de ocupação dos domicílios é maior, ao fim do chamado “período comercial” (9h - 17h). Estes picos são provocados principalmente pelo uso de sistemas de iluminação e chuveiros elétricos, com exceção da região Norte. No entanto, para esta região e a região Nordeste, há uma clara influência dos sistemas de condicionamento ambiental neste período. Tais padrões de consumo demonstram a influência da variável climática no consumo residencial, relacionada

principalmente aos sistemas de ar-condicionado e chuveiros elétricos, confirmado por Ghisi *et. al* (2007).

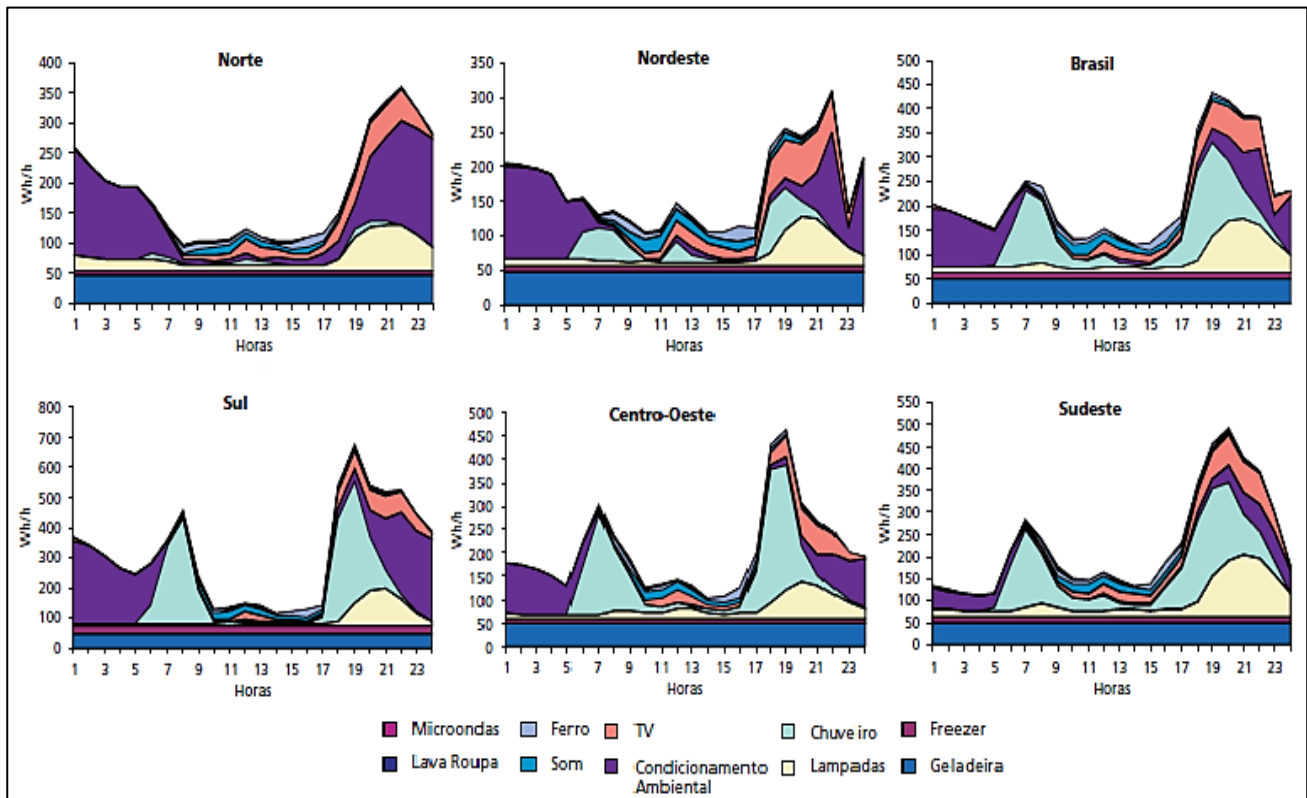


Figura 2.3 - Comparativo curva de consumo residencial por região e Brasil

Fonte: Adaptado de Eletrobras/PROCEL (2006)

No entanto, os autores correlacionam a posse destes equipamentos como importante fator no incremento do consumo energético residencial, fato intrinsecamente relacionado ao poder de compra e melhoria de renda da população, constatado também por Almeida *et. al* (2001), Achão e Schaeffer (2009), e Oliveira e Rebelatto (2015). Para os demais usos finais, tais como refrigeração e iluminação, percebe-se a ausência de discrepâncias acentuadas no padrão de consumo para as cinco regiões geográficas.

Ghisi *et. al* (2007) analisa ainda a variação na participação das diferentes utilidades domésticas durante as estações do ano (Figura 2.4). Nesta análise, destacam-se as mudanças significativas no uso dos sistemas de condicionamento ambiental, cuja participação passa de 2,0% no inverno para 16,0% no verão.

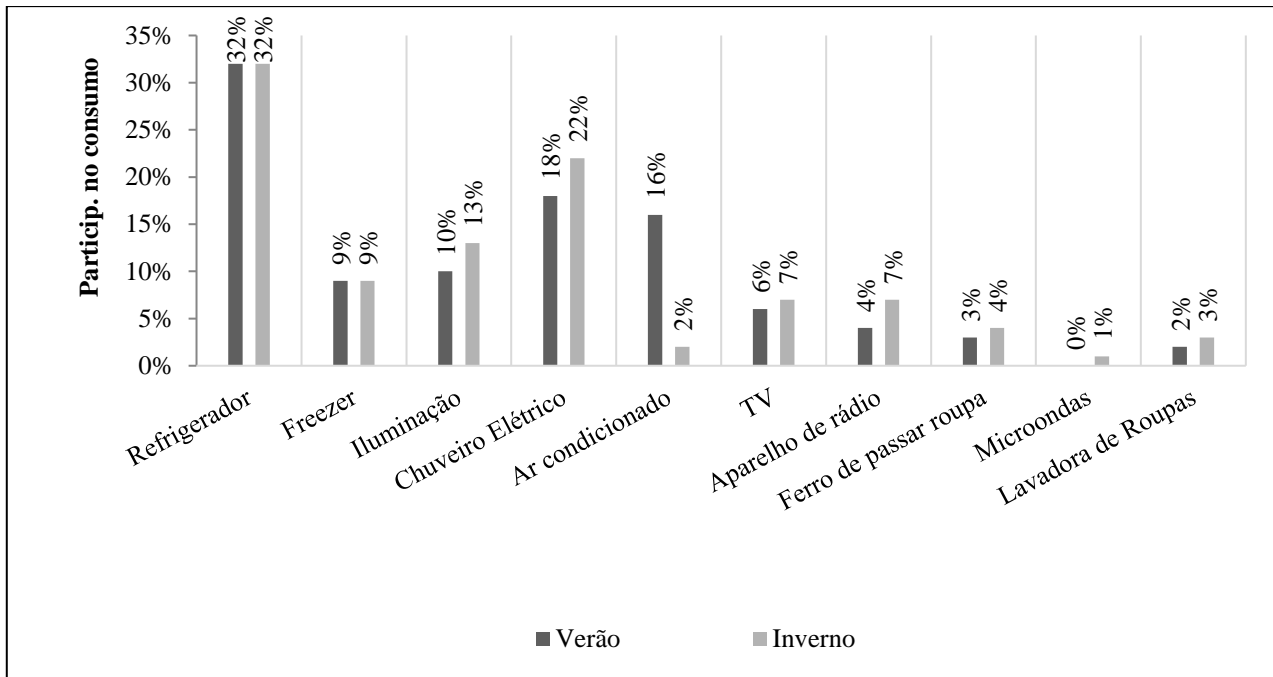


Figura 2.4 – Participação média no consumo de eletricidade residencial dos usos finais para o Brasil no inverno e verão

Fonte: Adaptado de Ghisi *et al* (2007)

Sabe-se que há uma relação direta entre a maior penetração de condicionadores de ar nas residências e o consumo energético no verão, levando a ocorrência de novos picos de carga em algumas regiões do país, tais como o Rio de Janeiro, que apresentam altas temperaturas e as maiores taxas de posse de condicionadores de ar do país (Figura 2.5).

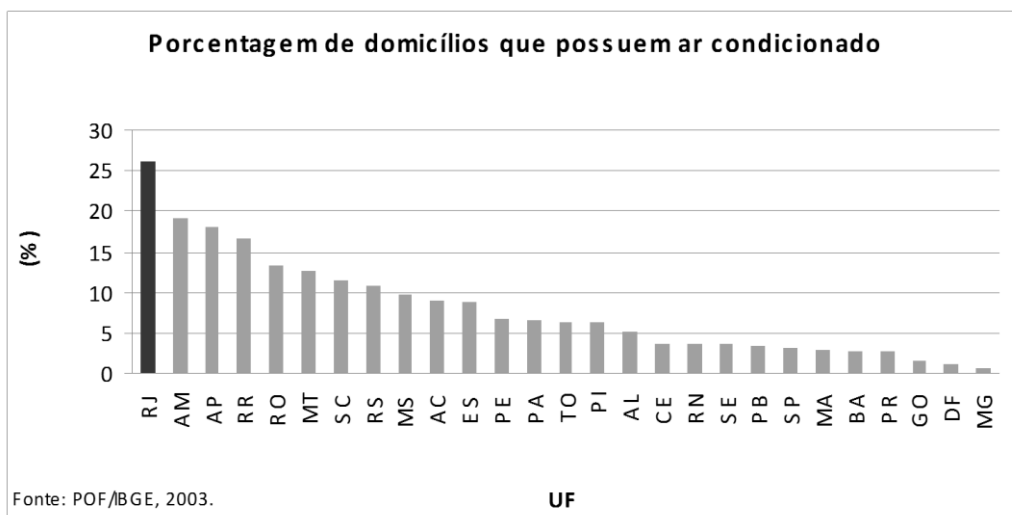


Figura 2.5 - Posse de condicionadores de ar por estado em porcentagem de domicílios

Fonte: IBGE (2003)

Em 2010, com o incremento de renda da população, incentivos fiscais do governo por programas de subsídios a compra de equipamentos e facilidade de crédito, aliados a crescente ocorrência de altas

temperaturas no verão, as vendas de equipamentos expandiram significativamente, como mostra a Figura 2.6.

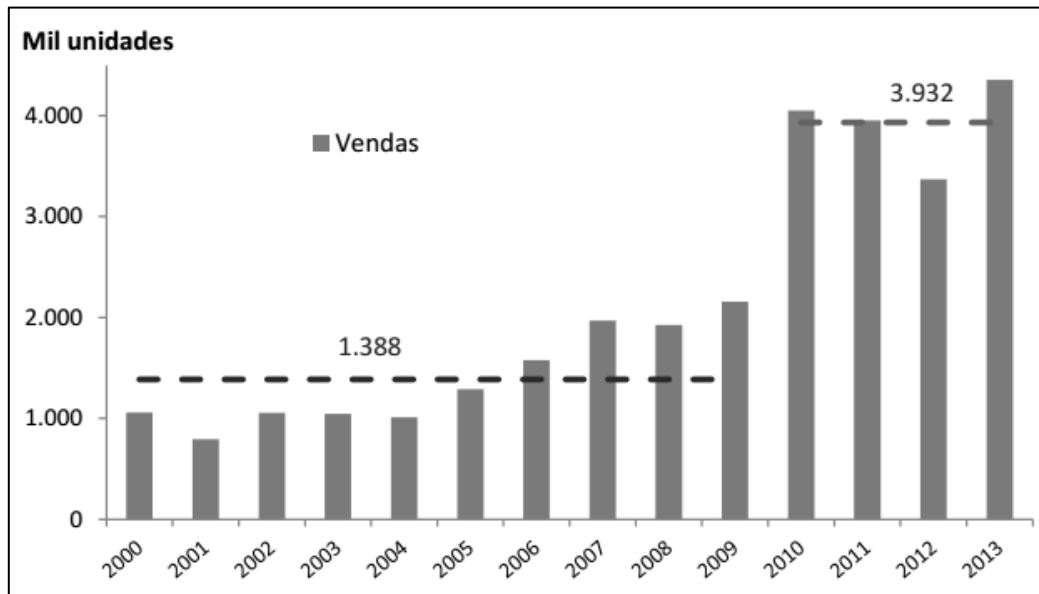


Figura 2.6 - Vendas de equipamentos de ar condicionado (tipo *split* e janela)

Fonte: EPE (2014b)

A partir de 2010, nota-se o grande salto nas vendas de equipamentos dos tipos janela e *split*, comumente utilizados em residências, escritórios e pequeno comércio. Segundo a ABRAVA (2015), estes constituem 67,0% do mercado residencial e estão presentes em 77,0% dos estabelecimentos comerciais (ELETROBRAS/PROCEL, 2006). Quanto ao impacto no consumo de energia elétrica, a partir de um conjunto de hipóteses simplificadoras, estima-se que o número de equipamentos de ar condicionado atualmente em operação nas residências e nos pequenos estabelecimentos de comércio e serviços seja da ordem de 34.660 milhões⁵, que consumiriam, em média 31.683,78 GWh/ano⁶, sendo 17.035,4 GWh/ano no setor residencial.

Januzzi & Schipper (1991) estimaram que os condicionadores de ar participavam em 7,0% no consumo total dos domicílios. Ghisi *et. al* (2007) constataram um número em torno de 10,0%. Estimativas recentes da EPE (2014b) afirmam que este número pode chegar a 25,0% em períodos mais quentes. Desse modo, é importante considerar o crescimento da participação deste eletrodoméstico no consumo residencial.

⁵Nogueira *et al* (2015) estimou que, em 2010, o parque de condicionadores de ar formado por equipamentos *split* e janela era da ordem de 15 milhões de unidades. Somado a média anual de vendas de 3.932 unidades/ano entre 2010 a 2015, tem-se uma estimativa do parque atual.

⁶ Valor calculado com base no consumo unitário médio de condicionadores de ar Split e janela fornecido por Nogueira *et. al* (2015), considerando que 80,0% das vendas correspondem a categoria de 6.000-12.000 kBTU/h (que consomem de 607-654 kWh/ano) e 20,0% a categoria de 12.000-36.000 kBTU/h (que consomem de 1830-1946 kWh/ano).

2.1.2 Consumo comercial e público

Os segmentos comercial e público também apresentam participações significativas no consumo de eletricidade no país (17,1% e 8,0% respectivamente) (EPE, 2015). A Resolução Normativa da ANEEL nº 414/2010 classifica as seguintes atividades que pertencentes a essas classes (Tabela 2.2):

Tabela 2.2 - Enquadramento das unidades consumidoras de energia elétrica nos setores comercial e público segundo a REN ANEEL 414/2010

Classificação	Descrição	Subclasses
Comercial	§3º “[...] unidade consumidora em que seja exercida atividade comercial ou prestação de serviços, à exceção dos serviços públicos e de outra atividade não prevista nas demais classes”	I – Comercial II – Serviços de transporte (exceto tração elétrica) III – Serviços de comunicações e telecomunicações IV – Associações e entidades filantrópicas V – Templos religiosos VI – Administração condominial
Poder Público	§5º “[...] unidade consumidora solicitada por pessoa jurídica de direito público que assuma responsabilidades inerentes à condição de consumidor”	I – Poder público federal; II – Poder público estadual ou distrital; e III – Poder público municipal.
Iluminação Pública	§6º “[...] iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas...localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, exceto o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade, ou para realização de atividades que visem interesses econômicos”	
Serviços Públicos	§ 7º “[...] fornecimento exclusivo para motores, máquinas e cargas essenciais a operação de serviços públicos de água, esgoto, saneamento e tração elétrica urbana ou ferroviária, explorados diretamente pelo Poder Público ou mediante concessão ou autorização”	I – Tração elétrica II – Água, esgoto e saneamento

Fonte: ANEEL (2010)

Borgstein e Lamberts (2014) ressaltam que há uma falta grave de dados a respeito do real uso de energia nas edificações comerciais brasileiras: quase nenhum estudo de performance energética de edificações foi executado a um nível nacional, além da PPHU, considerada pelos autores muito ampla para a determinação de padrões de eficiência energética. Entretanto, dado a escassez de informações para este estudo, esta será considerada.

Segundo a Pesquisa de Posse de Hábitos e Uso, os principais usos nos setores comerciais e público são principalmente condicionamento de ar, iluminação e outros, conforme as Figuras 2.7 e 2.8.

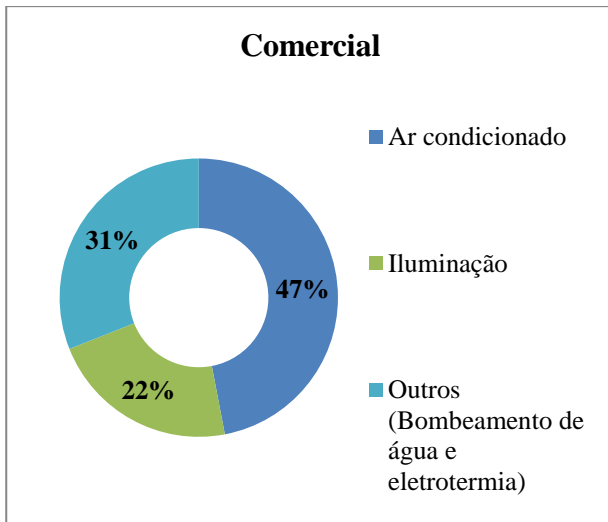


Figura 2.7 - Distribuição do consumo de eletricidade no setor comercial

Fonte: Eletrobras/PROCEL (2006)

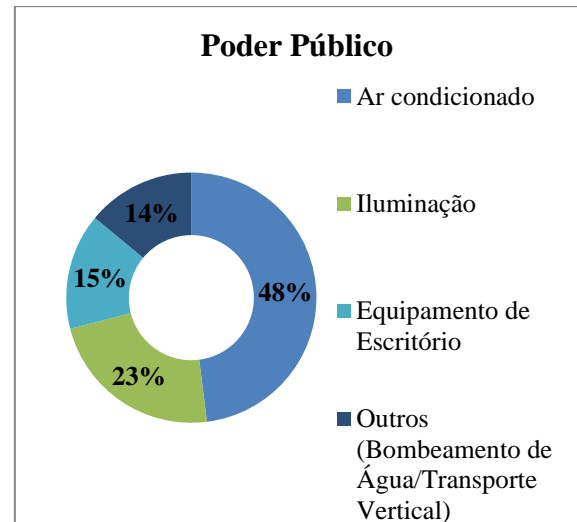


Figura 2.8 - Distribuição do consumo de eletricidade no setor público

Fonte: Eletrobras/PROCEL (2006)

Há grande heterogeneidade nos segmentos comercial e público, concentrando atividades que variam com a jornada diária de trabalho, dias em operação no ano (dias úteis e finais de semana/feriados), e tipo de estabelecimento considerado, o que influencia diretamente na forma como a energia é utilizada. Logo, uma análise da dinâmica do consumo diário de eletricidade depende destes fatores, incluindo fatores regionais e climáticos. A Figura 2.9, por exemplo, mostra o comportamento do consumo energético em agências bancárias distribuídas em diferentes regiões bioclimáticas brasileiras.

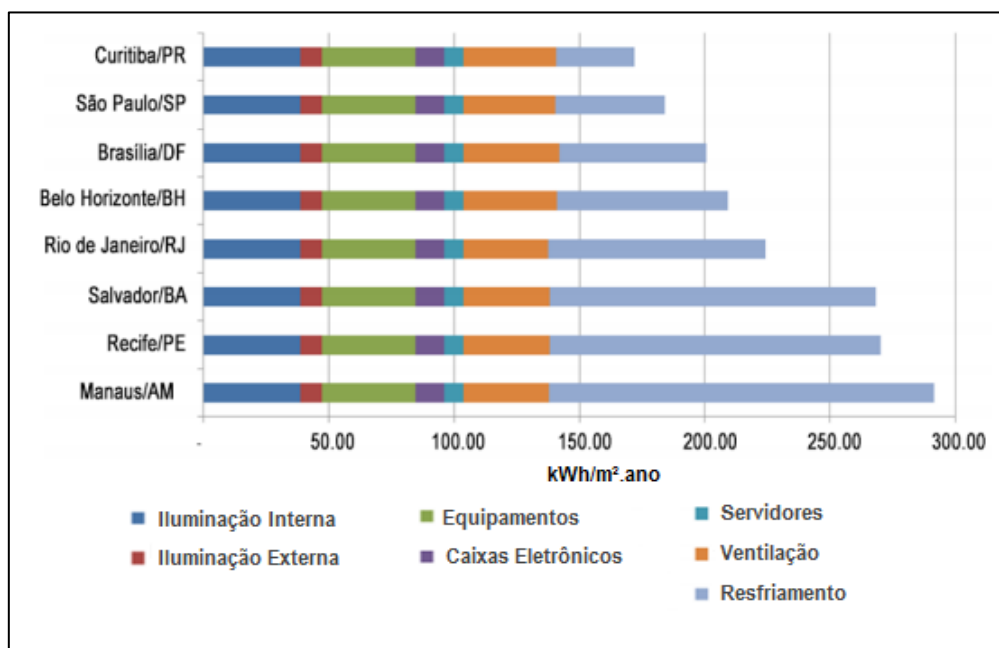


Figura 2.9 - Consumo final de energia em agências bancárias brasileiras, localizadas em diversas capitais de Estados

Fonte: Modificado de Borgstein e Lamberts (2014)

Atualmente, o Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis (CBCS) vêm desenvolvendo importantes estudos visando a caracterização do consumo energético nos setores comerciais e público para a criação de *benchmarks* em eficiência energética de edificações adequados a realidade brasileira.

Uma das tipologias estudadas pelo grupo CBCS são os escritórios corporativos, que possuem altas densidades de consumo energético, devido ao uso intenso de computadores e centrais de processamento de dados (CPDs). Também têm exigências de conforto térmico aos usuários; perto de 100% da área útil é condicionada, com predominância de sistemas centrais de ar condicionado utilizando água gelada e *Variable Refrigerant Flow* (VRF) em novas edificações. A Figura 2.10 mostra o consumo típico de um escritório corporativo. O estudo apresenta ainda que, para os edifícios localizados em São Paulo, o incremento no uso do ar condicionado entre o verão e o inverno varia entre 19,0% e 25,0% (CBCS, 2015).

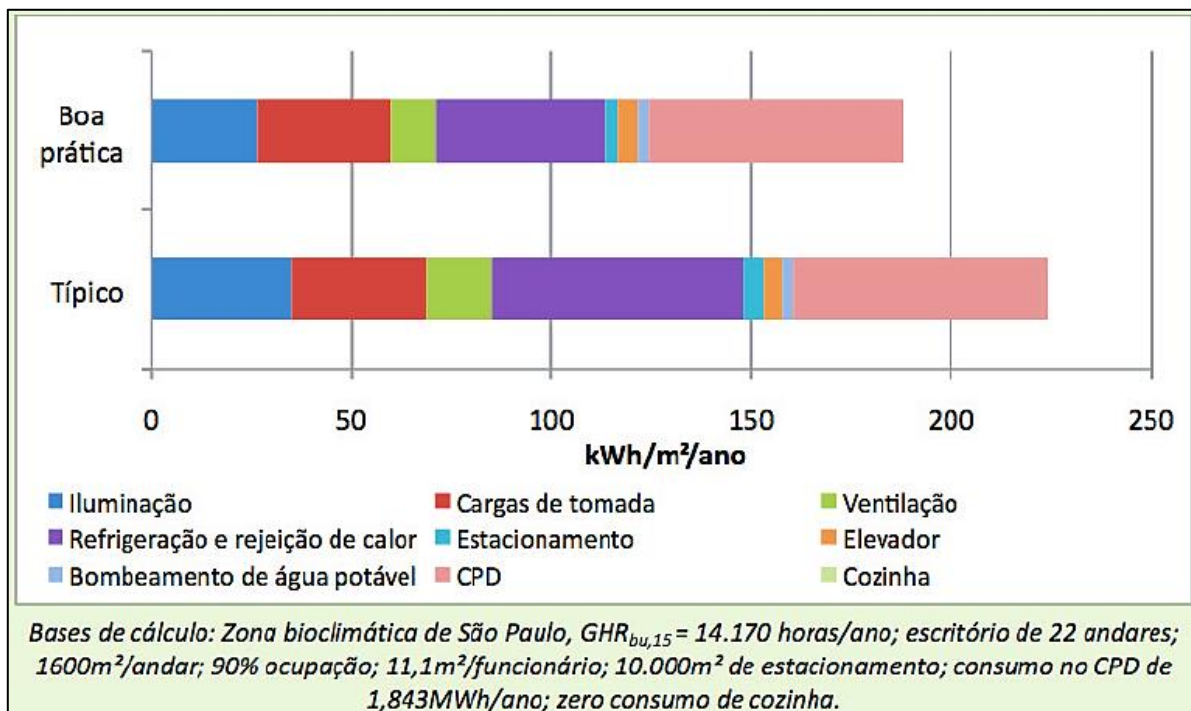


Figura 2.10 – Comparação entre o consumo típico e eficiente (Boa Prática) de um escritório corporativo

Fonte: CBCS (2015)

O comportamento das cargas no setor comercial é variável, visto que há grande quantidade de diferentes estabelecimentos pertencentes a esta. Jardini *et. al* (2000) e Leal (2006) simularam perfis de carga típicos para tipologias comerciais, a partir de levantamentos de carga fornecidos pelas distribuidoras de energia em São Paulo, evidenciando essa variação (Figura 2.11).

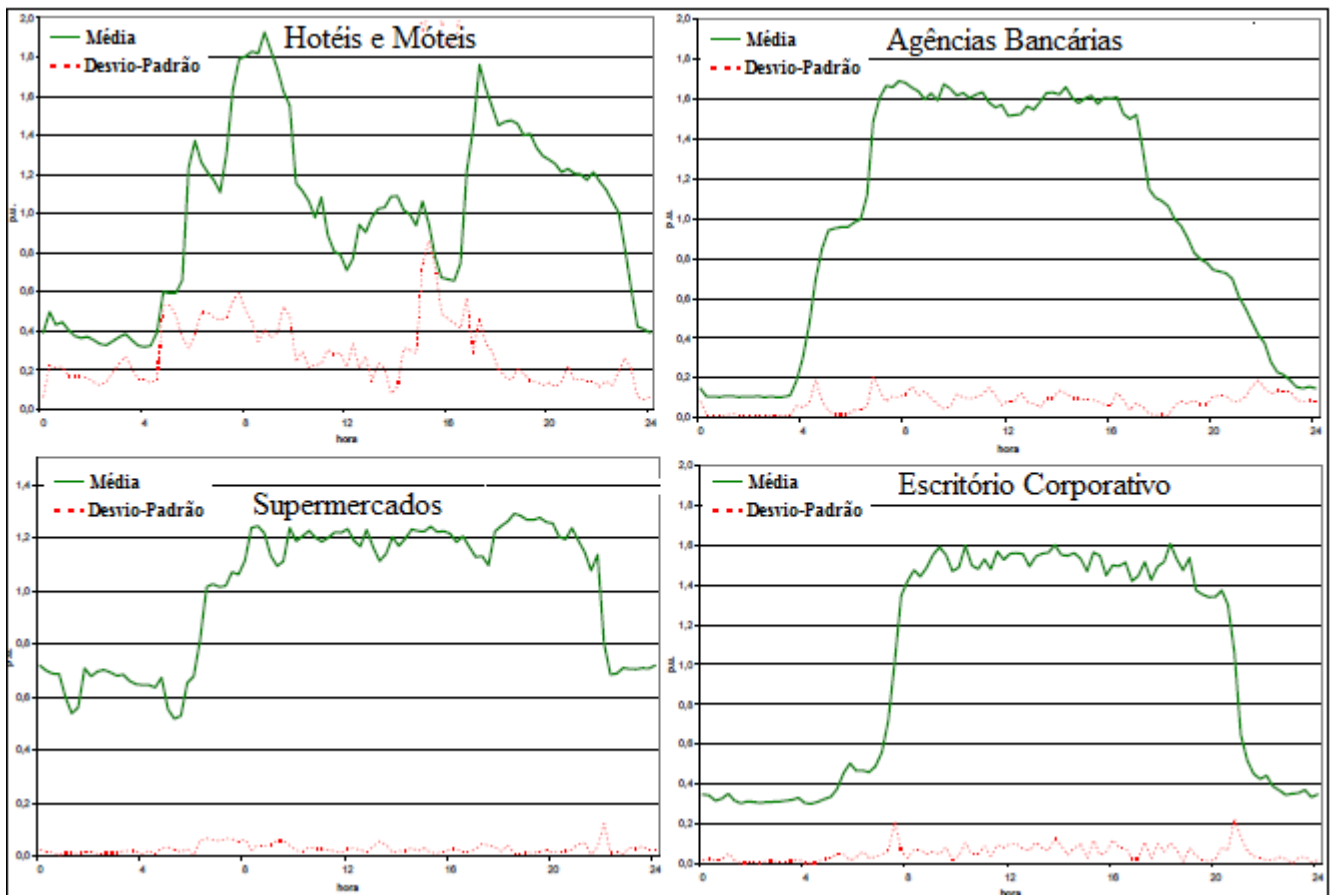


Figura 2.11 - Curvas de carga típicas em diferentes estabelecimentos comerciais

Fonte: Adaptado de Leal (2006)

Segundo o ONS (2011) *apud*. BRAGA (2014), o perfil de carga típico do setor considera a demanda durante o horário comercial com um leve declínio no horário de almoço (Figura 2.12). Fora do horário comercial a demanda desses consumidores é praticamente para iluminação e refrigeração. Segundo Borgstein & Lamberts (2014), 30% do consumo total do setor ocorre fora do horário de ocupação.

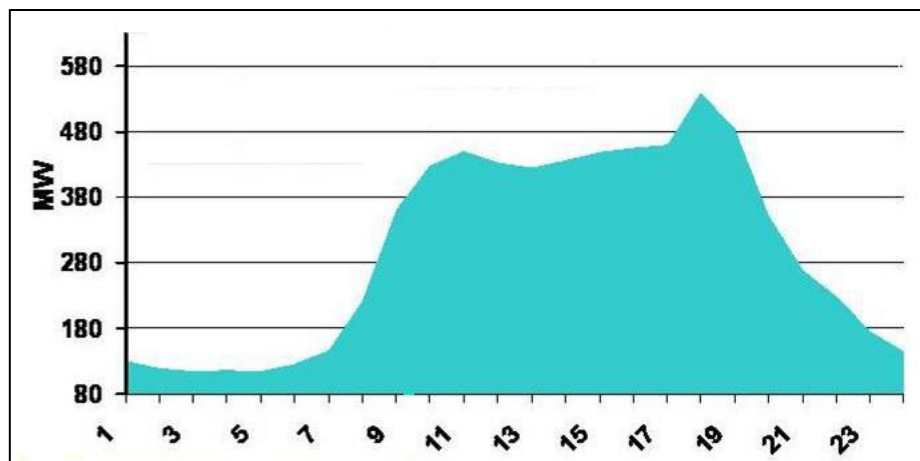


Figura 2.12 - Curva de carga típica do setor comercial

Fonte: ONS (2011) *apud* Braga (2014)

Para o setor público, tem-se ainda consumos específicos, como a iluminação pública e o setor de saneamento, que representam respectivamente, 2,9% e 3,2% do consumo de eletricidade no país (EPE, 2014c).

2.1.3 Consumo Industrial

Desde a década de 70, o setor industrial vem apresentando um crescimento expressivo de demanda energética, sendo responsável por 40,0% do crescimento no consumo de energia no Brasil entre 1970 e 1996, conforme Wachsmann *et. al* (2009). É o setor mais energointensivo do país e vem crescendo a intensidade energética em torno de 1% ao ano nos últimos 25 anos. As maiores variações se deram nas atividades de Ferroligas (+10,4% ao ano), Alimentos & Bebidas (+6,4% ao ano) e Papel & Celulose (+5,0% ao ano) (EPE, 2014d).

O consumo energético neste segmento é fortemente ligado a atividade econômica no país, como pode se observar na Figura 2.13. Historicamente, destacam-se dois períodos: a crise de racionamento de eletricidade em 2001 e a crise econômica de 2008/2009. A primeira teve menor impacto na atividade industrial, embora tenha havido limitação do fornecimento e aumento do custo de um dos insumos (energia elétrica). Subsetores eletro-intensivos, com destaque para a metalurgia, foram os mais impactados. Já em 2008/2009 a indústria no Brasil foi mais severamente impactada em função da redução das exportações e da queda do consumo interno em alguns segmentos, com correspondente impacto sobre a produção industrial doméstica (EPE, 2014d).

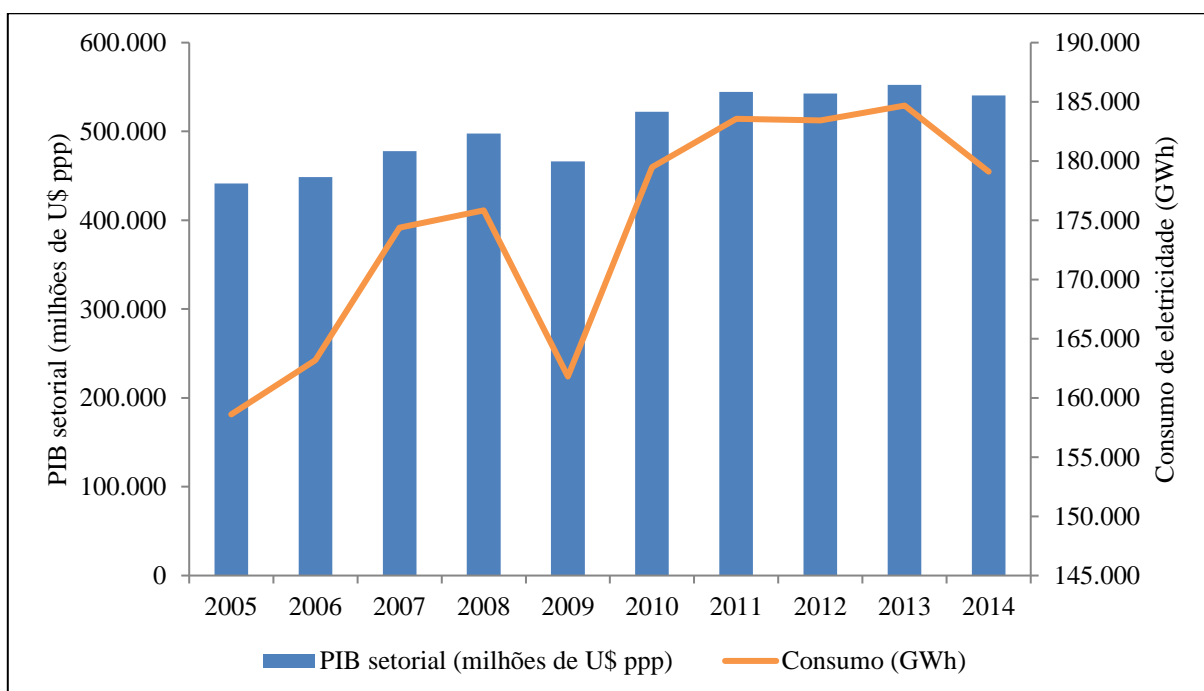


Figura 2.13 - Relação entre o PIB setorial da indústria e o consumo de eletricidade (GWh)

Fonte: Elaborado a partir de EPE (2015)

A caracterização do consumo horário neste segmento é bastante diversificada e depende de diversos fatores. Segundo Guardia *et. al* (2010), mesmo em segmentos industriais semelhantes, existem diferenças expressivas nas curvas de carga (Figura 2.14), visto que estas são influenciadas pela estrutura tarifária, que varia de acordo com o tipo de mercado em que são negociadas, como por exemplo, no mercado livre de comercialização de energia, que possui maiores margens de negociação e valores contratuais fixados, influenciando diretamente na operação de cargas energéticas no horário de ponta para grandes consumidores.

A Figura 2.14 mostra uma curva de carga normalizada a partir das cargas de diferentes estabelecimentos de um mesmo segmento industrial, agrupadas em conjuntos de atributos próximos. Nesta, podemos confirmar a complexidade de se modelar curvas de carga no setor industrial.

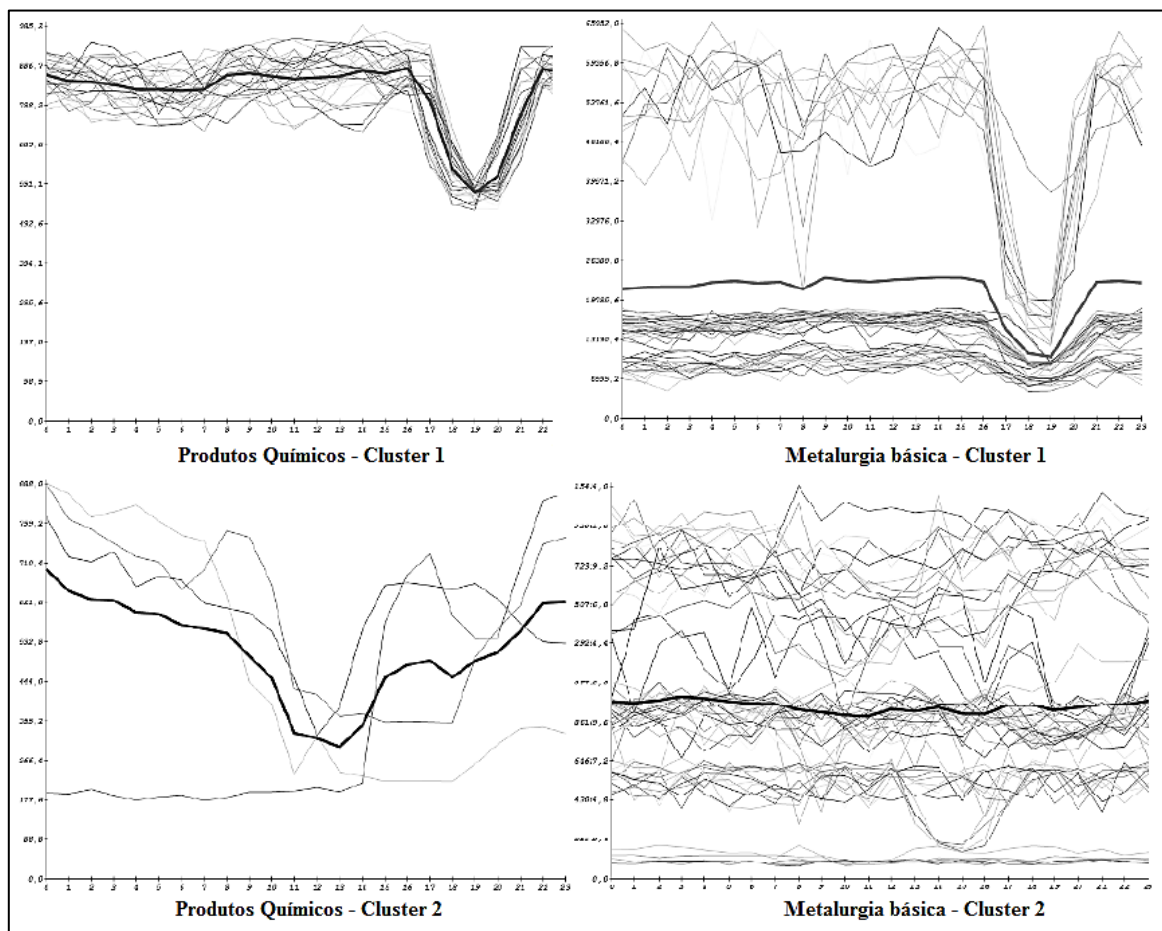


Figura 2.14 - Variações nos perfis de carga para indústrias de mesmo segmento

Fonte: Adaptado de Guardia *et. al* (2010)

Porém, nota-se que em todas as cargas há uma redução comum no chamado “horário de ponta”, conseqüente dos maiores preços de tarifa neste horário para grandes consumidores, como a

indústria. Segundo o ONS (2011) *apud* BRAGA (2014), o setor apresenta um comportamento típico, como apresentado na Figura 2.15.

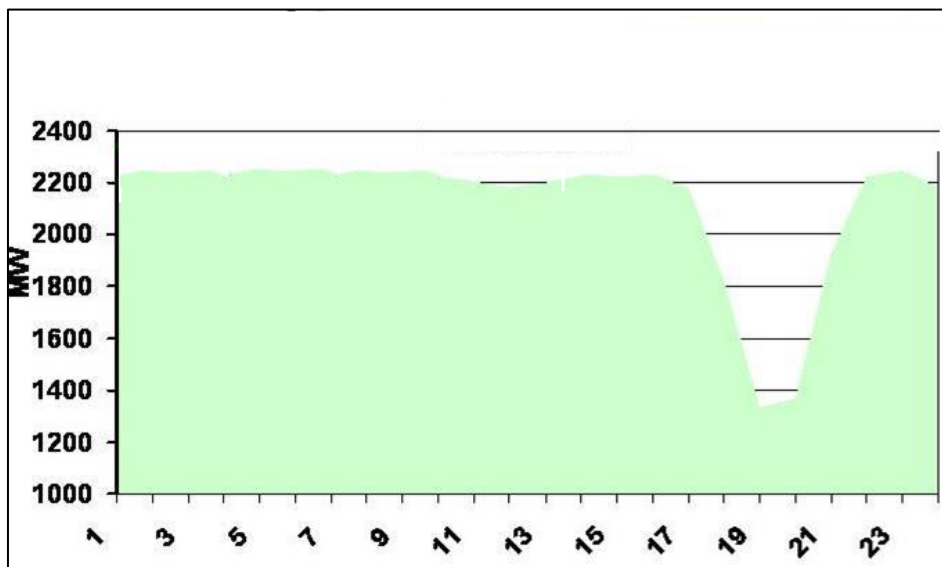


Figura 2.15 - Curva de carga típica para o setor industrial

Fonte: ONS (2011) *apud* BRAGA (2014)

2.2 EMISSÕES DE CO₂ ASSOCIADAS À GERAÇÃO E CONSUMO DE ELETRICIDADE NO BRASIL

Neste capítulo, serão apresentados aspectos relativos a matriz energética brasileira: sua evolução, características e emissões de gases de efeito estufa associadas.

2.2.1 Evolução da matriz energética brasileira

A matriz energética brasileira é uma combinação peculiar de combustíveis fósseis e fontes renováveis de energia e historicamente, passou por diversificações motivadas por políticas e cenários econômicos.

No início da década de 70, 43% do consumo de fontes primárias de energia eram calcados na lenha, e 34% baseados no consumo de petróleo, fontes energéticas expressivas em termos de emissões de CO₂. Somente com o aproveitamento mais intenso do potencial hidráulico de energia e a entrada em operação das hidroelétricas de Itaipu e Tucuruí a partir do final da década de 70 é que ocorreu uma modificação qualitativa na forma de obtenção de energia, como mostra a Figura 2.16. Observa-se também nesta época o crescimento na participação dos derivados da cana-de-açúcar, incentivados pelo Programa Nacional do álcool (PROÁLCOOL), responsável pela obtenção de álcool da cana-de-açúcar para substituição parcial do petróleo importado, em um contexto de crise energética.

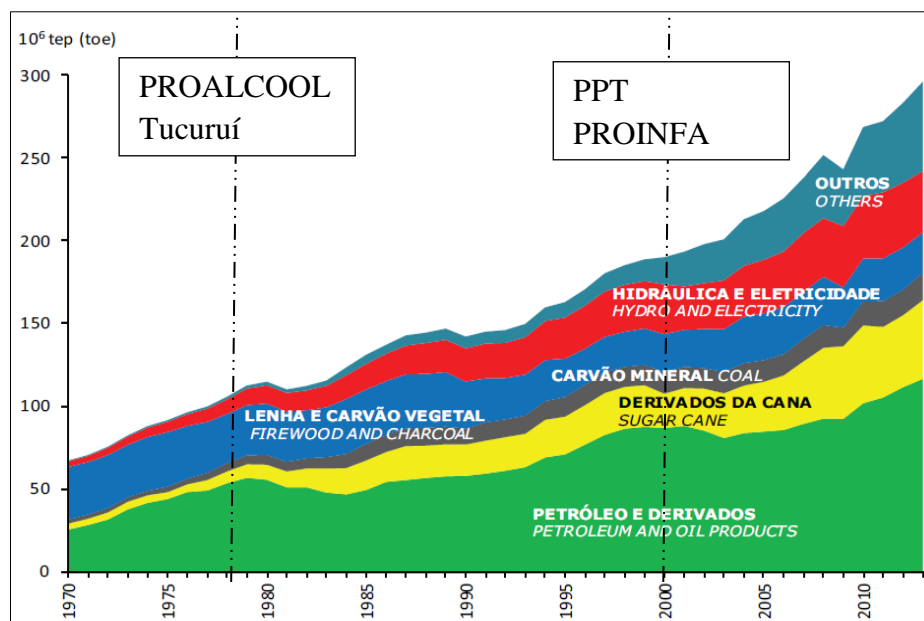


Figura 2.16 - Evolução da oferta interna de energia 1970-2013

Fonte: EPE (2014e)

A predominância da energia hidrelétrica no país ao mesmo tempo em que contribuiu para “limpar” a matriz energética brasileira, trouxe consigo a sensibilidade climática do sistema: nos períodos de estiagem, as usinas hidrelétricas operam com baixa capacidade, levando a entrada em operação das termelétricas, cujo custo de geração do MWh é alto, com índices de emissões de poluentes atmosféricos expressivos.

Desse modo, a fim de se evitar uma crise energética provocada pela crescente demanda, o presidente Fernando Henrique Cardoso estabeleceu no ano 2000 a criação do chamado Programa Prioritário de Termelétricas (PPT), que estabelecia a construção de 49 novas usinas termelétricas a gás natural, ampliando em 12% a participação deste como fonte energética no Brasil, visando ocupar a capacidade do gasoduto Bolívia-Brasil e escoar o gás da Bacia de Campos, e reduzir a dependência do sistema às condições hidrológicas (BERMANN, 2002). No entanto, em meados do ano 2001, o agravamento da estiagem e o aumento da demanda provocaram o chamado “apagão” de energia elétrica.

A partir desta eventualidade, o governo brasileiro lançou uma série de iniciativas, dentre as quais se cita o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), cujo objetivo é promover a diversificação da matriz energética brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, por meio de incentivos para o desenvolvimento de novas fontes renováveis de energia, incluindo o uso comercial de eletricidade por cogeração a partir de biomassa, células fotovoltaicas e turbinas eólicas (FREITAS *et. al*, 2011 *apud* DUTRA e SZKLO, 2008).

No entanto, o programa parece evoluir de forma lenta e a realidade que se apresenta é bastante distinta. Conforme Frischtak (2009) e Almeida *et al* (2001), o Plano Decenal de Expansão de Energia 2008-2017 apresenta projeções que se apoiam numa visão de expansão hidrotérmica, representando uma mudança sensível na composição das fontes de geração, com o crescimento acelerado do uso de óleo combustível e também de fontes alternativas, seguidas do carvão, e um crescimento relativamente modesto da hidroeletricidade.

Segundo Almeida *et. al* (2001), essa tendência é consequência das reformas institucionais do setor elétrico da década de 1990, que privilegiaram a privatização das distribuidoras e companhias de geração termoelétrica em detrimento da hidroeletricidade, desencorajada pelos altos custos iniciais de investimento e longos períodos de construção destes empreendimentos.

O recuo da hidroeletricidade, e a expansão acelerada do óleo combustível e do carvão levaram à percepção que o país estaria abrindo mão da natureza “limpa” e ambientalmente adequada da matriz de geração de energia elétrica, o que representaria um retrocesso quando comparado ao esforço das economias desenvolvidas e emergentes de ampliar o uso de fontes renováveis, e reduzir o impacto ambiental adverso da geração e consumo de energia, como indica a Figura 2.17.

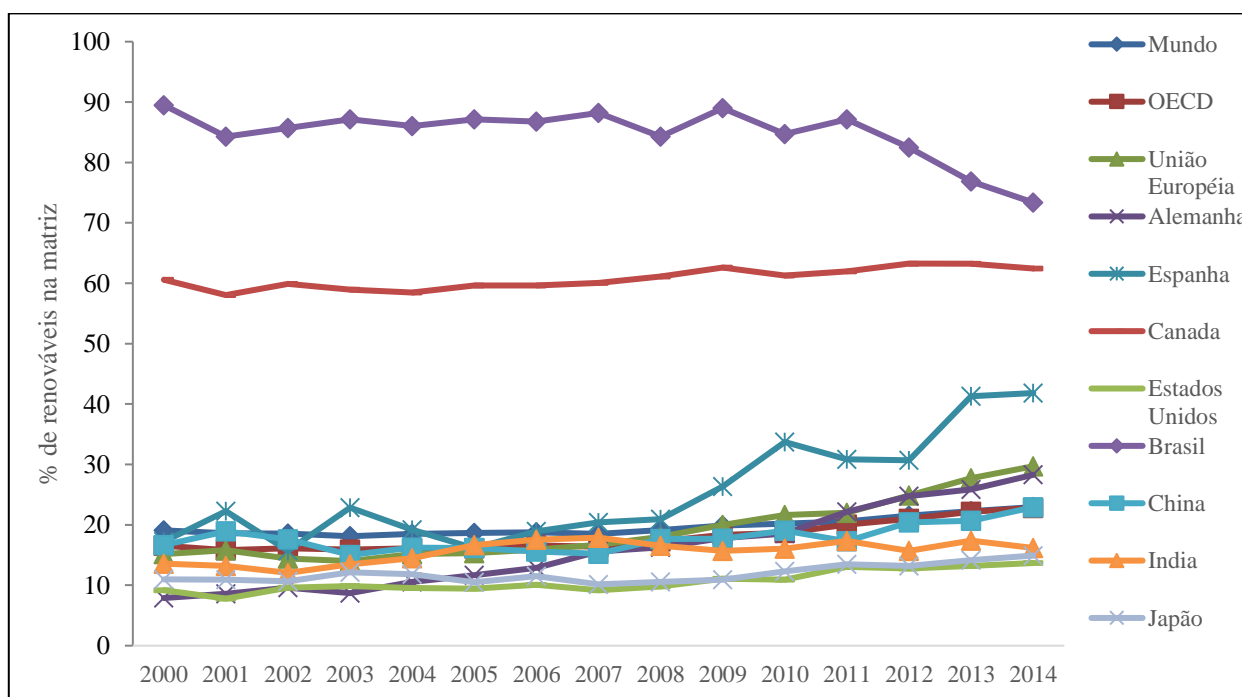


Figura 2.17 - Participação de renováveis na matriz elétrica de diferentes países

Fonte: Elaborado a partir de Enerdata (2015)

Dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2014 confirmam esta tendência. O Brasil ainda apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável (79,3%), com 64,9% de geração hidráulica na oferta interna. No entanto, do acréscimo de capacidade instalada em

2013 (aproximadamente 5,8 GW), a geração em centrais hidráulicas correspondeu a 30,0%, ao passo que centrais térmicas responderam por 65,0% da capacidade adicionada e as usinas eólicas foram responsáveis apenas pelos 5% restantes (EPE, 2014e). Em 2014, porém, dos 7,17 MW de capacidade instalada adicionados, as térmicas responderam por 18,1% do total, enquanto usinas hidráulicas e eólicas/solares corresponderam a 44,3% e 37,6%, respectivamente (EPE, 2015).

Atualmente, o governo tem voltado seus esforços para a disseminação da energia solar fotovoltaica no país, que participa na matriz de forma tímida, correspondendo a aproximadamente 20 MW de capacidade de geração solar fotovoltaica instalada, em sua grande maioria destinada ao atendimento de sistemas isolados e remotos (EPE, 2012).

Segundo Ramos (2015), em 2014, grandes projetos impulsionaram o setor, como os "estádios solares" e o primeiro leilão federal de energia solar, no qual 1 GWp de capacidade foi contratado ao preço de R\$ 215,00/MWh, que é considerado competitivo frente as novas termelétricas. O setor espera a contratação de 1 GW de projetos solares no país por ano, como resultado da instituição da Resolução ANEEL nº 482/2012, que regulamenta a geração distribuída no país.

Entretanto, Miranda *et. al* (2015) ressalta que os preços praticados nos leilões promovidos pela ANEEL nos últimos anos estão longe de alcançar as receitas requeridas por plantas solares qualificadas, indicando que plantas em larga escala ainda não são competitivas economicamente no país. Em contrapartida, a geração em pequena escala a partir de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, as características favoráveis do Brasil sugerem um grande potencial de crescimento nos próximos anos. A combinação das altas tarifas residenciais com irradiações solares superiores indica que a viabilidade econômica será alcançada em um futuro próximo (MISTCHER & RUTHER, 2012). Estima-se que em 2026, 55,0% dos domicílios estarão aptos a instalar sistemas fotovoltaicos (MIRANDA *et. al*, 2015), diminuindo as perdas de transmissão no sistema e consequentemente, melhorando a eficiência da matriz.

2.2.2 Fatores de emissão da Matriz Elétrica Brasileira

As emissões de CO₂ associadas à geração de eletricidade em um país variam de acordo com a participação das diferentes fontes energéticas fósseis como combustíveis, principalmente via geração termelétrica. Dessa forma, projetos que ofertam energia elétrica ou que reduzem/eliminam o consumo de energia devem utilizar o fator de emissão de CO₂ associado à rede para calcular as reduções obtidas com a implementação das ações.

Desde 2006, o Ministério de Ciência e Tecnologia publica os fatores de emissão calculados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para os quatro submercados do SIN (Norte, Nordeste, Sudeste/Centro-Oeste e Sul), de acordo com os registros de geração das usinas despachadas de forma central pelo ONS, especialmente as usinas termoeletricas. A metodologia de cálculo foi desenvolvida com base nas diretrizes da “Metodologia Consolidada de linha de base para a geração de eletricidade conectada à rede a partir de fontes renováveis - Metodologia ACM0002”, em parceria com o MME (MCTI, 2007).

A significativa participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira confere ao Brasil uma produção energética com baixo nível de emissões em relação a outros países, conforme a Tabela 2.3. Considerando apenas as emissões associadas ao CO₂, o fator de emissão brasileiro é aproximadamente 6,73 vezes menor que a média mundial.

Tabela 2.3 - Fatores de emissões associadas a eletricidade em diferentes países

País/Região Geográfica	Emissões por kWh de eletricidade gerada	Emissões associadas a perdas de T&D por kWh de eletricidade consumida	Emissões por kWh de eletricidade consumida	Participação de renováveis na matriz elétrica	
	kgCO ₂ /kWh ¹	kgCO ₂ /kWh ¹	kgCO ₂ /kWh ¹	% (2011)	% (2014)
Brasil	0,0926	0,0173	0,1099	87,1	73,4
EUA	0,5471	0,0396	0,5867	13,0	13,7
China	0,9726	0,1032	1,0758	17,3	22,9
Índia	1,3332	0,4676	1,8008	17,4	16,2
Rússia	0,5132	0,0495	0,5626	16,2	17,6
UK	0,5085	0,0399	0,5484	10,7	20,1
Noruega	0,0022	0,0002	0,0025	96,6	98,0
Alemanha	0,6722	0,0424	0,7146	22,2	28,3
Espanha	0,3429	0,0264	0,3692	33,7	41,8
Mundo	0,6235	0,0662	0,6897	20,1	22,9

¹ Não contempla as emissões equivalentes de CH₄ e N₂O. Dados calculados com base em IEA (2010) para 2011.

Fonte: Adaptado de Ecometrica (2011) e Enerdata (2015)

Entretanto, a análise histórica dos fatores de emissão do SIN sugere uma tendência de crescimento nas emissões (Figura 2.18). A análise apresentada indica que, desde agosto de 2012, as emissões do SIN superaram a média histórica de 0,43 tCO_{2e}/MWh, com variações pouco expressivas entre os períodos seco e úmido.

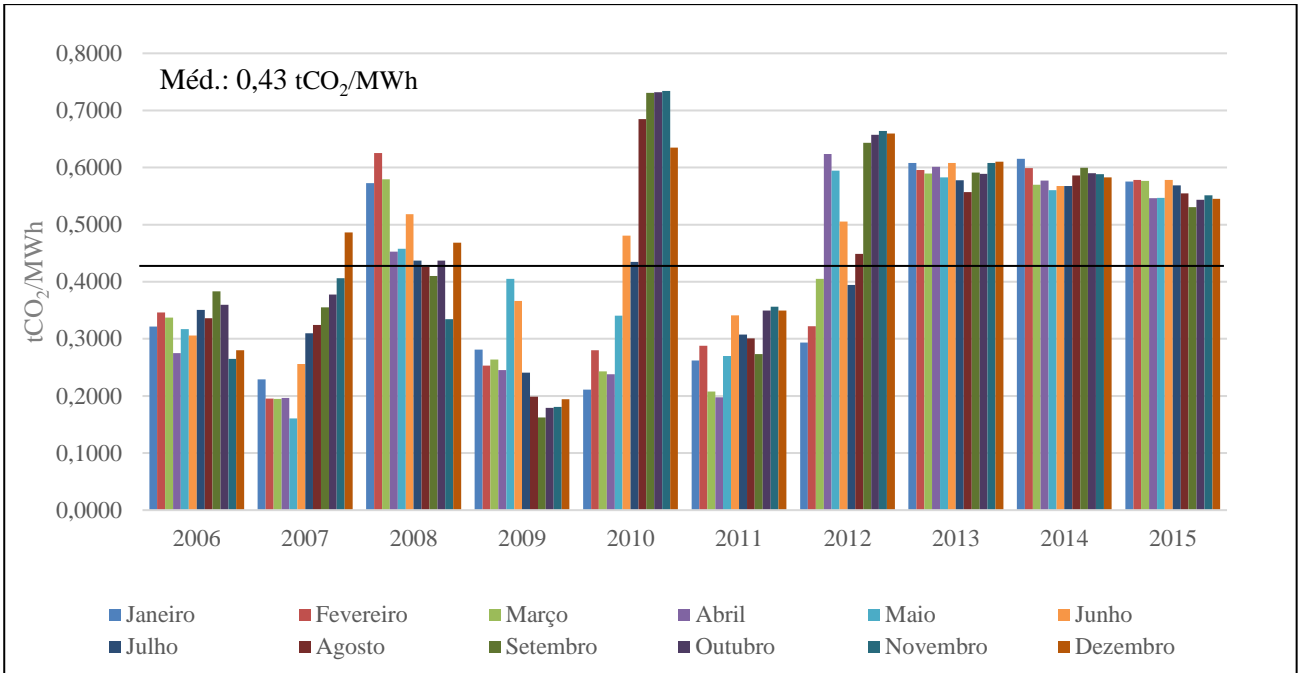


Figura 2.18 - Histórico da evolução dos fatores de emissão do SIN (2006-2015) – Método análise de despacho
Fonte: Elaboração a partir dos fatores publicados por MCTI (2016)

Apesar deste aumento ser fortemente associado à crise hídrica, a análise da Figura 2.19 evidencia que este é um reflexo das modificações na política energética brasileira. A carga de energia no país vem crescendo progressivamente, enquanto a energia armazenada máxima nos reservatórios das hidroelétricas se mantém praticamente constante (CURSINO, 2015).

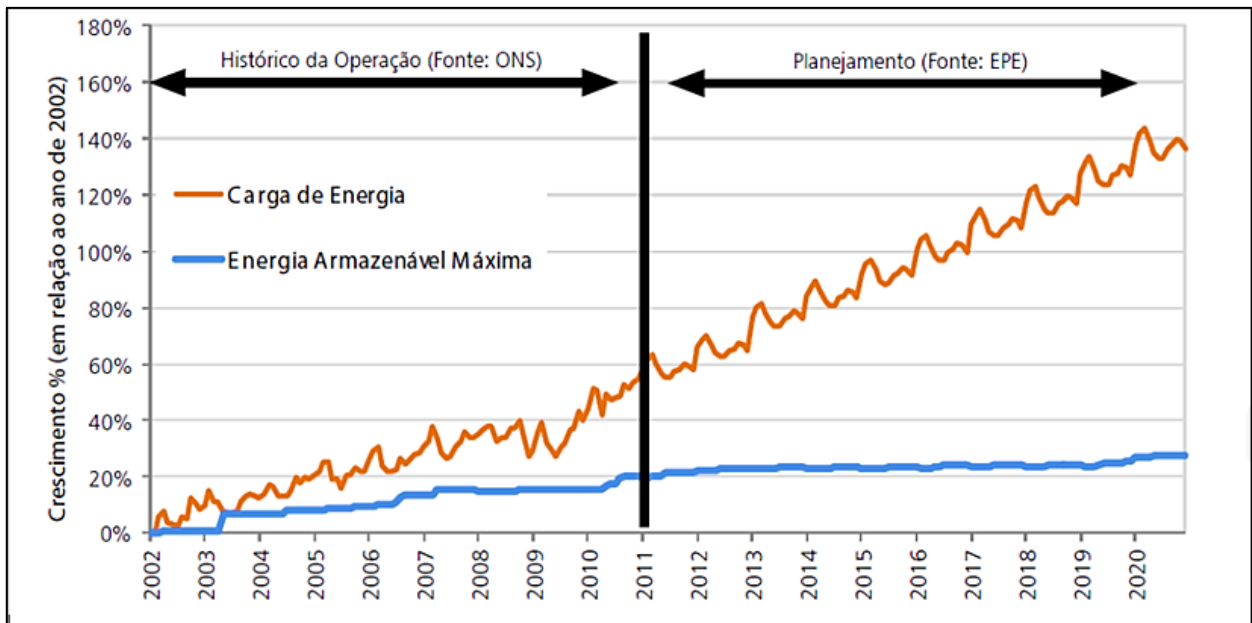
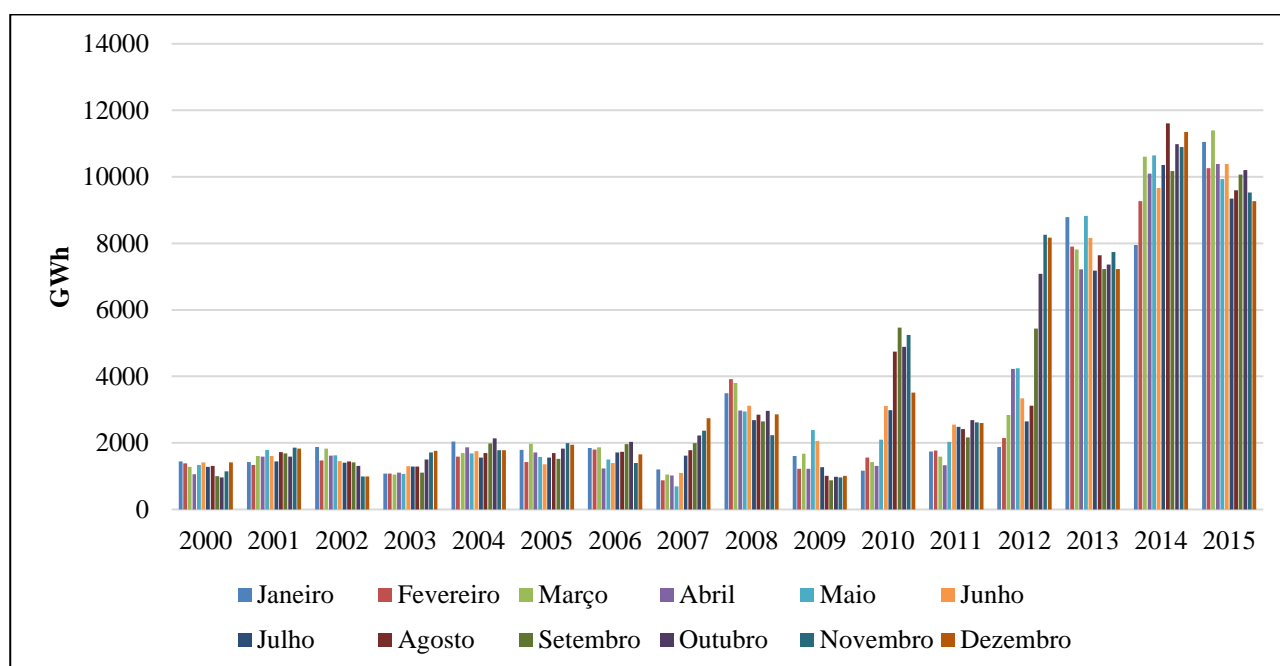


Figura 2.19 - Análise histórica da carga de energia do sistema e da energia armazenável máxima nos reservatórios

Fonte: Cursino (2015)

A Figura 2.18 exprime ainda informações importantes: em novembro de 2010, o fator de emissão atingiu o valor máximo de 0,73 tCO_{2e}/MWh. Este cenário pode ser relacionado a retomada do crescimento econômico no país após a crise de 2009 e correlacionado ao incremento de 10,6% do consumo industrial, além da melhoria de renda e oferta de crédito que elevaram o consumo nos setores residencial e comercial (EPE, 2011a). Conseqüentemente, houve um incremento na geração térmica no período (Figura 2.20).



A análise dos fatores de emissão permite observar a estreita relação causa-efeito entre as políticas energéticas e ambientais brasileiras. Os dados acima mostram que, a crescente geração térmica e o estímulo ao consumo, conseqüentes das estratégias políticas, são um alerta ao país, que assumiu metas de redução de emissões em 43,0% até 2030 durante a COP-21 (BRASIL, 2015a).

Diante dos fatos, faz-se necessário um alinhamento entre as políticas estabelecidas. Elaborar e melhorar programas que estimulem o uso racional de energia e a eficiência energética se torna objeto de suma importância no cenário atual.

2.3 HISTÓRICO DA CRIAÇÃO DE POLÍTICAS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

Desde as décadas de 70 e 80, as frequentes crises energéticas no setor de petróleo e o estabelecimento de importantes acordos ambientais elevaram a eficiência energética à condição de instrumento privilegiado no atendimento à demanda energética de forma econômica e sustentável (MME, 2009).

Neste contexto, diversos programas foram criados como o CONSERVE (1981), primeiro esforço em eficiência de energia no país, que buscava a promoção da conservação de energia na indústria e o desenvolvimento de produtos/processos mais eficientes, visando à substituição do óleo combustível no setor.

Em 1984, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) criou o Programa de Conservação de Energia em Eletrodomésticos, tendo por objetivo reduzir o consumo energético de refrigeradores, congeladores e condicionadores de ar no setor residencial. Esse programa foi reformulado em 1992, dando origem ao conhecido Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), com preservação de suas atribuições iniciais e estabelecimento de ações para definição de níveis mínimos de eficiência e segurança.

Complementarmente, foi instituído em 1985 por meio da Portaria Interministerial nº 1.877, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), uma iniciativa conjunta do Ministério de Minas e Energia e do Ministério de Indústria e Comércio (MDIC). Tratou-se da primeira iniciativa sistematizada de promoção do uso eficiente de energia elétrica no país, fomentando variada gama de ações, dirigidas principalmente à produção e ao uso final da energia elétrica.

Em 1991, foi instituído o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e Gás Natural (CONPET), de competência similar ao PROCEL, sob coordenação do MME e execução da Petrobras, visando o uso eficiente das fontes de energia não renováveis, conferindo melhoria ambiental e competitividade produtiva no transporte e na indústria, por meio de diversas frentes de atuação, tais como a utilização de selos de eficiência para produtos nos setores residencial e comercial, o uso eficiente de óleo diesel no setor agropecuário, e o diagnóstico de veículos de carga e de passageiros.

Na década de 90, houve também a criação das agências reguladoras de energia, a ANEEL (criada em 1996 pela Lei nº 9.427) e a ANP (criada em 1997 pela chamada “Lei do Petróleo”, de nº 9.478),

cujas atribuições incluem o incentivo ao uso racional das fontes de energia, com vistas a proteção ambiental e a promoção da conservação energética, contribuindo para regulamentação das ações.

A partir da regulação do setor elétrico e sua reestruturação, surgem esforços para o incentivo a pesquisa em tecnologias mais eficientes, que culminaram no estabelecimento de dois importantes instrumentos legais nos anos 2000: o Programa de Eficiência Energética das distribuidoras (PEE) da ANEEL (instituído pela Lei nº 9.991/2000), e a Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001), principal marco regulatório no país em matéria de eficiência energética, cuja criação complementou os programas existentes ao estabelecer padrões mínimos de eficiência ou máximos de consumo energético para equipamentos eletrônicos fabricados/comercializados no Brasil.

Mais recentemente, em 2010, foi lançado o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), que estabelece meta de redução de 10% do consumo de energia elétrica (com relação ao ano-base de 2009) até 2030, por meio de ações integradas entre os diversos instrumentos existentes.

Logo, verifica-se a diversidade de mecanismos existentes para promoção da eficiência energética no país, que envolvem grande diversidade de setores e beneficiam os diferentes segmentos da sociedade. No entanto, as ações de eficiência estão dispersas em inúmeros organismos, de atribuições distintas. Faltam estruturas de coordenação e operação suficientemente munidas de recursos humanos e materiais, para que haja maior integração entre os programas e conseqüentemente, as metas previstas no PNEf 2030 sejam alcançadas (MME, 2010).

2.4 PRINCIPAIS LEGISLAÇÕES EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A eficiência energética está institucionalizada na legislação brasileira através da atuação das agências reguladoras, ANEEL e ANP, as quais competem a promoção e o incentivo ao uso racional de energia, e por meio de duas importantes leis: a Lei nº 9.991 de 2000, que regulamenta e prevê a destinação de recursos para viabilização do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL; e a Lei nº 10.295 de 2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética, que fixou padrões mínimos de eficiência ou máximos de consumo energético para os equipamentos fabricados e comercializados no Brasil, apresentadas a seguir.

2.4.1 Programa de Eficiência Energética da ANEEL (Lei 9.991/2000)

Segundo Haddad (2002), desde o início da privatização das empresas concessionárias de distribuição de eletricidade em 1995, o Governo Federal buscava uma forma de garantir que o setor privado investisse em eficiência energética. Os primeiros contratos de concessão traziam cláusulas específicas onde a concessionária deveria, anualmente, apresentar "planos de ações visando ao incremento da eficiência no uso e na oferta de energia elétrica, no qual deve constar, obrigatoriamente, ações voltadas para a orientação do uso racional de energia elétrica por seus consumidores e plano de utilização integrada de recursos na oferta".

Com a criação da ANEEL, que tem por competência "[...] incentivar o combate ao desperdício de energia no que diz respeito a todas as formas de produção, transmissão, distribuição, comercialização e uso da energia" (BRASIL, 1997), houve o aprimoramento da cláusula contratual, tornando compulsório o investimento em eficiência energética pelas concessionárias, que estavam sujeitas a penalidades. Dessa forma, iniciou-se em 1998 a apresentação por parte das empresas dos chamados Programas Anuais de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, que caracterizou um primeiro esboço de um programa de eficiência energética das concessionárias.

Entretanto, a regulamentação do programa ocorreu somente em 2000, com a instituição da Lei nº 9.991, que estabeleceu "[...] a obrigatoriedade de aplicação do montante mínimo de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica em programas de eficiência energética na oferta e uso final de energia" (BRASIL, 2000). Por meio desta lei foi consolidada a destinação de recursos para as ações de eficiência, criando o chamado Programa de Eficiência Energética das Concessionárias de Distribuição de Energia Elétrica da ANEEL (PEE).

Para o cumprimento desta obrigação as distribuidoras devem apresentar à ANEEL, a qualquer tempo, projetos de eficiência energética e combate ao desperdício de energia elétrica, observadas as diretrizes estabelecidas para a sua elaboração, descritas no Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (MPEE), regulamentado pela Resolução Normativa nº 556/2013 (ANEEL, 2014).

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME, 2010), durante os primeiros ciclos do programa predominaram os investimentos em redução de perdas técnicas nas redes de distribuição, utilização de lâmpadas eficientes para iluminação pública e diagnósticos energéticos de instalações industriais, comerciais e de serviços. Mais recentemente, verifica-se o crescimento de ações em otimização da

gestão energética por meio da parceria com ESCOS⁷ em indústrias, estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços.

Em 2015, 1.570 projetos encontravam-se registrados no programa, os quais previam uma economia de 4.093 GWh/ano e uma demanda retirada de ponta de 1.314 MW (ANEEL, 2015). Dentre os projetos executados, os maiores investimentos são destinados a projetos voltados para população de baixa renda (59,32%), conforme pode ser observado na Tabela 2.4, seguida dos investimentos no setor residencial (10,39%) e no setor público (10,29%).

Tabela 2.4 - Relação das tipologias dos projetos registrados no PEE de 2008 a setembro/2015

Tipologia	Nº Projetos	Parcela dos investimentos (%)	Economia de energia (GWh/ano)	Tipos de projetos
Aquecimento Solar	41	1,68	23,65	Instalação de sistemas de aquecimento de água solar em substituição ao chuveiro elétrico em hospitais, escolas, asilos e conjuntos residenciais
Baixa Renda	426	59,32	2.330,65	Doação e troca de equipamentos eletrônicos, campanhas de conscientização, regularização de instalações
Co-geração	7	3,17	146,19	Aproveitamento de gases/calor de processos industriais em sistemas de geração de eletricidade
Comércio e Serviços	215	3,21	145,09	Eficientização de equipamentos e sistemas em edifícios e estabelecimentos comerciais, hotéis, hospitais e escolas
Educacional	78	4,07	5,81	Treinamentos em escolas e capacitação de educadores
Gestão Energética Municipal	14	0,22	0,00	Treinamento e elaboração de planos municipais de gestão energética
Iluminação Pública	2	0,10	2,75	Modernização da iluminação pública
Industrial	55	2,09	159,31	Diagnósticos energéticos e efficientização de equipamentos/sistemas na indústria
Pelo Lado da Oferta	1	0,12	0,48	Instalação de Gerador Solar Fotovoltaico no Estádio de Futebol Governador Prof. Roberto Santos visando a injeção de grandes blocos de energia solar fotovoltaica no sistema da COELBA
Poder Público	408	10,29	382,51	Eficientização de prédios públicos (delegacias, universidades, hospitais, outros)
Projeto Piloto	21	1,5	60,12	Projetos de consciência ambiental (troca de resíduos recicláveis por bônus na conta), plantas piloto de geração fotovoltaica, medidores inteligentes para tarifação dinâmica, etc.
Residencial	109	10,39	666,50	Doações e subsídios para venda de equipamentos eficientes, capacitação e conscientização, incentivos a troca de equipamentos antigos e ineficientes através do bônus na conta.
Rural	57	0,54	32,17	Eficiência em processos de produção e sistemas de irrigação
Serviços Públicos	136	3,30	138,21	Eficiência energética em sistemas de saneamento

Fonte: Elaborado a partir de dados da ANEEL (2015)

⁷ Designação internacional para Empresas de Conservação de Energia (Energy Services Company).

A predominância dos projetos voltados para a população de baixa renda se deve a aplicação da Lei nº 12.212/2010, que trata da Tarifa Social de Energia Elétrica e determina a aplicação mínima de 60% dos recursos do programa, para unidades consumidoras beneficiadas pela Tarifa Social (BRASIL, 2010), constituindo um ponto de inúmeras críticas ao programa.

Startosa⁸ (2013) afirma que as determinações desta lei comprometem a efetividade do PEE, pois destina grande parte dos recursos a um setor que representa apenas 4,0% do consumo total de energia no país, comprometendo a destinação de recursos aos principais consumidores: comércio e indústria (40,0%). A análise da Figura 2.21 mostra a relação custo-benefício (RCB) média dos projetos registrados no programa de acordo com a tipologia. Por meio deste, verifica-se que, de fato, os projetos voltados para a população de baixa renda apresentam menores benefícios energéticos em relação às demais tipologias.

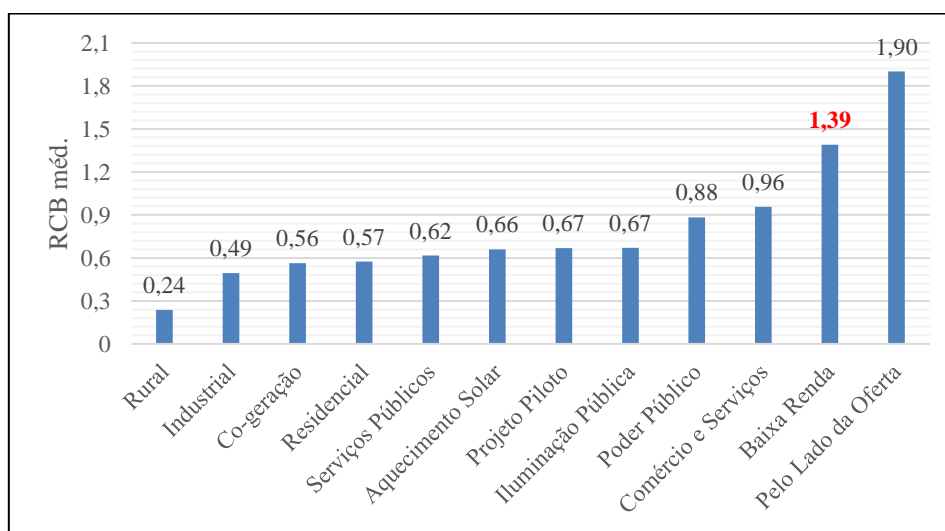


Figura 2.21 - Relação custo-benefício média dos projetos registrados no PEE⁹

Fonte: Elaborado a partir dos dados de ANEEL (2015)

Por outro lado, alguns projetos voltados à população de baixa renda consistem na adequação de instalações elétricas nessas comunidades, responsáveis por grandes perdas comerciais dadas as instalações clandestinas e incompatíveis com os padrões técnicos, que impactam na tarifa geral dos consumidores. Logo, a regularização destas instalações contribui não só para a diminuição de desperdícios e riscos de acidentes, mas para uma melhor tarifação, de modo geral.

Apesar de ser o maior consumidor de eletricidade no Brasil, a indústria não é prioridade nos programas governamentais de eficiência energética. As principais iniciativas para promoção do uso

⁸ José Starosta, presidente da Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (Abesco), em entrevista para a Revista de Eficiência da ANEEL (ANEEL, 2013).

⁹ Valores apresentados em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/Excel/PEE%20Projetos.xls>.

racional de energia no Brasil não estabelecem uma política de longo prazo para o setor, tais como a Lei nº 10.295/2010, que estabelece índices de eficiência mínimos predominantemente para equipamentos de uso residencial e comercial; e o PEE da ANEEL, que destinou apenas 9,0% dos recursos aplicados pelo programa de 1998 a 2006 na indústria (CNI, 2009).

De acordo com uma pesquisa da FIRJAN (2011), a tarifa média de energia para a indústria brasileira é de 329,0 R\$/MWh, que corresponde a mais do que 50% superior à média de 215,5 R\$/MWh encontrada para um conjunto de 27 países do mundo, para os quais há dados disponíveis na Agência Internacional de Energia. Quando comparado aos países dos BRICs, a tarifa de energia elétrica industrial brasileira é 134% maior do que a média das tarifas de China, Índia e Rússia (140,7 R\$/MWh).

No entanto, do ponto de vista econômico e ambiental, a eficiência energética na indústria é bastante vantajosa. A análise de 217 projetos de eficiência energética industrial em 13 setores no âmbito do PEE realizada pela CNI mostrou que, para um investimento de R\$ 161 milhões, gerando uma economia de 626 GWh, o Custo da Energia Conservada (CEC) médio foi de R\$ 79/MWh. Considerando o valor de R\$ 138/MWh¹⁰ para o custo marginal de expansão do sistema de energia elétrica, a eficiência energética é uma alternativa viável (Figura 2.22).

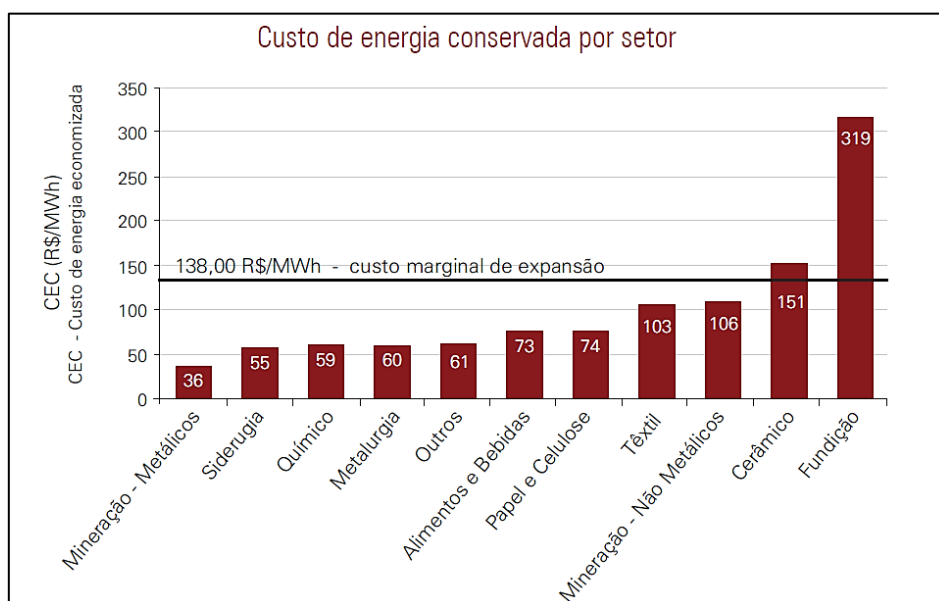


Figura 2.22 - Custo da energia conservada por segmento industrial

Fonte: CNI (2009)

Contudo, a política energética brasileira atual indica que os investimentos permanecerão privilegiando o segmento baixa renda. O programa sofreu alterações pela Lei nº 13.203/2015, que trata sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica pelos agentes setoriais.

¹⁰ Valor estimado pela EPE (Plano Decenal 2007/2016)

Esta estabelece em seu capítulo III, Art 8º, novas diretrizes para aplicações dos recursos em pesquisa e desenvolvimento bem como para programas de eficiência energética na oferta e uso final de energia:

“Art. 1º.....
 [...] V – as concessionárias e permissionárias de energia elétrica deverão aplicar, no mínimo, **60,0%** (sessenta por cento), **podendo aplicar até 80,0%** (oitenta por cento), dos recursos voltados aos seus programas de eficiência energética nas unidades consumidoras **rurais**, ou nas unidades pertencentes à comunidade de **baixa renda** ou cadastradas na Tarifa Social de Energia Elétrica (BRASIL, 2015b)”.

Mais recentemente, houve uma nova alteração na aplicação dos recursos do programa, prevista pela Lei nº 13.280, de 03 de maio de 2016, que destina 20,0% dos novos investimentos ao PROCEL, permitindo as concessionárias a aplicação dos 80,0% restantes “[...] conforme regulamentos estabelecidos pela ANEEL” (BRASIL, 2016).

O PEE da ANEEL constitui um importante instrumento para o alcance dos objetivos propostos no Plano Nacional de Eficiência Energética. Para isso, é necessário ultrapassar as barreiras regulatórias e destinar recursos de forma eficaz, atendendo com equidade as classes de consumo. Segundo Pompermayer¹¹ (2013), o programa deve priorizar investimentos em fontes renováveis, como a solar, eólica e biomassa, que são alternativas viáveis para potencializar os ganhos de eficiência energética, e que contribuem para conscientização da população, por meio da substituição do chuveiro elétrico por sistemas de aquecimento solar de água, por exemplo.

2.4.2 Lei de Eficiência Energética (Lei 10.295/2001)

Conhecida como Lei de Eficiência Energética, a Lei 10.295/2010 estabelece a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, consolidando-se como o principal marco regulatório da eficiência energética no Brasil, por meio do estabelecimento de níveis máximos de consumo de energia ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, bem como as edificações construídas (BRASIL, 2001b).

De acordo com Haddad (2002), a Lei de Eficiência Energética preenche uma lacuna e ao mesmo tempo contribui no combate ao desperdício de energia no Brasil, pois coloca em prática ações que agregam valor e desenvolvem tecnologia, através da introdução no mercado nacional de produtos de maior eficiência energética. Ao tornar compulsórios os limites mínimos de eficiência energética, todos os fabricantes e importadores de aparelhos consumidores de energia passaram a ser obrigados

Máximo Luiz Pompermayer⁴, superintendente de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética da ANEEL, em entrevista para a Revista de Eficiência da ANEEL (ANEEL, 2013).

a adotar medidas para que fossem obedecidas as regulamentações específicas estabelecidas, eliminando produtos ineficientes do mercado (SOUZA *et. al*, 2002).

Destaca-se também a criação do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), instituído pelo Decreto nº 4.059/2001 (que regulamenta a lei de eficiência energética), composto por membros dos ministérios (MME, MCTI, MDIC), das agências reguladoras (ANEEL e ANP) e especialistas em energia, cujas competências são:

- I – elaborar plano de trabalho e cronograma visando implementar a aplicação da Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2010;
- II – elaborar regulamentação específica para cada tipo de aparelho e máquina consumidora de energia;
- III – estabelecer Programa de Metas com indicação da evolução dos níveis a serem alcançados para cada equipamento regulamentado;
- IV – constituir Comitês Técnicos para analisar e opinar sobre matérias específicas sob apreciação do CGIEE, inclusive com participação de representantes da sociedade civil;
- V – acompanhar e avaliar sistematicamente o processo de regulamentação e propor plano de fiscalização;
- VI – deliberar sobre as proposições do Grupo Técnico para Eficientização de Energia em Edificações (BRASIL, 2001a);

O apoio técnico ao comitê é fornecido pela ANEEL, ANP, pelas secretarias executivas do PROCEL e do CONPET, e pelo INMETRO, responsável também pela fiscalização e acompanhamento dos programas de avaliação de conformidade das máquinas e aparelhos regulamentados, e credenciamento dos laboratórios responsáveis pelos ensaios de atendimento aos padrões.

Desde sua criação em 2001, o CGIEE vem deliberando decretos e portarias normativas, com os padrões mínimos de eficiência ou máximos de consumo de energia para aparelhos consumidores de energia, os quais estão descritos a seguir, na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Portarias e Decretos do CGIEE no âmbito da Lei 10.295/2010

Nº	Ano	Objetivo	Equipamentos	Indicador de eficiência
Decreto nº 4508	2002	Nível min. de eficiência energética	Motores elétricos de indução trifásicos	Rendimento Nominal
Portaria nº 553	2005	Programa de Metas	Motores elétricos de indução trifásicos	Rendimento Nominal
Portaria nº 132	2006	Nível min. de eficiência energética	Lâmpadas Fluorescentes Compactas	Fluxo luminoso [lúmem]/potência elétrica consumida [W]
Portaria nº 362	2007	Nível máx. de consumo de energia	Refrigeradores e Congeladores	kWh/mês (NMC)
Portaria nº 363	2007	Nível min. de eficiência energética	Fogões e Fornos a Gás	$I_e = 100\% - I_c$ (Para mesa de cocção e forno) (I_c - índice de consumo)
Portaria nº 364	2007	Nível min. de eficiência energética	Condicionadores de ar	Capacidade total de refrigeração [W] / Potência elétrica demandada [W]
Portaria nº 298	2008	Nível min. de eficiência energética	Aquecedores de água a gás	Méd. aritmética de 3 medições de rendimento do aparelho [η (%)= $\Delta Q/\Delta E$]

Portaria nº 238	2009	Prorrogar os prazos da P.I. 553/2005	Motores elétricos de indução trifásicos	Rendimento Nominal
Portaria nº 959	2010	Nível min. de eficiência energética	Reatores eletromagnéticos para Lâmpadas Vapor de Sódio de Alta Pressão e Vapor Metálico	Perda elétrica máxima [W]
Portaria nº 1.007	2010	Nível min. de eficiência energética	Lâmpadas Incandescentes	Fluxo luminoso [lúmen]/potência elétrica consumida [W]
Portaria nº 1.008	2010	Programa de Metas	Lâmpadas Fluorescentes Compactas	Lúmen/Watt
Portaria nº 323	2011	Programa de Metas	Condicionadores de ar	Capacidade de refrigeração
Portaria nº 324	2011	Programa de Metas	Aquecedores de água a gás	Rendimento
Portaria nº 325	2011	Programa de Metas	Fogões e Fornos a Gás	Rendimento
Portaria nº 326	2011	Programa de Metas	Refrigeradores e Congeladores	kWh/mês (NMC)
Portaria nº 104	2013	Nível min. de eficiência energética	Transformadores de distribuição	Perda máx. total em vazio [W] Perda máx. total na derivação nominal/crítica [W]

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Brasil (2002, 2005, 2006, 2007a, 2007b, 2007c, 2008, 2009, 2010b, 2010c, 2010d, 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2013)

A implementação da Lei da Eficiência Energética trouxe ainda benefícios como a articulação entre os programas de etiquetas e selos nacionais de eficiência energética, promovendo modificações e maior efetividade a estes. Esta dinâmica ocorre pelo estabelecimento de indicadores de eficiência energética a partir da criação de normas técnicas e credenciamento de laboratórios no âmbito do PBE (definidos pela Lei nº 10.295/2010), e pela distinção dos produtos de melhor classificação do programa através dos selos PROCEL e CONPET. Segundo Leonelli (2011) mais de 95% dos resultados contabilizados pelo PROCEL podem ser atribuídos ao sucesso deste trinômio: etiqueta – selo – lei de eficiência energética.

2.5 PROGRAMAS DE ETIQUETAGEM ENERGÉTICA

Os programas de etiquetagem energética são importantes instrumentos em eficiência energética ao passo em que fornecem informações ao consumidor quanto ao desempenho energético de equipamentos consumidores de energia, de modo que a eficiência seja um atributo considerado pelos consumidores. Como consequência, a competitividade deste mercado é estimulada, levando ao desenvolvimento de produtos e tecnologias mais eficientes pelos fabricantes, com maior valor agregado.

Conforme Cardoso (2012), existem basicamente três tipos de etiquetagem energética no mercado mundial: a contínua (indica o valor do consumo de energia elétrica de um equipamento em um determinado período); de categoria (informam a eficiência dos equipamentos por faixa de

consumo); e a de endosso (fornece informação de credibilidade ao consumidor, indicando os equipamentos com maior desempenho energético de sua categoria).

Em 1984 foi criado no Brasil o primeiro programa deste caráter, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que iniciou de forma pioneira uma discussão com a sociedade sobre a conservação de energia, por meio do fornecimento de informações relacionadas ao desempenho de produtos, considerando atributos como eficiência energética, ruído e outros critérios que podem influenciar a escolha dos consumidores. Por consequência, o PBE estimula a competitividade na indústria, que deverá fabricar produtos cada vez mais eficientes.

Os produtos integrantes do programa são ensaiados em laboratórios certificados pelo INMETRO e recebem etiquetas com faixas coloridas que os diferenciam, as chamadas Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia (ENCE) (Figura 2.23). No caso da eficiência energética, a classificação vai da mais eficiente (A) a menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), onde se entende que os mais eficientes utilizam melhor a energia, têm menor impacto ambiental e diminuem os custos de eletricidade (INMETRO, 2014). Em 2014, o PBE possuía 38 programas em diferentes níveis de implementação.

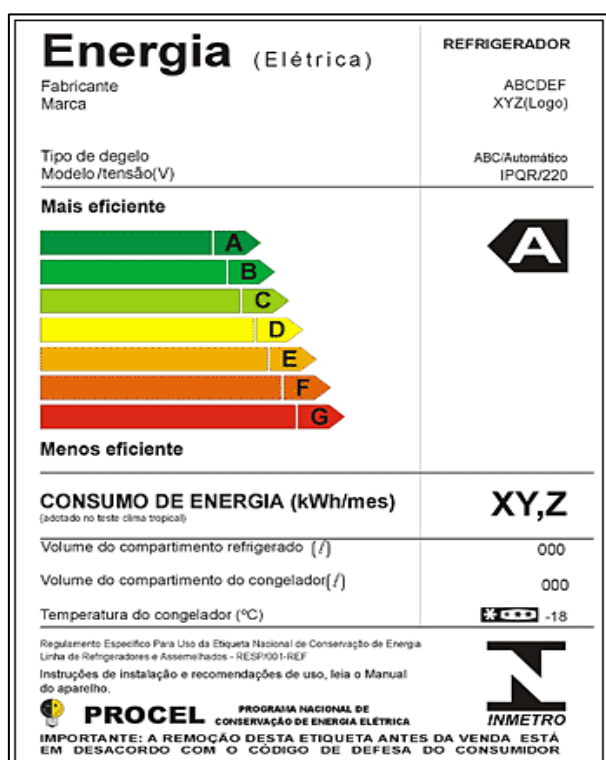


Figura 2.23 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia no âmbito do PBE

Fonte: INMETRO (2014)

Segundo Cardoso (2012), os programas de etiquetagem inicialmente ocorrem em cooperação com a indústria e em caráter voluntário. Entretanto, ao longo do tempo a colocação das etiquetas em

alguns produtos passa a ser uma obrigação legal ao fabricante, com tendência à regulação do mercado, visando à eficiência e a adoção compulsória da etiquetagem. No Brasil, verifica-se este processo através da promulgação da Lei de Eficiência Energética, cujos padrões estabelecidos articulam-se necessariamente com o Programa Brasileiro de Etiquetagem que por sua vez, fornece embasamento técnico aos selos PROCEL e CONPET, como mostra a Figura 2.24.



Figura 2.24 - Relação entre o Programa Brasileiro de Etiquetagem e os selos PROCEL e CONPET

Fonte: Eletrobras/PROCEL (2012)

Os produtos regulamentados pelo PBE são inicialmente implementados em caráter voluntário. Com a instituição da Lei de Eficiência Energética, o Inmetro passou a estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de eficiência energética, conforme determina o art. 9º do Decreto nº 4.059/2001 “[...] O INMETRO será responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação da conformidade das máquinas e aparelhos consumidores de energia a serem regulamentados (BRASIL, 2001)”. A partir deste reforço jurídico, o PBE direcionou seus programas de avaliação da conformidade para o campo compulsório, baseando-se no estabelecimento de níveis mínimos de eficiência.

Atuando em complementação ao PBE encontram-se o selo CONPET, iniciativa integrante do Programa Nacional do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural (CONPET) (voltado a racionalização do consumo destas fontes de energia nos setores residencial, industrial e de transportes, visando a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera); e o selo PROCEL, que integra o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Este último, objeto de análise deste estudo, será apresentado com maior detalhamento a seguir.

2.5.1 Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

Criado em 1985 pela Portaria Interministerial nº 1.877, sob coordenação do MME e execução da Eletrobras, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) foi instituído com o intuito de promover o uso eficiente de energia elétrica e combater o desperdício, através de ações em diversas áreas de atuação, por meio dos seguintes subprogramas:

- Selo PROCEL (Equipamentos) – identificação dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes a partir de indicadores de consumo e desempenho em cada categoria, induzindo o desenvolvimento e aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro, premiando aqueles que atingem os melhores níveis de eficiência. Atualmente, o selo é concedido a 36 categorias e 3.748 modelos de equipamentos, sendo responsável por 98% dos resultados do programa (ELETROBRAS/PROCEL, 2014).
- PROCEL Edifica (Edificações) – promoção do uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores.
- PROCEL Reluz (Iluminação pública) – apoio a prefeituras no planejamento e implantação de projetos de melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica.
- PROCEL Eficiência Energética nos Prédios Públicos (EPP) / Gestão Energética Municipal (GEM) / SANEAR (Poder público) – ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implantação de projetos que visam a redução do consumo de energia em municípios e o uso eficiente de eletricidade na área de saneamento.
- PROCEL Indústria (Indústria e Comércio) – treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com otimização dos sistemas produtivos.
- PROCEL Educação (Conhecimento) - elaboração e disseminação de informação qualificada em eficiência energética, por meio de ações educacionais no ensino formal ou da divulgação de dicas de economia, livros, softwares e manuais técnicos.

Estima-se que desde a sua criação em 1985, o programa gerou uma economia de 70,1 bilhões de kWh, atribuída principalmente aos subprogramas Selo Procel Eletrobrás, Procel GEM, Procel Reluz e Procel Indústria, que possuem metodologias específicas de avaliação de resultados¹²

¹² Para os demais programas não há metodologia de avaliação de resultados.

(ELETROBRAS/PROCEL, 2014). A Tabela 2.6 apresenta os resultados globais do programa nos últimos anos.

Tabela 2.6 - Principais resultados do PROCEL no período de 2009-2014

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Energia Economizada (GWh)	5.473	6.164	6.696	9.097	9.744	10.517
Redução da demanda de ponta (MW)	2.098	2.425	2.619	3.459	3.769	4.022
Usina Equivalente (MW)	1.312	1.478	1.606	2.182	2.337	2.522
Emissões evitadas (mil tCO ₂ eq.)	135	315	196	624	935	1.425
Investimentos Totais Realizados (R\$ milhões)	11,69	93,72	110,18	78,49	34,40	18,00
Custos evitados (R\$ milhões)	1.039,23	855,33	872,28	1.010,96	1.082,42	1.178,00

Fonte: Elaborado a partir de Eletrobras/Procel (2012, 2014, 2015)

A tabela acima reafirma a importância do programa, visto que a demanda de investimentos pelo PROCEL apresenta valores inferiores aos necessários para ampliação da matriz e da oferta de energia. Observa-se também que, em 2012, ocorreu uma melhoria na eficácia dos resultados, com o incremento da economia de energia anual, a menores custos de investimentos. Segundo o relatório do programa, estes resultados podem ser atribuídos à concessão do Selo Procel a 3.784 modelos diferentes de equipamentos, bem como a outorga de 20 Etiquetas Nacionais de Conservação de Energia a edifícios residenciais, comerciais, públicos e de serviços no ano de 2011 (ELETROBRAS/PROCEL, 2012).

2.6 MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE ECONOMIAS DE PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Segundo o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP), “M&V” é o processo de utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia. A economia representa a ausência de consumo e, uma vez que não pode ser medida, é determinada pela comparação do consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, com ajustes adequados, tendo em conta alterações nas condições, como exemplifica a Figura 2.25 (EVO, 2012).

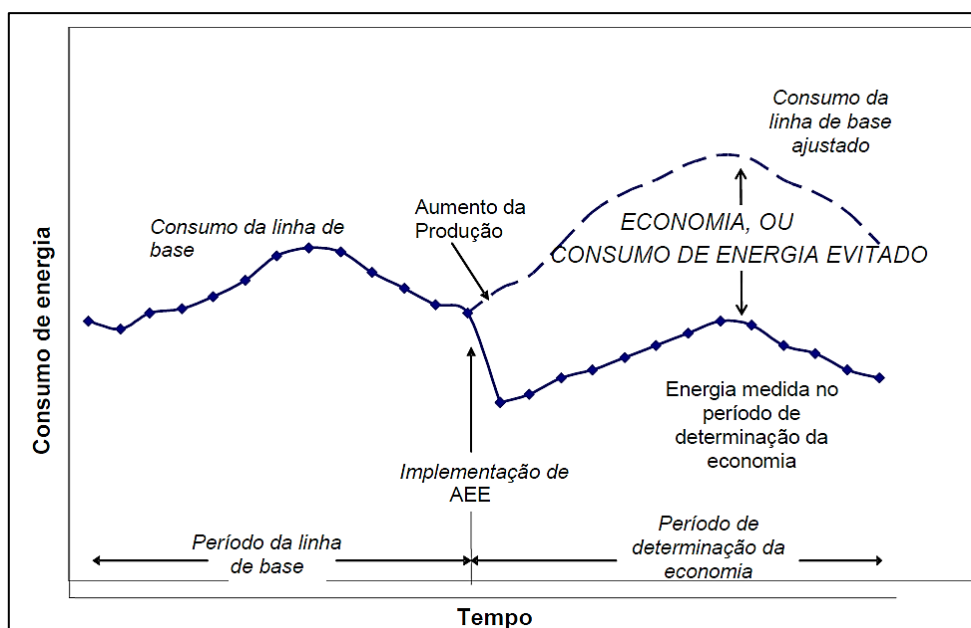


Figura 2.25 – Exemplo de processo de determinação de economia de energia
Fonte: EVO (2012)

Na literatura, há diversas opções de metodologias para a avaliação de impactos de programas de eficiência energética, economia de energia em equipamentos e redução de demanda na ponta, sendo importante observar qual delas apresenta resultados mais consistentes, com menores incertezas e custos de elaboração e execução, visto que esta etapa demanda recursos expressivos para serem satisfatoriamente implementadas.

Dentre as metodologias internacionalmente reconhecidas, citam-se o *Evaluation Guidebook on the Impact of Demand-Side Management and Energy Efficiency Programmes for Kyoto's GHG Targets* (Vol.1) (Programa de Avaliação das Medidas para a Eficiência Energética e Gerência da Demanda), desenvolvido pela Agência Internacional de Energia (IEA) e o *Collaborative Labeling and Appliance Standards Program* (CLASP), um programa que desde 1999 envolve o *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), a ONG *Alliance to Save Energy* e o *International Institute for Energy Conservation* (IIEC) (ELETROBRAS/PROCEL, 2015).

Cardoso (2012) menciona que os resultados das avaliações do impacto dos programas de eficiência energética têm sua qualidade definida essencialmente pelo modelo conceitual adotado (que deve expressar adequadamente as relações entre as variáveis técnicas e o mercado) e pelos dados que serão associados a este.

Para o caso dos índices mínimos de eficiência energética (IMEE) aplicado a eletrodomésticos, tal como estabelece a Lei 10.295/2001, a economia avaliada envolve a energia que não foi consumida pelo equipamento por um período (usualmente um ano, em GWh) e a capacidade instalada que

deixa de ser requerida no horário de pico do sistema (em MW), como consequência direta da substituição dos equipamentos menos eficientes por outros melhores, adotando-se um modelo conceitual de vendas que considera a influência da percepção do consumidor e o estabelecimento de padrões (NOGUEIRA *et. al*, 2015).

A Figura 2.26 ilustra a distribuição das vendas entre as classes de eficiência utilizando a mesma base para a avaliação da performance, considerando o contexto brasileiro, que inclui selos de eficiência (ENCE), selos de endosso (Selos PROCEL e CONPET) e os níveis mínimos compulsórios de eficiência sucessivamente introduzidos. Percebe-se que a integração das diferentes iniciativas melhora a eficiência do mercado como um todo.

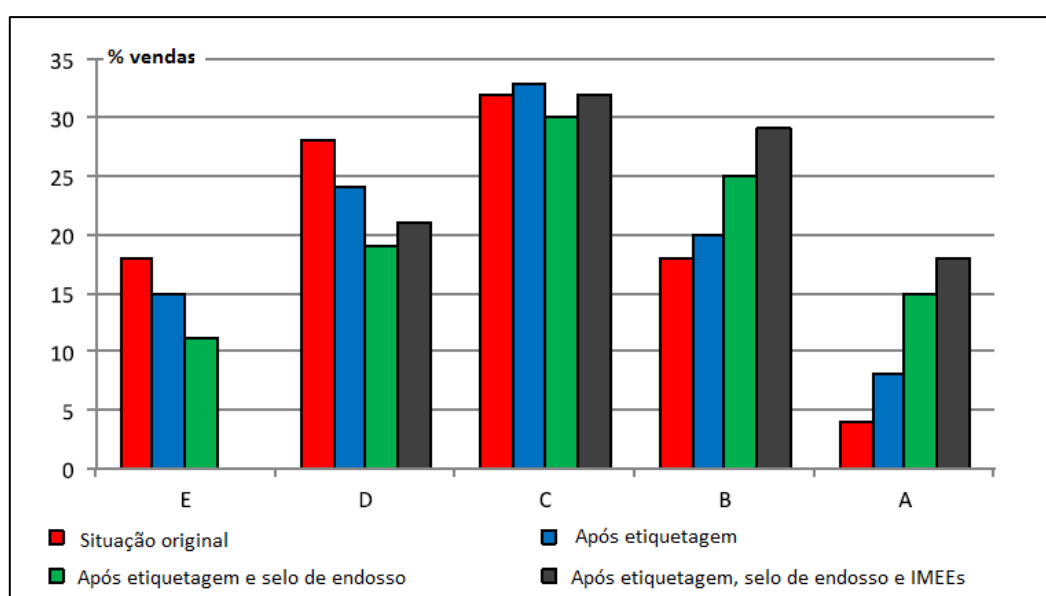


Figura 2.26 - Distribuição das vendas anuais de equipamentos de acordo com a classe na situação original, e com a introdução do selo de eficiência, selo de endosso e IMEEs

Fonte: Nogueira *et. al* (2015)

Basicamente, a modelagem utilizada pelos diferentes autores (CARDOSO, 2012; NOGUEIRA *et. al*, 2015; ELETROBRAS/PROCEL, 2012, 2013, 2014) se baseia no estabelecimento da economia a partir de dados sobre o consumo de energia dos equipamentos (performance e degradação da eficiência), parque de equipamentos e condições de operação atuais (tempo de operação, temperatura e carga), aplicando as seguintes equações:

A) **Economia de Energia (EE)**: para um determinado período, a energia economizada é a diferença entre o consumo em uma condição de base e o consumo após a adoção do equipamento mais eficiente (Equação 2.1).

$$EE = CE_B - CE_E \quad (2.1)$$

Onde: EE – Economia de energia (GWh/ano); CE_B – Consumo de energia do parque de equipamentos na linha de base (GWh/ano) (considerado o consumo médio do parque antes da introdução dos equipamentos mais eficientes); CE_E – Energia consumida pelo equipamento mais eficiente (GWh/ano);

B) **Consumo do parque de equipamentos (CE_K):** Para ambas as hipóteses de composição do parque de equipamentos, o consumo de energia é o somatório do consumo parcial de energia estimado para as dadas regiões, setores e classes de eficiência em um determinado ano. Os consumos parciais desagregados são estimados pelo produto entre o número total de unidades do equipamento vezes o consumo da unidade representativa (Equações 2.2 e 2.3):

$$CE_k = \sum_{\text{Região, setor ou classe}} CEP_K \quad (2.2)$$

$$CEP_K = \bar{C}_{j,K} \cdot P_j \quad (2.3)$$

Onde: CEP_K – Consumo anual de energia do parque de equipamentos na condição K (GWh/ano); $\bar{C}_{j,K}$ - Consumo médio unitário anual do equipamento da região/setor/classe de eficiência na condição K para o ano j (kWh/ano); P_j – parque de equipamentos na região/setor/classe de eficiência no ano j (milhões de unidades); K – variável que se refere ao cenário que compõe o parque de equipamentos (linha de base ou após a regulamentação dos níveis mínimos de eficiência).

C) **Parque de equipamentos (P):** O parque de equipamentos numa dada região/setor/classe em certo ano pode ser estimado pela soma das vendas durante um período e do descarte de equipamentos após o alcance do final da vida útil (Equação 2.4):

$$P = \sum_{i=j-V.U.}^j V_i - D_i \quad (2.4)$$

Onde: P – equipamentos em uso (milhões de unidades); V – vendas anuais de equipamentos (milhões de unidades/ano); D – Equipamentos descartados (milhões de unidades); i – índice relativo a idade do equipamento (anos); e V.U – vida útil do equipamento (ano).

D) **Consumo unitário médio ($\bar{C}_{j,K}$):** Dadas as condições operacionais da região/setor, a média anual de consumo de uma unidade representativa de um equipamento em um dado ano pode ser estimado pelo consumo unitário médio dos modelos vendidos em função de suas vendas durante o período, considerando a vida útil destes. Logo, uma unidade representativa de um equipamento representa diversos modelos com idades semelhantes ou diferentes. Desta forma, são consideradas duas equações, que consideram os modelos vendidos no mesmo ano

e seu consumo em diversos anos, assumindo que os padrões de uso foram preservados dentre os diferentes modelos a partir da suposição que o comportamento dos consumidores foi homogêneo (Equações 2.5 e 2.6).

$$\bar{C}_{j,K} = \frac{\sum_{j-V.U.}^j C_i \cdot V_i}{\sum_{j-V.U.}^j V_i} \quad (2.5)$$

$$C_k = \frac{\sum_{i=modelos} CP_{iK} \cdot V_i}{\sum_{i=modelos} V_i} \quad (2.6)$$

Onde: C – consumo anual de uma unidade representativa do equipamento para uma dada região/setor/eficiência no ano j (kWh/ano); CP – consumo anual do modelo, nas condições padrão, para uma dada classe de região/setor/eficiência no ano j (kWh/ano).

A partir dessa metodologia, cada tipo de equipamento eletrônico possui uma modelagem específica para avaliação dos resultados, que basicamente consistem em modelos para estimativas do consumo médio anual unitário. Por se tratar de um assunto amplo e específico, estas não serão abordadas neste estudo¹³.

2.7 METODOLOGIAS DE ANÁLISE DAS EMISSÕES EVITADAS POR AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O primeiro estudo no Brasil a estimar as emissões evitadas pelas iniciativas de eficiência energética foi realizado por La Rovere e Americano (2002). Neste estudo, os autores estimavam que, se o Procel alcançasse suas metas energéticas (10% de economia de energia em 2010 e 18% em 2020), seriam evitadas a emissão de 31 MtCO₂ e 98 MtCO₂, respectivamente. Entretanto, a metodologia utilizada pelos autores consistia em assumir que cada kWh economizado seria retirado da geração marginal planejada para cada ano no Plano Decenal (1998-2007) e do cenário de expansão da oferta entre 2008 e 2020.

Neste momento, a metodologia se mostrava adequada, considerando que, antes da privatização do setor elétrico, os Planos Decenais detinham um caráter impositivo e o governo tinha um papel central no gerenciamento. No entanto, com a reestruturação do setor, estes planos passaram a ser indicativos (POOLE *et al*, 1998). De fato, a análise da Tabela 2.7 mostra as diferenças entre os valores de expansão da geração projetados e o que efetivamente aconteceu no país.

¹³ Para maior interesse, consultar: Cardoso (2012), Eletrobras/PROCEL (2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014) e Nogueira *et. al* (2015).

Tabela 2.7 - Geração de energia por fonte projetada e efetivamente ocorrida, entre 2001 e 2010

Ano	Geração total (TWh)		Participação das diferentes fontes (%)									
			Hidrelétrica		Gás Natural		Carvão		Derivados do Petróleo		Nuclear	
	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	P	R
2001	392	328,5	81,1	80,0	7,7	2,1	2,0	2,3	2,5	3,1	3,0	4,4
2003	440	364,3	80,0	80,8	7,8	2,5	2,4	1,5	2,2	2,0	2,7	3,7
2005	468	402,9	80,4	80,7	7,4	3,4	2,9	1,5	2,1	2,1	2,7	2,5
2007	494	482,6	79,4	77,0	7,0	3,3	3,3	1,6	2,0	2,8	4,0	2,6
2008	517	497,4	78,0	73,4	8,2	6,6	3,8	1,6	2,0	3,3	3,8	2,8
2010	565	514,2	75,4	74,0	10,5	6,8	4,9	1,3	2,0	3,6	3,5	2,7

P – Projetado pelo estudo de La Rovere & Americano (2002); R – Valores reais, conforme o BEN

Fonte: Elaborado a partir de La Rovere & Americano (2002) e EPE (2003, 2005, 2009, 2011b)

Como se pode observar, as projeções consideravam uma expressiva expansão do gás natural, com crescimento da geração à carvão e nuclear, mas que não ocorreram de fato. A própria geração de energia não cresceu conforme o esperado.

De modo semelhante, Calili *et al* (2014) avaliaram o potencial na redução de emissões de CO₂ no Brasil pela implementação de políticas de eficiência energética, considerando as metas de redução estabelecidas no PNEf, a partir da diferença entre as emissões de um cenário base e projetado. Para isso, os autores utilizam modelos de expansão e operação do setor elétrico, calculando as emissões evitadas em dois cenários: determinístico e estocástico. Para cada abordagem, estima-se que entre 2012 e 2016 as iniciativas de eficiência energética instituídas no PNEf evitarão a emissão de 5.847 MtCO_{2eq.} e 5.771 MtCO_{2eq.} na margem de operação, respectivamente.

Em 2006, com a publicação *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Vol. 2 – Energy* (IPCC, 2006), do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), foi estabelecida uma metodologia padronizada e reconhecida internacionalmente para o cálculo das emissões provenientes da geração e consumo de eletricidade no SIN, conforme a Equação 2.7.

$$E_{GEE,combustível} = C_{combustível} \cdot FE_{GEE,combustível} \quad (2.7)$$

Onde: $E_{GEE,combustível}$ – Emissões de um dado GEE por tipo de combustível (neste caso, eletricidade) (tCO₂/ano); $C_{combustível}$ – energia consumida no ano (MWh/ano); $FE_{GEE,Combustível}$ – Fator de emissão de GEE do combustível utilizado para geração de energia (tCO₂/MWh).

No Brasil, o MCTI ficou responsável pelo desenvolvimento de metodologias e cálculo dos fatores de emissão da geração de eletricidade no SIN, sendo hoje a principal fonte de dados no país, amplamente utilizada por diversos autores.

Em 2008, o Procel passou a avaliar os valores de emissões evitadas em seus relatórios, utilizando a metodologia empregada pelo IPCC e os fatores de emissão médios anuais publicados pelo MCTI, para estimar a emissão de CO₂ equivalente associada a uma geração de energia elétrica determinada, que neste caso, seria economizada. De modo semelhante, Cardoso (2012) avaliou os impactos ambientais dos programas de eficiência energética.

Keith, Henn & Breceda (2003) estudaram as diferentes metodologias utilizadas na América do Norte para se estimar os impactos na redução de emissões de iniciativas de eficiência energética e geração renovável, encontrando três abordagens de avaliação comumente utilizadas:

- **Análise das emissões evitadas e taxas de emissão marginais específicas de determinado horário:** esta abordagem se baseia na análise horária da expedição da planta, por meio dos registros de despacho térmico reais das concessionárias, ou modelos de despacho do sistema. Estes modelos fornecem uma representação dinâmica do setor elétrico regional, podendo ser utilizado para avaliar os impactos das emissões líquidas, simulando o funcionamento do equipamento eficiente ou fonte renovável dentro do sistema regional. Estes modelos podem ser utilizados também para obter as taxas de emissão marginais para diferentes períodos de tempo, que são utilizados para se estimar as emissões evitadas por uma variedade de políticas e recursos. Segundo os autores, é a abordagem mais detalhada e mais apropriada.
- **Fatores de emissão pela adição/desativação de plantas geradoras:** as emissões evitadas podem ser calculadas baseando-se nas taxas de emissão de novas plantas projetadas para serem adicionadas ao sistema no longo prazo (de 5 a 25 anos). Em curto prazo, as iniciativas diminuirão a demanda por geração nas unidades existentes. Em longo prazo, as iniciativas substituirão outros recursos (competindo pela entrada no mercado) e plantas antigas serão desativadas. Essa abordagem é mais apropriada para avaliação em médio e longo prazo em anos futuros.
- **Fatores de emissão médios do sistema:** as taxas de emissão são calculadas dividindo o total de emissões do sistema pela geração total, resultando em uma taxa de emissão média do sistema em termos de poluição mássica por unidade de energia gerada. Este fator de emissão é aplicado ao *output* de recursos específicos, de modo a estimar as mudanças líquidas nas emissões. Este método, porém, pode resultar em resultados bastante imprecisos, pois, a adição de capacidade ou redução da carga em um sistema elétrico afeta a geração marginal mais do que os demais parâmetros e, na maioria dos sistemas, as unidades que

operam na margem são bastante diferentes daquelas que fornecem energia na base (como, no caso do Brasil, as hidrelétricas e termelétricas). No entanto, sua utilização persiste em grande parte porque é o recurso mais fácil e menos intenso do que a utilização de modelos de despacho e adição de plantas.

A Tabela 2.8 mostra as diferentes metodologias encontradas no estudo e os fatores de emissão pesquisados, que servirão de base para avaliação dos valores resultantes deste trabalho.

Tabela 2.8 – Exemplos de metodologias empregadas para cálculo das emissões evitadas por projetos de eficiência energética e energia renovável na América do Norte

Projeto/Iniciativa	Região (País)	Metodologia	Fator de emissão típico (tCO₂evitado/MWh economizado)
<i>Enmax Wind Power Sale to Environment Canada</i>	Alberta (Canadá)	Análise horária do sistema de operação	0,829
<i>British Columbia Hydro Green Power</i>	British Columbia (Canadá)	Fatores de emissão de novas plantas	0,360
<i>National Energy Savings Commission (CONAE)</i>	México (SIN)	Fator de emissão médio	0,625
<i>Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)</i>	México	Fator de emissão médio e taxas de emissão marginais considerando o setor e uso final	1,510
<i>Ozone Transport Commission (OTC) - 2002</i>	Nova York (EUA)	Modelos de despacho: considera os fatores de emissão entre as estações e período do dia.	Verão (Pico): 0,620 Verão (Fora de Pico): 0,706
OTC - 2002	Nova York (EUA)	Fator de emissão médio	0,376
<i>Averaged Marginal Displaced Emission Rates (ADER) (EPA) - 2005</i>	Estados Unidos - Aplicado às regiões e ao país como um todo	Modelo IPM – modelo de despacho que considera períodos diferentes do dia, ano e região do país.	Nacional: 0,282 Nordeste: 0,359 Sul: 0,108
<i>Interconnected System Operator New England 2001</i>	Nova Inglaterra (EUA)	Modelo de Despacho, considerando os fatores de emissão entre as estações e período do dia	Verão (Pico): 0,650 Verão (Fora de Pico): 0,606
<i>PV Demo Project</i>	Nova York (EUA)	Fator de emissão médio	0,428

Fonte: Elaborado de Keith, Henn & Breceda (2003)

3 METODOLOGIA

Para avaliar o impacto das ações de eficiência energética existentes no Brasil, é necessário estimar as economias de energia atribuídas a estas. Alguns mecanismos como o PROCEL e o PEE da ANEEL reportam anualmente os seus resultados em relatórios, consolidando uma fonte de dados para este estudo. Entretanto, para a abordagem e metodologia aqui proposta, faz-se necessário um tratamento das informações, discriminado nos capítulos a seguir.

3.1.1 Construção da base de dados das economias de energia

Desde 2003¹⁴, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) elabora e divulga periodicamente à sociedade relatórios de avaliação de seus resultados anuais, que constituem importante fonte de dados para este estudo, no que tange a avaliação das economias do programa. Segundo Cardoso (2012), as análises de economia destes relatórios possuem incertezas da ordem de 28,0%.

Para análise das economias de energia atribuídas ao PEE foram solicitados dados junto à ANEEL, que é responsável pela fiscalização e acompanhamento do programa. Atualmente, o Centro de Excelência em Eficiência Energética – EXCEN/UNIFEI está desenvolvendo um software capaz de promover arranjos das informações dos relatórios dos projetos já desenvolvidos/concluídos pelas concessionárias, estabelecendo o cruzamento das mesmas e gerando gráficos com o maior número de variáveis possíveis para análise. A versão beta deste software foi nomeada “Software de Análise PEE”.

Nogueira *et. al.* (2015) apresentou em seus estudos importantes resultados sobre os impactos energéticos atribuídos a implementação da Lei de Eficiência Energética em 2001, principalmente para as categorias refrigeradores, condicionadores de ar e motores elétricos. Bastos (2011) apresenta também uma estimativa da economia gerada pela retirada das lâmpadas incandescentes do mercado no âmbito da Portaria Interministerial nº 1.007 de 2010. Logo, estes estudos constituem também fontes de dados para esta análise.

¹⁴ Em 1996 a Eletrobrás emitiu um relatório com os resultados do Programa PROCEL. No entanto, não houve continuidade no reporte dos dados no período entre 1997 e 2002. Somente a partir de 2003 os resultados do programa voltaram a ser reportados anualmente. O relatório de 2014 encontra-se incompleto, sendo assim desconsiderado na análise.

3.1.2 Definição da linha de base

As ações de eficiência energética contempladas nesse trabalho se iniciaram em diferentes períodos. Do mesmo modo, estudos e relatórios que contém seus resultados energéticos foram executados em diferentes períodos, descritos na Tabela 3.1. Sendo assim, a linha de base definida por este trabalho considera as economias do período que vai de 2003 a 2015.

Tabela 3.1 - Mecanismos de eficiência energética e respectivos períodos analisados

Iniciativa de Eficiência Energética	Início	Período no qual os resultados estão disponibilizados
Selo PROCEL	1995	2003-2015
Programa de Eficiência Energética da ANEEL	2000	2009-2015
Lei de Eficiência Energética	2001	2003-2015 ¹⁵

3.1.3 Tratamento dos dados de economia de energia

A proposta deste trabalho é a decomposição das economias de energia ao longo da curva de carga de consumo, de modo a obter valores mais aproximados da influência dos mecanismos de eficiência energética nas emissões de carbono. Para tal, faz-se necessário entender o comportamento do consumo energético nos diferentes setores e regiões, partindo-se do pressuposto que as economias de energia e as emissões evitadas ocorrem no momento em que se está utilizando determinado equipamento eletrônico e por consequência, consumindo energia.

Deste modo, a decomposição dos resultados globais apresentados pelos programas de acordo com o uso final, região, setor e período do ano torna-se relevante, dado que as condições climáticas e intensidade energética afetam diretamente os hábitos de uso de equipamentos eletrônicos dentro destas categorias.

Como cada programa apresenta seus resultados de diferentes formas (Ex: o selo PROCEL apresenta os resultados energéticos por equipamento enquanto o PEE por concessionária e tipologia), faz-se necessária uma normalização dos dados para que estes possam ser trabalhados sob a mesma métrica. Assim, foram adotadas as seguintes abordagens:

- **Análise da participação regional:**

A divisão regional das vendas de equipamentos é um parâmetro importante na contabilização das economias de energia. Entretanto, para dados anteriores a 2008, a metodologia de avaliação do selo

¹⁵ Para este estudo, têm-se disponível os valores acumulados de economia de energia entre 2003 a 2010 para motores elétricos, refrigeradores, condicionadores de ar e lâmpadas fluorescentes compactas, disponíveis em Nogueira *et. al* (2015). De 2013 a 2015, são analisados os impactos do banimento das lâmpadas incandescentes do mercado, conforme Bastos (2011).

PROCEL não seguia essa representação. Desse modo, foi necessário estimar as participações dos diferentes dispositivos para os anos anteriores utilizando os dados disponíveis e curvas de regressão.

Para refrigeradores, foram utilizados os dados disponíveis pela Pesquisa Nacional de Amostras por Domicílio (PNAD/IBGE) de 2003 a 2013, considerando a posse média por domicílio em cada região.

Já os condicionadores de ar não possuem uma pesquisa ou série histórica que permita o acompanhamento do mercado e posse destes equipamentos ano a ano. Desse modo, foram consideradas as informações da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF/IBGE, 2003), que apresenta a concentração média por região de equipamentos em 2003, as informações disponíveis nos relatórios do Procel em 2009 e por fim, informações de associações de fabricantes em 2014. O mesmo ocorre para os aquecedores solares, que foram estimados da mesma forma, conforme a Tabela 3.2.

A distribuição regional de lâmpadas foi calculada considerando o número de domicílios em 2005, e a posse média de lâmpadas por residência segundo a PPHU no mesmo ano, assim como os dados disponibilizados pelo Procel em 2009 a 2013, também apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Divisão regional do mercado de equipamentos - Dados disponíveis

	Ano	Norte	Nordeste	Centro Oeste	Sudeste	Sul	Fonte:
Condicionadores de Ar	2003	10%	16%	6%	51%	17%	POF/IBGE (2003)
	2009	19%	23%	4%	30%	24%	Eletrobras/Procel (2009)
	2014	10%	17%	22%	32%	18%	ABRAVA (2014)
	2015	7%	15%	28%	34%	16%	ABRAVA (2015)
Aquecedores solares	2009	1%	4%	8%	70%	18%	Eletrobras/Procel (2009)
	2012	1%	4%	9%	74%	12%	DASOL/ABRAVA (2013, 2014)
	2013	2%	7%	17%	57%	17%	
	2014	2%	5%	10%	62%	22%	
Lâmpadas	2005	5%	30%	8%	38%	20%	PNAD/IBGE (2005) e PPHU
	2009	8%	32%	8%	33%	19%	(Eletrobras/Procel,2010)
	2011	9%	33%	7%	32%	19%	(Eletrobras/Procel,2012)
	2012	7%	26%	8%	47%	12%	(Eletrobras/Procel, 2013)
	2013	7%	26%	8%	45%	14%	(Eletrobras/Procel, 2014)

Para fins de análise dos resultados relativos aos motores elétricos, considera-se o seu uso restringido ao setor industrial. Visto que não são conhecidas as informações sobre a distribuição regional destes sistemas, esta será calculada a partir da concentração dos estabelecimentos industriais por região, dada pela Pesquisa Industrial Anual – Empresa (PIA) do IBGE, de 2003 a 2013.

- **Decomposição setorial e sazonal da amostra**

A fim de se estabelecer as divisões adequadas para cada ação setorial do selo Procel, as economias globais alcançadas em cada uso final foram subdivididas por setor (quando conveniente), segundo dados de associações e da própria metodologia do Procel, segundo a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Divisão setorial das economias conforme uso final

Uso final	Setor	Participação (%)	Fonte dos dados:
Força motriz	Indústria	100 %	Valor considerado
Refrigeração	Residencial	100 %	Valor considerado
Aquecimento de água	Residencial	80 %	DASOL/ABRAVA (2014)
	Comercial	20 %	DASOL/ABRAVA (2014)
Iluminação	Residencial	80 %	Eletrobras/Procel (2009)
	Comercial	10 %	Eletrobras/Procel (2009) ¹⁶
	Industrial	10 %	Eletrobras/Procel (2009)
Iluminação Pública	Público	100 %	Valor considerado
Condicionamento Ambiental	Residencial	80 %	Eletrobras/Procel (2009)
	Comercial	12 %	Eletrobras/Procel (2009) ¹⁶
	Industrial	8 %	Eletrobras/Procel (2009)

Para análise realizada, foi necessária também a divisão sazonal da amostra, considerando a participação no consumo de eletricidade durante as estações seca e úmida para os diferentes usos finais. Essa divisão foi feita considerando valores encontrados na literatura e considerações.

Tabela 3.4 - Divisão sazonal das economias conforme o uso final

Uso Final	Período Úmido	Período Seco	Fonte:
Força motriz	50 %	50 %	Considerado ¹⁷
Refrigeração	50 %	50 %	Ghisi <i>et. al</i> (2007) e Fedrigo <i>et. al</i> (2009)
Aquecimento de água	42 %	58 %	Ghisi <i>et. al</i> (2007) e Fedrigo <i>et. al</i> (2009)
Iluminação Pública	44 %	56 %	Calculado com base na média de horas de insolação entre as estações no Brasil, descritas em Silva (2006)
Iluminação	45 %	55 %	Ghisi <i>et. al</i> (2007) e Fedrigo <i>et. al</i> (2009)
Condicionamento Ambiental	55 %	45 %	Calculado com base em Eletrobras/Procel (2014), confirmando os dados utilizando o método do “graus-dia” ¹⁸ , considerando a temperatura base de 23°C.

¹⁶ Segundo o relatório do Procel, 20% das economias ocorrem no setor comercial e industrial. Para iluminação, foi considerada uma divisão homogênea para os setores. Já para os condicionadores de ar, considerando que os aparelhos de janela e *split* são pouco utilizados no setor industrial, a proporção considerada foi menor.

¹⁷ Foi realizada uma simulação com a variação da distribuição sazonal para motores elétricos considerando a participação de 58,0% na estação seca e 42,0% na estação úmida (distribuição constante no ano). A variação entre os resultados foi de 0,05%, considerada pouco significativa.

- **Programa Nacional de Eficiência Energética (PROCEL):**

Os resultados apresentados nos relatórios do Procel já são apresentados por tipo de equipamento, representando os diferentes usos finais. Para a modelagem proposta, foi adotada a seguinte decomposição geral (Equação 3.1):

$$EE_{ir} = EE_i \cdot V_{ir} \quad (3.1)$$

Onde: EE_{ir} – energia economizada pela categoria de equipamento i na região r (MWh/ano); EE_i – energia economizada total pelo equipamento i (MWh/ano); V_j – distribuição das vendas do equipamento i na região r (%);

Considerando que os usos finais de iluminação e condicionamento de ar apresentam diferentes utilizações de acordo com o período do ano (considerando as variações em termos de horas diárias de sol e nível de irradiação solar, que por consequência, refletem na temperatura ambiente), e setor econômico (a utilização dos equipamentos ocorre em diferentes horários nos setores), é proposta ainda a seguinte decomposição (Equação 3.2):

$$EE_{ikr} = \sum EE_{iwk} \cdot V_{ir} \quad (3.2)$$

Onde: EE_{ikr} – energia economizada pelo equipamento i no setor econômico k da região r ; EE_{iwk} – energia economizada pelo equipamento i no período do ano w (seco/úmido) no setor k (fornecida pelo PROCEL); V_{ir} – distribuição das vendas do equipamento i na região r (%);

Para o tratamento das economias provenientes da efficientização do Procel Reluz, que executa trocas de lâmpadas em Iluminação Pública, foi necessário calcular a energia economizada acumulada em cada região geográfica que recebeu a ação, considerando uma vida útil de 5 anos, em razão do número de pontos efficientizados por região a cada ano ser variável. Desse modo, a economia atribuída ao Reluz foi estabelecida pela Equação 3.3.

$$EE_{ip,r} = \sum_{n=i}^{n-5} EE_{acum,r(n-1)} + (EE_i \cdot D_{ri}) \quad (3.3)$$

Em que: $EE_{ip,r}$ – Energia economizada por ações em iluminação pública na região r (MWh/ano); n – ano; $EE_{acum,r(i-1)}$ – energia economizada acumulada no ano anterior na região r ; EE_n – energia economizada total pelo Procel Reluz no ano n (MWh/ano); D_m – distribuição dos pontos efficientizados na região r no ano n (%).

¹⁸ Este método considera o número de horas em um dia, mês ou ano, que a temperatura ambiente esteve acima de uma temperatura base, relacionando-a ao consumo energético. Para esta análise, foi considerada a média do número de horas acima de 23°C (temperatura de conforto térmico) nas principais capitais das regiões brasileiras, em cada período do ano.

- **Programa de Eficiência Energética da ANEEL:**

Para esta análise, não foi possível trabalhar com a totalidade dos projetos já executados pelo programa, visto que essas informações são restritas e de grande volume. No entanto, foi utilizada uma amostra que constitui 476 projetos, distribuídos conforme a Tabela 3.5, em proporções próximas ao número de concessionárias por região, permitindo uma correlação amostral.

Tabela 3.5 - Distribuição regional dos projetos do PEE analisados

Região	Nº Concessionárias	Nº Projetos	Projetos analisados por região (%)	Empresas por região (ANEEL) (%)
Norte	2	11	2,3	7,8
Nordeste	10	108	22,7	11,8
Centro-Oeste	4	33	6,9	4,9
Sudeste	23	163	34,2	32,4
Sul	31	161	33,8	43,1

Os resultados energéticos dos projetos integrantes do Programa de Eficiência Energética da ANEEL são apresentados conforme a concessionária proponente e tipologia de projeto estabelecida, parâmetros que auxiliaram na identificação regional e setorial da amostra. A partir disto, os resultados foram desagregados, obedecendo a seguinte ordem:

- 1) Região: considerando a localização geográfica e abrangência das concessionárias;
- 2) Tipologia: que permite inferir qual o setor econômico beneficiado pelo projeto;
- 3) Uso final: representa o tipo de equipamento substituído ou implementado pelo projeto;

Após a decomposição inicial dos projetos, foi necessário avaliar os resultados ao longo do tempo, de forma a alocar as economias nos anos em que estas ocorrem. Contudo, a duração dos projetos não é uniforme, ou seja, nem todos os projetos são concluídos dentro de um ano, sofrendo atrasos e alterações, o que compromete o conhecimento do momento exato em que a economia de energia aconteceu. Sendo assim, utilizando uma abordagem conservadora, foi considerado que as economias só passaram a ocorrer a partir da data de encerramento das ações, considerando a participação relativa das economias no ano de encerramento, conforme a Equação 2.33.4:

$$EE_{enc.} = \frac{EE_{ano}}{365} \cdot n \quad (3.4)$$

Onde: $EE_{enc.}$ – Energia economizada no ano de encerramento do projeto [MWh]; EE_{ano} – energia economizada ao ano pelo projeto [MWh/ano]; 365 – fator de correção de unidades; n – período de tempo decorrido após o final do projeto no ano de encerramento (dias);

Segundo o PIMVP, o período de determinação da economia deve ser determinado com a devida consideração pela duração da ação de eficiência energética (AEE) e pela probabilidade de degradação da economia originalmente obtida ao longo do tempo (EVO, 2012). Logo, as premissas abaixo foram adotadas (Tabela 3.6):

Tabela 3.6 - Vida útil média dos equipamentos analisados e parâmetros de avaliação

Uso final	Tipo de equipamento	Vida útil	Tempo de utilização médio [h/ano]		Fonte:
			Residencial	Comercial/Industrial	
Iluminação	LFC	6.000 h ¹⁹	1.000	2.500	Eletróbrás/Procel (2014)
	LED	25.000 h			INMETRO (2013)
Cond. ambiental	Ar condicionado	12 anos	Regiões Norte/Nordeste: 1699 Regiões Centro-Oeste/Sudeste/Sul: 695		Cardoso (2012)
Refrigeração	Geladeiras e freezers	14 a 16 anos ²⁰	Contínuo		Cardoso (2012)

Vale ressaltar que, dada a grande durabilidade de equipamentos como condicionadores de ar e refrigeradores, para o período analisado, a vida útil terá pouca influência nos resultados. Logo, as premissas acima serão adotadas especialmente nos sistemas de iluminação.

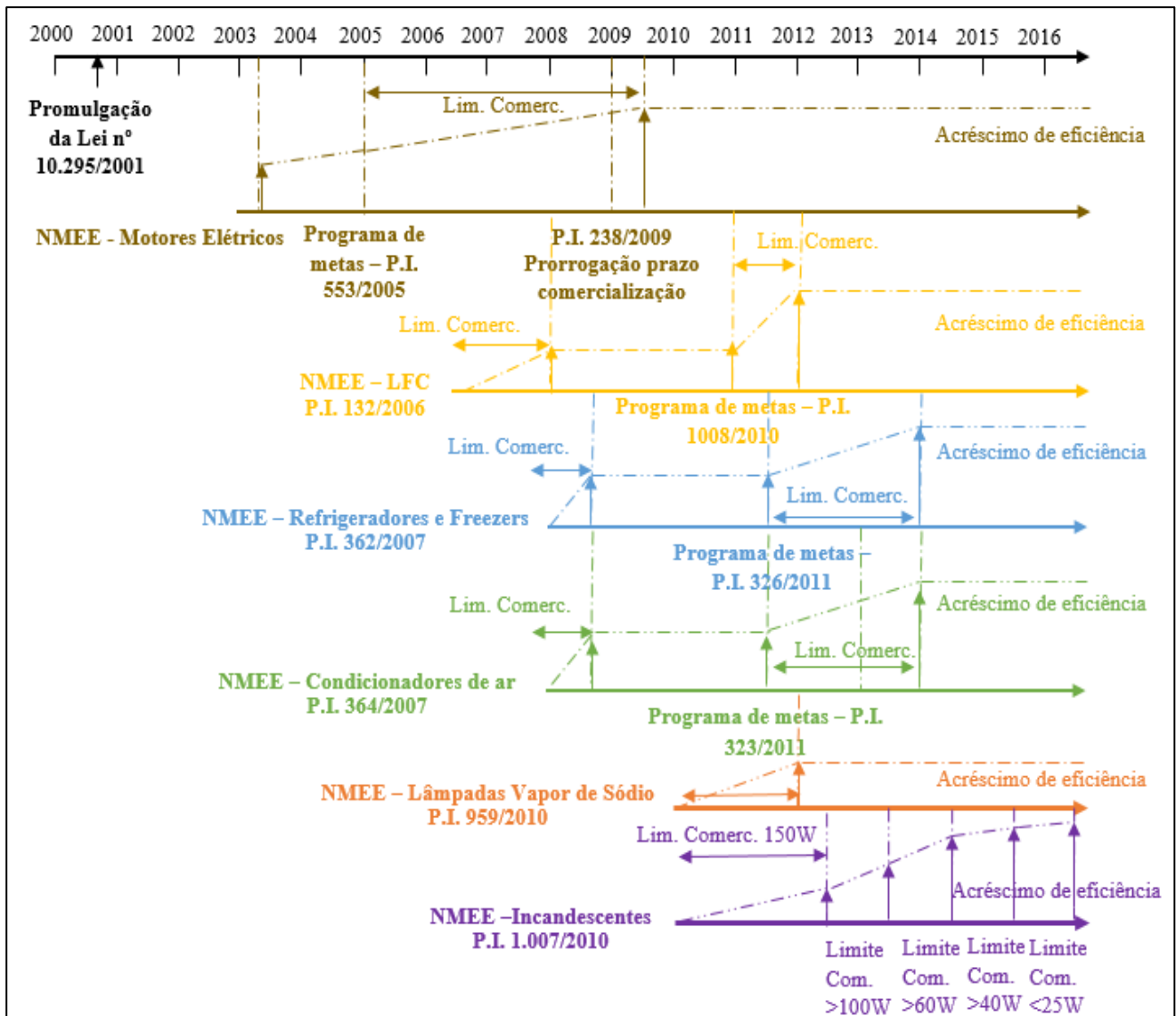
- **Lei de Eficiência Energética:**

Para análise das economias de energia provenientes da implementação da Lei de Eficiência Energética, faz-se necessário considerar as diferentes portarias interministeriais que regulamentam as categorias de equipamentos contempladas pela lei, que foram sendo acrescentadas ao longo dos anos, conforme ilustra a Figura 3.1 a seguir.

¹⁹ Vida mediana mínima para concessão do Selo Procel

²⁰ A vida útil de refrigeradores obedece uma função degradação que, segundo Cardoso (2012), ocorre da seguinte maneira: Até cinco anos de idade - o equipamento não sofre nenhum efeito de degradação de eficiência; De cinco a dez anos - o equipamento perde cerca de 20% de sua eficiência devido a influência do isolamento e vedação; De dez a dezesseis anos - o equipamento perde mais 40% de desempenho por influência da perda de desempenho do compressor e da regulagem do termostato.

Figura 3.1 - Fluxograma Esquemático - Linha do tempo da implementação da Lei de Eficiência Energética



Nogueira *et. al* (2015) realizou uma análise das portarias instituídas entre 2003 e 2010, obtendo valores de acumulados da energia economizada em 2010 pelas ações neste período, que foram utilizadas neste trabalho e desagregadas conforme a metodologia apresentada neste mesmo capítulo para o Procel, visto que ambas utilizam o modelo de vendas.

Do mesmo modo, a metodologia foi aplicada a análise de Bastos (2012), que estima a energia economizada entre 2013 e 2014 a partir da instituição da Portaria Interministerial nº 1.007, que retira do mercado as lâmpadas incandescentes.

3.1.4 Hipóteses e critérios de distribuição das economias ao longo da curva de carga de consumo.

Para a distribuição das economias ao longo da curva de carga de consumo, partiu-se da hipótese de que as economias ocorrem no momento em que a energia está sendo consumida pelo equipamento eletrônico. Sendo assim, foi preciso conhecer os hábitos diários de consumo nas diferentes regiões geográficas e setores.

A determinação da influência da utilização dos eletrodomésticos no consumo total de energia torna-se um tanto complexa dada a grande quantidade de equipamentos e particularidades de uso dos aparelhos em diferentes regiões. Para obter uma análise detalhada, que demonstre o modo como o consumidor utiliza a eletricidade, é necessário um grande conjunto de dados, técnicas sofisticadas de análise e metodologias, no momento indisponíveis.

Logo, nesta seção procurou-se estimar a influência de cada aparelho no consumo total de eletricidade dos setores pesquisados, considerando-se os principais usos finais, a partir de diferentes estudos encontrados, sob uma abordagem conservadora, que se baseia nos dados da pesquisa de posse e hábitos de uso de 2005 e considera que as participações dos diferentes equipamentos nos setores econômicos se manteve constante, não havendo mudanças significativas nos hábitos de consumo.

Por fim, foi estabelecido um fator de consumo associado a um determinado uso final e setor, distribuído em três períodos do dia: Leve (00 às 07 horas); Médio (08 às 17 horas) e Pesado (18 às 24 horas), nos períodos seco e úmido.

- **Setor Residencial**

Para o setor residencial, os dados horários de consumo foram plotados em gráficos a partir dos dados da PPHU e do Sistema de Informação de Posses e Hábitos de Uso de Aparelhos Elétricos (SINPHA), que simula curvas de carga diárias típicas para cada região geográfica, obtendo-se um percentual de consumo para cada horário, conforme os usos finais considerados.

A influência da variação climática e sazonalidade foi considerada a partir das conclusões obtidas por Ghisi *et. al* (2007), que constatou variações no consumo entre as estações seca e úmida para os sistemas de iluminação e de condicionamento de ar nas diferentes regiões bioclimáticas, conforme a Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Variação sazonal da participação dos diferentes usos finais por região no consumo de eletricidade

Região	Estação	Refrigeração	Freezer	Iluminação	Condicionamento Ambiental	Aquecimento de água
Norte	Verão	34,0%	8,5%	10,5%	16,5%	12,5%
	Inverno	36,0%	8,0%	15,0%	4,0%	15,5%
Nordeste	Verão	38,0%	7,0%	14,0%	12,5%	8,5%
	Inverno	35,5%	7,5%	16,0%	5,0%	14,5%
Centro-Oeste	Verão	35,5%	7,5%	13,5%	12,0%	13,5%
	Inverno	36,5%	8,0%	14,5%	4,5%	14,0%
Sudeste	Verão	33,0%	8,0%	9,5%	10,0%	24,0%
	Inverno	31,0%	9,0%	11,0%	1,0%	27,0%
Sul	Verão	34,0%	9,5%	10,5%	5,5%	24,0%
	Inverno	31,0%	8,0%	11,0%	1,0%	26,0%

Fonte: Ghisi *et. al* (2007)

Para o sistema de iluminação, considerou-se o prolongamento do comprimento de onda da curva no inverno, iniciando às 17h, dado que os dias são mais curtos. Para o verão, considerou a existência do chamado “horário de verão”, onde a curva é deslocada em 1 hora, aumentando o período de horas de sol até às 19h.

- **Setor Comercial**

A grande diversidade de atividades que atuam nestes segmentos dificulta uma padronização do comportamento das cargas, pois estas variam conforme a intensidade energética do setor e jornada de trabalho, conforme visto no item 2.1.2. Desse modo, a caracterização nestes setores foi realizada considerando o perfil de carga típico informado pelo ONS (2011) *apud* Braga (2014).

A participação dos usos finais no setor foi determinada pelas informações da Figura 3.2, considerando que 30,0% do consumo diário ocorre fora do horário de ocupação (BORGSTEIN & LAMBERTS, 2014), principalmente com iluminação externa.

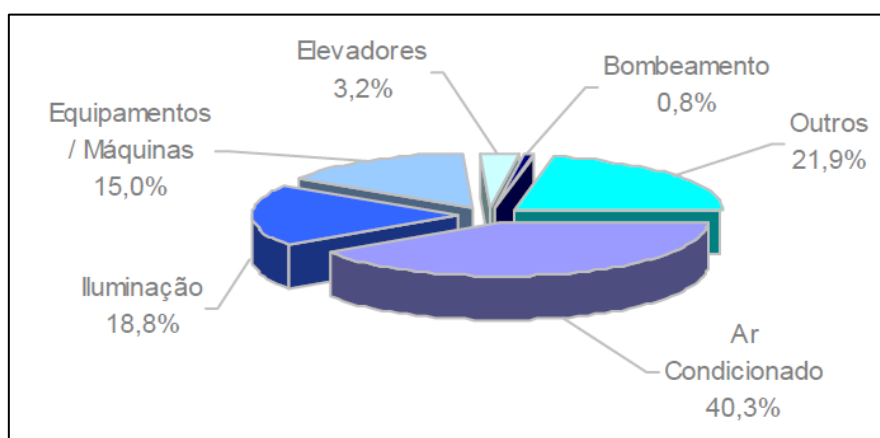


Figura 3.2 - Participação dos diferentes usos finais/equipamentos no setor comercial.

Fonte: Eletrobrás/Procel (2008)

- **Setor industrial**

Assim como o setor comercial, foram encontradas dificuldades em se estabelecer um perfil típico para o setor industrial, em vista dos diferentes comportamentos de consumo no segmento. Desse modo, a curva de carga típica foi estimada a partir dos dados do ONS (2011) *apud* Braga (2014), que apresenta um comportamento de consumo constante ao longo de todo o dia, com redução na ponta.

As participações dos usos finais foram estabelecidas conforme os dados apresentados na PPHU – Setor Industrial (ELETROBRAS/PROCEL, 2006; CNI, 2009), e estão apresentadas na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Distribuição do consumo de energia conforme uso final na indústria.

Uso final	Participação
Força motriz (68,3%)	68,3%
<i>Ventilação</i>	12%
<i>Refrigeração</i>	2%
<i>Acionamento de motores</i>	86%
Eletrotermia (aquecimento de água e geração de calor)	22,8%
Eletrólise	3,1%
Iluminação	5,8%
Total	100,0%

- **Setor Público**

Para efeitos de cálculo, foi considerada a curva de carga para prédios públicos semelhante ao setor comercial, em razão destas apresentarem características similares, tais como: mesmo horário de ocupação, diversidade de estabelecimentos existentes (prédios administrativos, escolas, universidades, hospitais, etc.) e mesmas participações dos usos finais no consumo (vide Figuras 2.7 e 2.8).

Em relação aos sistemas de iluminação pública, foi considerada a média diária de 12 horas de insolação para as diferentes regiões (ANEEL, 2005), com distribuição constante, entre os horários de 00:00 às 07:30 e 18:00 e 24:00.

Dada a ausência de dados e informações sobre o consumo horário energético no setor de serviços públicos, foram utilizadas informações e dados experimentais de trabalhos encontrados na literatura. Tsutiya (1997) considera que os sistemas de bombeamento são responsáveis por 93,0% do consumo de energia no setor de saneamento. De posse dos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), é possível estimar o consumo energético anual setorial.

Para a modelagem da curva de carga de bombeamento, foi estimada uma curva de demanda típica para estações de tratamento de água, a partir de Cunha (2009), que realizou um estudo de otimização energética em estações de tratamento de água.

3.1.5 Cálculo dos fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional – Regressão linear dos dados

A participação dos fatores de emissão em cada período do dia foi obtida pelo cálculo dos valores médios horários diários em cada ano, fornecidos pelo MCTI pelo método da análise do despacho, nos períodos leve (00-07 horas), médio (08-17 horas) e pesado (18-24 horas).

Este método foi escolhido por causa da sua adequação para cálculo das emissões que ocorreriam na ausência de um projeto, como neste caso, uma medida de eficiência energética. A emissão é calculada como uma margem combinada que considera a “margem de construção” (relacionada à contribuição das usinas que seriam construídas caso o projeto não existisse) e a “margem de operação”, que por sua vez, avalia a contribuição das usinas que seriam despachadas na ausência da geração²¹ do projeto, conforme a equação 3.5:

$$FC_y = WO_i \cdot FO_y + (1 - WO_i) \cdot BM_{sy} \quad (3.5)$$

Onde: FC_y – fator de emissão do projeto (tCO₂/MWh); WO_i – Valor de ponderação da margem de operação para o projeto do tipo i (0,5); FO_y – fator de emissão da linha de base associado a margem de operação no ano y ; BM_{sy} – fator de emissão da margem de construção para o sistema s no ano y ;

Como mencionado anteriormente, desde 2006 o MCTI informa os fatores de emissão do SIN, conforme os despachos térmicos realizados pelo ONS. Todavia, a maior parte dos resultados energéticos das diferentes iniciativas é contabilizada a partir do ano 2000, que marca a instituição da Lei 9.991, que regulamenta o PEE da ANEEL. O selo Procel, apesar de ser concedido a equipamentos desde 1995, só teve seus resultados contabilizados periodicamente a partir de 2003. Assim, os fatores de emissão fornecidos pelo MCTI não cobrem um período significativo deste trabalho.

Desse modo, os fatores de emissão anteriores a 2006 foram estimados a partir de uma regressão linear, obtida a partir da correlação entre os dados de geração térmica convencional e os fatores de emissão mensais fornecidos pelo MCT.

²¹ Neste caso, as usinas virtuais.

Para esta análise, foram levantados os valores percentuais da participação relativa de termelétricas na geração de energia no Brasil, do período de 2000 a 2015, segundo o ONS (2016); e os valores mensais dos fatores de emissão da margem de operação do SIN, entre 2006 e 2015, segundo o MCTI (2016). Os dados adquiridos foram plotados em um gráfico no software Microsoft Excel® e a curva de melhor ajuste a estes dados, ou seja, que apresenta melhor coeficiente de correlação R^2 , foi escolhida para as análises.

3.1.6 Modelagem proposta

A partir das informações levantadas, foi criado um banco de dados que abrange três esferas: economia de energia, padrão de consumo e fator de emissão. Dessa forma, as emissões evitadas anualmente em cada mecanismo de eficiência energética, foram calculadas a partir da Equação 3.6:

$$CO_{2\text{evitado}} = \sum EE_{iwr s} \cdot fc_{tiwr} \cdot fe_{ts} \quad (3.6)$$

Em que: $EE_{iwr s}$ – energia economizada pelo uso final i , no setor econômico w , da região r , na estação do ano s (MWh/ano); fc_{tiwr} – Fator de consumo relacionado ao horário t pelo equipamento/uso final i no setor econômico w e região r ; fe_{ts} – fator de emissão horário médio do SIN na hora t e estação s (tCO_{2eq}/MWh);

Como resultado, espera-se atingir um valor de emissões evitadas de maior acurácia, a partir das iniciativas de eficiência energética no Brasil.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação da modelagem proposta.

4.1 ECONOMIAS DE ENERGIA – INFORMAÇÕES TRATADAS

As informações de economia de energia foram tratadas e decompostas conforme a metodologia apresentada no item 3.1.3. A seguir, são apresentados os dados resultantes desse tratamento.

4.1.1 Análise Regional

Nesta seção, são apresentadas as curvas de regressão utilizadas para se estimar as participações regionais dos diversos equipamentos, cujas economias de energia são contabilizadas pelos programas de eficiência energética. As Figuras 4.1 e 4.2 apresentam os resultados para condicionadores de ar e lâmpadas.

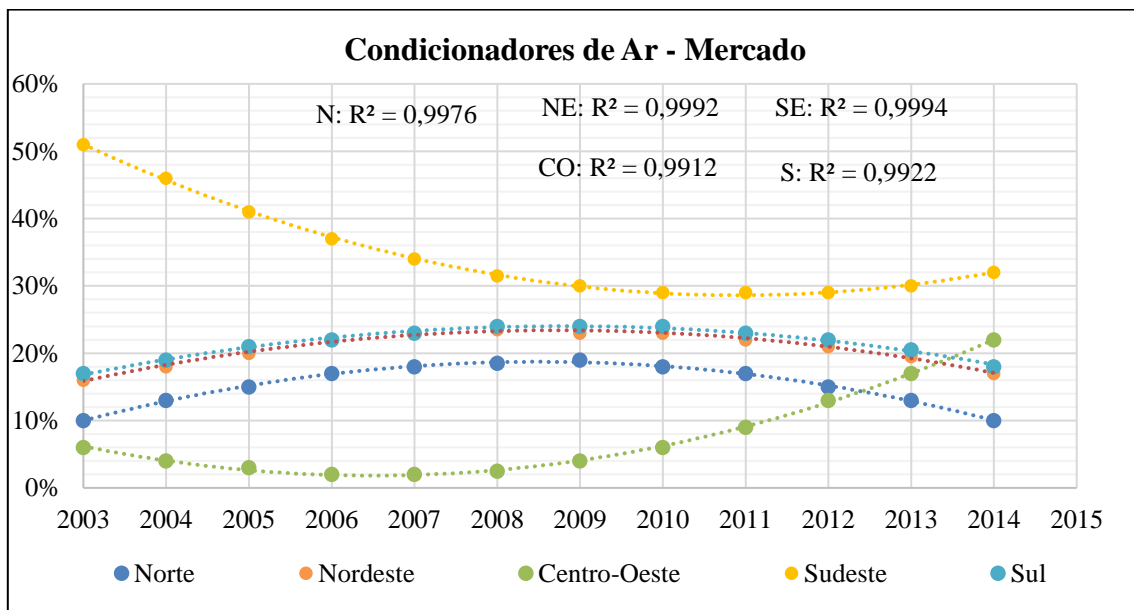


Figura 4.1 - Curva de regressão para o mercado de condicionadores de ar

Para os condicionadores de ar, foram alcançadas correlações ótimas, todas acima de 0,99, enquanto que para o mercado de lâmpadas a melhor correlação alcançada foi na região Sul, com 0,79, visto que ao longo dos anos houve oscilações no mercado de iluminação regional, principalmente no Sudeste. No entanto, para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, apesar das baixas correlações, a análise gráfica mostra uma tendência entre as participações. Sendo assim, estes valores foram adotados.

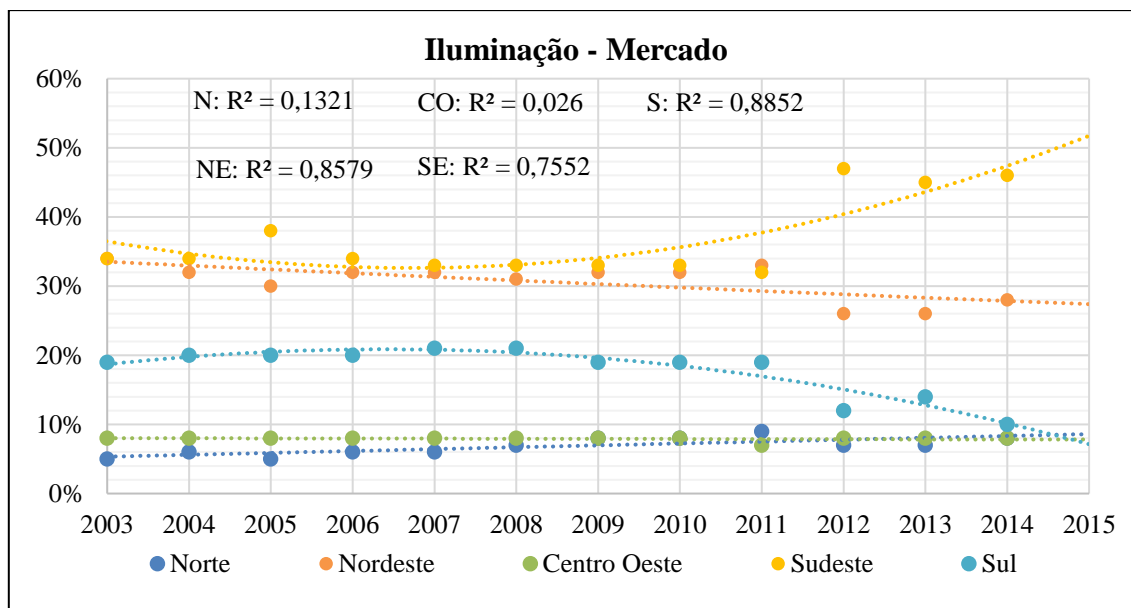


Figura 4.2 - Curva de regressão para o mercado de iluminação

Para a composição da concentração regional do parque de motores, em vista da ausência de dados oficiais, foi considerada que esta é semelhante a distribuição do parque industrial brasileiro, dado pela Pesquisa Industrial Anual (PIA/IBGE). Desse modo, foram obtidos os resultados da Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Distribuição regional do parque industrial brasileiro de 2003-2013

Região /Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
N	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
NE	10%	10%	11%	11%	11%	11%	11%	12%	12%	11%	12%
CO	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	6%	7%
SE	54%	54%	54%	53%	53%	53%	52%	51%	51%	51%	49%
S	27%	27%	27%	28%	27%	27%	28%	28%	28%	29%	29%

Fonte: Elaborado a partir de PIA/IBGE (2003 a 2013)

Para a composição regional do parque de refrigeradores antes de 2008 (período a partir do qual o Procel iniciou a decomposição regional), foi levantada a posse média de geladeiras por região, segundo a PNAD/IBGE, alcançando os resultados da Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Distribuição regional de refrigeradores de 2003 a 2008.

Região/Ano	2003	2004	2005	2006	2007	2008
N	5%	6%	6%	6%	6%	6%
NE	19%	19%	19%	20%	20%	21%
CO	8%	8%	8%	8%	8%	8%
SE	49%	48%	48%	47%	47%	46%
S	20%	19%	19%	19%	19%	19%

Fonte: Elaborado a partir de PNAD/IBGE (2003 a 2008)

De posse dos resultados alcançados, foi possível decompor os resultados globais de economia de energia a cada ano de acordo com a participação regional de cada equipamento.

4.1.2 Economias de energia tratadas

As economias de energia globais das diferentes iniciativas de eficiência energética foram decompostas conforme as equações 3.1 e 3.2, resultando em dados regionais e sazonais de economia de energia.

Por se tratar de uma base de dados muito extensa, os resultados estão apresentados nos Anexos II, III e IV.

4.2 FATORES DE CONSUMO DE ENERGIA

Para a abordagem considerada, foram modeladas curvas de carga a partir de informações obtidas em relatórios técnicos, trabalhos acadêmicos e periódicos, a fim de se obter a participação percentual de cada uso final para os períodos do dia considerados nesta decomposição. Os fatores de consumo horários modelados estão caracterizados no Anexo I.

4.2.1 Curvas de carga setoriais

As curvas de carga obtidas são apresentadas a seguir. Somente para o setor residencial foram discriminadas as curvas regionais e sazonais (Figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12), pois neste segmento há um maior volume de informações e estudos, que permitiram sua caracterização neste nível de investigação. Para o modelo adotado, não foram consideradas as diferenças no consumo nos dias úteis e finais de semana.

Para as diferentes regiões, notam-se as diferenças entre as estações principalmente em relação ao condicionamento de ar, que sofre redução significativa na participação entre as estações principalmente nas regiões Sudeste e Sul.

Em todas as regiões, a iluminação é mais utilizada no horário de ponta do sistema, bem como o aquecimento de água, que apresenta também picos de carga no período da manhã, entre 6h e 9h.

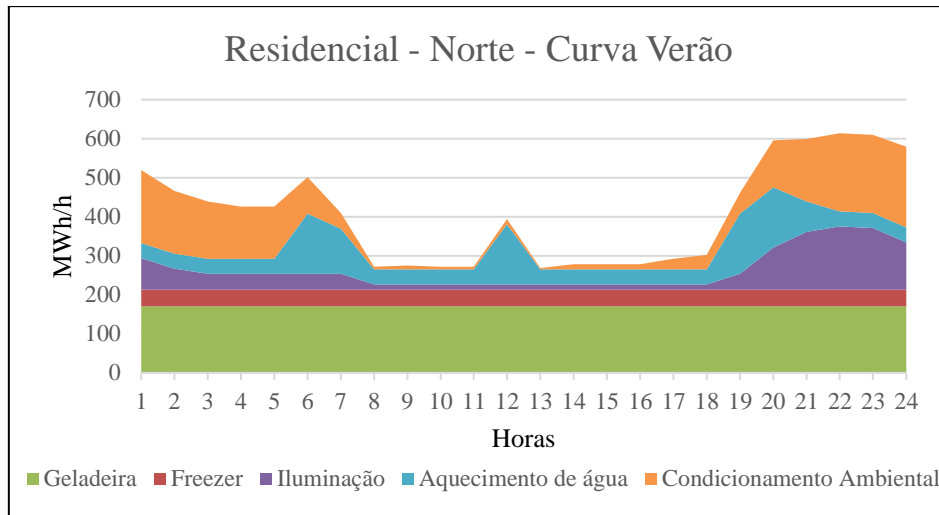


Figura 4.3 - Curva de carga residencial para Região Norte (verão)

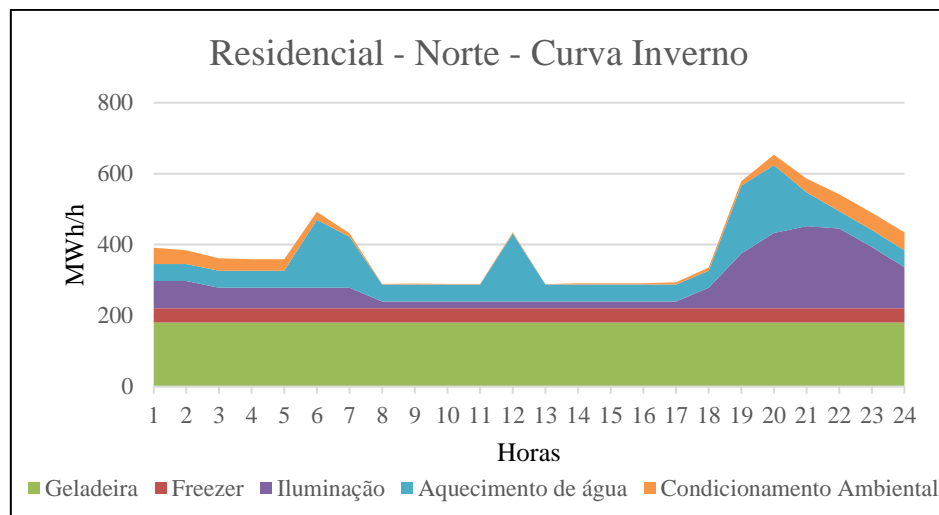


Figura 4.4 - Curva de carga residencial para Região Norte (inverno)

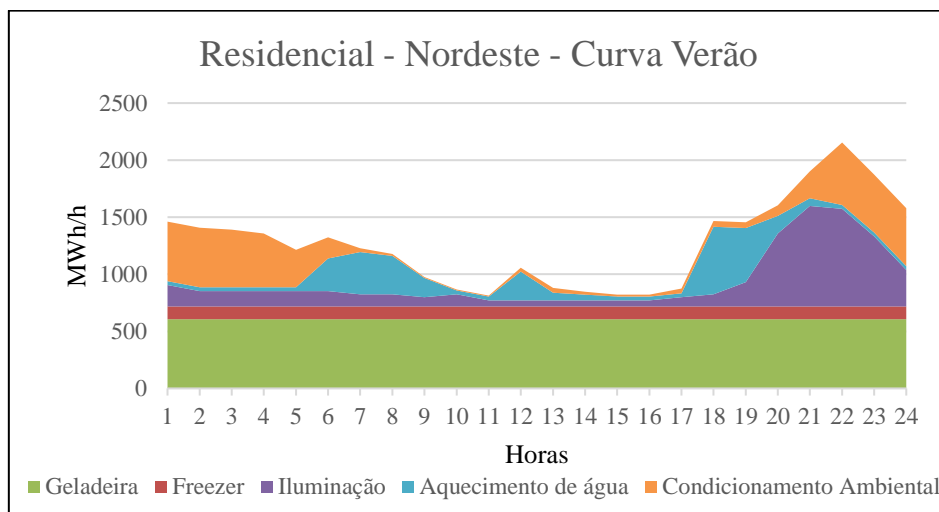


Figura 4.5 - Curva de carga residencial para Região Nordeste (verão)

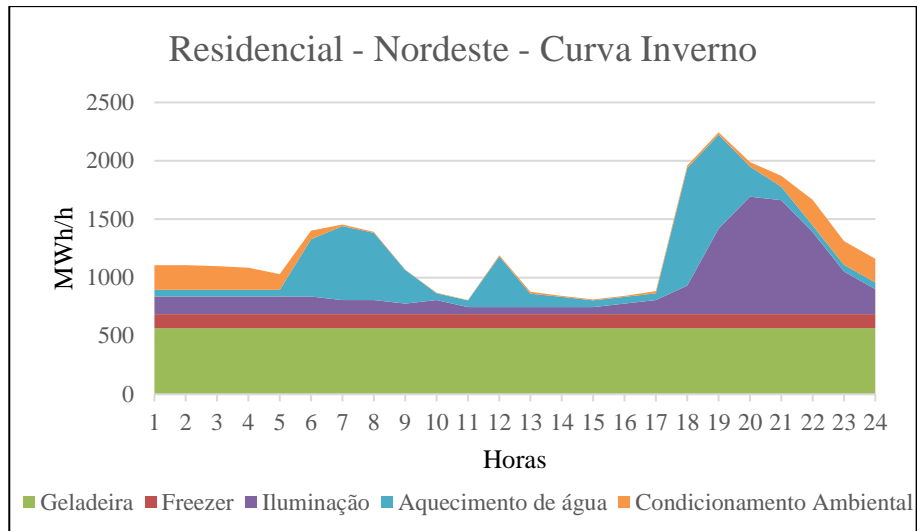


Figura 4.6 - Curva de carga residencial para Região Nordeste (inverno)

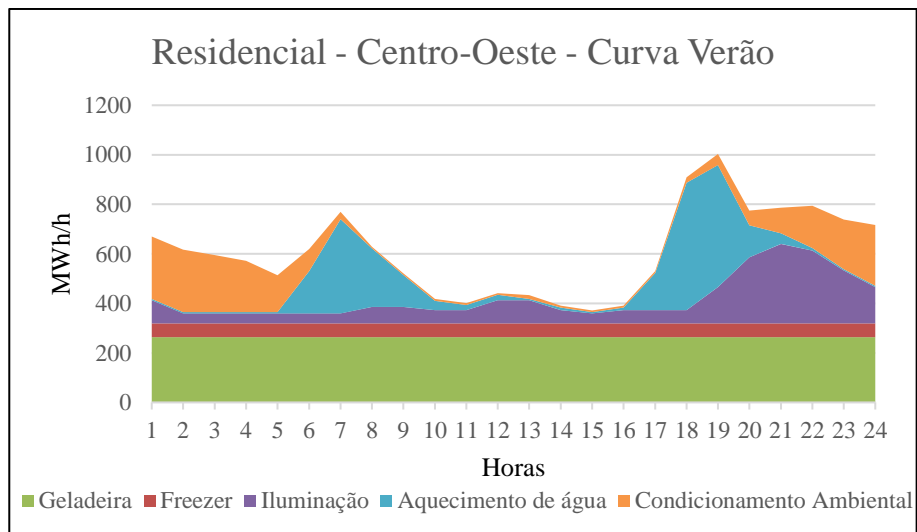


Figura 4.7 - Curva de carga residencial para Região Centro-Oeste (verão)

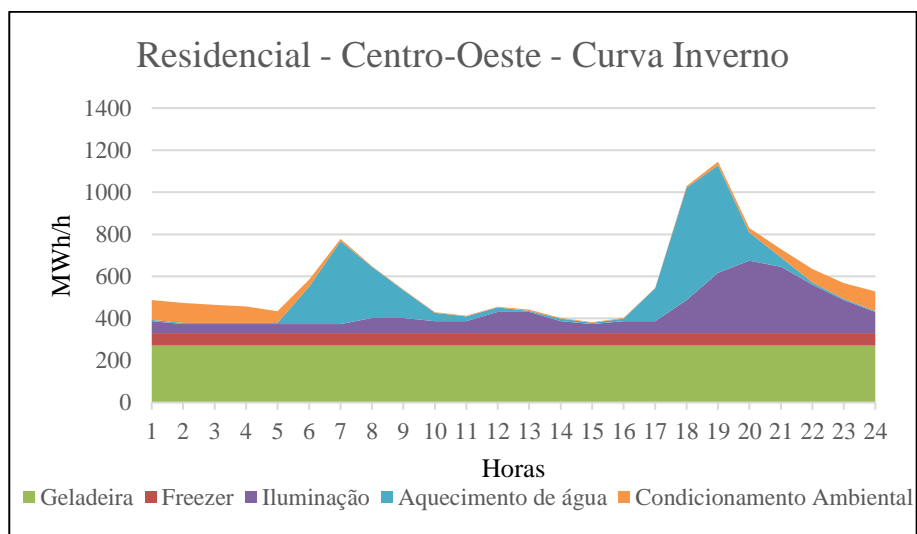


Figura 4.8 - Curva de carga residencial para Região Centro-Oeste (inverno)

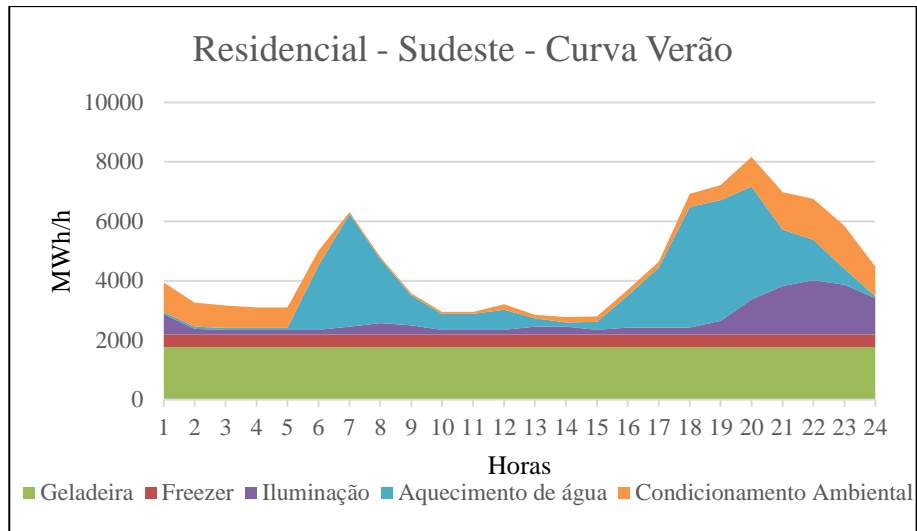


Figura 4.9 - Curva de carga residencial para Região Sudeste (verão)

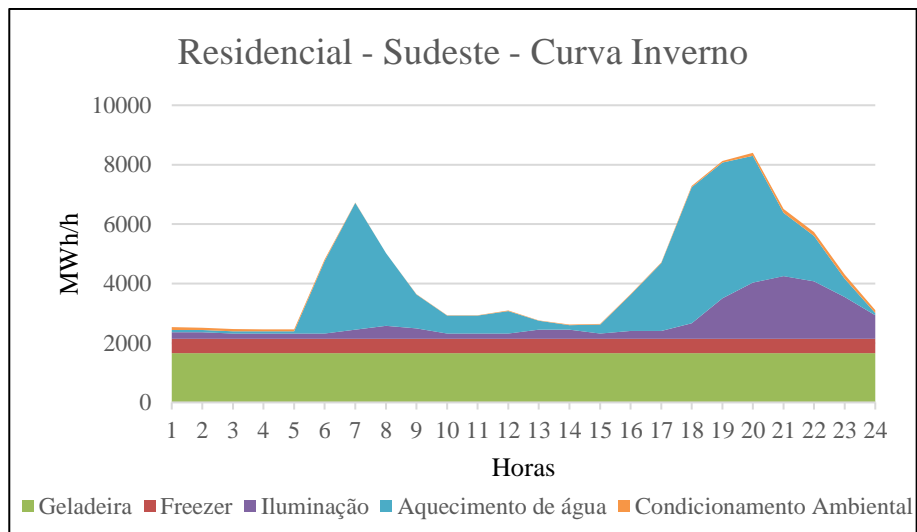


Figura 4.10 - Curva de carga residencial para Região Sudeste (inverno)

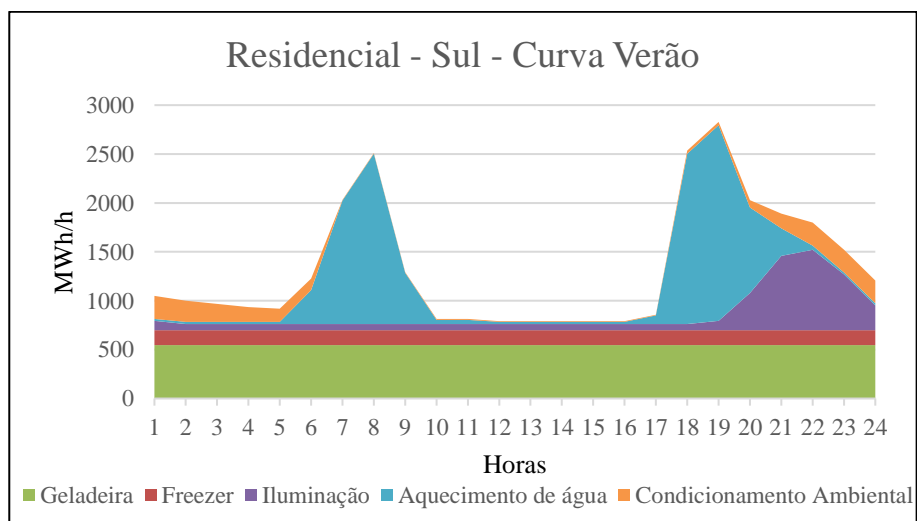


Figura 4.11 - Curva de carga residencial para Região Sul (verão)

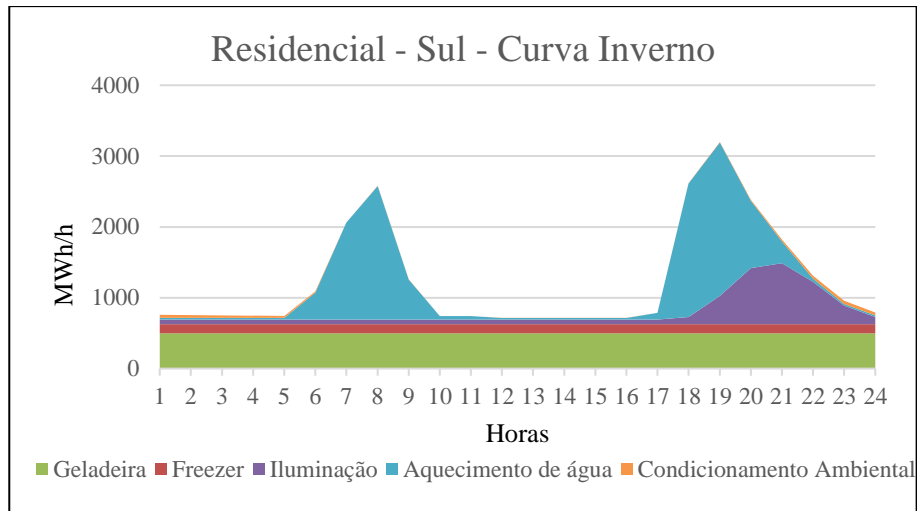


Figura 4.12 - Curva de carga residencial para Região Sul (inverno)

Para os demais setores, adotou-se que o comportamento regional varia pouco, considerando um cenário Brasil (Figuras 4.13, 4.14 e 4.15).

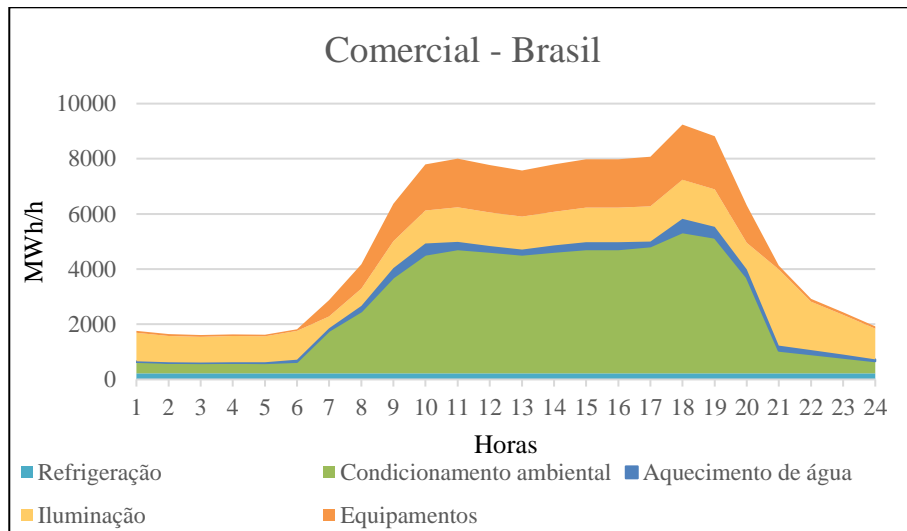


Figura 4.13 - Curva de carga comercial

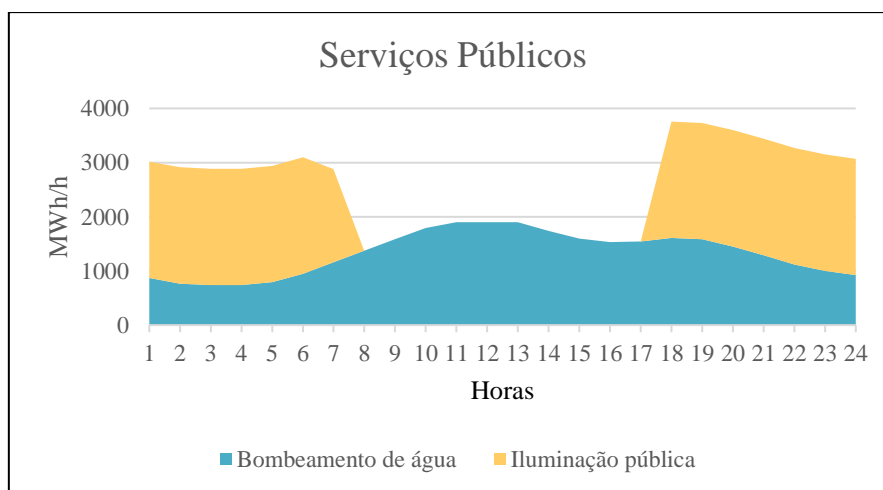


Figura 4.14 - - Curva de carga setor público

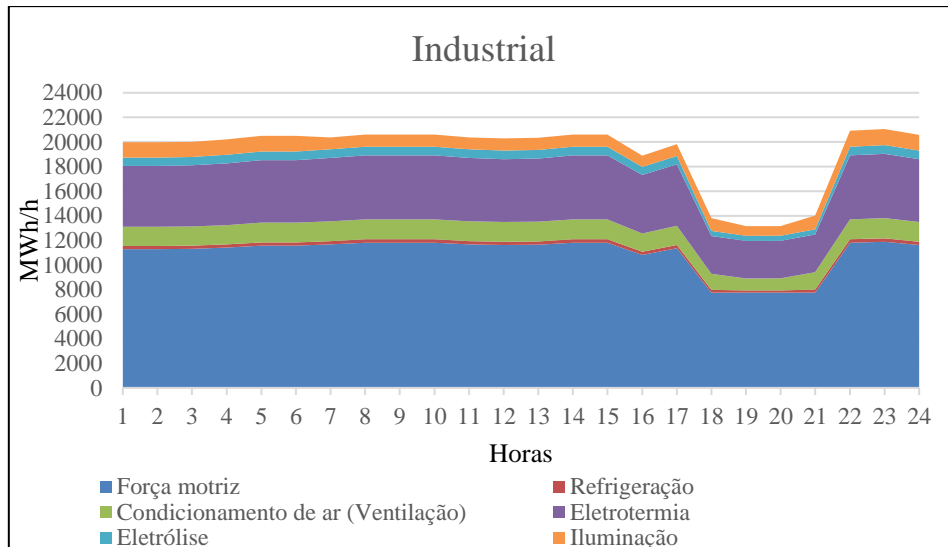


Figura 4.15 - Curva de carga do setor industrial

A partir das curvas obtidas, foram calculados os percentuais de participação de cada uso final nos períodos leve, médio e pesado, que constituem os fatores de consumo utilizados na análise (Anexo I).

4.3 FATORES DE EMISSÃO

A análise dos fatores de emissão permite observar a estreita relação causa-efeito entre a participação da geração térmica e aumento das emissões no SIN. Os dados apresentados na Figura 4.16 mostram uma correlação direta e linear do índice de participação de térmicas na matriz Brasileira com o fator de emissão Nacional.

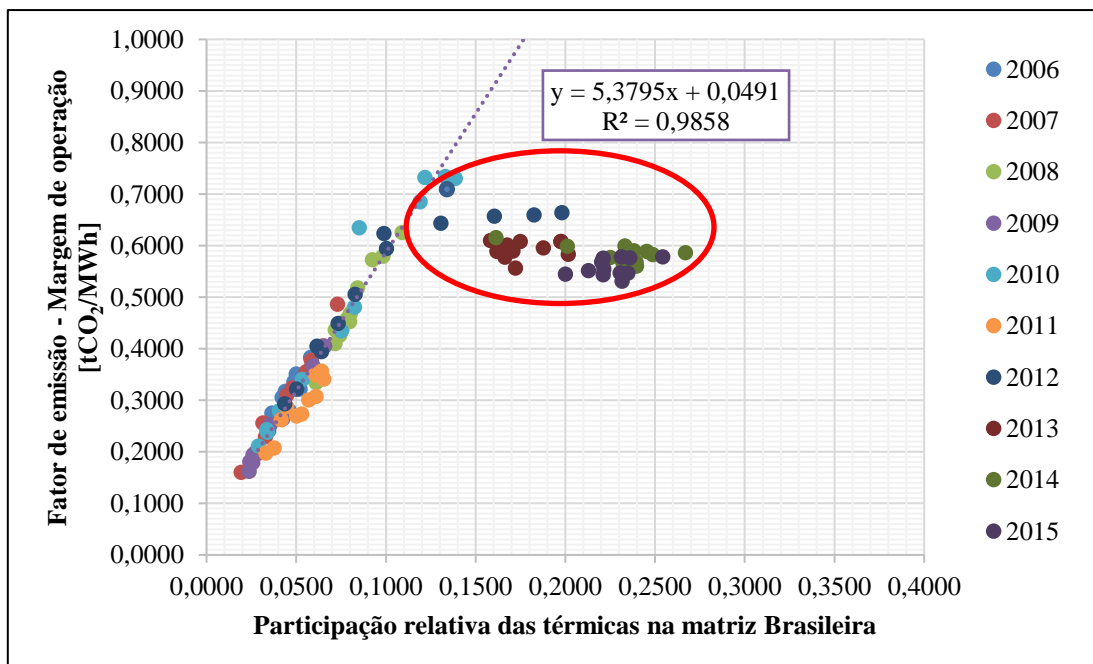


Figura 4.16 - Correlação entre participação das térmicas e fator de emissão

Observa-se ainda que a partir de 2012, os fatores de emissão não seguem a tendência de crescimento observada para os outros anos, estacionando em valores que variaram entre 0,5 e 0,6 [tCO₂/MWh] independente do crescimento da geração térmica, invalidando a correlação encontrada para períodos onde a participação relativa de térmicas é maior que 15,0%.

Esta situação pode ser decorrente da mudança do mix energético e expansão da participação do gás natural na geração termelétrica, como se pode observar na Figura 4.17. Como este combustível possui menor fator de emissão, a entrada do gás natural diminui o fator de emissão global do sistema, mantendo o fator de emissão constante, mesmo com a crescente geração térmica.

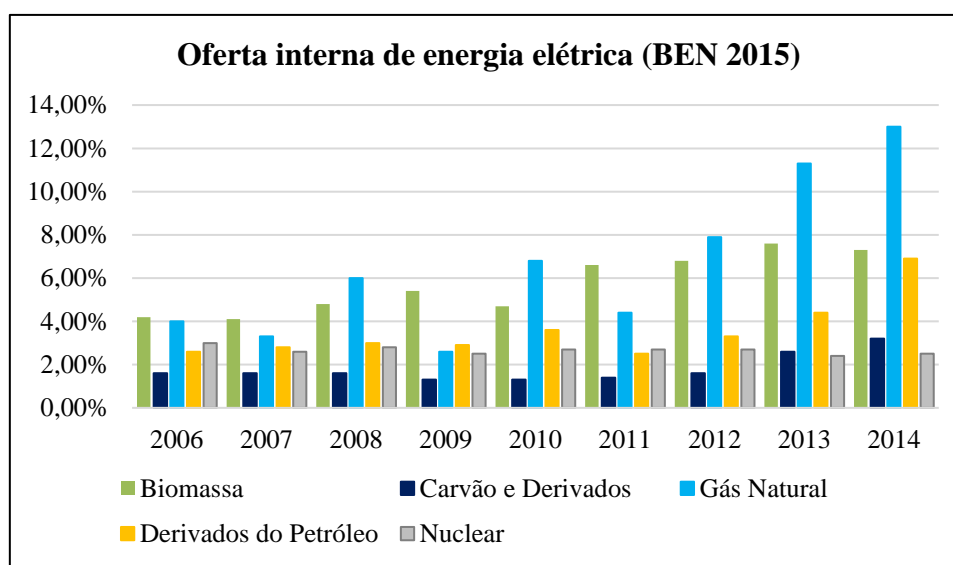


Figura 4.17 - Mix de combustíveis na oferta interna de energia elétrica.

Fonte: EPE (2015)

Entretanto, como a correlação foi estabelecida para se estimar os fatores de emissão entre 2000 e 2005, cuja participação média da geração termelétrica foi de 5,04%, o modelo foi utilizado, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Fatores de emissão (tCO₂/MWh) calculados via regressão linear para o período de 2000-2005

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2000	0,312	0,309	0,275	0,244	0,287	0,313	0,287	0,286	0,232	0,213	0,255	0,301
2001	0,293	0,295	0,314	0,329	0,379	0,413	0,368	0,424	0,431	0,382	0,448	0,430
2002	0,427	0,363	0,380	0,347	0,350	0,330	0,313	0,312	0,316	0,274	0,229	0,224
2003	0,237	0,247	0,229	0,247	0,239	0,289	0,279	0,279	0,247	0,303	0,348	0,348
2004	0,398	0,335	0,325	0,366	0,332	0,353	0,311	0,329	0,377	0,397	0,344	0,336
2005	0,333	0,295	0,352	0,324	0,304	0,275	0,307	0,319	0,300	0,334	0,372	0,356

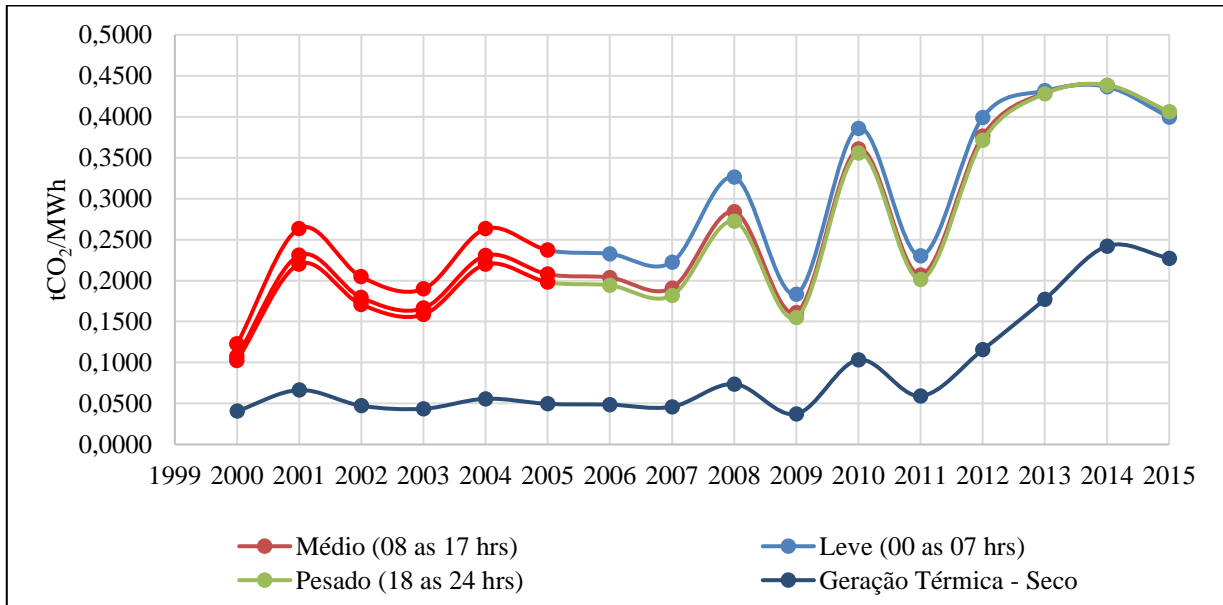


Figura 4.18 - Correlação dos fatores horários de emissão no período seco de 2000 a 2015

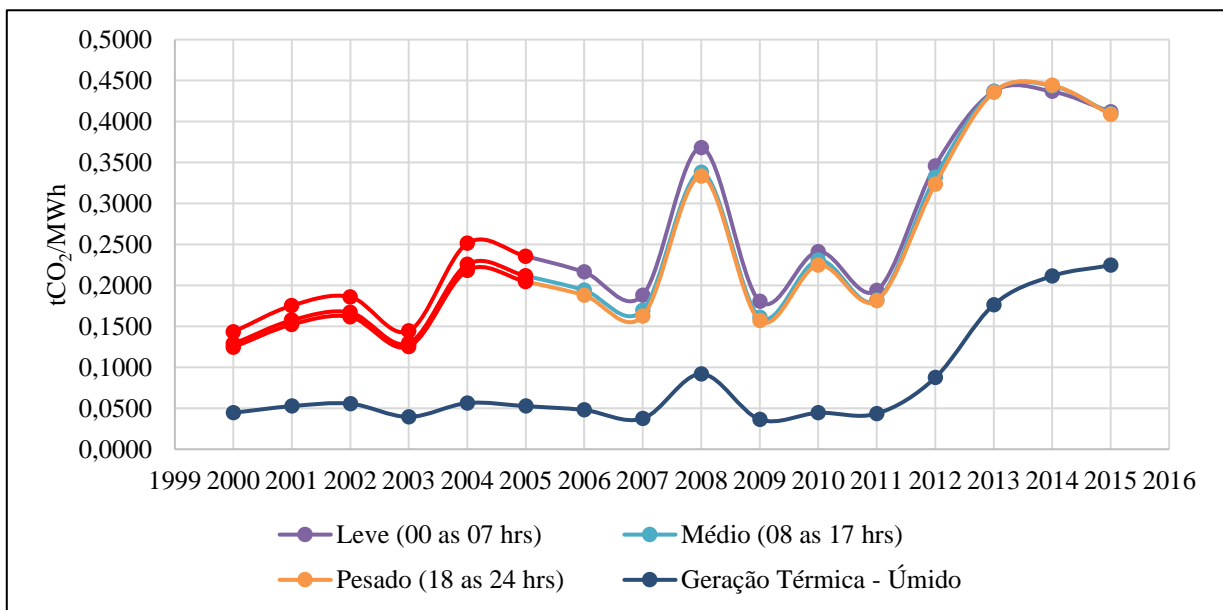


Figura 4.19 - Correlação dos fatores horários de emissão no período úmido de 2000 a 2015

A mesma correlação foi adotada para os valores horários estabelecidos por este trabalho nos períodos leve, médio e pesado do dia, obtendo-se uma correlação ótima com a geração térmica relativa para as estações seca e úmida do ano, como mostram as Figuras 4.18 e 4.19. Os dados obtidos foram utilizados para cálculo das emissões evitadas, conforme a metodologia proposta no item 3.1.6. Os dados grifados em vermelho são os valores obtidos.

A análise dos gráficos também permite observar a correlação adequada entre a geração térmica e as médias dos fatores de emissão horários, validando o modelo adotado.

4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DAS AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Nos próximos tópicos, serão apresentadas as emissões evitadas calculadas para cada programa de eficiência energética analisado neste estudo, de acordo com região, setor econômico, período do dia e ano.

4.4.1.1 Resultados – PROCEL

As emissões evitadas contabilizadas neste trabalho foram desagregadas em regiões e setores, para melhor análise das contribuições individuais e diagnósticos, e são apresentadas a seguir.

- **Resultados Regionais**

A Figura 4.20 abaixo mostra a contribuição regional para as emissões evitadas pelo PROCEL desde 2001 até 2015. A análise permite observar a maior participação da região Sudeste, visto que o volume de vendas de equipamentos é maior nesta. As regiões Norte e Centro-Oeste apresentam as menores contribuições, ambas com 8,0% e 9,0% de participação.

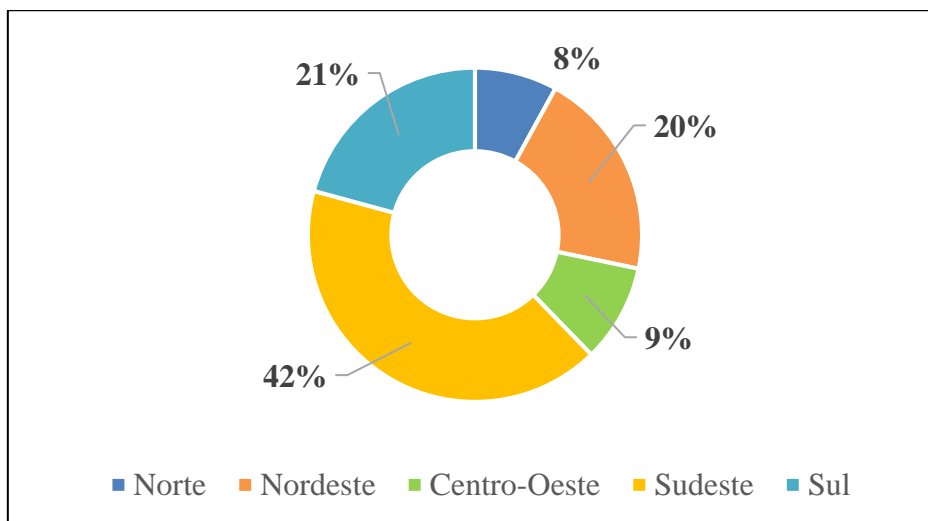


Figura 4.20 - Distribuição regional das emissões evitadas pelo Procel entre 2001 e 2015

Buscando identificar as iniciativas de maior impacto em cada região, a Figura 4.21 mostra a participação regional de cada uso final nos impactos ambientais do programa, bem como o setor econômico relacionado.

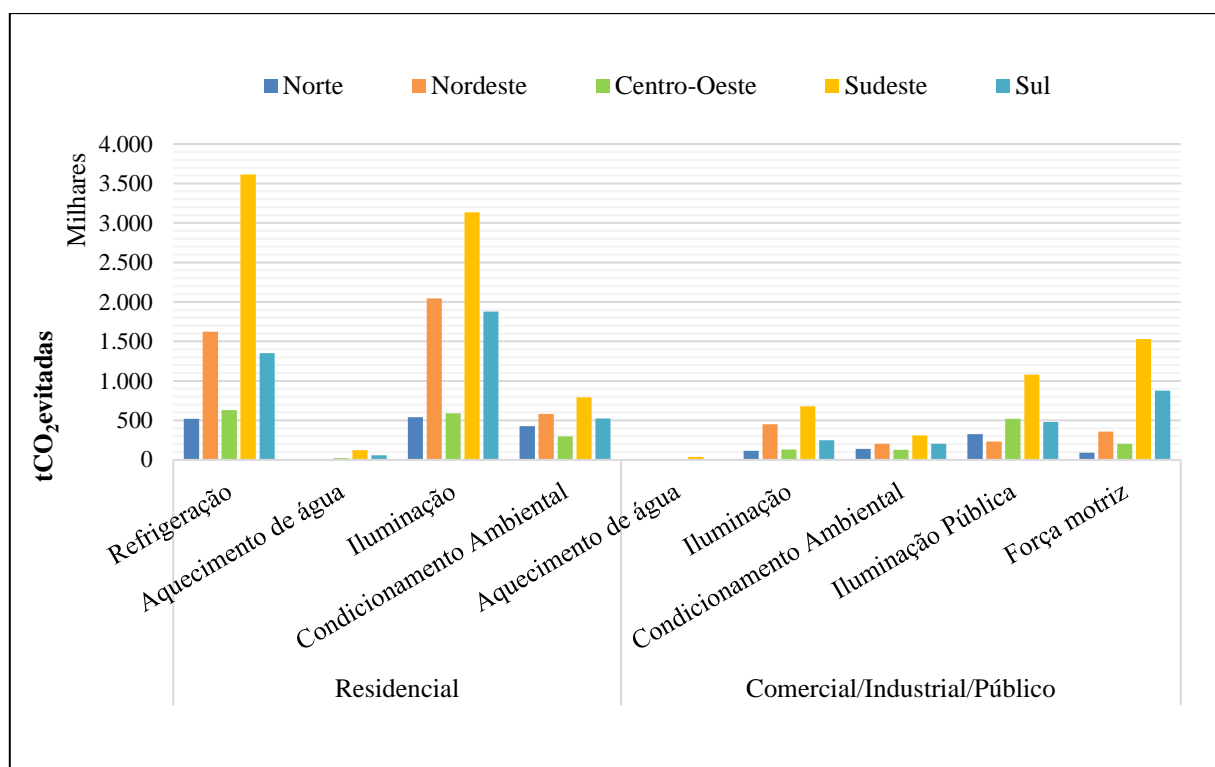


Figura 4.21 - Distribuição regional das emissões evitadas pelo Procel conforme uso final e setor econômico

Observa-se que o programa promove maiores resultados no setor residencial, principalmente pelo uso de refrigeração e iluminação. Este resultado é positivo e entra em conformidade com o objetivo do selo, que visa principalmente informar o consumidor sobre a eficiência energética do equipamento. Segundo pesquisa do Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (IDEC, 2016), três em cada quatro brasileiros conhecem o selo Procel (75,0%), em proporções muito acima dos demais, o que o torna o selo ambiental mais conhecido no país.

Destaca-se ainda a pequena participação do aquecimento de água em todas as regiões e setores, o que mostra que ainda há um potencial muito grande a ser explorado neste segmento, visto que os chuveiros elétricos são grandes consumidores de energia e sua substituição traz inúmeros benefícios, tais como redução da demanda no horário de ponta, permitindo que as concessionárias posterguem investimentos na ampliação da capacidade instalada e disponibilizem a potência retirada do horário de ponta para suprir outros consumidores com melhor fator de carga. Já os usuários reduzem o consumo de energia elétrica e ficam menos expostos ao aumento das tarifas de energia (PINTO JR. & GUEDES, 2012).

Mesmo com todas as vantagens apresentadas, no Brasil seu uso ainda é incipiente, sendo as principais barreiras os elevados custos de aquisição e instalação em comparação com chuveiro elétrico. Entretanto, Naspolini & Ruther (2012) afirmam haver uma falta de informação sobre o

custo mais baixo de sistemas domésticos solares de água quente considerando o ciclo de vida do produto, quando comparado com chuveiros elétricos.

Para os demais setores, destacam-se as contribuições do Procel Reluz no alcance de reduções de emissões. Novamente, a região Sudeste é a mais privilegiada neste aspecto, com uma média de 1.079.152 tCO₂ evitadas no período frente a região Nordeste, cuja contribuição foi de apenas 232.130 tCO₂ evitado, a menor para a categoria. Considerando que esta possui 21 % dos pontos de iluminação pública no país (2ª maior concentração após a região Sudeste que possui 49 % dos pontos) (ELETROBRAS/PROCEL, 2014), é recomendável um melhor direcionamento das ações do Reluz para a região.

A Figura 4.22 mostra a evolução ano a ano de cada uso final em cada região geográfica, para o setor residencial.

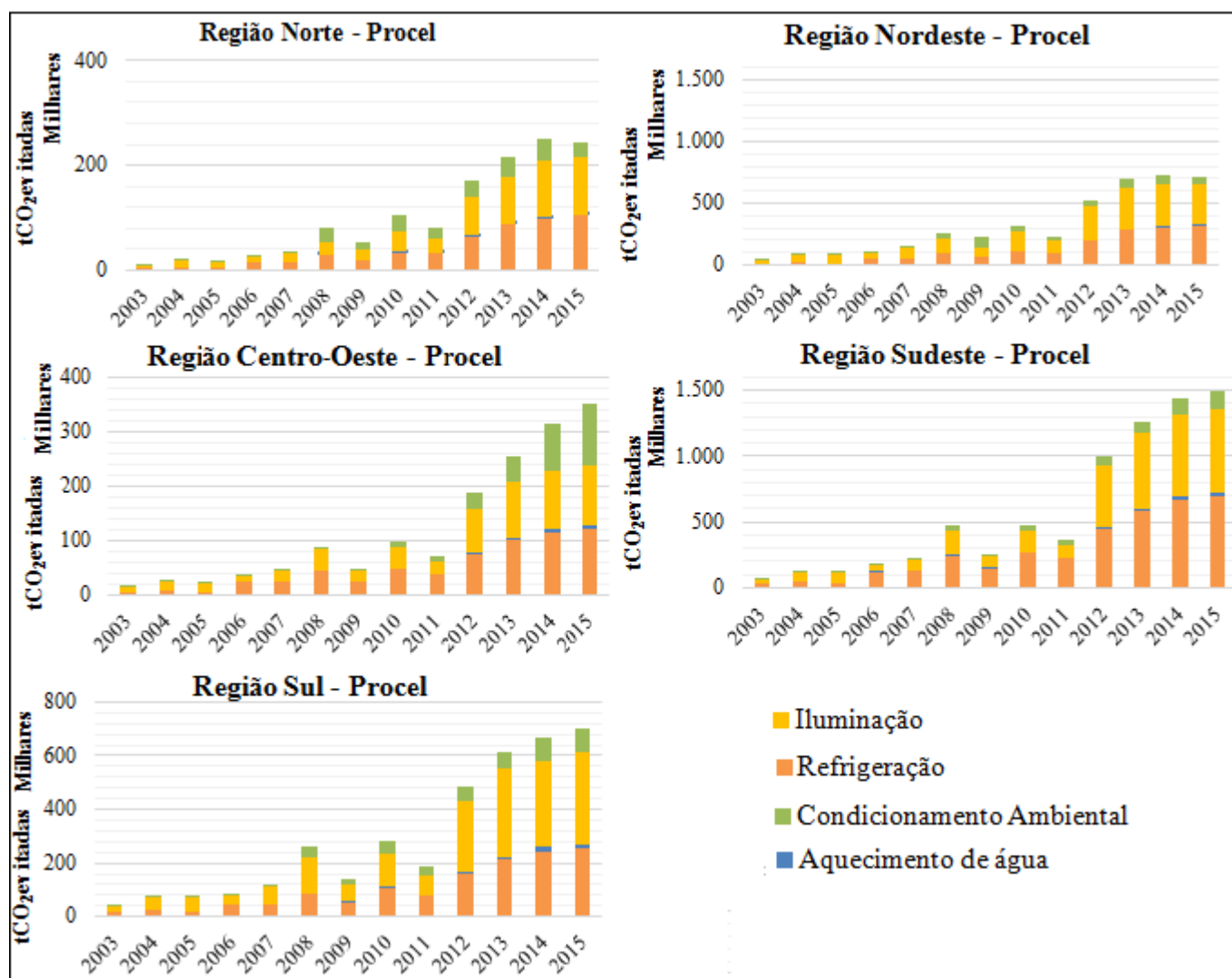


Figura 4.22 - Evolução das emissões evitadas pelo Procel no setor residencial de 2003 a 2015

É notável o crescimento da contribuição do condicionamento de ar ao longo dos anos, principalmente a partir de 2008, quando este mercado se expandiu significativamente. Nos últimos anos, as emissões evitadas foram maiores visto que, como apresentado no item 2.2.2, houve crescimento no fator de emissão do SIN. Verifica-se também, a influência da economia na redução de emissões, como se pode observar a diminuição do efeito mitigatório em 2009, período de queda no PIB.

• Resultados setoriais

A Figura 4.23 apresenta a evolução setorial das emissões evitadas pelo Procel entre 2001 e 2015.

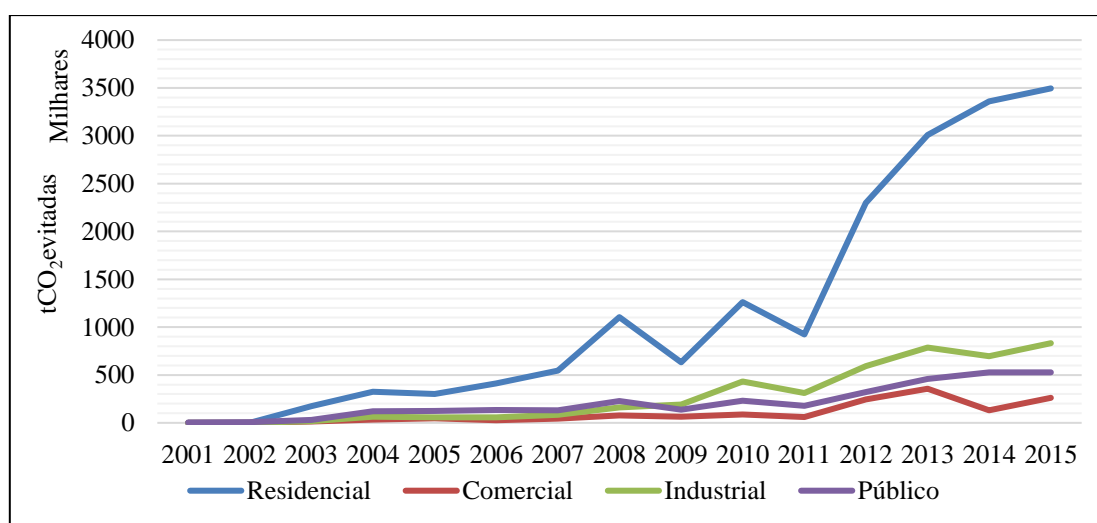


Figura 4.23 - Evolução das emissões evitadas pelo Procel de 2001 a 2015²², por setor econômico

A avaliação acima mostra a evolução das emissões evitadas pelo Procel nos últimos anos. Nota-se que em todos os setores a curva se comporta de maneira parecida, porém com maiores variações no setor residencial, cujo crescimento a partir de 2011 foi exponencial.

A Figura 4.24 mostra o comportamento das emissões no setor comercial. Evidencia-se aqui o crescimento da contribuição tanto dos sistemas de condicionamento ambiental, associado não somente ao aumento nos níveis de emissão no SIN, mas também ao incremento das vendas destes dispositivos a partir de 2010, quanto de iluminação, com pequenas oscilações nas participações entre 2003 e 2010, mas com crescimento significativo em 2011.

²² Para 2015, o Relatório de Resultados PROCEL não informa as economias de energia alcançadas pelo Procel Reluz em cada região. Logo, considerando que as ações do programa são cumulativas em cada ano e que não houve variação significativa dos fatores de emissão entre 2014 e 2015, foi considerado que as emissões evitadas pelo programa neste ano foram as mesmas.

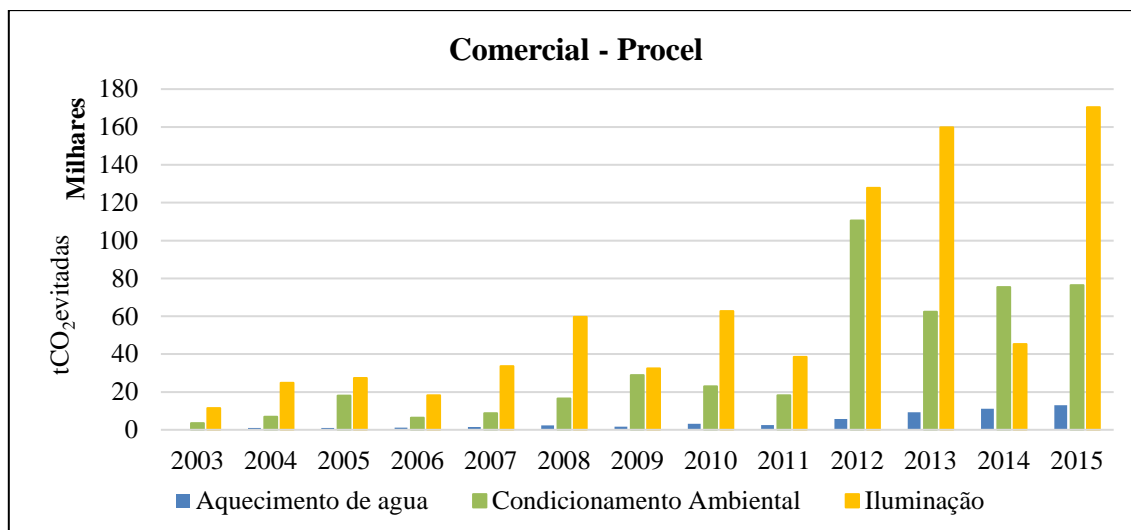


Figura 4.24 - Evolução das emissões evitadas no setor comercial por uso final

Para o setor industrial, destacam-se os sistemas motrizes como colaboradores para a mitigação de emissões, cujo impacto começou a ser maior a partir de 2009, seja pela melhoria da eficiência energética destes equipamentos, quanto pela retomada econômica que provocou maior consumo energético (Figura 4.25).

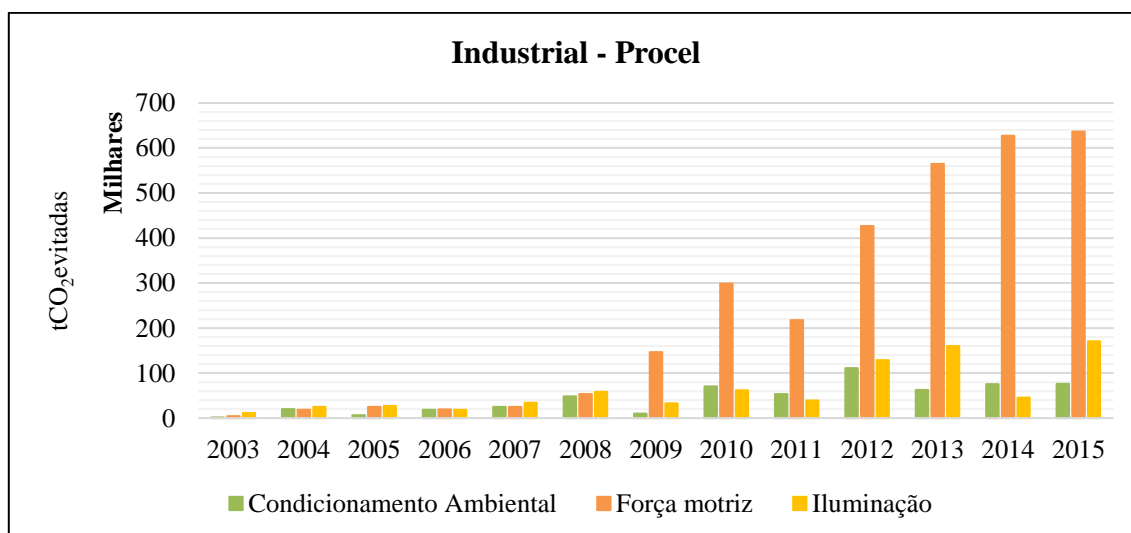


Figura 4.25 - Emissões evitadas na indústria pelo Procel de 2003 a 2015

Por fim, o setor de iluminação pública foi analisado (Figura 4.26). Para o segmento, nota-se o crescimento nas emissões evitadas pelo Reluz ao longo dos anos, enquanto o número anual de pontos eficientizados diminui, visto que as ações são acumulativas, com vida útil de 5 anos. Pode-se atribuir também a introdução da tecnologia LED, que possui desempenho superior as lâmpadas vapor de sódio/metálico, frequentemente utilizadas na iluminação pública.

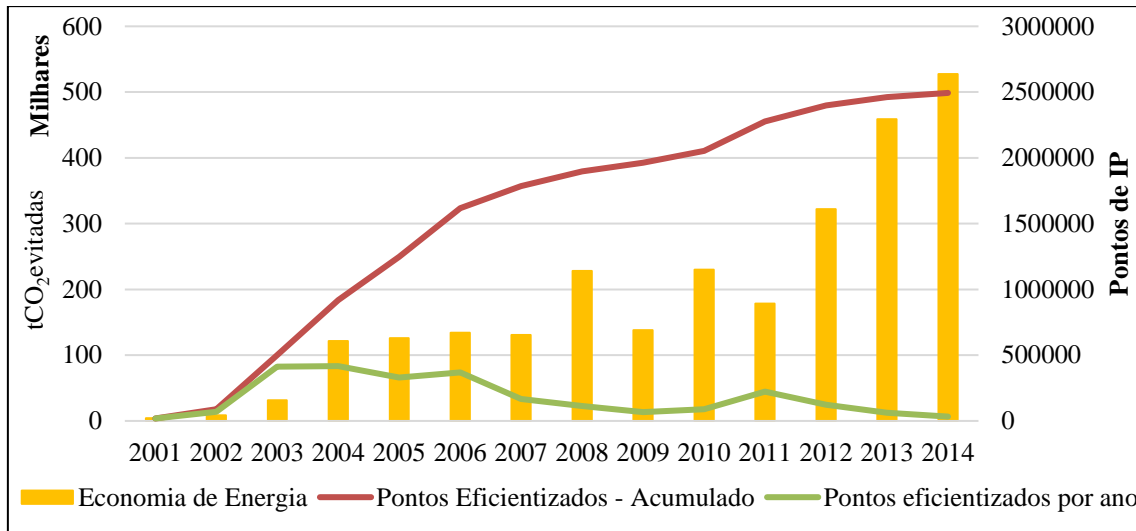


Figura 4.26 - Emissões evitadas pelo Procel Reluz de 2001 a 2014

• **Impacto médio por período do ano e dia**

A Figura 4.27 exibe as emissões evitadas desagregadas por região, período do ano e período do dia.

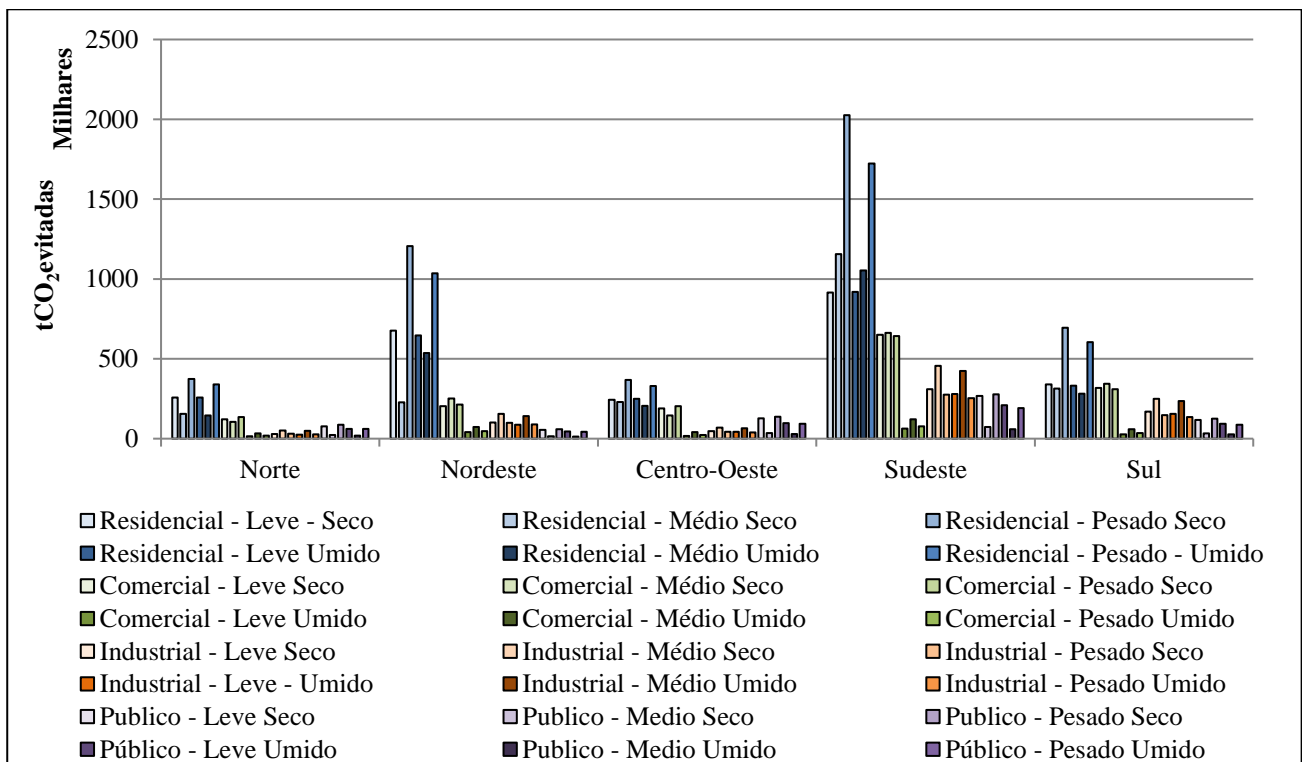


Figura 4.27 - Emissões evitadas pelo Procel em cada região de acordo com a época do ano e período do dia

A interpretação da análise gráfica acima demonstra a influência das características específicas em termos de hábitos de uso em cada região e setor nos resultados, bem como do alcance regional das economias de energia para cada equipamento e participação relativa de cada um nos períodos do dia estudados.

Observa-se, por exemplo, que as emissões evitadas no setor residencial são superiores no horário de ponta em todas as regiões, principalmente no período seco, em que os fatores de emissão são maiores, além do maior consumo em aquecimento de água e iluminação. Porém, existem diferenças como, por exemplo, o fato das emissões no período leve serem maiores do que a do período médio nas regiões Norte e Nordeste, enquanto nas demais regiões os valores para ambos os períodos são semelhantes. Esta circunstância é decorrente dos hábitos de consumo nestas regiões, em que o uso de condicionamento ambiental no período leve é expressivo.

Além disso, percebe-se que há uma infinidade de variáveis que influenciam no processo de determinação das emissões evitadas, pois existe uma dinâmica de mercado de eletrodomésticos em cada região, que por sua vez influenciarão na distribuição dos resultados energéticos. Por outro lado, as participações individuais de cada equipamento para os horários estabelecidos, influenciam na distribuição das economias na carga diária que, ao serem multiplicadas por um fator horário, resultam em emissões evitadas maiores ou menores nos horários estudados.

Essa constatação é ainda mais evidente, quando se avaliam os setores industrial, comercial e público, pois, como o cenário de consumo para estes foi considerado constante no modelo adotado, as variáveis que influenciarão serão apenas a distribuição regional das economias e o fator de emissão horário. Todavia, como desde 2011 o fator de emissão para os diferentes horários e estações cresceram exponencialmente e não apresentaram variações expressivas entre eles, o valor para todos os horários do dia foi praticamente o mesmo, variando em média 5,0% entre as estações.

No setor industrial, por exemplo, as emissões evitadas resultantes se mostram homogêneas com um leve sobressaimento do período médio e redução no período pesado, horário em que geralmente há redução das cargas no setor decorrente da estrutura tarifária. Apesar da curva de carga ser constante nos períodos médio e leve (Figura 4.15), há um pequeno aumento na carga entre as 07:00 e 17:00. Logo, as emissões evitadas para este período foram maiores.

Outro exemplo é o que ocorre no setor público, que nesta análise inclui apenas os resultados do Procel Reluz e um único uso final, sem considerar diferenças regionais. A influência horária sobressai, posto que as emissões evitadas são mínimas durante o período médio, horário de carga quase nula.

Já no setor comercial, foram observadas diferenças entre as estações do ano em todas as regiões, com predomínio das emissões no horário médio úmido. Esta ocorrência se deve ao maior uso de sistemas de condicionamento ambiental na estação, que por sua vez, é o principal uso final no setor durante o horário comercial. Para o período seco, porém, foram observadas reduções neste mesmo

horário nas regiões Norte e Centro-Oeste. Nesse caso, a distribuição regional das economias do Procel determinou o horário em que o impacto em redução de emissões foi mais significativo: considerando que a iluminação é o uso final de maior economia de energia no setor (Figura 4.24) e, tanto no horário pesado quanto no horário leve seu uso predomina sobre os demais (considerando que na estação seca a participação de condicionamento ambiental é menor), o impacto ambiental é maior nos horários leve e pesado no período seco nestas regiões. Além disso, estas possuem as menores distribuições regionais das economias de energia em condicionamento ambiental (Figura 4.1).

4.4.1.2 Resultados - Programa de Eficiência Energética da ANEEL

Do mesmo modo que o Procel, os resultados obtidos com a aplicação da metodologia para o PEE da ANEEL foram subdivididos para melhor análise e compreensão dos dados. Ressalta-se aqui que os resultados apresentados adiante correspondem a uma amostra disponibilizada pela ANEEL, que corresponde a 28,0% do universo total de projetos já realizados pelo Programa de Eficiência Energética da ANEEL desde 2001.

- **Resultados da amostra por região**

Ao longo destes seis anos analisados, estima-se que o PEE tenha evitado a emissão de 1,42 milhões de tCO₂. A Figura 4.28 mostra a contribuição de cada região para os resultados alcançados. Um aspecto positivo foram os resultados alcançados pela região Centro-Oeste que, mesmo representando apenas 6,9% da amostra, alcançou resultados superiores à região Sul (33,8% da amostra total). Novamente a região Sudeste obteve os maiores ganhos ambientais, com 45,0% das emissões evitadas totais.

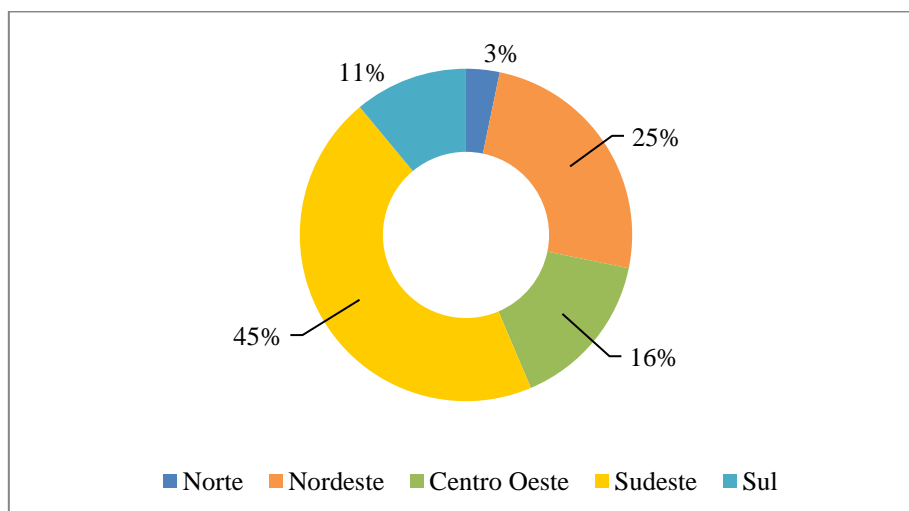


Figura 4.28 - Distribuição regional dos resultados do PEE

Estes resultados são atribuídos aos impactos das ações nos diferentes setores econômicos (Figura 4.29). A região Sudeste é a que possui maior representação nos diferentes segmentos, enquanto as demais concentram suas ações no setor residencial, onde se encontram os maiores níveis de emissões evitadas, do modo similar ao Procel. Este resultado era esperado, considerando que pela Lei nº 12.212/2010 as concessionárias devem destinar no mínimo 60,0% dos recursos do programa a população baixa renda, ou seja, ao setor residencial.

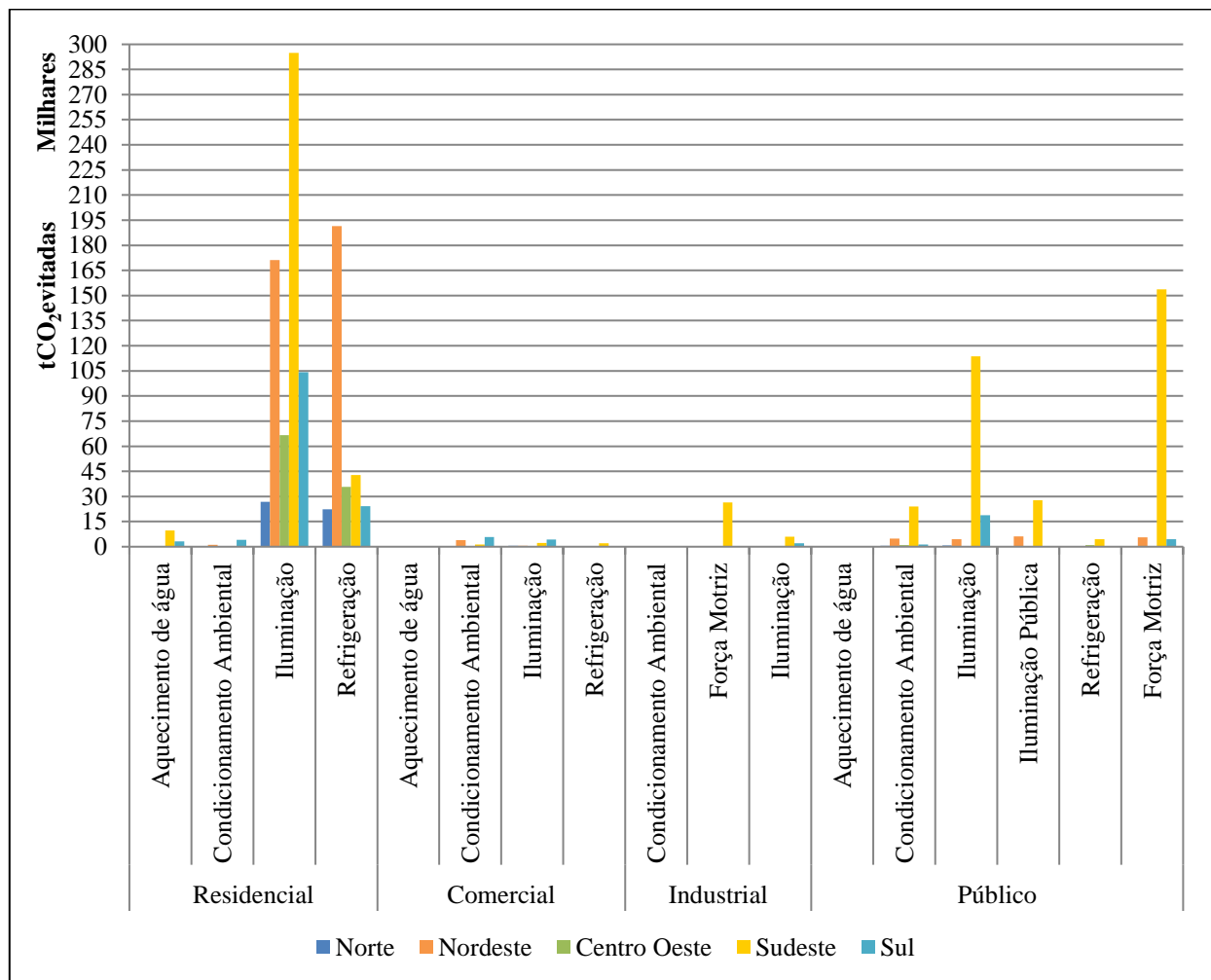


Figura 4.29 - Participação regional das emissões evitadas pelo PEE conforme o setor e uso final

São observadas também, ações nas demais regiões nos setores público e comercial, concentradas principalmente em iluminação e condicionamento ambiental.

• Resultados setoriais

Como visto anteriormente, o setor residencial é o setor com maior contribuição nas emissões evitadas pelo PEE. A Figura 4.30 mostra a distribuição das emissões evitadas conforme os usos finais no segmento.

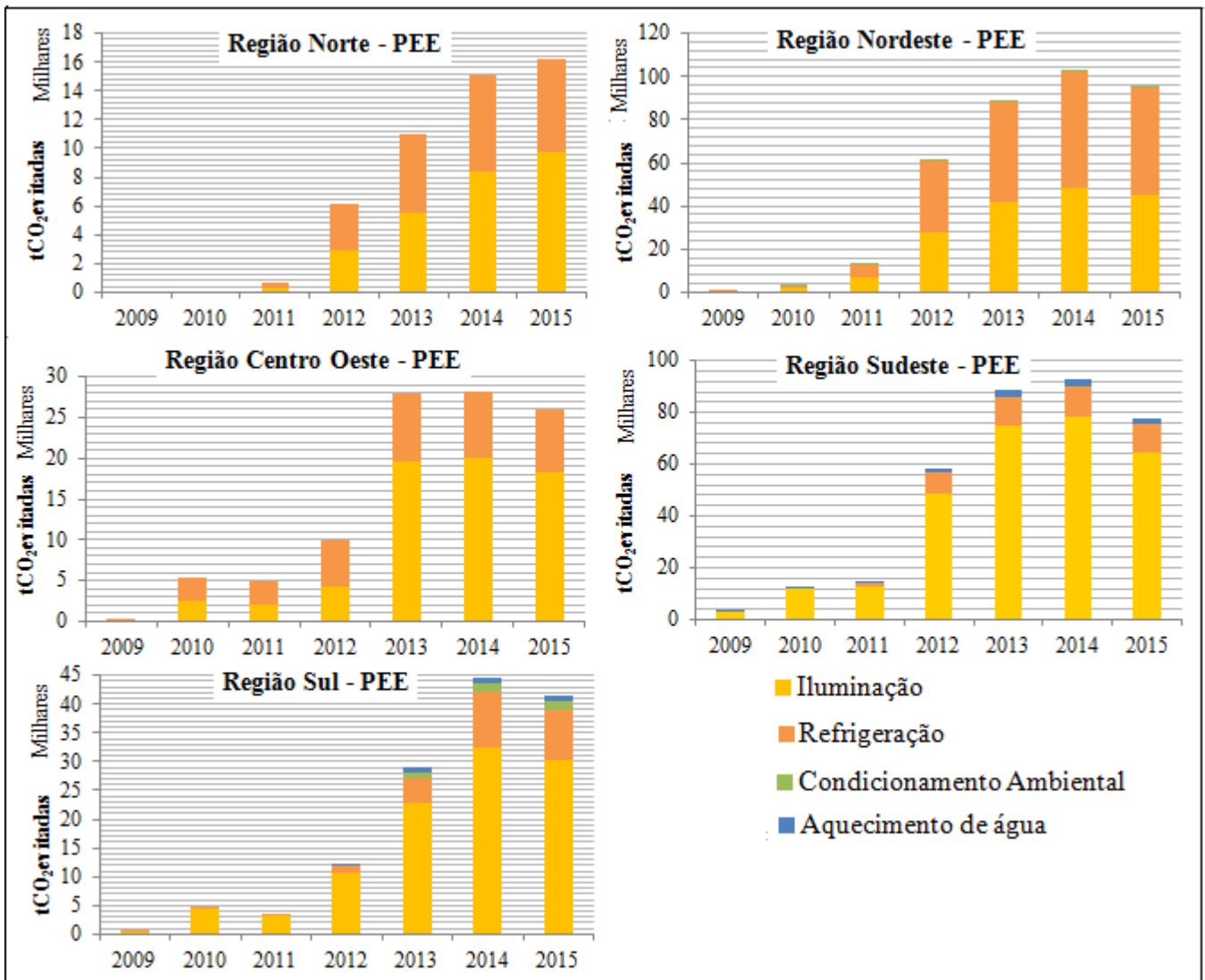


Figura 4.30 - Distribuição das emissões evitadas no setor residencial em cada região geográfica pelo PEE

A Figura 4.30 revela que as ações do programa voltadas à iluminação apresentaram maior impacto na totalidade das regiões, com maiores índices na região Sudeste. A refrigeração também apresentou um alcance representativo, sendo mais significativa na região Nordeste.

Ao contrário do Procel, o condicionamento de ar foi pouco representativo para as ações do programa. Pode-se associar este dado ao fato de que, como grande parte das ações do programa é voltada a população de baixa renda, que geralmente não possuem equipamentos de ar condicionado em suas casas, não há a necessidade de *retrofit* nesse segmento.

Similarmente ao Procel, o aquecimento de água apresentou resultados baixos, estando presente somente nas regiões Sul e Sudeste. Mais uma vez, ressalta-se que há um potencial energético e ambiental relacionado a este uso final pouco explorado, uma vez que o chuveiro elétrico é responsável pelos picos de carga de consumo no setor residencial. Segundo Cardoso & Horta

(2011), o Brasil explora menos de 5,0% do potencial solar para o aquecimento de água no setor residencial.

A amostra avaliada do PEE também apresenta projetos voltados aos diferentes segmentos econômicos. A Figura 4.31 mostra o comportamento das emissões evitadas no setor comercial.

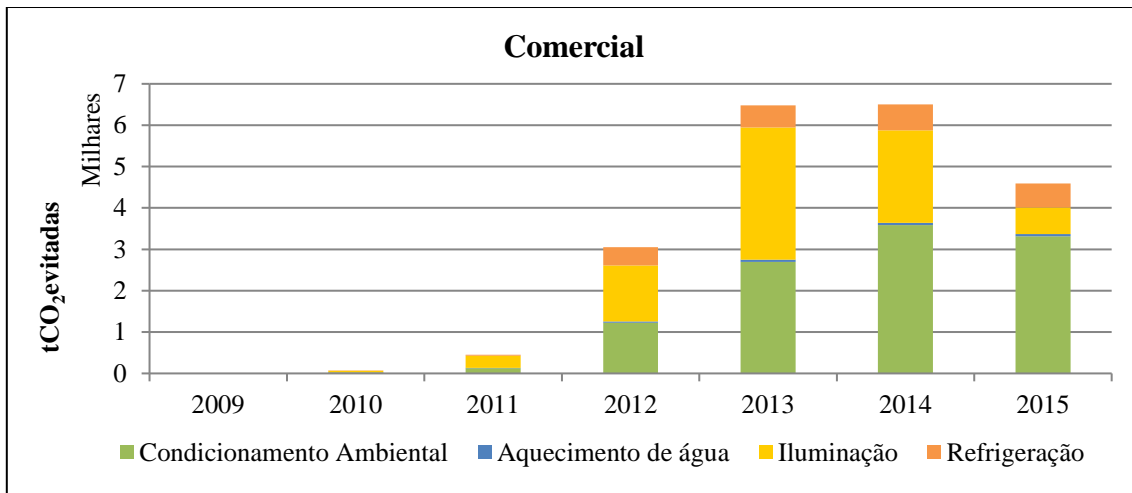


Figura 4.31 - Distribuição das emissões evitadas pelo PEE no setor comercial de 2009 a 2015, segundo uso final

Destaca-se aqui a predominância do condicionamento ambiental como uso final de maior impacto ambiental. A iluminação, que também tem participação significativa no setor, sofreu redução de seu alcance em 2014. Isso se deve ao tempo de duração da economia de energia, ou seja, como no setor comercial um *retrofit* de iluminação possui vida útil média de aproximadamente 913²³ dias, em 2 ou 3 anos as ações cessam, necessitando de continuidade para o alcance das economias. Como neste estudo somente são analisadas as ações decorrentes do PEE, não se considerou a continuidade da ação pelo consumidor que a recebeu.

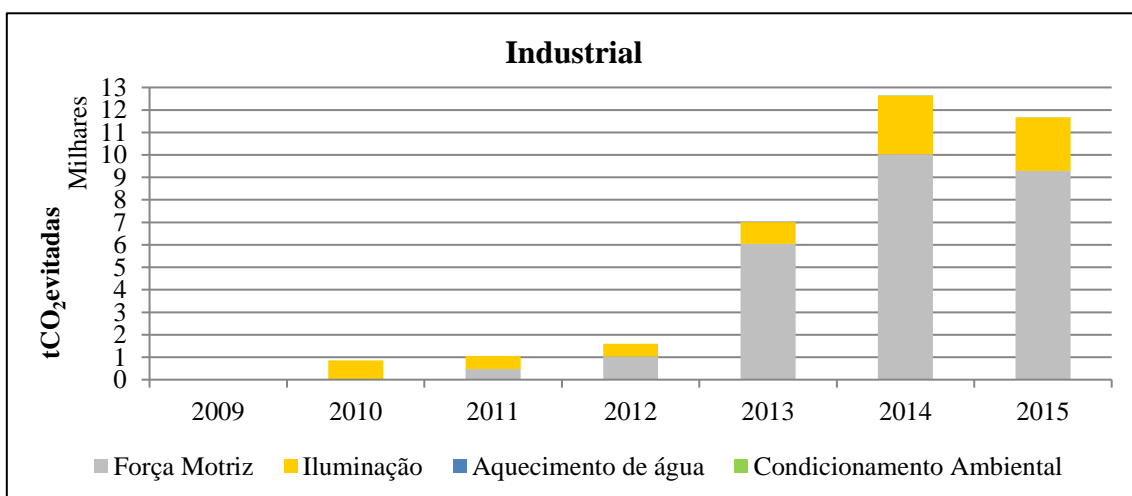


Figura 4.32 - Distribuição das emissões evitadas pelo PEE no setor industrial, conforme uso final, de 2009 a 2015

²³ Valor estimado com base nos parâmetros da Tabela 3.6.

Na Figura 4.32 são apresentados os resultados para o setor industrial. Assim como para o Procel, a maior parte dos resultados no setor corresponde ao uso de sistemas motrizes, com uma pequena participação da iluminação. Ao todo, o segmento evitou que fossem lançadas 34.849,3 tCO₂ na atmosfera, 2,0 % do valor total alcançado pelo PEE. Considerando que a indústria consome aproximadamente 40 % da eletricidade no Brasil, este resultado é pequeno. Sendo o PEE um mecanismo de destinação de recursos para o financiamento de ações em eficiência, a alocação destes para o segmento industrial traria não somente vantagens energéticas, mas um grande potencial de ganho ambiental, reforçando as críticas observadas às regulamentações impostas ao programa.

Por fim, são apresentados os resultados do programa no setor público (Figura 4.33). Este setor é bastante significativo, pois recebe cerca de 10% dos investimentos totais.

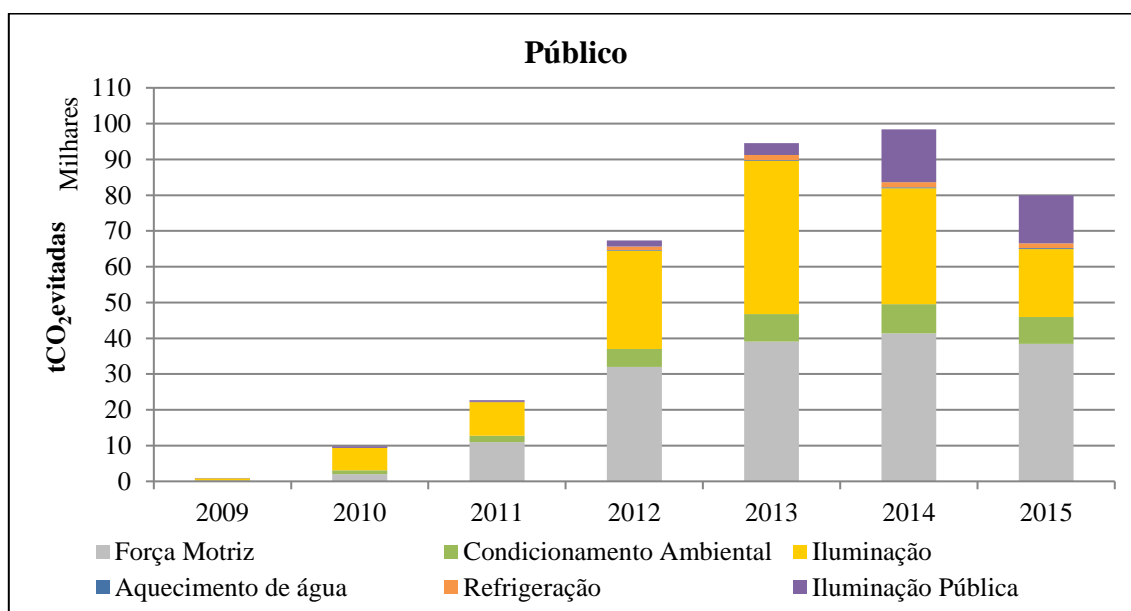


Figura 4.33 - Distribuição das emissões evitadas no setor público conforme o uso final

Para o setor público, observa-se uma diversidade maior de usos finais contemplados em relação aos demais segmentos, com predominância dos sistemas motrizes. Este resultado se confere aos diversos diagnósticos energéticos executados pelo PEE em Estações de Tratamento de Água e Esgoto, que geram economias de energia substanciais e por sua vez, redução de emissões.

O programa destina ações também ao *retrofit* de sistemas de iluminação e condicionamento de ar em hospitais, asilos e prédios públicos, resultando na participação da iluminação e do condicionamento de ar nas emissões evitadas no setor. Há também o investimento em efficientização de pontos de iluminação pública e semafórica que, nos últimos anos tem utilizado a tecnologia LED, ampliando os ganhos energéticos no setor.

• Impacto médio por período do ano e do dia

Nos resultados alcançados pelo PEE, as emissões evitadas foram decompostas segundo as estações e período do dia (relacionado à geração termelétrica), buscando investigar a influência destes parâmetros (Figura 4.34).

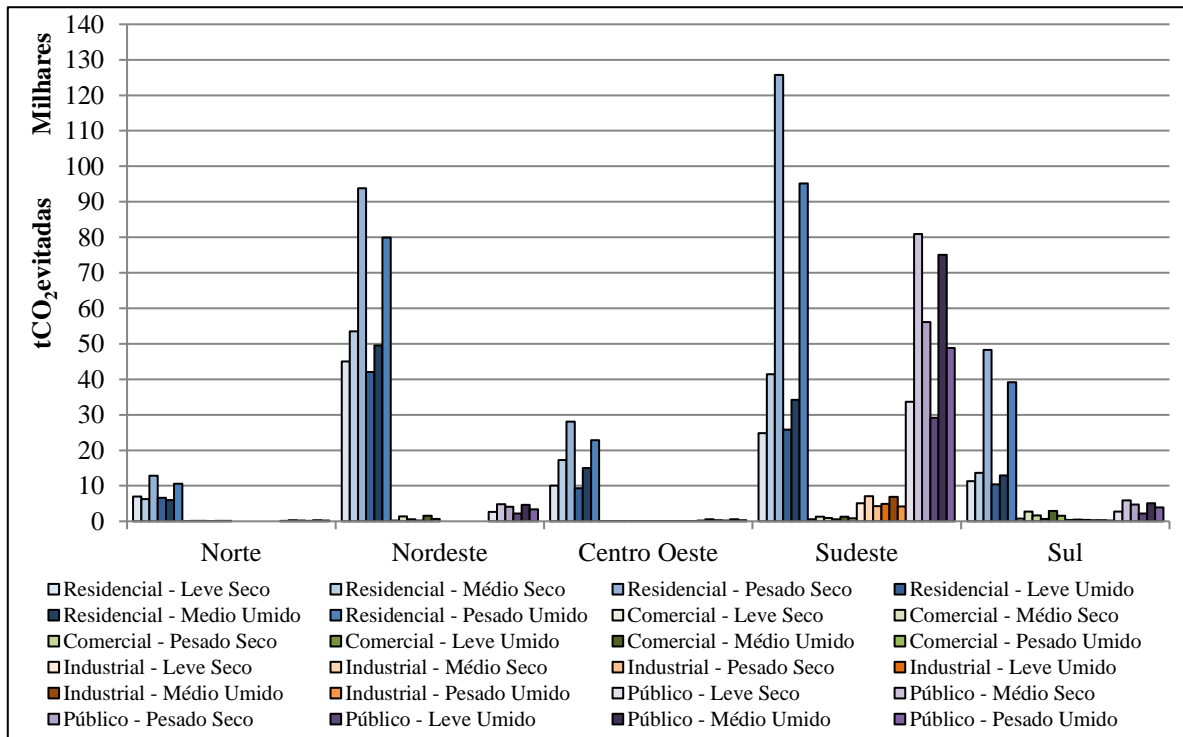


Figura 4.34 - Emissões evitadas pelo PEE desagregadas por setor, conforme a estação e período do dia

A Figura 4.34 mostra uma correlação ótima entre os períodos de maiores emissões evitadas e o comportamento das curvas de carga nos setores correspondentes. Para o setor residencial, foram verificados os maiores impactos no período das 18 às 24 horas (Pesado), coincidindo com a ponta do sistema. Como os fatores de emissão no período seco são relativamente maiores do que no período úmido, as emissões evitadas foram maiores nesta estação.

Para os setores industrial, comercial e público, em todas as regiões foram verificados maiores valores de emissões evitadas no chamado período comercial (Médio), correspondendo ao período de maior carga nestes setores.

Diferentemente do Procel, as emissões evitadas no setor público foram maiores no período médio, dado que para o PEE foram analisados os *retrofits* realizados em prédios públicos, que apresentam maiores cargas neste horário.

4.4.1.3 Resultados – Lei de Eficiência Energética

Do modo semelhante às iniciativas anteriores, a metodologia foi aplicada para cálculo das emissões evitadas pela Lei de Eficiência Energética e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

Ressalta-se aqui que os resultados apresentados correspondem a dados de economia de energia obtidos de trabalhos acadêmicos realizados em diferentes anos, e por isso não contém uma série histórica contínua de informações. Além disso, os equipamentos foram regulamentados pela lei de forma gradual, em diferentes anos (Figura 3.1). A Figura 4.35 mostra os resultados obtidos para os diferentes anos e equipamentos.

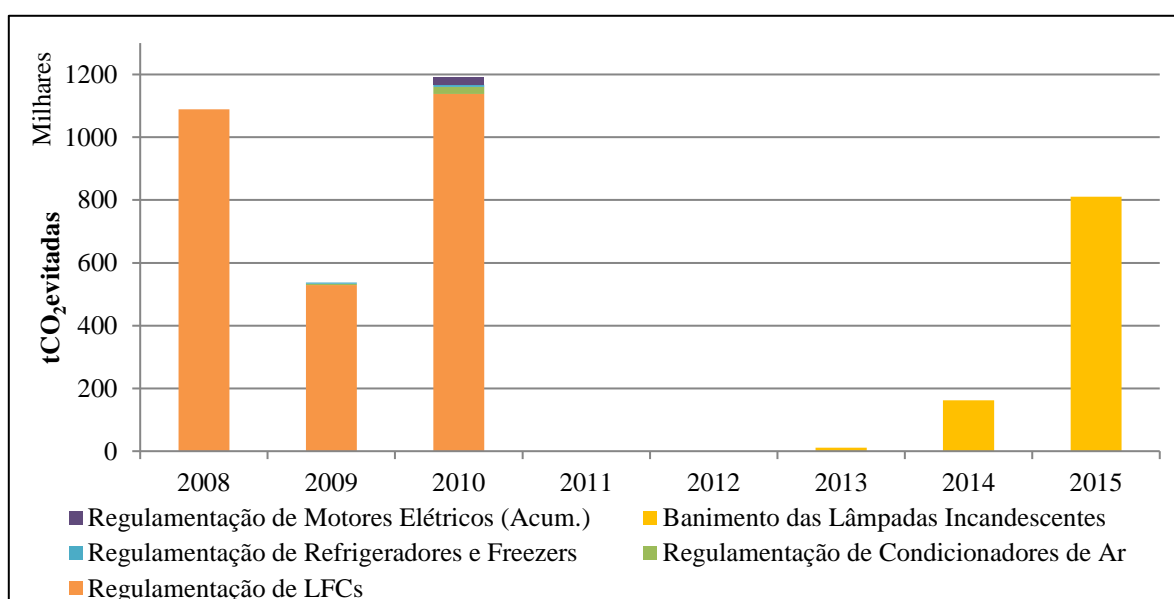


Figura 4.35 - Emissões evitadas pelas ações executadas no âmbito da Lei de Eficiência Energética para os dados analisados entre 2008-2015

Assim como o Procel e o PEE, as ações executadas no âmbito da Lei 10.295 apresentam desempenho superior para os sistemas de iluminação (3,741 MtCO₂ evitadas), com uma participação menor de refrigeração e condicionamento ambiental (com aproximadamente 11.338,1 tCO₂ e 25.284,8 tCO₂ evitadas, respectivamente). No entanto, considerando o crescimento expressivo que ocorreu no mercado de condicionadores de ar nos últimos cinco anos (Figura 2.6), estima-se que a lei tenha desempenhado papel fundamental em termos de melhoria de eficiência dos equipamentos comercializados e por consequência, nas emissões evitadas durante este período.

Para os motores elétricos trifásicos, foram encontrados dados na literatura de economia de energia acumulada pela regulamentação em 2010. Aplicando a metodologia proposta, estima-se que foram evitadas as emissões de 23.844,8 tCO₂ por estes sistemas motrizes. Ressalta-se, porém que este resultado não considera as economias de energia anuais, nem as variações nos fatores de emissão

entre 2003 e 2010 (período entre a comercialização dos equipamentos regulamentados pelo Decreto nº 4.508/2002).

- **Resultados da amostra por região**

A Figura 4.36 apresenta a divisão regional e setorial dos resultados encontrados.

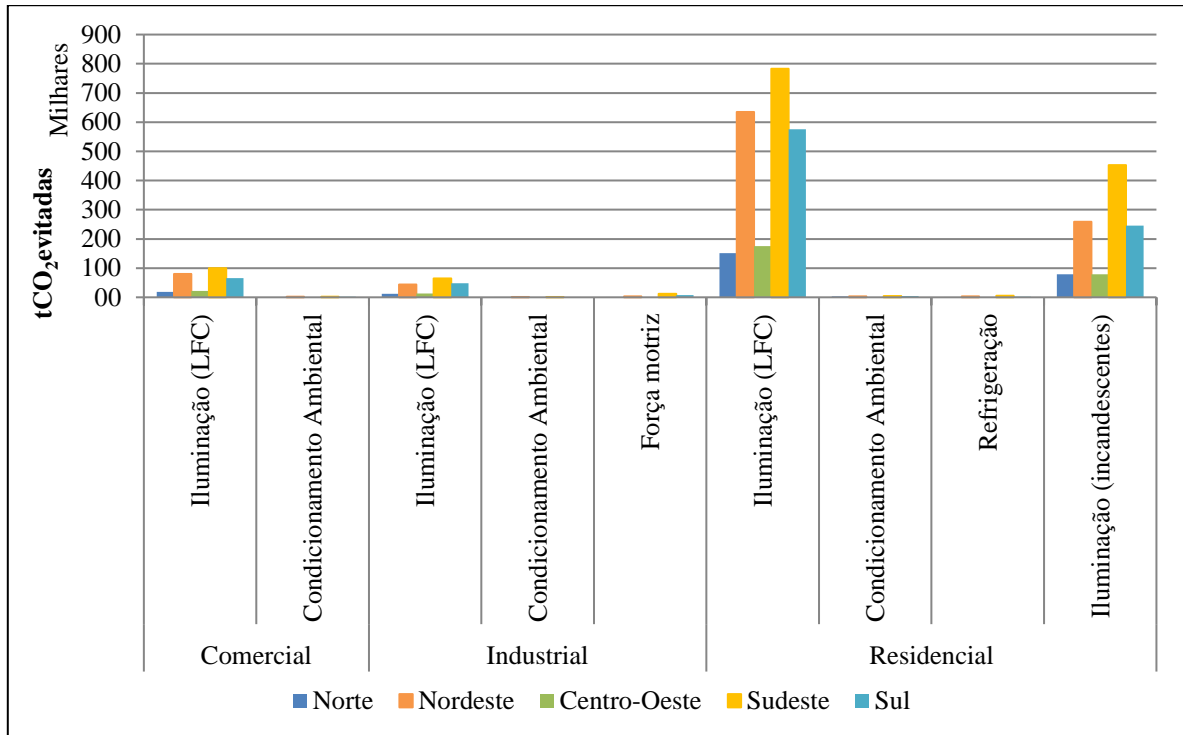


Figura 4.36 - Emissões evitadas pela Lei de Eficiência Energética por setor, região e uso final

Assim como as demais iniciativas, os maiores ganhos ambientais são encontrados na região Sudeste, seguida das regiões Nordeste e Sul. Como a iluminação é responsável por 72,5% dos resultados avaliados para a lei neste trabalho e o segmento residencial concentra a maioria do parque de lâmpadas no Brasil, este setor apresentou o melhor desempenho dentre os avaliados.

- **Impacto por período do dia e do ano**

A Figura 4.37 apresenta a avaliação das emissões de acordo com o período do dia e do ano. Para este caso, como a iluminação concentra a maior parte dos resultados, este uso final influenciará no perfil das emissões diárias. Para o setor residencial, por exemplo, as melhores taxas foram encontradas no período Pesado (seco), correspondendo ao comportamento da curva de carga típica do setor, onde há predominância do uso de iluminação neste horário. Para os setores comercial e industrial, diferentemente das demais iniciativas, não há variações significativas entre as emissões nos períodos do dia estudados, visto que em ambos o uso de iluminação pouco varia durante todo o dia.

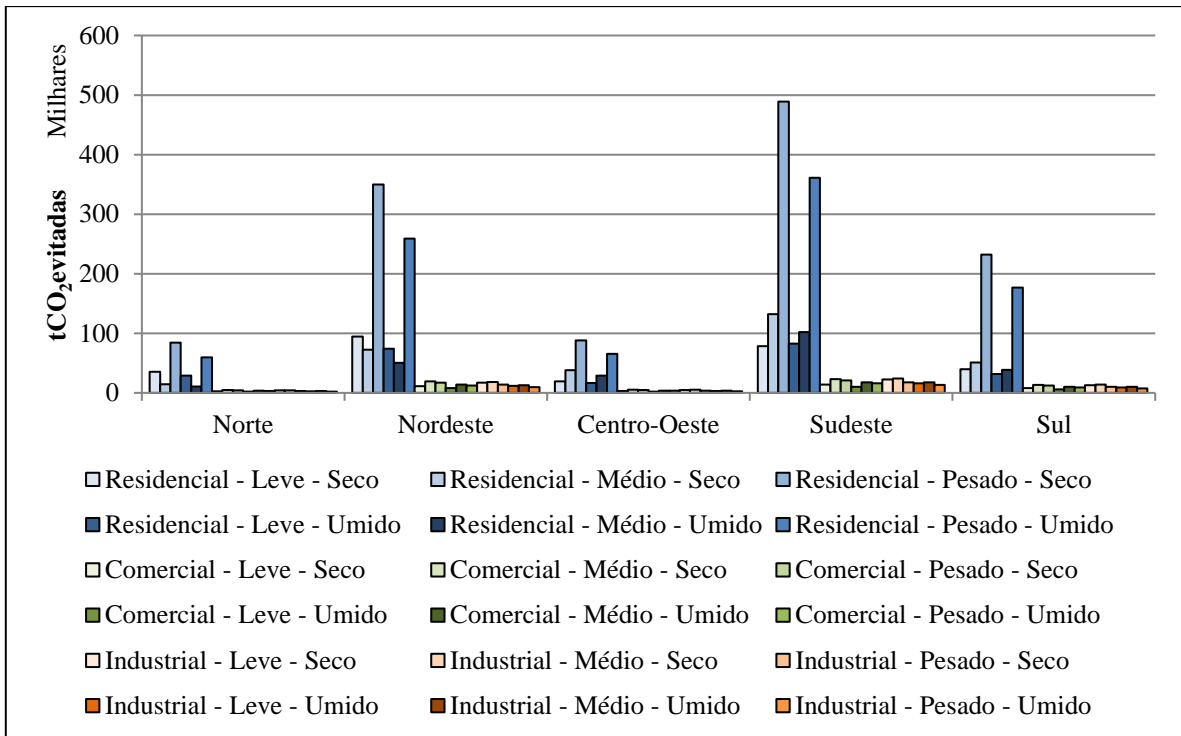


Figura 4.37 - Emissões evitadas pela Lei 10.295/2001, desagregadas por setor, conforme a estação e período do dia

4.5 RESULTADOS GERAIS

Como resultado deste trabalho, foram encontrados valores de emissões evitadas da ordem de 26,2 MtCO₂ para o Procel; 1,42 MtCO₂ para o PEE; e de 3,8 MtCO₂ para a Lei de Eficiência Energética, distribuídas entre os setores conforme a Figura 4.38. Como os resultados do PEE correspondem a uma amostra do programa, estima-se que estes sejam até 70,0% maiores.

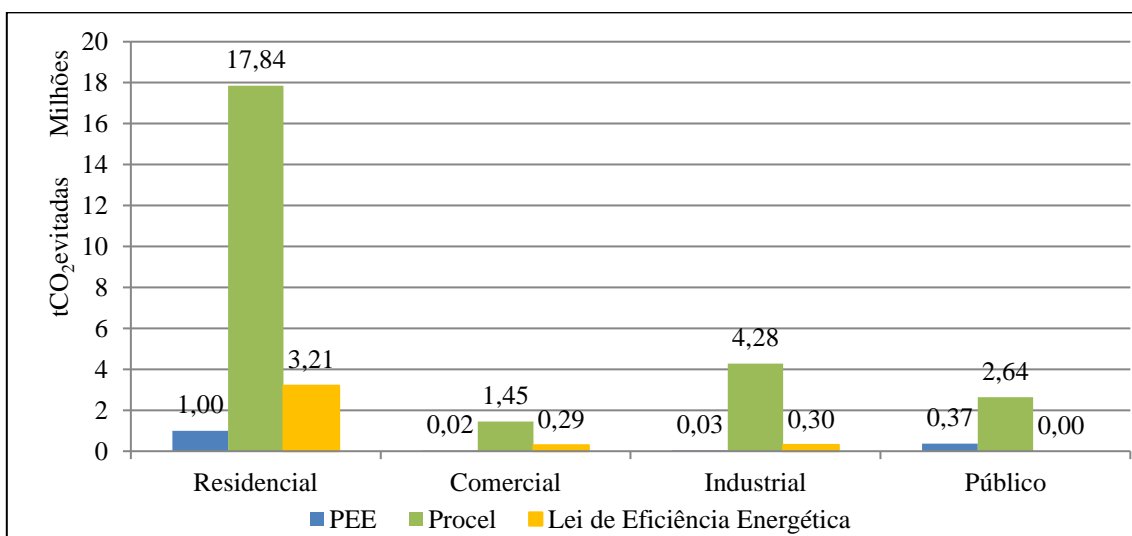


Figura 4.38 - Resultados finais do Procel (2003-2013), PEE (2009-2015) e Lei de Eficiência Energética (2003*-2015)

Porém, não se considera aqui a interferência de um mecanismo no resultado do outro, pois, admitindo que o PEE distribua equipamentos mais eficientes nos diversos segmentos, mas principalmente no residencial, é provável que estes possuam o selo Procel, que por sua vez, muda os parâmetros de avaliação dos equipamentos contemplados pelo programa sempre que a Lei de Eficiência Energética estabelece um novo índice máximo de consumo ou mínimo de eficiência.

No entanto, ressalta-se aqui a importância do PEE como fundo de recursos para implementação das ações de eficiência energética. Logo, se não houvesse esse mecanismo, provavelmente o consumidor que recebe a ação do programa, que em sua maioria constitui a população de menor renda, não optaria pela compra do equipamento mais eficiente, uma vez que estes muitas vezes são mais caros. Desse modo, há influência do Procel nos resultados do PEE, e vice-versa, tornando complexo mensurar os resultados de cada iniciativa de forma isolada.

Da mesma forma, as ações estabelecidas pela Lei de Eficiência retiram do mercado os equipamentos menos eficientes, melhorando a eficiência do mercado como um todo e aumentando os níveis de economia. Assim, percebe-se que há uma ação mútua entre as iniciativas.

4.6 VALIDAÇÃO DO MODELO

Buscando analisar as diferenças entre a metodologia proposta neste trabalho e a utilizada pelo Procel para estimar seus benefícios ambientais, foi realizado um comparativo para se determinar as variações entre as medidas (Tabela 4.4):

Tabela 4.4 - Comparativo dos resultados alcançados pela metodologia proposta e o reportado pelo PROCEL.

Ano	PROCEL			PEE		
	Metodologia Proposta (tCO ₂ evitada) (a)	Metodologia Procel (tCO ₂ evitada) (b)	Variação (a/b)	Metodologia Proposta (tCO ₂ evitada) (a)	Metodologia Procel (tCO ₂ evitada) (b)	Variação (a/b)
2008	1.571.056	207.851	7,56	-	-	-
2009	1.022.414	134.023	7,63	4.694,70	718,21	6,54
2010	2.013.502	313.880	6,41	35.985,75	6.104,47	5,89
2011	1.473.341	193.505	7,61	60.387,23	8.903,44	6,78
2012	3.459.106	579.380	5,97	219.638,24	40.105,86	5,48
2013	4.611.071	928.541	4,97	352.786,01	78.133,55	4,52
2014	4.717.188	1.328.036	3,55	400.931,78	122.899,50	3,26
2015	4.587.425	1.437.442	3,19	353.379,85	107.474,56	3,29
	Média		6,21			5,11

Os resultados acima indicam um alcance de resultados em média 6,21 vezes maior do que os estimados anualmente pelo Procel. Assim como para o Procel, houve diferenças significativas entre os valores encontrados aplicando as diferentes metodologias para o PEE, com uma variação média de 5,11.

De fato, por ser tratar de uma proposta metodológica que busca aprofundar o processo de contabilização das emissões, esperava-se que os resultados fossem maiores. Ao considerar o período do dia em que a economia ocorre, visto que há uma geração térmica e, por sua vez, um fator de emissão maior ou menor associado, a precisão do modelo aumenta significativamente.

Sabe-se, por exemplo, que a geração térmica na ponta é maior do que nos demais horários. Logo, se um equipamento é utilizado com maior frequência neste horário, a economia de energia em si já é maior. Associada a um fator de emissão horário que é alto, as emissões evitadas são ainda maiores.

Além disto, a contabilização realizada pelo Procel considera um fator de emissão anual médio. Sendo assim, são ignorados tanto os valores mínimos quanto os valores máximos de emissão, o que confere uma porcentagem de erro e incerteza ao método, fato que pode ampliar ainda mais essa diferença.

Considerando as grandes discrepâncias entre os resultados das metodologias discutidas, faz-se necessária a validação dos dados encontrados, a partir de iniciativas internacionais e dados encontrados na literatura. A Tabela 4.5 apresenta um comparativo entre os valores de $tCO_{2\text{evitado}}/MWh_{\text{economizado}}$ resultantes neste trabalho e valores reportados por programas de eficiência energética internacionais.

Tabela 4.5 - Valores de $tCO_{2\text{evitado}}/MWh_{\text{economizado}}$ para diferentes iniciativas em eficiência energética

Iniciativa	País	Método	tCO₂/MWh	Fonte:
Procel	Brasil	Método Procel (Fator de emissão médio)	0,064	Relatórios do programa
	Brasil	Metodologia proposta (Baseada na análise do despacho)	0,332	Calculado neste trabalho
Programa de Eficiência Energética da ANEEL (PEE)	Brasil	Método Procel (Fator de emissão médio)	0,075	Calculado neste trabalho
	Brasil	Metodologia proposta (Baseada na análise do despacho)	0,329	Calculado neste trabalho
Energy Star (2014)	Estados Unidos	Considera as variações no Despacho Térmico	0,833	EPA (2015b, 2016)
Energy Saving Trust (2013)	Reino Unido	Método SAP: considera o comportamento do consumidor, características da instalação e os fatores de emissão marginais.	0,496	EST (2016)
IDAE – Programa de Substituição de lâmpadas (2010)	Espanha	Não especificado	1,727	Ministério da Indústria, Energia e Turismo Espanhol (2014)

A análise da Tabela 4.5 e de valores da Tabela 2.8 (Capítulo 2.7) demonstra que os valores resultantes deste trabalho se encontram dentro de um limite de valores internacionais conhecidos, o que os torna plausíveis, mesmo com a grande diferença para os resultados obtidos pela metodologia utilizada pelo Procel.

Sendo a matriz elétrica brasileira predominantemente renovável e distinta da média mundial (que é predominantemente fóssil), os valores encontrados ficaram abaixo dos valores típicos para a matriz dos Estados Unidos, por exemplo, cuja participação de renováveis é apenas de 12,6% (EPA, 2015a), confirmando a admissibilidade dos dados.

De todo modo, por se tratar de uma proposta metodológica, recomenda-se investigar em estudos futuros quais os fatores que podem contribuir para ampliação do efeito mitigatório das iniciativas de eficiência energética no campo das reduções de emissões, tais como uma melhor caracterização dos padrões de consumo e participação dos diversos usos finais em cada setor econômico.

5 CONCLUSÕES

Os resultados do presente estudo, alocando ao longo da curva de carga as estimativas de economia de energia decorrentes das medidas de fomento à eficiência energética, reforçam os resultados já obtidos no Brasil e confirmam o potencial dessas medidas como instrumento de mitigação e adaptação à mudança do clima.

Dada à limitação dos dados e de publicações oficiais que estimam as economias de energia provenientes das ações de eficiência energética, não foi possível estabelecer uma série histórica homogênea entre as três metodologias avaliadas.

Para o Procel, foram avaliadas suas principais iniciativas (Procel Selo e Reluz) no período de 2001 a 2015, constituindo a maior base de dados e por consequência, os maiores resultados.

Para o PEE, foi avaliado o período de 2009 a 2015, considerando uma amostra de 28,0% dos projetos executados. Porém, considerando que o manual de procedimentos do programa foi lançado em 2008, há a possibilidade de que os resultados reportados pelas concessionárias em anos anteriores não apresentem valores confiáveis de economias de energia. Sendo assim, mesmo não considerando a totalidade dos projetos, a amostra foi avaliada em um período cujos resultados são mais consistentes e representativos.

Por outro lado, para os resultados relativos à Lei de Eficiência Energética, não foi possível estabelecer uma série de dados completa. Apesar de não haver sido considerada a continuidade das ações após 2010 para a maioria dos equipamentos regulamentados, neste mesmo período, a análise inclui o banimento das lâmpadas incandescentes do mercado, que trouxe importantes benefícios energéticos e ambientais para o Brasil. Sendo assim, sugere-se que, em trabalhos futuros seja realizada uma expansão dos dados para esta iniciativa e contabilização de suas emissões.

A metodologia desenvolvida abre espaço para a discussão de novas alternativas para calcular e estimar a contribuição ambiental da eficiência energética no Brasil. De fato, é necessário o desenvolvimento de métricas adaptadas ao contexto nacional e que considerem as características e peculiaridades das regiões e setores econômicos do país, de grandes proporções territoriais, para reproduzir de forma mais adequada o cenário real de economia de energia e emissões pois, como foi verificado neste estudo, a distribuição regional das economias, ao ser relacionada à curva de carga regional, influencia nos resultados finais do modelo, aumentando ou diminuindo as contribuições dos usos finais em cada período do dia ou do ano.

Os resultados alcançados pela metodologia proposta neste estudo foram significativamente mais elevados que os resultados reportados conforme a metodologia utilizada pelo Procel. Embora existam incertezas relacionadas às variáveis consideradas, o método proposto pode ser considerado mais aderente à realidade, já que efetivamente a energia economizada acontece em períodos relativamente conhecidos, geralmente nas regiões de carga elevada do sistema, cujos fatores de emissão são compreensivelmente mais altos. Assim, se evidencia que os impactos positivos de uma importante iniciativa como o Procel estariam sendo subestimados, indicando a necessidade de se investir mais e melhor nas ações que promovem o uso racional de energia no país, não só buscando os benefícios energéticos já conhecidos e contabilizados, mas também como importante instrumento ambiental.

Os resultados obtidos sinalizam que as iniciativas de eficiência energética no Brasil possuem um potencial vasto para contribuir com a redução das emissões globais, cabendo observar que:

- Os maiores impactos ambientais positivos foram no setor residencial, que atualmente é responsável por apenas 24,0% do consumo de eletricidade total. Se forem implementadas ações em segmentos energo-intensivos como a indústria, o potencial de economia de energia será maior. No entanto, as indústrias distribuem seu consumo energético ao longo do dia e muitas vezes reduzem o consumo de eletricidade no horário de ponta, minimizando o efeito de mitigação das emissões constatado neste estudo.
- Os resultados alcançados em economia de energia se concentram basicamente em iluminação e refrigeração, usos finais em que têm sido promovidos aperfeiçoamento tecnológicos relevantes. Entretanto, a maioria²⁴ dos domicílios no Brasil ainda utiliza os chuveiros elétricos, responsáveis pelos picos de carga no setor residencial. Considerando a ampla disponibilidade de irradiação solar no país, a substituição destes dispositivos por aquecedores solares poderia expandir os resultados de modo importante a economia de energia e o seu correspondente benefício ambiental.

No entanto, ainda é preciso que as iniciativas governamentais em consonância com os órgãos e gestores dos programas de eficiência energética, estabeleçam regulamentos que promovam maior efetividade a estas iniciativas. A destinação de recursos pelo PEE deve priorizar setores em que o custo-benefício dos projetos é mais atrativo, visto que este é o principal fundo para investimento em eficiência energética no país. Para o Procel, poderiam ser criados incentivos financeiros e subsídios

²⁴ Ver Naspolini *et al* (2010).

tais como a redução de impostos para a compra de equipamentos com o selo que, conforme Oliveira & Rebellato (2015), promoveriam um aumento significativo na efetividade das ações.

Concluindo, é oportuno listar algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Sugere-se que em estudos futuros a amostra de dados de economias de energia para o PEE e para a Lei de Eficiência Energética sejam estendidas aos períodos não calculados neste estudo, considerando os diferentes equipamentos, setores e regiões, a fim de se consolidar o banco de dados proposto inicialmente.
- O cálculo dos fatores de consumo poderia ser realizado a partir de curvas de cargas diferenciadas para os dias úteis e finais de semana, a fim de se avaliar a influência dos padrões de consumo nos resultados do modelo.
- Recomenda-se a execução de uma análise de incertezas do modelo proposto, visando a determinação da precisão e identificação de pontos onde possam ser realizadas melhorias.
- Empregando a metodologia proposta, podem ser desenvolvidos estudos prospectivos em cenários de médio e longo prazo, considerando por exemplo a crescente adoção de condicionadores de ar e máquinas de lavar, bem como explorando o impacto de tarifas horárias e o conseqüente deslocamento das cargas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Panorama de HVAC-R – Brasil 2015**, 2015. Disponível em: <<http://www.abrava.com.br/arquivos/3/5d094289826f5b909aa5cc9aae7fb0fe.pptx>> Acesso em 25 de abril de 2016.
2. 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**, nº 37, p. 5208-5220, 2009.
3. ALMEIDA, M. A.; SCHAEFFER, R.; LA ROVERE, E. L. *The potential for electricity conservation and peak load reduction in the residential sector of Brazil*. **Energy**, nº 26, p. 413-429, 2001.
4. ACEEE, American Council of Energy-Efficient Economy. **The 2014 International Energy Efficiency Scorecard**. Julho de 2014. Disponível em: < <http://aceee.org/research-report/e1402>> Acesso em 25 de abril de 2016.
5. ANEEL, **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 2ª ed., Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>> Acesso em 15 de março de 2016.
6. _____. **Informações Técnicas de Eficiência Energética** (Site oficial). Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27> > Acesso em 06 de setembro de 2015.
7. _____. “Uma questão de foco”. **Revista de Eficiência Energética da ANEEL**. 1ª edição. Brasília-DF: ANEEL, Agosto de 2013. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoLivros2013revista_efici%C3%Aancia_energetica.cfm> Acesso em 12 de novembro de 2014.
8. _____. **Resolução Normativa 414/2010: atualizada até a REN 499/2012**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília – DF: ANEEL, 2012.
9. _____. **Resolução Normativa nº 482/2012**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília – DF: ANEEL, 2012.

10. BASTOS, F. C. **Análise da política de banimento de lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro**. 2011. 117 p. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, 2011.
11. BATISTA, H. G. Entenda a crise no setor energético. **O Globo**, Rio de Janeiro, 25 de março de 2014. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/economia/entenda-crise-no-setor-eletrico-11977540>> Acesso em 05 de dezembro de 2014.
12. BERMANN, C. A perspectiva da sociedade brasileira sobre a definição e implementação de uma política energética sustentável – uma avaliação política oficial. In: ORTIZ, L. S. (Org.). Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética. Fundação Heinrich Böll. Campo Grande: Coalizão Rios Vivos, 2002.
13. BORGSTEIN, E. H., LAMBERTS, R. *Developing energy consumption benchmarks for building: Bank branches in Brazil*. **Energy and Buildings**, nº 82, p. 82-91, 2014.
14. BRAGA, N. B. **Gerenciamento pelo lado da demanda em áreas residenciais**. 2014. 68 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.
15. BRASIL. Decreto nº 2.335 de 06 de outubro de 1997. Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências. Brasília-DF: **Diário Oficial da União**, 07 de outubro de 1997.
16. _____. Decreto nº 4.508 de 11 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. Brasília – DF: **Diário Oficial da União**, 12 de dezembro de 2002.
17. _____. Decreto nº 4.059 de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília – DF: **Diário Oficial da União**, 20 de dezembro de 2001 (a).
18. _____. *Intended Nationally Determined Contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2015 (a). Disponível em

<http://www4.unfccc.int/submissions/indc/Submission%20Pages/submissions.aspx>. Acesso em 18 de fevereiro de 2016.

19. _____. Lei 9.991 de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2000.
20. _____. Lei 10.295 de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2001 (b).
21. _____. Lei 12.212 de 20 de janeiro de 2010. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica, altera leis e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2010 (a).
22. _____. Lei 13.203 de 08 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica; institui a bonificação pela outorga; e altera as Leis [...] 9.991, de 24 de julho de 2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica [...]. Brasília – DF: Presidência da República, 2015 (b).
23. _____. Lei 13.280 de 03 de maio de 2016. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Brasília-DF: Presidência da República, 2016.
24. _____. Portaria Interministerial nº 553, de 8 de dezembro de 2005. MME, MCT & MDIC, 2005.
25. _____. Portaria Interministerial nº 132, de 12 de junho de 2006. MME, MCT & MDIC, 2006.
26. _____. Portaria Interministerial nº 362, de 26 de maio de 2007. MME, MCT & MDIC, 2007 (a).
27. _____. Portaria Interministerial nº 363 – MME, MCT & MDIC, 2007 (b).
28. _____. Portaria Interministerial nº 364 – MME, MCT & MDIC, 2007 (c).
29. _____. Portaria Interministerial nº 298 – MME, MCT & MDIC, 2008.
30. _____. Portaria Interministerial nº 238 – MME, MCT & MDIC, 2009.
31. _____. Portaria Interministerial nº 959 – MME, MCT & MDIC, 2010 (b).
32. _____. Portaria Interministerial nº 1007 – MME, MCT & MDIC, 2010 (c).

33. _____. Portaria Interministerial nº1008 – MME, MCT & MDIC, 2010 (d).
34. _____. Portaria Interministerial nº 323 – MME, MCT & MDIC, 2011 (a).
35. _____. Portaria Interministerial nº 324 – MME, MCT & MDIC, 2011 (b).
36. _____. Portaria Interministerial nº 325 – MME, MCT & MDIC, 2011 (c).
37. _____. Portaria Interministerial nº 326 – MME, MCT & MDIC, 2011 (d).
38. _____. Portaria Interministerial nº 104 - MME, MCT & MDIC, 2013.
39. CALILI, R. F. SOUZA, R. C., GALLI, A. ARMSTRONG, M. MARCATTO, A. L. M. *Estimating the cost savings and avoided CO₂ emissions in Brazil by implementing energy eficiente policies*. **Energy Policy**, nº 67, p. 4-15, 2014.
40. CARDOSO, R. B. **Estudo dos impactos energéticos dos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética: Estudo de caso em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos**. 2012. 131 p. Tese (doutorado em Ciências da Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Itajubá, 2012.
41. CARDOSO, R. B., HORTA, L. A. Estimativa dos impactos energéticos e ambientais atribuída aos coletores solares térmicos nas residências brasileiras. **Revista PCH notícias e SHP News**, ano XIII, 49, p. 20-24, 2011.
42. CARVALHO, M. M. Q., LA ROVERE, E. L., GONÇALVES, A. C. M. *Analysis of variables that influence electric energy consumption in commercial buildings in Brazil*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, nº 14, p. 3199-3205, 2010.
43. CBCS, Conselho Brasileiro de Construções Sustentáveis. Desempenho Energético Operacional em Edificações: **Relatório Final - Benchmarking de escritórios corporativos e recomendações para certificação DEO no Brasil**. São Paulo: CBCS, 2015.
44. CIMC, Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC - Brasil. Brasília: 2008.
45. CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Eficiência Energética na Indústria: o que foi feito no Brasil, oportunidades de redução de custos e experiência internacional**. Brasília: CNI/ELETROBRAS/PROCEL, 2009.
46. CUNHA, A. A. R. **Otimização energética em tempo real da operação de sistemas de abastecimento de água**. 2009. 191 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

47. CURSINO, A. Emissões de CO₂ pela geração de eletricidade no Brasil superam em 2014 a previsão do governo para o ano de 2030. **Blog da Mitsidi Projetos**, São Paulo, 02 de abril de 2015. Disponível em: < <http://www.mitsidi.com/emissoes-de-co2-pela-geracao-de-eletricidade-no-brasil-superam-em-2014-a-previsao-da-epe-para-o-ano-de-2030/?lang=pt-br>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.
48. DA COSTA, M. Crise do setor elétrico custou R\$ 105 bi. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 04 de novembro de 2014. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/mercado/2014/11/1542896- crise-do-setor-eletrico-custou-r-105-bi.shtml>> Acesso em 05 de dezembro de 2014.
49. DASOL/ABRAVA, Departamento Nacional de Aquecimento Solar da ABRAVA. **Dados de Mercado – 2013**, 2013. Disponível em: < <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>> Acesso em 30 de maio de 2016.
50. DASOL/ABRAVA, Departamento Nacional de Aquecimento Solar da ABRAVA. **Dados de Mercado – 2014**, 2014. Disponível em: < <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>> Acesso em 30 de maio de 2016.
51. ECOMETRICA. **Electricity-specific emission factors for grid electricity**, 2011. Disponível em: <<http://ecometrica.com/assets//Electricity-specific-emission-factors-for-grid-electricity.pdf>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.
52. ELETROBRAS/PROCEL. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005**: classe Residencial - Relatório Brasil - Sumário Executivo - Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2006.
53. _____. **Pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso, ano base 2005**: classe Comercial – Alta Tensão - Relatório Brasil. Rio de Janeiro: ELETROBRAS; PROCEL, 2008.
54. _____. **Relatório de resultados do Procel 2012** - ano base 2011. Rio de Janeiro, 2012.
55. _____. **Relatório de resultados do Procel 2014** - ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014.
56. _____. **Relatório de resultados do Procel 2015** – ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015.
57. ENERDATA, *Global Energy Statistical Yearbook 2015*, 2015. Disponível em: <<https://yearbook.enerdata.net/>> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.
58. EPA, Environmental Protection Agency. *Energy and Environment – The electricity system* (Website), 2015 (a). Disponível em: < <https://www.epa.gov/energy/electricity-system> > Acesso em 01 de julho de 2016.

59. _____. *Energy Star overview of 2015 achievements*, 2016. Disponível em: < <https://www.energystar.gov> > Acesso em 01 de julho de 2016.
60. _____. *Greenhouse Gas Inventory and Tracking in Portfolio Manager*, 2015 (b). Disponível em: < <https://portfoliomanager.energystar.gov/pdf/reference/Emissions.pdf> > Acesso em 01 de julho de 2016.
61. EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2014**: Ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014 (c).
62. _____. **Balanco Energético Nacional 2003**: Ano base 2002. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2003.
63. _____. **Balanco Energético Nacional 2005**: Ano base 2004. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2005.
64. _____. **Balanco Energético Nacional 2009**: Ano base 2008. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2009.
65. _____. **Balanco Energético Nacional 2011**: Ano base 2010. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011(b).
66. _____. **Balanco Energético Nacional 2014**: Ano base 2013. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014 (e).
67. _____. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2015.
68. _____. **Nota Técnica: Análise da Inserção Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2012.
69. _____. **Nota Técnica DEA 10/14: Consumo de Energia no Brasil – Análises setoriais**, Rio de Janeiro: EPE, 2014 (d).
70. _____. **Nota Técnica DEA 13/14: Demanda de Energia 2050**. Empresa Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014 (a).
71. _____. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**, Ano IV, nº 40, Janeiro de 2011. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2011a.
72. _____. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**, Ano VII, nº 77, Fevereiro de 2014. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2014 (b).

73. EST, Energy Saving Trust. *Our Calculations* (Website), 2016. Disponível em: < <http://www.energysavingtrust.org.uk/about-us/our-calculations>> Acesso em 01 de julho de 2016.
74. EVO, Efficiency Valuation Organization. **International Performance Measurement and Verification Protocol - Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings**. Vol. 1. 88 p., 2012.
75. FEDRIGO, N. S., GHISI, E., LAMBERTS, R. Usos finais de energia elétrica no setor residencial brasileiro. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, X/VI, 2009, Natal – RN. **Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**. Natal: p. 1076-1085, 2009.
76. FIRJAN, Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. Quanto custa a Energia Elétrica para a Indústria no Brasil?. **Estudos para o Desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro**, nº 8, agosto de 2011.
77. FREITAS, L.C.; KANEKO, S. *Decomposition of CO₂ emissions change from energy consumption in Brazil: Challenges and policy implications*. **Energy Policy**, nº 39, p. 1495-1504, 2011.
78. FRISCHTAK, C. R. A Matriz de Energia Elétrica Brasileira e a Economia de Baixo Carbono. In: VELLOSO, J. P. dos R. (org.), *Na Crise Global as Oportunidades do Brasil e a Cultura da Esperança*. Rio de Janeiro: Jose Olympio, 2009.
79. GARCIA, R. R. A. **Projeção das emissões de dióxido de carbono (CO₂) da matriz energética do estado de Minas Gerais – 2005-2030**. 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.
80. GHISI, E., GOSCH, S., LAMBERTS, R. *Electricity end-uses in the residential sector of Brazil*. **Energy Policy**, nº 35, p.4107–4120, 2007.
81. GOLDEMBERG, J., LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, nº 21 (59), p. 7-20, 2007.
82. GOLDEMBERG, J.; VILLANUEVA, L.D. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. 3º ed. São Paulo: EDUSP, 2003.
83. GROSSMAN, P. Z. *Energy shocks, Crisis and Policy Process: a review of theory and application*. **Energy Policy**, nº 77, p. 56-69, 2015.

84. GUARDIA, E. C., QUEIROZ, A. R., MARANGON LIMA, J. W. “*Estimation of Electricity Elasticity for Demand Rates and Load Curve in Brazil.*” In: IEEE 2010 Power and Energy Society General Meeting, 2010, Minneapolis – MN. **Proceedings of IEEE 2010 Power and Energy Society General Meeting.** Minneapolis: IEEE, p. 25-29, 2010.
85. HADDAD, J. Uso eficiente da energia: dos incentivos regulatórios recentes até a atual lei de eficiência energética. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 9, Nº 1, 2002.
86. IDEC, Instituto de Defesa do Consumidor. Oito em dez brasileiros identificam selos ambientais, aponta pesquisa. **Site Oficial do IDEC**. 05 de maio de 2016. Disponível em: <<http://www.idec.org.br/em-acao/em-foco/oito-em-dez-brasileiros-identificam-selos-ambientais-aponta-pesquisa>> Acesso em 06 de maio de 2016.
87. INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria n.º 477, de 24 de setembro de 2013. Regulamento Técnico da Qualidade para Lâmpadas LED com dispositivo de controle integrado à base. INMETRO/MDIC, 2013.
88. _____. **Programa Brasileiro de Etiquetagem (site oficial)**. Disponível em: <<http://www2.inmetro.gov.br/pbe/index.php> > Acesso em 25 de novembro de 2014.
89. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Vol 2 – Energy**. Institute for Global Environmental Strategies (IGES): 2006.
90. JANUZZI, G. M.; SCHIPPER, L. *The structure of electricity demand in the Brazilian household sector*. **Energy Policy**, nº 19 (9), p. 879-891, 1991.
91. JARDINI, J. A., TAHAN, C. M. V., GOUVEA, M. R., AHN, S. U., FIGUEIREDO, F.M. *Daily Load Profiles for Residential, Commercial and Industrial Low Voltages Consumers*. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Vol. 15, nº 1, 2000.
92. KEITH, G., HENN, P., BRECEDA, M. ***Estimating the Emission Reduction Benefits of Renewable Electricity and Energy Efficiency in North America: Experience and Methods***. Commission for Environmental Cooperation: Setembro, 2003. Disponível em: <http://www.synapse-energy.com/sites/default/files/SynapseReport.2003-09.CEC_.Emission-Reduction-Benefits-Renewables-and-EE-Estimates.03-18.pdf>
93. LA ROVERE, E. L., AMERICANO, B. B. *Domestic actions contributing to the mitigation of GHG emissions from power generation in Brazil*. **Climate Policy**, nº 2, p. 247-254, 2002.

94. LEAL, A. G. **Sistema para determinação de perdas em redes de distribuição de energia elétrica utilizando curvas de demanda típicas de consumidores e redes neurais artificiais**. 2006. 154 p. Tese (doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas, São Paulo, 2006.
95. LEONELLI, P. A. **Apresentação**. In: Ministério de Minas e Energia - MME, Relatório de Atividades do Comitê Gestor dos Indicadores de Eficiência Energética: 2009-2010. Brasília-DF: Ministério de Minas e Energia, 2011.
96. MARIOTONI, C. A., SANTOS, P. R. *Household-electric equipment diffusion and the impacts in the demand of residential electric energy in Brazil*. **Energy and Buildings**, nº 38, p. 563-567, 2006.
97. MCTI, Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação. **Cálculo dos Fatores de Emissão de CO₂ pela geração de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional do Brasil**. Brasília: MCT, 2007. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0019/19707.pdf>
98. _____. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil - 2012**. Brasília: MCT. 76p, 2013.
99. _____. **Fatores de Emissão de CO₂ de acordo com a ferramenta metodológica: "Tool to calculate the emission factor for an electricity system, versão 04.0 e anteriores" aprovada pelo Conselho Executivo do MDL**. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/303069/Arquivos_dos_Fatores_de_Emissao_da_Margem_de_Operacao_pelo_Metodo_da_Analise_de_Despacho.html> Acesso em 18 de fevereiro de 2016.
100. MENDONÇA, M. J. C., GUTIEREZ, M. B. S. “*O Efeito Estufa e o Setor Energético Brasileiro*”. **Texto para discussão Nº 719 - IPEA**. Rio de Janeiro, 2000.
101. Ministry of Industry, Energy and Tourism of Spain. **2014–2020 National Energy Efficiency Action Plan**, 2014. Disponível em: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_neeap_en_spain.pdf> Acesso em 01 de julho de 2016.
102. MIRANDA, R. F. C., SZKLO, A., SCHAEFFER, R. *Technical-economic potential of PV systems on Brazilian rooftops*. **Renewable Energy**, nº 75, p. 649-713, 2015.
103. MITSCHER, M., RUTHER, R. *Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil*. **Energy Policy**, nº 49, p. 688-694, 2012.

104. MME, Ministério de Minas e Energia. Balanço de Energia Útil 2005: Ano base 2004. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2005.
105. _____. Plano Nacional de Eficiência Energética 2030 – Premissas e Diretrizes Básicas na Elaboração do Plano. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010.
106. _____. Relatório de Atividades do Comitê Gestor dos Indicadores de Eficiência Energética: 2002-2008. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2009.
107. _____. Relatório de Atividades do Comitê Gestor dos Indicadores de Eficiência Energética: 2009-2010. Brasília-DF: Ministério de Minas e Energia, 2011.
108. NASPOLINI, H. F., MILITÃO, H. S. G., RUTHER, R. *The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil* **Energy Conversion and Management**, nº 51, p. 2835-2845, 2010.
109. NASPOLINI, H. F., RUTHER, R. *Assessing the technical and economic viability of low-cost domestic solar hot water systems (DSHWS) in low-income residential dwellings in Brazil* **Renewable Energy**, nº 48, p. 92-99, 2012.
110. NOGUEIRA, L. A. H., CARDOSO, R. B., CAVALCANTI, C. Z. B., LEONELLI, P. A. *Evaluation of the energy impacts of the Energy Efficiency Law in Brazil*. **Energy for Sustainable Development**, nº 24, p. 58-69, 2015.
111. OLIVEIRA, M. H. F.; REBELATTO, D. A. N. *The evaluation of electric energy consumption in the Brazilian residential sector: A technological improvement proposal* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, nº 49, p. 836-844, 2015.
112. ONS, Operador Nacional do Sistema. **Histórico da Operação** – Geração de energia. Disponível em: < http://www.ons.org.br/historico/geracao_energia.aspx> Acesso em janeiro de 2016.
113. PACALA, S. SOCOLOW, R. *Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies*. **Science**, Vol. 305, nº 5686, p. 968-972, 2004.
114. PEREIRA, R. Crise se espalha por todo o setor elétrico. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 20 de julho de 2014. Disponível em:<<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,crise-se-espalha-por-todo-o-setor-eletrico,1531656>> Acesso em 05 de dezembro de 2014.

115. PIA/IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e **Estatística. Pesquisa Industrial Anual Empresa** – Séries Estatísticas – Estabelecimentos industriais de 2003-2013. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pia/default.asp?o=16&i=P>>
116. PINTO JR., A. V. GUEDES, J. C. S. Análise do impacto do uso do aquecimento solar para o setor elétrico. In: VASCONCELLOS, L. E. M., LIMBERGER, M. A. C. (Org.), Energia solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobras/Procel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.
117. PNAD/IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005.
118. PNAD/IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios** – Séries Estatísticas – Domicílios particulares permanentes por posse de geladeira de 2001-2011. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?no=6&op=0&vcodigo=PD279&t=domicilios-particulares-permanentes-posse-geladeira>>
119. POF/IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Orçamentos Familiares** – Posse de Ar Condicionado. Rio de Janeiro: IBGE, 2003.
120. POOLE, A. D., HOLLANDA, J. B., TOLMASQUIM, M. T. **Conservação de Energia e Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Rio de Janeiro: INEE, Novembro de 1998. Disponível em: <http://camarasambientais.cetesb.sp.gov.br/wpcontent/uploads/sites/28/2014/05/conservacao_energia_gee.pdf> Acesso em 20 de junho de 2016.
121. RAMOS, C. O futuro da energia no Brasil é renovável. **O Estado de S. Paulo**, São Paulo, 06 de fevereiro de 2015. Disponível em: <<http://opinioao.estadao.com.br/noticias/geral,o-futuro-da-energia-no-brasil-e-renovavel-imp-,1630359>> Acesso em 05 de março de 2015.
122. SEEG, Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. *Nota metodológica – Setor de Energia*. São Paulo: Instituto de Energia e Meio Ambiente, 2015.
123. SILVA, L. L. F. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais**. 2006. 161 p. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2006.

124. SOUZA, H. M. LEONELLI, P. A., PIRES, C. A. P., SOUZA JUNIOR, V. B., PEREIRA, R. W. L. *Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil*. **Revista Brasileira de Energia**, Vol. 15 – Nº 1, p. 7-26, 2009.
125. TSUTYIA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997, Foz do Iguaçu-PR. **Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Foz do Iguaçu: ABES, p. 2611-2625, 1997.
126. WACHSMANN, U.; WOOD, R.; LENZEN, M.; SCHAEFFER, R. *Structural decomposition of energy use in Brazil from 1970 to 1996*. **Applied Energy**, nº 86, p. 578-587, 2009.

7 PUBLICAÇÕES

1. SANTOS, I. F. S., **VIEIRA, N. D. B.** *Análise de sensibilidade e elasticidade econômica de um aproveitamento energético em aterro sanitário* In: 1º Seminário de Recursos Naturais, Sustentabilidade e Tecnologias Ambientais, 2014, Itajubá - MG.
2. **VIEIRA, N. D. B.**, SANTOS, I. F. S. *Dimensionamento e Análise Multicritério de sistemas de lodos ativados para o município de Itajubá-MG.* Revista Brasileira de Energias Renováveis. v.4, p.31 - , 2015.
3. **VIEIRA, N. D. B.**, PRADO FILHO, J. F, SANTOS, L. M. M., SANTOS, I. F. S. *Inventário de gases de efeito estufa utilizando o Programa Brasileiro GHG Protocol em uma empresa de montagens industriais* In: 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015, Rio de Janeiro - RJ.
4. SANTOS, R. E. R., ASTORGA, O. A. M., **VIEIRA, N. D. B.**, REIS, K. F., HADDAD, J. *Análise do Desempenho Energético do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL* In: CLAGTEE 2015 - XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, 2015, São José dos Campos.
5. SANTOS, I. F. S., **VIEIRA, N. D. B.**, BARROS, R. M., TIAGO FILHO, G. L. *Equacionamento para determinação das máximas vazões a serem implantadas em PCHs economicamente viáveis* In: CLAGTEE 2015 - XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, 2015, São José dos Campos - SP.
6. **VIEIRA, N. D. B.**, SANTOS, I. F. S. *Solar Energy Harvesting for Water Heating and Photovoltaic Generation in a Nursing Home in Minas Gerais* In: CLAGTEE 2015 - XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, 2015, São José dos Campos.
7. SANTOS, I. F. S., **VIEIRA, N. D. B.**, OLIVEIRA, M., BARROS, R. M., TIAGO FILHO, G. L. *Uso de biogás de aterros sanitários para geração de eletricidade: Um estudo dos custos de implantação* In: CLAGTEE 2015 - XI Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission, 2015, São José dos Campos - SP.
8. SANTOS, I. F. S., BERNAL, A., FEST, G., DINIZ, N., COSTA, C., **VIEIRA, N. D. B.** *Aplicação do método dos mínimos quadrados para resolução de testes de bombeamento em poços tubulares.* In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília-DF.

9. SANTOS, I. F. S., VIEIRA, N. D. B. *Aproveitamento energético do biogás gerado em uma ETE anaeróbia em Itajubá - MG: uma avaliação teórica de potencial e custos* In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília - DF.

TRABALHOS ACEITOS PARA PUBLICAÇÃO:

1. SANTOS, I. F. S, VIEIRA, N. D. B., BARROS, R. M., TIAGO FILHO, G. L. SOARES, D. M., ALVES, L. V. *Economic and Environmental analysis of biogas recovery from a WWTP and its use in a small power plant in Brazil* In: 22nd International Sustainable Development Research Society Conference, 2016, Lisboa – Portugal.
2. VIEIRA, N. D. B., SANTOS, I. F. S. *Avaliação do potencial energético do aproveitamento do biogás proveniente da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos (RSU) segundo a faixa populacional.* In: XVII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2016, Florianópolis – SC.
3. SANTOS, I. F. S., VIEIRA, N. D. B., TIAGO FILHO, G. L., BARROS, R. M., SOUZA, A. L. “*Simple modelling for maximum flow rates determination to be applied in economically feasible small hydropower plants*” **American Journal of Hydropower, Water and Environment Systems**, 2016.
4. VIEIRA, N. D. B., SANTOS, I. F. S., HADDAD, J. HORTA NOGUEIRA, L. A. *Análise do alinhamento entre as políticas energéticas e ambientais pela correlação entre os fatores de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN) e a geração termelétrica no Brasil.* In: XX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2016, Gramado-RS.
5. VIEIRA, N. D. B., SANTOS, R. E. R., SILVEIRA, J. M., HADDAD, J. *Avaliação da performance dos indicadores energéticos do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL.* In: XX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2016, Gramado-RS.
6. SANTOS, I. F. S, VIEIRA, N. D. B., BARROS, R. M., TIAGO FILHO, G. L. SOARES, D. M., ALVES, L. V. “*Economic and Environmental analysis of biogas recovery from a WWTP and its use in a small power plant in Brazil*”. **Sustainable Energy Technology and Assessments**.
7. VIEIRA, N. D. B., SANTOS, R. E. R., SILVEIRA, J. M. HADDAD, J. “*Diagnóstico estratégico de projetos de baixa renda no âmbito do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL*” In: XXII SENDI, 2016, Curitiba-PR. (Obs: **Aguardando aprovação**)

ANEXOS

Anexo I - Fatores de consumo - Cenário Conservador

Uso final	Setor	Região	Horários - Estação Seca (Mai-Nov)			Horários - Estação Úmida (Dez-Abr)		
			Leve (00 as 07 horas)	Médio (08 as 17 horas)	Pesado (18 as 24 horas)	Leve (00 as 07 horas)	Médio (08 as 17 horas)	Pesado (18 as 24 horas)
Iluminação	Residencial	N	0,246	0,107	0,648	0,276	0,110	0,614
Iluminação	Residencial	NE	0,169	0,139	0,692	0,182	0,131	0,687
Iluminação	Residencial	CO	0,122	0,261	0,617	0,139	0,261	0,600
Iluminação	Residencial	SE	0,103	0,187	0,710	0,143	0,186	0,671
Iluminação	Residencial	S	0,109	0,156	0,734	0,117	0,156	0,727
Iluminação	Comercial	BRASIL	0,220	0,401	0,379	0,220	0,401	0,379
Iluminação	Público	BRASIL	0,220	0,401	0,379	0,220	0,401	0,379
Iluminação Pública	Público	BRASIL	0,435	0,130	0,507	0,469	0,141	0,469
Iluminação	Industrial	BRASIL	0,328	0,378	0,294	0,328	0,378	0,294
Refrigeração	Residencial	N	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Residencial	NE	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Residencial	CO	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Residencial	SE	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Residencial	S	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Comercial	BRASIL	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Público	BRASIL	0,292	0,417	0,292	0,292	0,417	0,292
Refrigeração	Industrial	BRASIL	0,301	0,437	0,262	0,301	0,437	0,262
Condicionamento de ar	Residencial	N	0,450	0,057	0,492	0,450	0,057	0,492
Condicionamento de ar	Residencial	NE	0,538	0,046	0,416	0,538	0,046	0,416
Condicionamento de ar	Residencial	CO	0,566	0,038	0,396	0,566	0,038	0,396
Condicionamento de ar	Residencial	SE	0,351	0,102	0,546	0,351	0,102	0,546
Condicionamento de ar	Residencial	S	0,493	0,039	0,467	0,493	0,039	0,467
Condicionamento de ar	Comercial	BRASIL	0,063	0,675	0,262	0,063	0,675	0,262

Condicionamento de ar	Público	BRASIL	0,063	0,675	0,262	0,063	0,675	0,262
Condicionamento de ar	Industrial	BRASIL	0,309	0,448	0,243	0,309	0,448	0,243
Aquecimento de água	Residencial	N	0,308	0,333	0,359	0,308	0,333	0,359
Aquecimento de água	Residencial	NE	0,254	0,321	0,425	0,254	0,321	0,425
Aquecimento de água	Residencial	CO	0,241	0,261	0,499	0,241	0,261	0,499
Aquecimento de água	Residencial	SE	0,204	0,284	0,512	0,204	0,284	0,512
Aquecimento de água	Residencial	S	0,186	0,275	0,539	0,186	0,275	0,539
Aquecimento de água	Comercial	BRASIL	0,071	0,558	0,371	0,071	0,558	0,371
Aquecimento de água	Público	BRASIL	0,071	0,558	0,371	0,071	0,558	0,371
Aquecimento de água	Industrial	BRASIL	0,346	0,502	0,153	0,346	0,502	0,153
Força motriz	Público	BRASIL	0,152	0,595	0,282	0,152	0,595	0,282
Força motriz	Industrial	BRASIL	0,305	0,442	0,253	0,305	0,442	0,253

Anexo II - Tabela de economias de energia (MWh/ano) decompostas por região e período do ano – PROCEL

Ano	Uso Final	Setor	Num.	NEum.	COum.	SEum.	Sum.	Nseco	NEseco	COseco	SEseco	Sseco	Total
2003	Força motriz	Industrial	393,8	1312,5	787,5	7087,5	3543,8	393,8	1312,5	787,5	7087,5	3543,8	26250,0
2003	Refrigeração	Residencial	10748,9	41933,9	17033,6	108461,0	43967,7	10748,9	41933,9	17033,6	108461,0	43967,7	444290,0
2003	Aquecimento de água	Residencial	0,0	59,8	98,3	1615,1	219,3	0,0	82,6	135,8	2230,4	302,9	4747,5
2003		Comercial	0,0	0,0	33,2	538,4	73,1	0,0	0,0	45,9	743,5	101,0	1582,5
2003	Iluminação	Residencial	13611,1	92555,2	21777,7	92555,2	51722,0	16635,7	113123,0	26617,2	113123,0	63215,8	604936,0
2003		Comercial	1701,4	11569,4	2722,2	11569,4	6465,3	2079,5	14140,4	3327,1	14140,4	7902,0	75617,0
2003		Industrial	1701,4	11569,4	2722,2	11569,4	6465,3	2079,5	14140,4	3327,1	14140,4	7902,0	75617,0
2003	Condicionamento Ambiental	Residencial	6366,8	10186,9	3820,1	32470,7	10823,6	5209,2	8334,7	3125,5	26566,9	8855,6	115760,0
2003		Comercial	1342,7	2148,3	805,6	6847,7	2282,6	1098,6	1757,7	659,1	5602,7	1867,6	24412,5
2003		Industrial	447,6	716,1	268,5	2282,6	760,9	366,2	585,9	219,7	1867,6	622,5	8137,5
2004	Força motriz	Industrial	1172,1	3906,9	2344,1	21097,3	10548,6	1172,1	3906,9	2344,1	21097,3	10548,6	78138,0
2004	Refrigeração	Residencial	12141,0	38974,6	15936,0	99479,9	40083,6	12141,0	38974,6	15936,0	99479,9	40083,6	413230,0
2004	Aquecimento de água	Residencial	0,0	171,7	282,2	4598,0	671,6	0,0	237,1	389,7	6349,6	927,5	13623,8
2004		Comercial	0,0	57,2	95,4	1525,9	228,9	0,0	79,0	131,7	2107,1	316,1	4541,3
2004	Iluminação	Residencial	23172,5	123586,6	30896,6	131310,7	77241,6	28321,9	151050,2	37762,6	160490,9	94406,4	858240,0
2004		Comercial	2896,6	15448,3	3862,1	16413,8	9655,2	3540,2	18881,3	4720,3	20061,4	11800,8	107280,0
2004		Industrial	2896,6	15448,3	3862,1	16413,8	9655,2	3540,2	18881,3	4720,3	20061,4	11800,8	107280,0
2004	Condicionamento Ambiental	Residencial	9575,3	13258,1	2946,2	33881,8	13994,6	7834,3	10847,5	2410,6	27721,4	11450,2	133920,0
2004		Comercial	6322,4	8754,1	1945,4	22371,5	9240,4	5172,9	7162,4	1591,7	18304,0	7560,3	88425,0
2004		Industrial	2107,5	2918,0	648,5	7457,2	3080,1	1724,3	2387,5	530,6	6101,3	2520,1	29475,0
2005	Força motriz	Industrial	1743,3	5811,0	3486,6	31379,4	15689,7	1743,3	5811,0	3486,6	31379,4	15689,7	116220,0
2005	Refrigeração	Residencial	9191,4	29204,1	11811,3	72577,3	29570,9	9191,4	29204,1	11811,3	72577,3	29570,9	304710,0
2005	Aquecimento de água	Residencial	0,0	226,5	337,1	4575,5	708,3	0,0	312,7	465,5	6318,5	978,2	13854,0
2005		Comercial	0,0	77,6	116,4	1532,3	232,7	0,0	107,1	160,7	2116,0	321,4	4618,0
2005	Iluminação	Residencial	22630,0	135779,8	36207,9	171987,7	90519,8	27658,8	165953,0	44254,1	210207,2	110635,4	1005776,0
2005		Comercial	2828,7	16972,5	4526,0	21498,5	11315,0	3457,4	20744,1	5531,8	26275,9	13829,4	125722,0
2005		Industrial	2828,7	16972,5	4526,0	21498,5	11315,0	3457,4	20744,1	5531,8	26275,9	13829,4	125722,0
2005	Condicionamento Ambiental	Residencial	9028,8	12038,4	1805,8	24678,7	12640,3	7387,2	9849,6	1477,4	20191,7	10342,1	109440,0

2005		Comercial	7145,3	9527,1	1429,1	19530,6	10003,5	5846,2	7794,9	1169,2	15979,5	8184,6	86610,0
2005		Industrial	2381,8	3175,7	476,4	6510,2	3334,5	1948,7	2598,3	389,7	5326,5	2728,2	28870,0
2006	Força motriz	Industrial	1403,9	5147,7	2807,8	24802,4	13103,2	1403,9	5147,7	2807,8	24802,4	13103,2	93594,0
2006	Refrigeração	Residencial	36468,6	139796,3	54702,9	297826,9	79015,3	36468,6	139796,3	54702,9	297826,9	79015,3	1215620,0
2006	Aquecimento de água	Residencial	0,0	310,6	510,6	5901,2	967,5	0,0	428,9	705,1	8149,3	1336,1	18268,5
2006		Comercial	0,0	103,5	170,2	1967,1	322,5	0,0	143,0	235,0	2716,4	445,4	6089,5
2006	Iluminação	Residencial	19417,1	103557,8	25889,4	110030,1	64723,6	23732,0	126570,6	31642,7	134481,3	79106,6	719151,2
2006		Comercial	2427,1	12944,7	3236,2	13753,8	8090,5	2966,5	15821,3	3955,3	16810,2	9888,3	89893,9
2006		Industrial	2427,1	12944,7	3236,2	13753,8	8090,5	2966,5	15821,3	3955,3	16810,2	9888,3	89893,9
2006	Condicionamento Ambiental	Residencial	11546,1	14942,0	1358,4	25129,8	14942,0	9446,8	12225,3	1111,4	20560,8	12225,3	123488,0
2006		Comercial	8688,3	11243,7	1022,2	18909,8	11243,7	7108,6	9199,4	836,3	15471,6	9199,4	92922,8
2006		Industrial	2896,1	3747,9	340,7	6303,3	3747,9	2369,5	3066,5	278,8	5157,2	3066,5	30974,3
2007	Força motriz	Industrial	1994,7	7313,9	3989,4	35239,7	17952,3	1994,7	7313,9	3989,4	35239,7	17952,3	132980,0
2007	Refrigeração	Residencial	41389,2	158658,6	62083,8	338011,8	89676,6	41389,2	158658,6	62083,8	338011,8	89676,6	1379640,0
2007	Aquecimento de água	Residencial	0,0	424,9	759,6	7598,9	1318,5	0,0	586,8	1048,9	10493,7	1820,7	24063,0
2007		Comercial	0,0	141,6	253,2	2533,0	439,5	0,0	195,6	349,6	3497,9	606,9	8021,0
2007	Iluminação	Residencial	39517,1	210758,1	52689,5	217344,2	138310,0	48298,7	257593,2	64398,3	265643,0	169045,5	1463597,6
2007		Comercial	4939,6	26344,8	6586,2	27168,0	17288,7	6037,3	32199,1	8049,8	33205,4	21130,7	182949,7
2007		Industrial	4939,6	26344,8	6586,2	27168,0	17288,7	6037,3	32199,1	8049,8	33205,4	21130,7	182949,7
2007	Condicionamento Ambiental	Residencial	15922,0	20344,7	1769,1	30074,8	20344,7	13027,1	16645,7	1447,5	24606,7	16645,7	160828,0
2007		Comercial	14003,0	17892,7	1555,9	26450,0	17892,7	11457,0	14639,5	1273,0	21640,9	14639,5	141444,0
2007		Industrial	4667,7	5964,2	518,6	8816,7	5964,2	3819,0	4879,8	424,3	7213,6	4879,8	47148,0
2008	Força motriz	Industrial	2498,2	9160,0	4996,4	44134,4	22483,6	2498,2	9160,0	4996,4	44134,4	22483,6	166545,0
2008	Refrigeração	Residencial	46690,8	178981,4	70036,2	381308,2	101163,4	46690,8	178981,4	70036,2	381308,2	101163,4	1556360,0
2008	Aquecimento de água	Residencial	47,7	455,9	825,3	6823,2	1777,8	65,8	629,5	1139,8	9422,6	2455,1	23647,5
2008		Comercial	15,9	152,0	275,1	2274,4	592,6	21,9	209,8	379,9	3140,9	818,4	7882,5
2008	Iluminação	Residencial	33774,8	162118,8	54039,6	270198,0	155363,9	41280,3	198145,2	66048,4	330242,0	189889,2	1501100,0
2008		Comercial	4217,6	20244,6	6748,2	33741,0	19401,1	5154,9	24743,4	8247,8	41239,0	23712,4	187450,0
2008		Industrial	4217,6	20244,6	6748,2	33741,0	19401,1	5154,9	24743,4	8247,8	41239,0	23712,4	187450,0
2008	Condicionamento Ambiental	Residencial	46601,5	59196,5	6297,5	79348,5	60456,0	38128,5	48433,5	5152,5	64921,5	49464,0	458000,0

2008		Comercial	15720,4	19969,1	2124,4	26767,1	20394,0	12862,1	16338,4	1738,1	21900,4	16686,0	154500,0
2008		Industrial	5240,1	6656,4	708,1	8922,4	6798,0	4287,4	5446,1	579,4	7300,1	5562,0	51500,0
2009	Força motriz	Industrial	13260,0	48620,0	26520,0	229840,0	123760,0	13260,0	48620,0	26520,0	229840,0	123760,0	884000,0
2009	Refrigeração	Residencial	54616,2	218464,8	72821,6	446032,3	118335,1	54616,2	218464,8	72821,6	446032,3	118335,1	1820540,0
2009	Aquecimento de agua	Residencial	0,0	545,6	1091,2	9547,7	2455,1	0,0	753,4	1506,8	13184,9	3390,4	32475,0
2009		Comercial	0,0	181,9	363,7	3182,6	818,4	0,0	251,1	502,3	4395,0	1130,1	10825,0
2009	Iluminação	Residencial	57024,0	228096,0	57024,0	235224,0	135432,0	69696,0	278784,0	69696,0	287496,0	165528,0	1584000,0
2009		Comercial	7128,0	28512,0	7128,0	29403,0	16929,0	8712,0	34848,0	8712,0	35937,0	20691,0	198000,0
2009		Industrial	7128,0	28512,0	7128,0	29403,0	16929,0	8712,0	34848,0	8712,0	35937,0	20691,0	198000,0
2009	Condicionamento Ambiental	Residencial	50217,5	60789,6	10572,1	79290,8	63432,6	41087,0	49736,9	8649,9	64874,3	51899,4	480550,0
2009		Comercial	18785,7	22740,6	3954,9	29661,6	23729,3	15370,1	18605,9	3235,8	24268,6	19414,9	179767,5
2009		Industrial	6261,9	7580,2	1318,3	9887,2	7909,8	5123,4	6202,0	1078,6	8089,5	6471,6	59922,5
2010	Força motriz	Industrial	14961,6	59846,4	29923,2	254347,2	139641,6	14961,6	59846,4	29923,2	254347,2	139641,6	997440,0
2010	Refrigeração	Residencial	58645,2	234580,8	78193,6	439839,0	127064,6	58645,2	234580,8	78193,6	439839,0	127064,6	1954840,0
2010	Aquecimento de agua	Residencial	131,6	658,2	1316,4	9872,9	1184,7	181,8	908,9	1817,9	13634,0	1636,1	31342,5
2010		Comercial	43,9	219,4	438,8	3291,0	394,9	60,6	303,0	606,0	4544,7	545,4	10447,5
2010	Iluminação	Residencial	58844,2	235376,6	58844,2	242732,2	139754,9	71920,6	287682,6	71920,6	296672,6	170811,5	1634560,0
2010		Comercial	7355,5	29422,1	7355,5	30341,5	17469,4	8990,1	35960,3	8990,1	37084,1	21351,4	204320,0
2010		Industrial	7355,5	29422,1	7355,5	30341,5	17469,4	8990,1	35960,3	8990,1	37084,1	21351,4	204320,0
2010	Condicionamento Ambiental	Residencial	55341,0	70713,5	18447,0	89160,5	73788,0	45279,0	57856,5	15093,0	72949,5	60372,0	559000,0
2010		Comercial	7895,3	10088,4	2631,8	12720,1	10527,0	6459,8	8254,1	2153,3	10407,4	8613,0	79750,0
2010		Industrial	23685,8	30265,1	7895,3	38160,4	31581,0	19379,3	24762,4	6459,8	31222,1	25839,0	239250,0
2010	Ventilação	Residencial	15386,8	37875,2	11836,0	27222,8	14203,2	12589,2	30988,8	9684,0	22273,2	11620,8	215200,0
2011	Força motriz	Industrial	16410,0	65640,0	32820,0	278970,0	153160,0	16410,0	65640,0	32820,0	278970,0	153160,0	1094000,0
2011	Refrigeração	Residencial	81200,0	290000,0	92800,0	556800,0	139200,0	81200,0	290000,0	92800,0	556800,0	139200,0	2320000,0
2011	Aquecimento de agua	Residencial	327,6	819,0	2457,0	11629,8	1146,6	452,4	1131,0	3393,0	16060,2	1583,4	39000,0
2011		Comercial	109,2	273,0	819,0	3876,6	382,2	150,8	377,0	1131,0	5353,4	527,8	13000,0
2011	Iluminação	Residencial	63090,9	231333,3	49070,7	224323,2	133191,9	77111,1	282740,7	59975,3	274172,8	162790,1	1557800,0
2011		Comercial	7879,3	28890,7	6128,3	28015,2	16634,0	9630,2	35310,8	7490,2	34240,8	20330,5	194550,0
2011		Industrial	7879,3	28890,7	6128,3	28015,2	16634,0	9630,2	35310,8	7490,2	34240,8	20330,5	194550,0

2011	Condicionamento Ambiental	Residencial	54230,0	70180,0	28710,0	92510,0	73370,0	44370,0	57420,0	23490,0	75690,0	60030,0	580000,0
2011		Comercial	25806,0	42504,0	7590,0	42504,0	33396,0	21114,0	34776,0	6210,0	34776,0	27324,0	276000,0
2011		Industrial	8602,0	14168,0	2530,0	14168,0	11132,0	7038,0	11592,0	2070,0	11592,0	9108,0	92000,0
2011	Ventilação	Residencial	24871,0	45353,0	13167,0	46816,0	16093,0	20349,0	37107,0	10773,0	38304,0	13167,0	266000,0
2012	Força motriz	Industrial	17865,0	65505,0	35730,0	303705,0	172695,0	17865,0	65505,0	35730,0	303705,0	172695,0	1191000,0
2012	Refrigeração	Residencial	92435,0	343330,0	105640,0	620635,0	158460,0	92435,0	343330,0	105640,0	620635,0	158460,0	2641000,0
2012	Aquecimento de agua	Residencial	400,6	1001,5	3004,6	14221,9	1402,2	553,2	1383,1	4149,2	19639,8	1936,3	47692,5
2012		Comercial	133,5	333,8	1001,5	4740,6	467,4	184,4	461,0	1383,1	6546,6	645,4	15897,5
2012	Iluminação	Residencial	89964,0	334152,0	102816,0	604044,0	154224,0	109956,0	408408,0	125664,0	738276,0	188496,0	2856000,0
2012		Comercial	11245,5	41769,0	12852,0	75505,5	19278,0	13744,5	51051,0	15708,0	92284,5	23562,0	357000,0
2012		Industrial	11245,5	41769,0	12852,0	75505,5	19278,0	13744,5	51051,0	15708,0	92284,5	23562,0	357000,0
2012	Condicionamento Ambiental	Residencial	51067,5	71494,5	44258,5	98730,5	74899,0	41782,5	58495,5	36211,5	80779,5	61281,0	619000,0
2012		Comercial	25987,5	36382,5	22522,5	50242,5	38115,0	21262,5	29767,5	18427,5	41107,5	31185,0	315000,0
2012		Industrial	8662,5	12127,5	7507,5	16747,5	12705,0	7087,5	9922,5	6142,5	13702,5	10395,0	105000,0
2012	Ventilação	Residencial	42504,0	58696,0	18216,0	60720,0	22264,0	34776,0	48024,0	14904,0	49680,0	18216,0	368000,0
2013	Força motriz	Industrial	19560,0	78240,0	45640,0	319480,0	189080,0	19560,0	78240,0	45640,0	319480,0	189080,0	1304000,0
2013	Refrigeração	Residencial	101885,0	392985,0	116440,0	669530,0	174660,0	101885,0	392985,0	116440,0	669530,0	174660,0	2911000,0
2013	Aquecimento de agua	Residencial	541,8	1354,5	4063,5	19233,9	1896,3	748,2	1870,5	5611,5	26561,1	2618,7	64500,0
2013		Comercial	180,6	451,5	1354,5	6411,3	632,1	249,4	623,5	1870,5	8853,7	872,9	21500,0
2013	Iluminação	Residencial	93161,3	346027,5	106470,0	598893,8	186322,5	113863,8	422922,5	130130,0	731981,3	227727,5	2957500,0
2013		Comercial	11636,1	43219,8	13298,4	74803,5	23272,2	14221,9	52824,2	16253,6	91426,5	28443,8	369400,0
2013		Industrial	11636,1	43219,8	13298,4	74803,5	23272,2	14221,9	52824,2	16253,6	91426,5	28443,8	369400,0
2013	Condicionamento Ambiental	Residencial	46260,5	69390,8	60494,5	106755,0	72949,3	37849,5	56774,3	49495,5	87345,0	59685,8	647000,0
2013		Comercial	10296,0	15444,0	13464,0	23760,0	16236,0	8424,0	12636,0	11016,0	19440,0	13284,0	144000,0
2013		Industrial	30888,0	46332,0	40392,0	71280,0	48708,0	25272,0	37908,0	33048,0	58320,0	39852,0	432000,0
2013	Ventilação	Residencial	59664,0	69608,0	22374,0	72094,0	24860,0	48816,0	56952,0	18306,0	58986,0	20340,0	452000,0
2014	Força motriz	Industrial	21390,0	85560,0	49910,0	349370,0	206770,0	21390,0	85560,0	49910,0	349370,0	206770,0	1426000,0
2014	Refrigeração	Residencial	114660,0	442260,0	131040,0	753480,0	196560,0	114660,0	442260,0	131040,0	753480,0	196560,0	3276000,0
2014	Aquecimento de agua	Residencial	897,5	1909,4	4419,9	26222,9	9233,5	1239,4	2636,7	6103,6	36212,6	12751,0	100800,0
2014		Comercial	224,4	477,3	1105,0	6555,7	2308,4	309,9	659,2	1525,9	9053,2	3187,7	25200,0

2014	Iluminação	Residencial	110505,6	386769,6	110505,6	635407,2	138132,0	135062,4	472718,4	135062,4	776608,8	168828,0	3069600,0
2014		Comercial	3715,2	13003,2	3715,2	21362,4	4644,0	4540,8	15892,8	4540,8	26109,6	5676,0	103200,0
2014		Industrial	3715,2	13003,2	3715,2	21362,4	4644,0	4540,8	15892,8	4540,8	26109,6	5676,0	103200,0
2014	Condicionamento Ambiental	Residencial	50116,0	90208,8	110255,2	160371,2	90208,8	41004,0	73807,2	90208,8	131212,8	73807,2	911200,0
2014		Comercial	9396,8	16914,2	20672,9	30069,6	16914,2	7688,3	13838,9	16914,2	24602,4	13838,9	170850,0
2014		Industrial	3132,3	5638,1	6891,0	10023,2	5638,1	2562,8	4613,0	5638,1	8200,8	4613,0	56950,0
2014	Ventilação	Residencial	70587,0	70587,0	21483,0	101277,0	30690,0	57753,0	57753,0	17577,0	82863,0	25110,0	558000,0
2015	Força motriz	Industrial	23460,0	93840,0	54740,0	383180,0	226780,0	23460,0	93840,0	54740,0	383180,0	226780,0	1564000,0
2015	Refrigeração	Residencial	129500,0	499500,0	148000,0	851000,0	222000,0	129500,0	499500,0	148000,0	851000,0	222000,0	3700000,0
2015	Aquecimento de agua	Residencial	914,2	3245,8	7573,4	31916,6	10278,2	1262,5	4482,2	10458,6	44075,4	14193,8	128800,0
2015		Comercial	228,6	811,4	1893,4	7979,2	2569,6	315,6	1120,6	2614,6	11018,8	3548,4	32200,0
2015	Iluminação	Residencial	120729,6	392371,2	120729,6	694195,2	181094,4	147558,4	479564,8	147558,4	848460,8	221337,6	3353600,0
2015		Comercial	15091,2	49046,4	15091,2	86774,4	22636,8	18444,8	59945,6	18444,8	106057,6	27667,2	419200,0
2015		Industrial	15091,2	49046,4	15091,2	86774,4	22636,8	18444,8	59945,6	18444,8	106057,6	27667,2	419200,0
2015	Condicionamento Ambiental	Residencial	38469,2	82434,0	153876,8	186850,4	87929,6	31474,8	67446,0	125899,2	152877,6	71942,4	999200,0
2015		Comercial	7213,0	15456,4	28851,9	35034,5	16486,8	5901,5	12646,1	23606,1	28664,6	13489,2	187350,0
2015		Industrial	2404,3	5152,1	9617,3	11678,2	5495,6	1967,2	4215,4	7868,7	9554,9	4496,4	62450,0
2015	Ventilação	Residencial	94737,5	98527,0	22737,0	128843,0	34105,5	77512,5	80613,0	18603,0	105417,0	27904,5	689000,0
2001	Iluminação Publica	Publico	0,0	0,0	0,0	8038,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10231,2	0,0	18270,0
2002			0,0	7310,2	0,0	11975,0	0,0	0,0	9303,8	0,0	15241,0	0,0	43830,0
2003			2823,6	10958,3	8450,1	54509,2	6216,5	3593,6	13946,9	10754,7	69375,3	7911,9	188540,0
2004			4094,1	22392,8	12261,6	126927,7	44331,5	5210,6	28499,9	15605,7	161544,3	56421,9	477290,0
2005			4099,6	23794,0	13747,7	142021,2	53713,2	5217,6	30283,3	17497,0	180754,2	68362,3	539490,0
2006			4099,6	25604,4	24972,0	155706,9	55161,5	5217,6	32587,4	31782,6	198172,4	70205,6	603510,0
2007			4187,6	19233,4	24972,0	180091,5	55161,5	5329,7	24478,8	31782,6	229207,4	70205,6	644650,0
2008			4187,6	19250,1	27564,3	186270,9	55199,5	5329,7	24500,2	35081,9	237072,0	70253,9	664710,0
2009			8967,9	18860,8	84290,6	171979,8	53328,1	11413,7	24004,7	107278,9	218883,3	67872,1	766880,0
2010			7697,4	12173,9	89024,8	152734,4	43698,7	9796,7	15494,1	113304,2	194389,2	55616,5	693930,0
2011			42245,8	16672,1	92595,3	147754,2	62971,3	53767,3	21219,1	117848,6	188050,9	80145,3	823270,0
2012			76121,3	20036,1	82050,2	105860,1	80542,6	96881,7	25500,4	104427,6	134731,1	102508,8	828660,0

2013			101840,5	45060,1	90391,6	116286,8	80542,6	129615,1	57349,2	115043,8	148001,4	102508,8	986640,0
2014			101840,5	67103,4	131124,4	110995,1	80504,7	129615,1	85404,3	166885,6	141266,6	102460,5	1117200,2

Anexo III - Economias de energia do PEE desagregadas por região e estação do ano (MWh/ano).

Ano	Uso Final	Setor	Num.	NE _{um.}	CO _{um.}	SE _{um.}	Sum.	N _{seco}	NE _{seco}	CO _{seco}	SE _{seco}	S _{seco}	Total
2009	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009		Publico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	Refrigeração	Residencial	0,0	328,4	36,5	119,8	21,8	0,0	328,4	36,5	119,8	21,8	1012,9
2009		Publico	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2
2009		Comercial	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
2009	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	56,1	0,0	0,0	0,0	0,0	56,1	0,0	112,3
2009		Comercial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009		Publico	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009	Iluminação	Residencial	0,0	365,3	64,7	7715,9	853,1	0,0	548,0	97,1	11573,8	1279,7	22500,7
2009		Comercial	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	15,0
2009		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009		Publico	0,0	55,7	0,0	1233,1	293,2	0,0	83,5	0,0	1849,7	439,9	3955,1
2009	Iluminação Pública	Publico	0,0	39,8	0,0	0,0	0,0	0,0	59,6	0,0	0,0	0,0	99,4
2009	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2009		Comercial	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	6,4
2009		Publico	0,0	26,8	0,0	793,9	0,0	0,0	21,9	0,0	649,6	0,0	1492,1
2009		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010		Publico	0,0	542,0	0,0	2433,7	336,7	0,0	542,0	0,0	2433,7	336,7	6624,7
2010	Refrigeração	Residencial	0,0	2487,7	5030,6	435,4	59,6	0,0	2487,7	5030,6	435,4	59,6	16046,4

2010		Publico	0,0	0,0	49,4	1,3	0,0	0,0	0,0	49,4	1,3	0,0	101,3
2010		Comercial	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	7,5
2010	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	169,8	0,0	0,0	0,0	0,0	169,8	0,0	339,6
2010		Comercial	0,0	0,0	0,0	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0	8,1	0,0	16,2
2010		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2010		Publico	0,0	52,2	0,0	0,0	0,0	0,0	52,2	0,0	0,0	0,0	104,3
2010	Iluminação	Residencial	0,0	2231,0	3226,1	15594,3	5905,0	0,0	3346,5	4839,1	23391,4	8857,5	67541,1
2010		Comercial	0,0	0,0	0,0	23,2	24,0	0,0	0,0	0,0	34,9	36,0	118,1
2010		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	1113,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1669,8	2782,9
2010		Publico	0,0	349,6	13,6	6855,8	960,0	0,0	524,5	20,5	10283,6	1440,0	20449,6
2010	Iluminação Pública	Publico	0,0	479,3	0,0	0,0	0,0	0,0	718,9	0,0	0,0	0,0	1198,2
2010	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	51,4	1,7	0,0	0,0	0,0	42,0	1,4	0,0	0,0	96,6
2010		Comercial	0,0	0,0	0,0	41,6	0,4	0,0	0,0	0,0	34,1	0,3	76,4
2010		Publico	0,0	226,2	54,3	1454,9	0,0	0,0	185,1	44,4	1190,4	0,0	3725,1
2010		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	1137,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1137,2	0,0	2391,5
2011		Publico	0,0	1170,6	0,0	24968,8	563,6	0,0	1170,6	0,0	24968,8	563,6	54260,0
2011	Refrigeração	Residencial	925,2	3367,2	7431,3	2788,9	168,0	925,2	3367,2	7431,3	2788,9	168,0	55022,8
2011		Publico	0,0	0,0	198,4	84,3	0,0	0,0	0,0	198,4	84,3	0,0	565,5
2011		Comercial	0,0	0,0	0,0	4,2	1,5	0,0	0,0	0,0	4,2	1,5	84,5
2011	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	673,5	0,0	0,0	0,0	0,0	673,5	0,0	1346,9
2011		Comercial	0,0	0,0	0,0	15,4	3,2	0,0	0,0	0,0	15,4	3,2	37,1
2011		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2011		Publico	0,0	78,1	0,0	0,0	0,0	0,0	78,1	0,0	0,0	0,0	161,5
2011	Iluminação	Residencial	565,1	6005,2	4014,2	26399,6	6579,4	847,7	9007,8	6021,3	39599,4	9869,1	127290,0
2011		Comercial	17,0	0,0	0,0	23,2	503,9	25,5	0,0	0,0	34,9	755,9	1510,4
2011		Industrial	0,0	0,0	0,0	32,9	1113,2	0,0	0,0	0,0	49,3	1669,8	2865,1
2011		Publico	155,4	1767,0	66,2	12641,4	988,9	233,1	2650,5	99,3	18962,1	1483,3	46999,6

2011	Iluminação Pública	Publico	0,0	635,6	0,0	0,0	0,0	0,0	953,5	0,0	0,0	0,0	2096,4
2011	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	80,9	39,6	0,0	0,0	0,0	66,2	32,4	0,0	0,0	219,1
2011		Comercial	0,0	10,6	0,0	61,5	232,4	0,0	8,7	0,0	50,3	190,2	645,9
2011		Publico	23,4	611,7	218,3	3186,3	0,0	19,1	500,5	178,6	2607,0	0,0	9416,0
2011		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2012	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	1272,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1272,1	0,0	2875,2
2012		Publico	0,0	1170,6	0,0	40612,6	1103,9	0,0	1170,6	0,0	40612,6	1103,9	87371,2
2012	Refrigeração	Residencial	4469,4	22039,6	7816,9	11443,9	1620,9	4469,4	22039,6	7816,9	11443,9	1620,9	145663,8
2012		Publico	0,0	0,0	219,1	1235,6	0,0	0,0	0,0	219,1	1235,6	0,0	2909,4
2012		Comercial	0,0	0,0	0,0	4,2	4,6	0,0	0,0	0,0	4,2	4,6	1231,1
2012	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	1883,5	222,6	0,0	0,0	0,0	1883,5	222,6	4519,3
2012		Comercial	0,0	0,0	6,9	18,8	12,7	0,0	0,0	6,9	18,8	12,7	76,7
2012		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2012		Publico	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	383,9
2012	Iluminação	Residencial	3311,6	12283,6	4855,9	54685,8	12007,8	4967,5	18425,4	7283,8	82028,7	18011,6	264598,0
2012		Comercial	38,5	0,0	6,2	7,4	1352,8	57,8	0,0	9,3	11,1	2029,3	3789,9
2012		Industrial	0,0	0,0	0,0	40,0	558,1	0,0	0,0	0,0	60,0	837,2	1593,2
2012		Publico	202,4	1779,4	65,6	19817,2	1916,4	303,6	2669,1	98,5	29725,8	2874,6	76809,7
2012	Iluminação Pública	Publico	0,0	793,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1190,4	0,0	0,0	0,0	4222,1
2012	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	80,9	39,6	0,0	21,4	0,0	66,2	32,4	0,0	17,5	258,0
2012		Comercial	0,0	444,6	2,8	66,2	1310,4	0,0	363,7	2,3	54,1	1072,1	3487,8
2012		Publico	53,0	872,4	241,0	5259,2	48,9	43,3	713,8	197,2	4303,0	40,0	14389,1
2012		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	6727,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6727,1	0,0	13951,3
2013		Publico	0,0	1170,6	0,0	40647,6	1202,5	0,0	1170,6	0,0	40647,6	1202,5	87638,4
2013	Refrigeração	Residencial	5334,7	23523,6	9555,5	11697,6	4604,3	5334,7	23523,6	9555,5	11697,6	4604,3	175301,0
2013		Publico	0,0	0,7	296,5	1358,8	4,3	0,0	0,7	296,5	1358,8	4,3	3321,3
2013		Comercial	0,0	0,0	0,0	4,2	8,4	0,0	0,0	0,0	4,2	8,4	1238,7

2013	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	2599,1	622,7	0,0	0,0	0,0	2599,1	622,7	8702,4
2013		Comercial	0,0	0,0	25,9	18,8	14,0	0,0	0,0	25,9	18,8	14,0	117,4
2013		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2013		Publico	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	450,9
2013	Iluminação	Residencial	3944,6	17695,4	18099,3	69159,7	16556,7	5916,9	26543,1	27149,0	103739,5	24835,0	381545,1
2013		Comercial	153,8	99,9	10,8	1136,2	1450,7	230,7	149,8	16,2	1704,3	2176,0	7388,7
2013		Industrial	0,0	0,0	0,0	856,4	0,0	0,0	0,0	0,0	1284,6	0,0	2239,1
2013		Publico	203,3	929,7	20,1	26129,1	4299,1	304,9	1394,6	30,2	39193,7	6448,6	99030,1
2013	Iluminação Pública	Publico	0,0	793,6	0,0	1014,4	0,0	0,0	1190,4	0,0	1521,6	0,0	7064,1
2013	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	80,9	39,6	0,0	921,3	0,0	66,2	32,4	0,0	753,8	1894,2
2013		Comercial	0,0	935,0	4,1	445,6	1948,4	0,0	765,0	3,4	364,6	1594,1	6231,7
2013		Publico	211,4	885,5	326,2	6339,6	185,5	173,0	724,5	266,9	5186,9	151,8	17776,5
2013		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2014	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	11154,7	0,0	0,0	0,0	0,0	11154,7	0,0	22806,5
2014		Publico	0,0	1601,3	0,0	40696,6	1263,7	0,0	1601,3	0,0	40696,6	1263,7	91222,9
2014	Refrigeração	Residencial	5423,1	25842,4	9375,1	12026,6	10142,4	5423,1	25842,4	9375,1	12026,6	10142,4	203723,8
2014		Publico	0,0	0,7	296,5	1358,8	25,9	0,0	0,7	296,5	1358,8	25,9	3367,2
2014		Comercial	0,0	87,3	0,0	4,2	15,6	0,0	87,3	0,0	4,2	15,6	1427,7
2014	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	2599,7	631,8	0,0	0,0	0,0	2599,7	631,8	8762,7
2014		Comercial	0,0	0,0	25,9	18,8	15,8	0,0	0,0	25,9	18,8	15,8	121,0
2014		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2014		Publico	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	497,8
2014	Iluminação	Residencial	4927,8	22967,8	18099,3	69999,0	24545,9	7391,6	34451,7	27149,0	104998,4	36818,9	427649,7
2014		Comercial	153,8	99,9	9,7	921,8	840,6	230,7	149,8	14,5	1382,7	1260,9	5070,5
2014		Industrial	0,0	0,0	0,0	2340,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3510,5	0,0	5900,1
2014		Publico	68,0	163,3	0,0	17416,2	5523,3	102,0	245,0	0,0	26124,4	8285,0	73680,7
2014	Iluminação Pública	Publico	0,0	793,6	0,0	10620,6	0,0	0,0	1190,4	0,0	15930,8	0,0	31161,8
2014	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	495,4	39,6	0,0	2150,0	0,0	405,3	32,4	0,0	1759,1	4881,8

2014		Comercial	0,0	1717,6	4,1	519,4	2139,7	0,0	1405,3	3,4	424,9	1750,7	8136,6
2014		Publico	211,4	885,5	326,2	6339,6	583,3	173,0	724,5	266,9	5186,9	477,3	18539,7
2014		Industrial	0,0	0,0	0,0	31,4	0,0	0,0	0,0	0,0	25,7	0,0	57,0
2015	Força Motriz	Industrial	0,0	0,0	0,0	11154,7	0,0	0,0	0,0	0,0	11154,7	0,0	22806,5
2015		Publico	0,0	1809,6	0,0	40696,6	1263,7	0,0	1809,6	0,0	40696,6	1263,7	91639,6
2015	Refrigeração	Residencial	5605,8	25464,5	9375,1	12026,6	10139,1	5605,8	25464,5	9375,1	12026,6	10139,1	204479,8
2015		Publico	0,0	0,7	296,5	1358,8	25,9	0,0	0,7	296,5	1358,8	25,9	3367,2
2015		Comercial	0,0	87,3	0,0	4,2	15,6	0,0	87,3	0,0	4,2	15,6	1427,7
2015	Aquecimento de água	Residencial	0,0	0,0	0,0	2599,7	633,9	0,0	0,0	0,0	2599,7	633,9	8816,6
2015		Comercial	0,0	0,0	25,9	18,8	15,8	0,0	0,0	25,9	18,8	15,8	121,0
2015		Industrial	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2015		Publico	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	79,8	0,0	0,0	0,0	638,7
2015	Iluminação	Residencial	6960,2	23114,7	18034,6	62283,1	24568,8	10440,3	34672,1	27051,9	93424,6	36853,2	414028,2
2015		Comercial	153,8	50,1	0,3	39,0	391,0	230,7	75,1	0,5	58,5	586,5	1585,4
2015		Industrial	0,0	0,0	0,0	2340,4	0,0	0,0	0,0	0,0	3510,5	0,0	5850,9
2015		Publico	180,7	84,8	0,0	8625,5	3010,4	271,0	127,3	0,0	12938,2	4515,6	46509,6
2015	Iluminação Pública	Publico	0,0	628,3	0,0	10620,6	0,0	0,0	942,4	0,0	15930,8	0,0	30748,5
2015	Condicionamento Ambiental	Residencial	0,0	665,0	39,6	0,0	2150,0	0,0	544,1	32,4	0,0	1759,1	5190,3
2015		Comercial	0,0	1717,6	4,1	519,4	2139,7	0,0	1405,3	3,4	424,9	1750,7	8136,6
2015		Publico	211,4	885,5	326,2	6339,6	583,3	173,0	724,5	266,9	5186,9	477,3	18539,7
2015		Industrial	0,0	0,0	0,0	31,4	0,0	0,0	0,0	0,0	25,7	0,0	57,0

Anexo IV - Economias de energia (MWh/ano) para a Lei de Eficiência Energética.

Ano	Uso Final/Equipamentos	Setor	Num.	NEum.	COum.	SEum.	Sum.	Nseco	NEseco	COseco	SEseco	Sseco	Total
2008	Regulamentação de LFCs	Residencial	63428	304452	101484	507420	291767	77523	372108	124036	620180	356604	2819000
		Comercial	7920	38016	12672	63360	36432	9680	46464	15488	77440	44528	352000
		Industrial	7920	38016	12672	63360	36432	9680	46464	15488	77440	44528	352000
2009	Regulamentação de Refrigeradores	Residencial	734	2936	979	5995	1591	734	2936	979	5995	1591	24470
	Regulamentação de LFCs	Residencial	94428	377712	94428	389516	224267	115412	461648	115412	476075	274104	2623000
		Comercial	11808	47232	11808	48708	28044	14432	57728	14432	59532	34276	328000
		Industrial	11808	47232	11808	48708	28044	14432	57728	14432	59532	34276	328000
	Regulamentação de Condicionadores de Ar	Residencial	1024	1240	216	1617	1294	838	1014	176	1323	1058	9800
		Comercial	941	1139	198	1485	1188	770	932	162	1215	972	9000
Industrial		314	380	66	495	396	257	311	54	405	324	3000	
2010	Regulamentação de Motores Elétricos (Acum. 2010)	Industrial	1170	4680	2340	19890	10920	1170	4680	2340	19890	10920	66500
	Regulamentação de Refrigeradores	Residencial	761	3042	1014	5704	1648	761	3042	1014	5704	1648	25350
	Regulamentação de LFCs	Residencial	108540	434160	108540	447728	257783	132660	530640	132660	547223	315068	3015000
		Comercial	13572	54288	13572	55985	32234	16588	66352	16588	68426	39397	377000
		Industrial	13572	54288	13572	55985	32234	16588	66352	16588	68426	39397	377000
	Regulamentação de Condicionadores de Ar	Residencial	4654	5947	1551	7498	6205	3808	4866	1269	6135	5077	47010
		Comercial	2010	2568	670	3238	2680	1644	2101	548	2649	2192	20300
Industrial		671	858	224	1081	895	549	702	183	885	732	6780	
2013	Regulamentação de Lâmpadas Incandescentes	Residencial	838	3112	958	5387	1676	1024	3804	1170	6584	2048	26600
2014		Residencial	13248	46368	13248	76176	16560	16192	56672	16192	93104	20240	368000
2015		Residencial	71730	233123	71730	412448	107595	87670	284928	87670	504103	131505	1992500