



## **PADRÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS DE USO RESIDENCIAL NO BRASIL**

Conrado Augustus de Melo<sup>1</sup>

Gilberto de Martino Jannuzzi<sup>2</sup>

### **RESUMO**

Índices mínimos de eficiência energética são mecanismos de política pública responsáveis por significativas economias de energia em muitos países. Em 2007 foram lançadas no Brasil as primeiras regulamentações específicas que estabeleceram padrões mínimos de eficiência energética para refrigeradores e aparelhos de ar condicionado. Porém, a ausência de procedimentos de avaliação dos impactos destes padrões no consumo de energia do país dificulta uma abordagem mais específica da contribuição da eficiência energética no planejamento energético. Este artigo propõe uma metodologia para estimar os impactos do estabelecimento de padrões de eficiência energética para refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, televisores e lâmpadas. São avaliadas as relações entre custo e eficiência energética sob a perspectiva da sociedade e dos consumidores. É verificada a possibilidade de aumento das restrições dos padrões existentes e a oportunidade de ampliação da abrangência dos padrões para outros equipamentos.

### **ABSTRACT**

Energy efficiency standards are policy mechanisms responsible for significant energy savings in several countries. In Brazil in year 2007 was launched the first regulation for residential appliances establishing minimum energy efficiency standards for refrigerators' and air conditioners. The lack of im-

---

1 Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleyev, 200 Campinas - CEP:13083-860 - São Paulo. Email: conrado@fem.unicamp.br, Tel: (19) 9210-1108

2 Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Rua Mendeleyev, 200 Campinas - CEP:13083-860 - São Paulo. Email: jannuzzi@fem.unicamp.br, Tel: (19) 3289-3125



pact evaluation of energy savings due the standards adopted do not allow the properly account the contribution of energy efficiency at the national energy planning level. This paper contributes developing a methodology for estimating the impacts of energy efficiency standards for refrigerators, air conditioners, television sets and light bulbs. A cost-benefit analysis for improved standards is presented under the perspective of the society and the consumers. It is analyzed the possibility of enforce higher levels of existing standards and the possibility of extending the implementation of standards for other equipment.

## 1. INTRODUÇÃO

Índices mínimos de eficiência energética são mecanismos de políticas públicas que restringem a comercialização de produtos não adequados a requerimentos específicos de consumo energético. Esses mecanismos eliminam equipamentos ineficientes do mercado, e assim, promovem a conservação de energia.

Em meio às opções de mecanismos de promoção de conservação de energia, os índices mínimos de eficiência energética estão dentre os que têm apresentado resultados mais efetivos em relação aos ganhos de conservação de energia e à transformação dos mercados de eficiência energética. Por exemplo, nos EUA, segundo Rosenquist *et al* (2006), os padrões de eficiência energética para equipamentos de uso residencial e comercial são a maior fonte de economia de energia. Schiellerup (2002) pontua: “do ponto de vista da transformação do mercado em prol do aumento da eficiência energética de equipamentos elétricos para refrigeração na Inglaterra, as mais importantes políticas, muito além das outras, têm sido as etiquetas e os padrões de eficiência energética”.

A experiência internacional mostra que a implementação dos padrões de eficiência energética requer a execução de várias etapas, inclusive de avaliação prospectiva de impactos. McMahon (2004) compara, para os casos dos EUA e da Austrália, os elementos existentes no processo de estabelecimento dos MEPS (padrões mínimos de desempenho energético – do inglês *Minimum Energy Performance Standards*). Apesar de possuírem objetivos principais diferentes (Austrália - redução de gases de efeito estufa, EUA - aumento da eficiência energética), a análise comparativa revela a existência de etapas idênticas nos processos adotados e uma evidente preocupação com os impactos decorrentes da adoção dos padrões sob o enfoque dos consumidores (custo do ciclo de vida), da sociedade (benefícios e

custos nacionais), dos comerciantes e dos fabricantes (questões relativas à indústria, competição e comércio).

No Brasil, o processo de implementação de índices mínimos de eficiência energética se iniciou com o estabelecimento, em 2001, da Lei Nº 10.295, chamada de Lei de Conservação e Uso Racional de Energia. Esta Lei foi regulamentada pelo Decreto Nº 4.059, também de 2001, que estabeleceu o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE<sup>3</sup>. Conforme mostra a Tabela 1 este comitê identificou e classificou estudos necessários ao processo de decisão de quais índices limitantes do consumo deveriam ser adotados (MME, 2002).

Tabela 1 – Estudos identificados pelo CGIEE necessários à aplicação sustentável da Lei de Eficiência Energética

Estudos Gerais	Estudos Específicos
1. Levantamento da experiência internacional sobre Programas de Etiquetagem e Indicadores de Desempenho Energético de Máquinas e Aparelhos consumidores de energia	1. Avaliação dos laboratórios existentes e das necessidades futuras
2. Avaliação e definição das metodologias a serem utilizadas para o estabelecimento dos níveis de eficiência energética	2. Elaboração de estudos de mercado para as principais máquinas e equipamentos consumidores de energia
3. Identificação de parcerias institucionais e estabelecimento de forma de atuação conjunta	3. Identificação das inovações tecnológicas que possam resultar da implementação da lei
4. Identificação de fontes e de recursos financeiros, assim como incentivos fiscais e tributários que podem ser mobilizados em apoio à implementação da legislação	4. Estimativa da economia de energia que pode se obtida com a implementação da lei
5. Estabelecimento de procedimentos operacionais para a implementação sustentada da lei	5. Definição dos equipamentos para elaboração das regulamentações específicas
6. Identificação das implicações comerciais nos mercados interno e externo	6. Elaboração do programa de metas dos primeiros equipamentos contemplados com a lei

3 O Decreto no 4.059 estabelece que o comitê deve ser composto por representantes dos seguintes órgãos e entidades: I - Ministério de Minas e Energia, que o presidirá; II - Ministério da Ciência e Tecnologia; III - Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; IV - Agência Nacional de Energia Elétrica; V - Agência Nacional do Petróleo; e VI - um representante de universidade brasileira e um cidadão brasileiro, ambos especialistas em matéria de energia, a serem designados pelo Ministro de Estado de Minas e Energia, para mandatos de dois anos, podendo ser renovados por mais um período.



Neste contexto, no dia 24 de dezembro de 2007, foram publicadas três portarias interministeriais referentes à regulamentação específica para refrigeradores/congeladores, aparelhos de ar condicionado e fogões e fornos a gás. Porém, alguns dos estudos indicados pelo CGIEE, por exemplo, estimativas de economia de energia e avaliação e definição de metodologias a serem utilizadas para o estabelecimento dos níveis de eficiência energética, não foram considerados e/ou realizados na definição dos índices mínimos adotados. O Ministério de Minas e Energia (MME) justificou argumentando que a estimativa de economia de energia em função da entrada em vigor das regulamentações não foi realizada devido à ausência de informações acerca da substituição de refrigeradores/condicionadores de ar velha por novos. (MME, 2006a e MME, 2006b). Isto evidencia que, no mínimo, não existe ainda uma estrutura adequada para avaliação deste mecanismo de promoção da conservação de energia.

Em adição, a falta dessa análise inviabiliza um ajuste mais fino e específico relacionado à consideração da eficiência energética no planejamento da matriz energética. As estimativas dos impactos dos padrões adotados poderiam auxiliar na identificação de oportunidades de redução da necessidade de expansão da matriz de geração de energia elétrica. No Plano Nacional de Energia 2030 (MME & EPE, 2007) as considerações sobre eficiência energética são genéricas, e assim, não consideram possíveis impactos de mecanismos de eficiência energética no comportamento da demanda projetada.

Este artigo, retirado da tese de doutorado do autor principal, tem o objetivo de propor um modelo para avaliação dos impactos da adoção de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos elétricos de uso residencial. O modelo é desenhado para, a partir dos resultados das previsões, possibilitar a avaliação dos impactos econômicos dos possíveis índices mínimos de eficiência energética frente à perspectiva individual dos consumidores e da sociedade de modo geral. Também são analisados os impactos estimados de economia de energia frente às projeções oficiais relacionadas à eficiência energética e, contempladas no Plano Nacional de Energia 2030 para o setor residencial (MME & EPE, 2007).



## 2. METODOLOGIA DE PROJEÇÃO

A metodologia proposta para realizar as projeções compreende 4 etapas principais, conforme ilustra a Figura 1. Estas etapas abrangem tanto os estudos identificados no plano de trabalho para implementação progressiva da Lei Nº 10.295 realizado pelo CGIEE, quanto algumas etapas identificadas no estabelecimento de padrões nos casos do EUA/Canadá e Austrália descrita por McMahan (2004).

A primeira etapa refere-se ao diagnóstico do mercado de equipamentos e sua caracterização, com enfoque no consumo de eletricidade. Nesta etapa também são relacionadas às possibilidades de engenharia, que possibilitam o aumento da eficiência energética dos modelos considerados. Os custos relacionados de cada opção de incremento de eficiência e os respectivos potenciais de redução do consumo são listados.

A segunda etapa contempla o modelo de estimativa da posse de equipamentos. As variações anuais do estoque são estimadas com base: 1) no sucateamento dos equipamentos mais antigos, através de uma função logística de probabilidade de retirada em função da idade e; 2) nas primeiras compras referentes ao acréscimo populacional e ao aumento da posse fundamentada em um modelo de regressão econométrica com base na penetração dos equipamentos.

Na terceira etapa de análise são tecidas as considerações sobre os cenários, os quais seguem algumas das premissas adotadas pelo Plano Nacional de Energia 2030 (MME & EPE, 2007). Os potenciais de conservação de energia são contabilizados a partir das diferenças entre as projeções de dois cenários: 1) mais provável, o qual reflete a continuidade dos indicadores de eficiência atuais e o atual contexto político energético, denominado “Cenário BASE” e; 2) os “Cenários MEPS”, em que são considerados aumentos da penetração de equipamentos mais eficientes conforme opções de MEPS.

Finalmente, a última etapa do modelo geral traz uma análise comparativa dos resultados dos potenciais de conservação de energia com enfoque nos impactos sob a perspectiva da sociedade e dos consumidores.

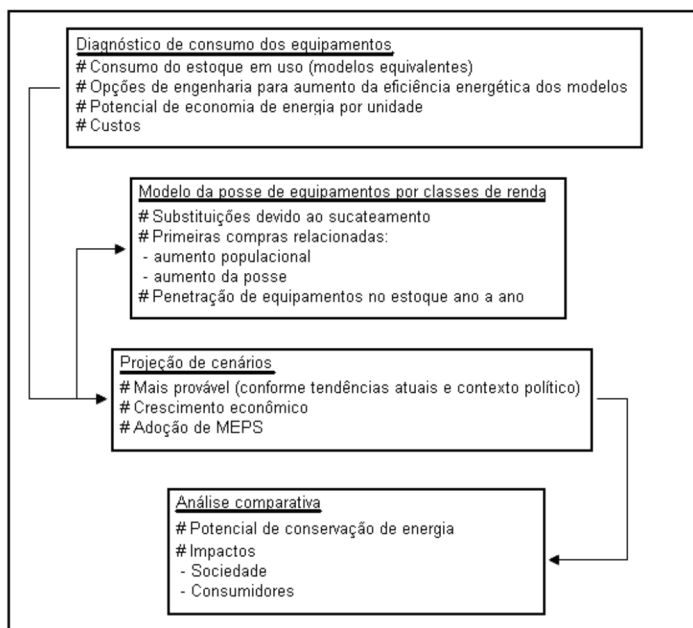


Figura 1 – Visão geral da metodologia de análise dos padrões de eficiência energética

## 2.1. Dados

São utilizados na presente pesquisa três bancos de dados principais:

- 1) Para as séries históricas de PIB (Produto Interno Bruto) e IPA-OG (Índice de Preços por Atacado – Oferta Global) de eletrodomésticos foi utilizado o banco de dados do IPEADATA. Os dados foram obtidos em: <http://www.ipeadata.gov.br/> (Data da consulta: 03/2008)
- 2) No caso das séries históricas de penetração de equipamentos por classes de renda para todas as regiões analisadas, assim como o número de residências e projeção da população foi utilizado o banco de dados disponibilizado pelo IBGE através do sistema IBGE de recuperação automática (SIDRA). Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> (Data da consulta 03/2008)
- 3) No caso dos dados mais detalhados em relação a penetração de equipamentos por fabricante, tipo, categoria e idade por classes de renda e por



região foram utilizados dados da pesquisa (PUC, 2005). Realizada em 17 Estados esta pesquisa contemplou 21 concessionárias abrangendo aproximadamente 95% da área de concessão de todas as distribuidoras em território nacional. No presente trabalho não são identificadas as concessionárias pesquisadas em relação às respectivas análises. Esta pesquisa foi disponibilizada pelo Professor da Puc-Rio Reinaldo Castro Souza (Coordenador da Pesquisa) através de comunicação interna.

## 2.2. Opções técnicas de eficiência e custos relacionados

Devido à ausência de pesquisas e literatura para determinação de opções de engenharia e respectivos custos para o caso dos equipamentos brasileiros, onde apenas Queiroz *et al.* (2003) abordam o tema no caso dos refrigeradores, o presente trabalho utiliza-se de uma compilação de opções conforme descrito em CLASP (2006).

No presente estudo, os índices de desempenho energético, utilizados no caso dos refrigeradores são os mesmos adotados atualmente na Europa. Os MEPS europeus adequaram-se mais às condições dos equipamentos brasileiros. Ao comparar o modelo equivalente brasileiro com volume de até 200 litros e consumo de 233 kWh com os equipamentos chinês e indiano (CLASP, 2006), sendo estes com volume de 182 litros e consumo de 431 kWh/ano e volume de 165 litros com consumo de 438 kWh/ano respectivamente, percebe-se que o Brasil está mais desenvolvido que estes países.

No caso dos aparelhos de ar condicionado as opções contempladas na análise referem-se ao padrão norte americano, em que os equipamentos são classificados por faixas de potência em Btu/h, sendo o modelo equivalente correspondente à média aritmética dos modelos presentes no mercado brasileiro entre cada uma das faixas consideradas.

Para o caso dos televisores, as projeções de penetração de equipamentos contemplam o limite de consumo para o modo *standby* em 1W. Este limite é aplicado na grande maioria dos países que estabelecem padrões de consumo para televisores, como, por exemplo, na União Européia, Suíça, Indonésia, Estados Unidos, China e Rússia. No Brasil já existe uma iniciativa de caráter informativo através do programa brasileiro de etiquetagem em que são listados os consumos dos televisores. Stracquadini & Leonardi (2003) apresentam um método com baixo custo para limitar o consumo em *standby* em 1W de televisores.

No caso das lâmpadas, o índice utilizado é a potência elétrica das lâmpadas. No caso, as simulações consideram um limite de 25W independentemente da tecnologia adotada (incandescente, fluorescente compacta, LED). Como premissa de substituição, considera-se que lâmpadas compactas de 15W substituem lâmpadas incandescentes menores que 80W; e 25W substituem lâmpadas incandescentes maiores que 80W.

### 2.3. A penetração de equipamentos

Existem diversos tipos de modelos econométricos utilizados para realização de projeções. Estes podem ser classificados em modelos contáveis, técnicos-econômicos e híbridos ou mistos. Na literatura relacionada à área de energia, em que geralmente o objetivo dos trabalhos é estimar a demanda de eletricidade, o modelo usual é derivado da função de produção Cobb-Douglas, por exemplo, (Andrade e Lobão, 1997; Lima e Schmidt, 2004; e Mattos (2004).

No entanto, conforme cita Swisher, Jannuzzi & Redingler (1997), estes modelos geralmente são utilizados de maneira agregada e não levam em conta possíveis mudanças na estrutura da demanda de energia. Assim, como o ponto crucial da metodologia utilizada no presente trabalho é avaliar a demanda com base em mudanças na sua estrutura; aqui é utilizado um modelo misto de projeção do estoque; sendo utilizado um método de regressão econométrica para estimar impactos de variações dos preços e da renda na penetração de equipamentos por classes de renda e; para o sorteamento dos equipamentos, emprega-se um modelo logístico de probabilidade de retirada em função da idade. Assim, a projeção da demanda de eletricidade é baseada na dinâmica do estoque de equipamentos. Os cenários referem-se, então, a mudanças na estrutura da demanda conforme variação do estoque a cada ano, dada diferentes opções de penetração de equipamentos com diferentes eficiências elétricas.

O modelo é mostrado pela Equação 1.

$$S_{e,m} = k \times Y^\alpha \times P^\beta \quad (1)$$

onde  $S_{e,m}$  é a penetração do equipamento e na classe de renda  $m$ .  $Y$  é a renda representada pela *proxy* PIB e  $P$  o preço dos equipamentos dado pelo Índice de Preço por Atacado (IPA-OG) dos eletrodomésticos, ambos.  $k$  é uma constante, os expoentes  $\alpha$  (alfa) e  $\beta$  (beta) representam os impactos da variação da renda e do preço na penetração de equipamentos.





### 2.3.1. Variação do estoque ano a ano

A variação do estoque, ano a ano, se dá através da contabilização dos equipamentos novos entrantes no mercado, devido:

a) **a substituição de equipamentos obsoletos (depreciação)**, o que acontece com maior frequência quando esses estão próximos do fim de sua vida útil. Assim, o trabalho utiliza uma função logística que determina a probabilidade da substituição com base na idade do equipamento, podendo ser concentradas em torno do desvio considerado. A Equação 2 ilustra o modelo utilizado.

$$P_e(Id) = \frac{1}{1 + e^{-\left(\frac{Id - Vu}{DId}\right)}} \quad (2)$$

onde  $P_e(Id)$  é a probabilidade do equipamento  $e$  com idade  $Id$  ser substituído.  $Vu$  é a vida útil do equipamento e  $DId$  é o desvio de idade em relação a vida útil, considerou-se nas projeções um desvio de dois anos em relação a vida útil do equipamentos. Deste modo, a substituição de equipamentos em cada ano é dado pela Equação 3.

$$Sub(y) = \sum_{Id=1}^{Vu} Estoque(y-1, Id) \times P_e(Id) \quad (3)$$

onde  $Sub(y)$  é o número de equipamentos substituídos no ano  $y$ .  $Estoque(y-1, Id)$  é o estoque do ano anterior segmentado pela idade dos equipamentos  $Id$ , ano a ano.

b) **devido à primeira compra de equipamentos relacionada ao acréscimo populacional e variações na penetração** conforme indica a Equação 4.

$$PC_{e,m}(y) = NR_m(y) \times S_{e,m}(y) - NR_m(y-1) \times S_{e,m}(y-1) \quad (4)$$

onde  $PC_{e,m}$  é a quantidade de primeiras compras do equipamento  $e$  na classe de renda  $m$  no ano  $y$ ,  $NR$  é o número de residências na faixa de renda  $m$ .

## 2.4. Cenários

A projeção de cenários relativos ao consumo residencial de eletricidade, conforme o modelo adotado aqui permite uma análise prospectiva, baseada no comportamento de parâmetros técnicos e econômicos que in-

fluenciam na quantidade demandada de eletricidade. Assim, o potencial de conservação de energia, é determinado a partir das diferenças de consumo entre os cenários.

As hipóteses sobre os parâmetros econômicos e o horizonte das projeções (2030) seguem o que foi considerado no PNE. Os cenários comparativos são reflexos dos cenários A, B1, B2 e C do PNE (2030), ora denominados de cenários BASE (A, B1, B2 e C). Este se contrapõe aos cenários MEPS (A, B1, B2 e C), em que são aplicados limites de consumos mais restringentes.

## 2.5. Impactos potenciais

A análise dos impactos da adoção de padrões específicos é baseada na avaliação dos custos incorridos e dos benefícios gerados com sua implantação. Cada uma das opções de implementação de MEPS é avaliada sob a perspectiva do consumidor frente as possíveis opções que poderiam ser encontradas no mercado.

### 2.5.1. Consumidor

A avaliação da perspectiva do consumidor é baseada na comparação entre o incremento de custo da opção eficiente e as economias anuais geradas com sua operação. Para tanto, aplica-se nos custos incrementais o fator de recuperação de capital (FRC) para uma série uniforme, o que permite transformar o incremento de custo em uma série uniforme de desembolsos, permitindo assim, a comparação direta em base anual entre a diferença de custo anualizado (CA) e as economias da operação a cada ano. O modelo segue as equações 5 e 6.

$$CA = \Delta_{custo} \times \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (5)$$

onde  $\Delta_{custo}$  é a diferença entre os custos das opções e o termo entre colchetes é o FRC, sendo  $r$  a taxa de desconto adotada<sup>4</sup> e  $n$  a vida útil do equipamento. As economias geradas são dadas pela Equação 6.

$$EA(y) = Ce_{BASE}(y) \times T(y) - Ce_{MEPS}(y)T(y) \quad (6)$$

4 A taxa base simulada é referente à situação usualmente vivenciada pelos consumidores de baixa renda, no qual as taxas aplicadas pelo varejo são altas; por exemplo, o custo médio de crédito à pessoa física é estimado em 64,9% (Instituto para Desenvolvimento do Varejo, 2007).



onde  $EA$  é a economia anual,  $Ce_{BASE}$  é o consumo anual do equipamento utilizado no cenário BASE,  $Ce_{MEPS}$  é o consumo do equipamento no cenário MEPS e  $T$  é a tarifa de eletricidade para o setor residencial no ano considerado.

### 2.5.2. Sociedade

A perspectiva da sociedade, de modo geral, é representada pela comparação entre os custos totais e benefícios totais de cada cenário. Assim, são agregados os benefícios e os custos gerados individualmente. Como a penetração de equipamentos depende basicamente da substituição e da primeira compra de equipamentos, nos anos iniciais, a partir do ano de implementação de um padrão específico, os ganhos são reduzidos, assim como os custos, porém estes são crescentes conforme o parque vai se tornando mais eficiente. A energia total conservada é dada pela Equação 7.

$$ES(y) = CE_{BASE}(y) - CE_{MEPS}(y) \quad (7)$$

onde  $Es$  é a economia total de energia devido ao consumo dos equipamentos em cada cenário.  $CE$  a cada ano, em cada cenário, é dado pela multiplicação do consumo dos modelos equivalentes pelo estoque de equipamentos, conforme a Equação 8:

$$CE_{E,FR}(Y) = \left( \sum_{Id}^{30} Estoque(Y, Id) \times Ce_{E,FR}(Id) \right) \quad (8)$$

Os benefícios são correspondentes as economias de energia e a seu preço. A somatória dos custos adicionais individuais, devido ao incremento dos preços dos equipamentos em relação ao caso base, reflete os custos totais para a sociedade. A Equação 9 ilustra o modelo de contabilização dos benefícios (BS). A Equação 10 ilustra o modelo de contabilização dos custos (CS).

$$BS(y) = ES(y) \times Tarifa(y) \quad (9)$$

$$CS(y) = (EN_{MEPS}(y) \times P_{MEPS}(y)) - (EN_{BASE}(y) \times P_{BASE}(y)) \quad (10)$$

onde  $EN$  é o número de equipamentos entrantes no mercado a cada ano, em cada cenário e  $P$  é o respectivo preço. Neste contexto, decidiu-se por utilizar uma metodologia que permite a comparação direta dos custos e benefícios: o valor presente líquido, dado pela Equação 11.



$$VPL = \sum_y (BS(y) - CS(y)) \times \left[ \frac{1}{(1 + r_n)^{(y-30)}} \right] \quad (11)$$

A taxa de desconto adotada nas simulações é de 8% ao ano, conforme indica o Plano Nacional de Energia – PNE 2030, para a “Taxa mínima de desconto aplicada na avaliação das alternativas de expansão”, a qual é discutida pela Nota Técnica 1.04.26.07A (EPE, 2007).

### 3. APLICAÇÕES E RESULTADOS

Os potenciais de eficiência energética e a avaliação econômica frente à perspectiva dos consumidores e da sociedade referente à adoção de padrões mais rigorosos para de refrigeradores e aparelhos de ar condicionado, assim como a implementação de padrões para lâmpadas e televisores, são descritos a seguir. Estes resultados seguem as premissas de crescimento econômico do cenário B1 (4,1% ao ano) apresentado no PNE (2030).

#### 3.1. Refrigeradores

##### 3.1.1. Potencial de conservação de energia

As projeções do consumo de cada modelo equivalente contemplado na análise para o Brasil são descritas na Tabela 2. Cabe ressaltar que o consumo total indicado na tabela é referente à participação dos modelos equivalentes considerados, o que totaliza, no caso geral para o Brasil, 72,2% do estoque. Para o restante dos equipamentos, com volume menor que 200 litros e maior que 400 litros não são consideradas opções de MEPS. O potencial estimado refere-se à implementação de todas as opções de engenharia de eficiência de uma forma agregada, ou seja, potencial técnico máximo.

Tabela 2 – Projeções de consumo (TWh/ano) de refrigeradores nos cenários BASE e MEPS

	<b>Brasil</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Base	Modelos	Consumo (TWh/ano)				
	201-300	7,3	8,19	8,28	9,13	9,85
	301-400	8,44	9,47	9,58	10,56	11,39
	301-400 FF	5,64	6,33	6,4	7,05	7,61
	Total	21,38	23,99	24,26	26,74	28,85
MEPS	Modelos	Consumo (TWh/ano)				
	201-300	7,12	6,85	5,23	4,42	4,74
	301-400	8,31	8,45	7,26	6,98	7,51
	301-400 FF	5,53	5,5	4,5	4,12	4,44
	Total	20,96	20,8	16,99	15,52	16,69
Diferença	Modelos	(TWh/ano)				
	201-300	0,18	1,34	3,05	4,71	5,11
	301-400	0,13	1,02	2,32	3,58	3,88
	301-400 FF	0,11	0,83	1,9	2,93	3,17
	Total	0,42	3,19	7,27	11,22	12,16
	%	1,96%	13,30%	29,97%	41,96%	42,15%

Os resultados, com início da aplicação dos padrões em 2010, indicam que o estoque torna-se completamente eficiente por volta de 2025, com a completa substituição do estoque existente por modelos eficientes. De um modo geral, nos primeiros anos de aplicação dos padrões, os ganhos de conservação são reduzidos; no entanto, eles são crescentes com o aumento da penetração dos equipamentos eficientes. Assim, esta diferença, por volta do ano 2025, é de 42% do consumo anual, o que significaria uma economia de 12 TWh neste ano.

### 3.1.2. Avaliação econômica

No caso dos refrigeradores, mesmo nas condições de mercado, com taxa de desconto de 64,9%, as projeções apresentaram opções de aumento da eficiência energética com custos menores ou iguais aos benefícios gerados com a economia de energia ao longo da vida útil desses equipamentos. Por exemplo, o modelo equivalente de uma porta 201-300 litros (que seria equivalente ao consumo com classificação C no padrão atual), apresentou potencial de acréscimo de eficiência de 14% com fluxo líquido de caixa igual a zero – situação que os benefícios com a energia economizada pagam os custos adicionais. A Tabela 3 lista as características técnicas

das opções onde os benefícios apresentaram-se maiores do que os custos nas estimativas.

Tabela 3 – Opções de engenharia para aumento da eficiência energética de refrigeradores viáveis economicamente sob a perspectiva do consumidor:

Modelo equivalente	Selo	Opção de Engenharia	Ganho de Eficiência
1 porta (201-300)	C	(1) C + acréscimo do isolamento na porta (15mm) (2): (1) + decréscimo de vazamento pela porta	14%
1 porta (301-400)	A	-	0%
Combinado "Frost Free" (301-400)	A	(1): A + compressor mais eficiente (2): (1) + acréscimo de isolamento da porta (35/65 mm)	17%

A perspectiva da sociedade indica a existência de um espaço maior para padrões de eficiência energética mais rigorosos em relação à perspectiva dos consumidores. Neste caso, a gama de opções em que os benefícios são maiores dos que os custos são maiores. Por exemplo, sob a perspectiva do consumidor, o FLC para o modelo equivalente 1 porta 201-300 litros apresentou-se positivo até a opção de engenharia 2; por outro lado, no caso da avaliação sob a perspectiva da sociedade, a opção de engenharia 7 apresentou benefícios maiores dos que os custos ao longo do período de 2010 a 2030 (da ordem de R\$ 440 milhões).

## 3.2. Aparelhos de ar condicionado

### 3.2.1. Potencial de conservação de energia

A Tabela 4 ilustra o consumo projetado nos cenários comparativos. Neste caso, são estimados os potenciais técnicos relacionados à opção de engenharia máxima de eficiência nos cenários MEPS. Enquanto no cenário BASE, o crescimento médio do consumo destes equipamentos é de 1,6% ao ano, no cenário MEPS este crescimento é de 0,7%. No horizonte das projeções, a diferença de consumo é de aproximadamente 1,8 TWh, representando cerca de 25,4%.



Tabela 4 – Resultados das projeções de consumo (TWh/ano) nos cenários BASE e MEPS para aparelhos de ar condicionado.

	<b>Brasil</b>	<b>2010</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Base	Modelos (Btu/h)	Consumo (TWh/ano)				
	6000 - 7999	2,985973	3,272548	3,212571	3,574443	3,756189
	8000 -13999	1,23833	1,357177	1,332304	1,482378	1,557751
	14000 -19999	1,482709	1,62501	1,595228	1,774919	1,865166
	Total	5,707012	6,254735	6,140104	6,83174	7,179106
MEPS	Modelos	Consumo (TWh/ano)				
	6000 - 7999	2,957928	2,977389	2,470599	2,595855	2,724336
	8000 -13999	1,227831	1,246675	1,054524	1,116013	1,171445
	14000 -19999	1,471734	1,509501	1,304861	1,391953	1,461356
	Total	5,657492	5,733565	4,829984	5,103821	5,357136
Diferença	Modelos	(TWh/ano)				
	6000 - 7999	0,028045	0,295159	0,741972	0,978589	1,031853
	8000 -13999	0,0105	0,110502	0,27778	0,366365	0,386306
	14000 -19999	0,010975	0,115509	0,290367	0,382965	0,40381
	Total	0,04952	0,52117	1,31012	1,727919	1,82197
	%	0,87%	8,33%	21,34%	25,29%	25,38%

### 3.2.2. Avaliação econômica

Os aparelhos de ar condicionado com capacidade entre 6000-8000 Btu/h apresentaram duas opções de MEPS com benefícios maiores ou iguais aos custos, o que corresponde a um potencial de eficiência energética de 11% em relação aos equipamentos com classificação A do programa brasileiro de etiquetagem. A tabela 5 lista as opções com avaliação financeira positiva. Deve ser destacado que, sob o enfoque dos consumidores, nenhum dos outros casos apresentou resultados viáveis economicamente nas condições usuais de mercado. Porém, sob a perspectiva da sociedade, a ordem de grandeza dos custos anuais per capita para as opções máximas de eficiência (potencial técnico) não ultrapassam R\$ 5,00/ano.



Tabela 5 – Características técnicas das engenharias com avaliação financeira positiva para aparelhos de ar condicionado.

Modelo Equivalente	Selo	Capacidade de Refrigeração	Eficiência Energética W/W	Engenharia Custo efetivo Consumidor
6000-7999 Btu/h	A	2051 W	3,00	(1) - C + Evap./Cond melhorados (2) - (1) + PSC Fan Motor

A análise econômica das opções de engenharia de eficiência energética para aparelhos de ar condicionado mostrou-se, como no caso dos refrigeradores, mais favorável (maior rigor dos padrões com custos menores que benefícios) sob a perspectiva da sociedade. No entanto, o VPL em 2010 da implementação de cada opção ao longo do período 2010 – 2030 mostrou-se positivo somente no caso das opções de MEPS para os modelos equivalentes com capacidade entre 6000 – 7999 Btu/h. Enquanto que na análise econômica sob o enfoque do consumidor, os benefícios dentro das condições normais de mercado mostraram-se maiores do que os custos até a opção de engenharia 2, sob o enfoque da sociedade estes MEPSs mostraram-se favoráveis até a opção 4. Neste caso, os benefícios agregados com as economias de energia em termos de valor presente líquido são da ordem de R\$ 535 milhões.

### 3.3. Lâmpadas

No caso das lâmpadas, conforme mostra a Figura 2, a limitação da potência a 25W representaria um estoque com grande penetração de LFC, o que permitiria a estabilização do consumo próximo a 10 TWh/ano, valor cerca de 55% inferior ao consumo anual projetado no cenário BASE. No entanto, deve ser destacada a necessidade de lâmpadas com qualidade e que realmente cumpram a vida útil definida pelos fabricantes. Outras questões pertinentes que devem ser analisadas com maiores detalhes são: 1) influência da qualidade do fornecimento de energia na vida útil das FLCs; 2) o fator de potência das FLCs disponibilizadas no mercado e; 3) a inserção no mercado das lâmpadas com tecnologia LED, as quais provavelmente terão uma curva de custos decrescente nos próximos anos.



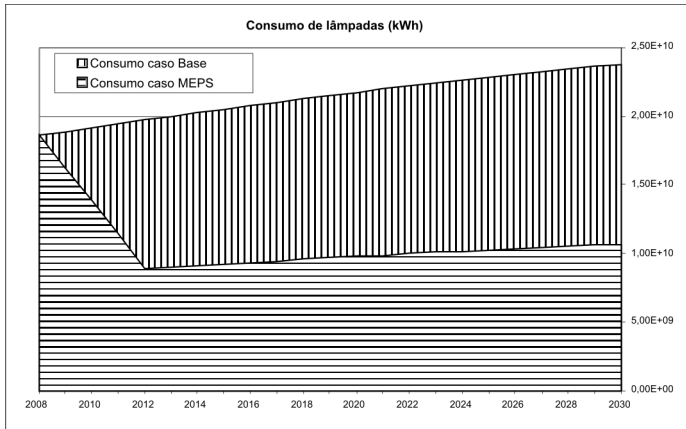


Figura 2 - Projeções do consumo de lâmpadas nos cenários BASE e MEPS (2008 -2030).

### 3.4. Televisores

Ao longo do período das projeções, o consumo de eletricidade dos televisores cresce a uma taxa média anual de 1,56% no cenário base e 1,34% no cenário MEPS. Essa diferença, devido a limitação da potência de consumo standby em 1W, representa, no ano horizonte do estudo, 0,9 TWh de energia economizada. A Figura 3 ilustra as projeções do consumo nos cenários BASE e MEPS.

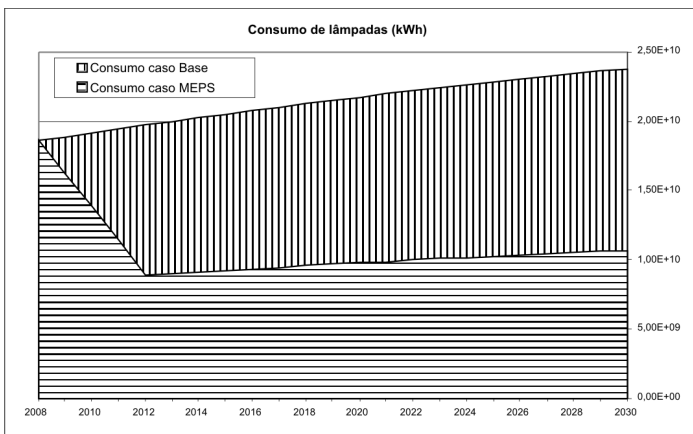


Figura 3 – Projeção do consumo de televisores: cenário BASE e MEPS.



## 4. CONCLUSÃO

No presente estudo, desenvolveu-se, um modelo de projeção do consumo de eletricidade que permite considerar especificações técnicas de equipamentos elétricos, e assim, possibilita a avaliação dos impactos da adoção de diferentes índices mínimos de eficiência energética ou máximos de consumo de energia.

As estimativas, resultantes da aplicação do modelo, revelaram que a adoção de padrões mais restritos para refrigeradores e aparelhos de ar condicionado, assim como a implementação de padrões para lâmpadas e de consumo no modo de operação *standby* para televisores; são ações adequadas para conservar de energia, com impactos significativos e bem determinados, resultando em alguns casos, captura de benefícios econômicos para a sociedade e para os consumidores.

Assim, para o caso brasileiro, onde “parece” não existir ainda um arcabouço para avaliar os impactos dos padrões de eficiência energética adotados, a metodologia aqui desenvolvida, pode contribuir no processo de análise e estabelecimento destes padrões mandatórios.

### 4.1. Análise crítica da eficiência energética nas projeções oficiais do Plano Nacional de Energia 2030 para o setor residencial

As projeções do PNE (2030) consideram intrinsecamente a energia conservada referente ao progresso autônomo da eficiência energética. No cenário B1<sup>5</sup> o consumo projetado para o setor residencial em 2030 é de 283,3 TWh. Como progresso induzido o PNE entende ser possível atingir em 2030, um montante de energia conservada aproximadamente equivalente ao potencial dito de mercado, o valor considerado nas projeções é de 1% para o setor residencial. Logo, a economia de energia provocada por ações de políticas públicas ou por meio da institucionalização de programas e medidas específicas, onde se enquadram os padrões de eficiência energética, seria da ordem de 2,83 TWh no horizonte do estudos.

As estimativas apresentadas na tese são coerentes com a ordem de grandeza das previsões do PNE. Porém, estas apresentam potenciais de

---

5 Foram escolhidos os resultados do cenário B1 porque o PNE (2030) escolhe este cenário para apresentação de alguns resultados consolidados.

eficiência energética superiores, considerando apenas 4 equipamentos elétricos de uso residencial, o que pode indicar a possibilidade de potenciais ainda maiores.

A estimativa do potencial técnico, indicado pelo PNE (19,8 TWh), é equivalente ao potencial viável economicamente sob a perspectiva da sociedade (20 TWh) estimado na tese para refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, lâmpadas e televisores somados. Tanto o potencial econômico (8,49 TWh), quanto o potencial de mercado (3,48 TWh) indicados pelo PNE, são valores inferiores ao que pode ser obtido, com benefícios maiores do que os custos, sob a perspectiva dos consumidores (15,4 TWh) para refrigeradores, aparelhos de ar condicionado, lâmpadas e televisores somados. A Tabela 6 lista as estimativas de potencial técnico, econômico e de mercado referente ao PNE e à tese.

Tabela 6 – Potencial de eficiência energética técnico, econômico e de mercado: PNE e tese

Potencial de eficiência energética	PNE (2030) (%)	PNE (2030) (TWh)	Tese (2030) (%)	Tese (2030) (TWh)
Técnico	7%	19,8	9,6%	27,4 {12,7 (lâmpadas) + 12 (refrigeradores) + 1,8 (aparelhos de ar condicionado) + 0,9 (standby - televisores)}
Econômico	3%	8,49	7,0%	20,0 {12,7 (lâmpadas) + 5,1+0,8 (refrigeradores) + 0,5 (aparelhos de ar condicionado) + 0,9 (standby - televisores)} <sup>1</sup>
Mercado	1%	3,83	5,4%	15,4 {12,7 (lâmpadas) + 0,7 + 0,8 (refrigeradores) + 0,3 (aparelhos de ar condicionado) + 0,9 (standby - televisores)} <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Refere-se a avaliação sob a perspectiva da sociedade onde são utilizadas na análise taxas de desconto de 8% ao ano.

<sup>2</sup> Refere-se a avaliação sob a perspectiva do consumidor nas condições “normais” de mercado – taxa de 63,6% ao ano.

Assim, deve ser destacado que o Plano Nacional de Energia pode ser mais específico ao considerar os potenciais de eficiência energética que podem ser alcançados através da implementação de índices mínimos de



eficiência energética. Isto permitiria, no processo de elaboração do plano, uma previsão mais precisa do comportamento da necessidade de expansão da matriz energética.

#### Agradecimento

O autor Conrado A. Melo gostaria de agradecer ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte concedido através da bolsa de doutorado, a qual permitiu a realização do projeto de pesquisa.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, A.T.; Lobão, W. J. A. (1997). Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. Texto para discussão 489. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

CLASP, (2006). Methodology Description for the Policy Analysis Modeling System. Disponível em: <http://www.clasponline.org/files/PAMSMethodology.pdf> [Acessado Maio 24, 2008].

Lima, M.A.M. ; Schmidt, C., (2004). A Demanda por Energia Elétrica no Brasil. Revista Brasileira de Economia, Rio de Janeiro, FGV, v. 58, n. 1, p. 67-98.

Mahlia, T. M. I.; Masjuki, H. H., Choudhury, I. A., (2002). Theory of energy efficiency standards and labels. Energy Conversion and Management, Volume 43, Issue 6, April 2002, Pages 743-761

Mattos, L.B., (2004). Demanda de energia elétrica no estado de minas gerais: 1970/2002. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa.

McMahon, J. E., (2004). Comparison of Australian and US Cost-Benefit Approaches to MEPS. Report presented to the National Appliance and Equipment Energy Efficiency Committee (NAEEEC), Sydney, Australia, March 25-26, 2004

Ministério de Minas e Energia (MME) (2002). Implementação da lei de Eficiência energética. Relatório de atividades Elaborado pelo Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética - CGIEE



Ministério de Minas e Energia (MME) (2006a). Nota técnica 21/2006 - DDE. Índices mínimos de eficiência energética para condicionadores de ar.

Ministério de Minas e Energia (MME) (2006b). Nota técnica 20/2006 - DDE. Índices mínimos de eficiência energética para refrigeradores e congeladores.

PUC, (2005). Pesquisa de posse de eletrodomésticos e hábitos de consumo. Comunicação interna com o Prof. da PUC-Rio Reinaldo Castro Souza (Coordenador da Pesquisa).

Queiroz, G.; Jannuzzi, G.M.; Vendrusculo, E.A.; Borges, T.; Pomilio, J.A., (2003). A life-cycle cost analysis (LCCA) for setting energy-efficiency standards in Brasil: The case of residential refrigerators. *IEI- International Energy Initiative*.

Disponível em: <http://www.iei-la.org/documents/RellEI2-56-01-03.pdf> [Acessado Maio 24, 2008].

Rosenquist, G.; Mcneil, M.; Iyer M.; Meyers, S.; McMahan, J. (2006) Energy efficiency standards for equipment : Additional opportunities in the residential and commercial sectors. *Energy Policy*. vol. 34, nº17, pp. 3257-3267

Schiellerup, P. (2002) An Examination of the effectiveness of the EU minimum standard on cold appliances: the British case. Published in *Energy Policy* Volume 30. No 4. March 2002. 327-332.

Stracquadini, R. & Leonardi, C., (2003). I6565-Based low cost smps for tv with less then 1w standby consumption. AN1729 APPLICATION NOTE.

Swisher, J., G. M. Jannuzzi, R. Redingler. (1997) Tools and Methods for Integrated Resources Planning: improving energy efficiency and protecting the environment, UNEP Collaborating Centre on Energy and Environment, 270 pp. Dinamarca.