



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

GCE-22
19 a 24 Outubro de 2003
Uberlândia - Minas Gerais

**GRUPO XIV
GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCE**

ÍNDICES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E SUA APLICABILIDADE À LEI DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Paulo Roberto Mocarzel*
CEPEL

Ronaldo de Paula Tabosa
Eletrobrás

RESUMO

Este trabalho aborda a definição de índices de eficiência energética em refrigeradores/congeladores e condicionadores de ar de uso doméstico e apresenta as metodologias adotadas pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE e pelo Programa Nacional de Conservação de Energia – PROCEL, os resultados de sua implementação e a aplicabilidade à Lei de Eficiência Energética.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência energética. Conservação de energia.

1.0 - INTRODUÇÃO

A eficiência energética de refrigeradores e congeladores era determinada pela relação associada entre o volume interno destes produtos pelo consumo de energia elétrica. Este modelo de determinação de eficiência foi adotado a partir de 1998 e embora tivesse resultado em um real ganho energético e na estimulação de desenvolvimento dos produtos, criou um desnível bastante grande entre a eficiência energética de produtos de pequena e grande capacidade volumétrica, resultado este causado principalmente pela indisponibilidade de uma maior diversificação de compressores com capacidades térmicas equivalentes a produtos de pequena capacidade volumétrica.

A eficiência energética de condicionadores de ar determinada pela relação entre a capacidade de refrigeração pela potência elétrica consumida por estes produtos, adotada internacionalmente, é aplicada ainda hoje para estes produtos.

Até 2002, a qualificação energética dos produtos não levavam em consideração os aspectos construtivos e o estado da arte dos componentes utilizados na montagem, e também os aspectos financeiros determinantes na análise do custo benefício de fabricação.

Com o objetivo de corrigir as implicações causadas por estas questões, foram submetidas a aprovação do Grupo de Trabalho do Programa Brasileiro de Etiquetagem e da Comissão do Selo PROCEL, propostas contendo alternativas de forma a corrigir a adoção de níveis de eficiência energética, e a gerar um modelo mais adequado às várias implicações técnicas, estimulando assim, a fabricação de produtos mais eficientes, desta feita, numa escala mais ampla dos diversos modelos disponíveis no mercado.

2.0. METODOLOGIAS ADOTADAS

2.1. Refrigeradores e Congeladores de Uso Doméstico

A metodologia para determinação do índice de eficiência energética, e as definições das classes de eficiência energética de refrigeradores e congeladores de uso doméstico (1) basearam-se inicialmente na definição de categorias que representam o agrupamento de produtos comparáveis e estão descritas na Tabela 1. O critério adotado para o estabelecimento destas categorias baseou-se na abrangência da norma aplicável, e na constituição física dos produtos.

Uma vez distribuídos os produtos nas categorias foram plotadas curvas de consumo de energia (kWh/mês) versus volume ajustado utilizando-se os dados

* Avenida Hum, s/n - Cidade Universitária – CEP 21941-590 – Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
Tel.: (021) 2598-6197 - Fax: (021) 2598-6136 - E-MAIL: mocarzel@cepel.br

extraídos da Tabela de Conservação de Energia publicada pelo PBE/INMETRO.

O volume ajustado de refrigeradores e congeladores foi determinado considerando-se o volume interno do produto em relação as temperaturas nominais de classificação de cada compartimento e seção, conforme descritas na Tabela 2.

TABELA 1 – CATEGORIAS PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE REFRIGERADORES E CONGELADORES

Categoria	Nomenclatura	Abrangência
1	Refrigerador	Produtos abrangidos pela norma ISO 7371 (2)
2	Combinado	Produtos abrangidos pela norma ISO 8187 (3)
3	Combinado frost-free	Produtos abrangidos pela norma ISO 8561 (4)
4	Congelador vertical	Produtos abrangidos pela norma ISO 5155 (5)
5	Congelador vertical frost-free	Produtos abrangidos pela norma ISO 8561
6	Congelador horizontal	Produtos abrangidos pela norma ISO 5155

TABELA 2 – TEMPERATURA NOMINAL DE CLASSIFICAÇÃO

Temperatura mais elevada no interior do compartimento congelador, evaporador ou de sua seção (Tc)	Temperatura nominal de classificação (°C)	Número de estrelas
Tc ≤ -6 °C	-6	1 (*)
Tc ≤ -12 °C	-12	2 (**)
Tc ≤ -18 °C	-18	3 (***)

Os produtos que contêm no compartimento congelador, uma ou mais seções de diferentes temperaturas nominais, tiveram seus volumes internos totalizados por temperatura nominal, resultando em um volume ajustado definido pela equação abaixo:

$$AV = V_r + \sum (f \cdot V_c)$$

Onde:

AV = volume ajustado.

V_r = volume do compartimento refrigerador (em litros).

V_c = volume do compartimento congelador, evaporador ou de sua seção conforme temperatura de classificação (em litros).

f = fator equivalente a classificação de cada compartimento e definido conforme Tabela 3.

O fator f foi definido em função das temperaturas nominais dos compartimentos internos dos produtos e

em relação a temperatura equivalente a ambiental, que no caso de países tropicais é de 32 °C, podendo ser expresso pela equação abaixo, e resultando nos valores expressos na Tabela 3.

TABELA 3 – FATOR CORRESPONDENTE A CLASSIFICAÇÃO EM ESTRELAS

Número de estrelas	f
1	1,41
2	1,63
3	1,85

$$f = \frac{32 - T_c}{32 - T_r}$$

Onde:

T_c = Temperatura nominal do compartimento congelador ou evaporador.

T_r = Temperatura nominal do refrigerador (5 °C).

As categorias combinado frost-free e congelador vertical frost-free, por razões equivalentes ao processo de degelo, foram diferenciados das categorias combinado e congelador vertical. Esta diferenciação resulta na multiplicação por 1,2 dos volumes V_r e V_c.

As curvas de consumo de energia versus volume ajustado mencionadas anteriormente demonstraram um aspecto tal que o consumo de energia não poderia ser exclusivamente função direta do volume interno dos produtos.

O modelo de eficiência energética adotado até então, não levava em consideração este aspecto, favorecendo os produtos de grande capacidade volumétrica em detrimento aos de pequena capacidade.

Portanto, experimentou-se definir uma reta de regressão para cada curva plotada, a qual denominamos reta de consumo padrão.

Definidas as equações de cada reta plotada, passamos a definir o índice de eficiência energética (I_e) como a razão entre o consumo do produto (C) e o consumo padrão (C_p), conforme representado pela equação a seguir:

$$I_e = \frac{C}{C_p}$$

Este índice permitiu avaliar a distância tecnológica de cada produto daquele que seria o padrão, traduzindo no consumo energético a maior ou a menor de cada produto fabricado, estimulando a indústria a buscar melhorias que viabilizassem a redução de consumo de energia destes produtos.

Para cada categoria criada, o consumo padrão pode ser definido como o consumo de energia equivalente ao volume ajustado e pode ser representado pela equação a seguir.

$$C_p = a \cdot AV + b$$

Onde:

Cp = Consumo padrão

AV = Volume ajustado

Os valores de a e b determinam a equação da reta de consumo padrão de cada categoria e seus valores encontram-se representados na Tabela 4.

TABELA 4 – RETAS DE CONSUMO PADRÃO DAS CATEGORIAS

Categoria	a	b
Refrigerador	0,0346	19,117
Combinado	0,0916	17,083
Combinado frost free	0,1059	7,4862
Congelador vertical	0,0211	39,228
Congelador vertical frost free	0,0178	58,712
Congelador horizontal	0,0758	13,095

2.1.1 Definição de classes

As classes de eficiência energética atualmente adotadas pelo PBE e representadas por letras de A a G, foram redefinidas e baseadas nos resultados dos índices de eficiência energética (Ie) obtidos.

A redefinição das classes foi submetida a aprovação do Grupo de Trabalho do Programa Brasileiro de Etiquetagem e através de Acordo realizado entre os representantes do Governo, da Indústria e das Associações de Classe foram implementadas em 2003.

Encontram-se descritas na Tabela 5, os índices mínimos de eficiência energética das classes resultantes da metodologia empregada.

TABELA 5 – ÍNDICES MÍNIMOS DE EFICIÊNCIA DAS CLASSES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Classe	Índice mínimo de eficiência energética
A	0,869
B	0,949
C	1,020
D	1,097
E	1,179
F	1,267
G	1,362

2.1.2 Resultados obtidos

Os fabricantes de refrigeradores com o intuito de se prepararem para a implementação da nova metodologia de definição das classes de eficiência energética, reformularam seus produtos visando uma melhor classificação através da redução de consumo de energia, conforme pode ser verificado nas figuras a seguir que evidenciam a melhoria da eficiência dos refrigeradores e congeladores. Nestas figuras, para efeito de comparação, encontram-se também plotadas as retas de regressão linear equivalentes aos modelos fabricados nos anos de 2002 e 2003.

A Figura 1 mostra o consumo elétrico em função do volume ajustado dos diversos modelos da categoria Refrigerador disponíveis no mercado.

Considerando que a eficiência média destes refrigeradores pode ser definida pela a reta de regressão, pode-se observar, portanto, que houve um aumento da eficiência média dos modelos de refrigeradores produzidos para o ano de 2003 em relação aos produzidos no ano de 2002.

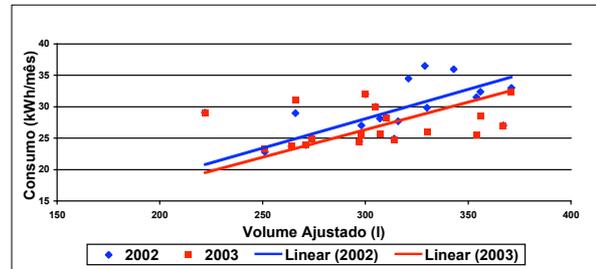


FIGURA 1 – CATEGORIA REFRIGERADOR

O mesmo ocorreu para a categoria combinado, conforme mostra a Figura 2, e para a de combinados frost-free, Figura 3.

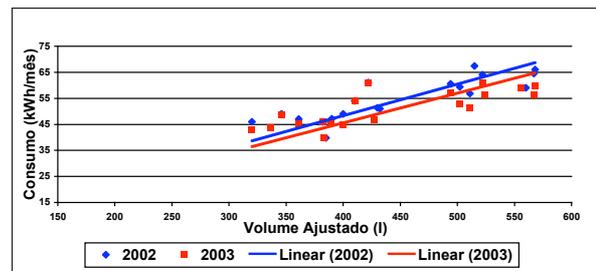


FIGURA 2 – CATEGORIA COMBINADO

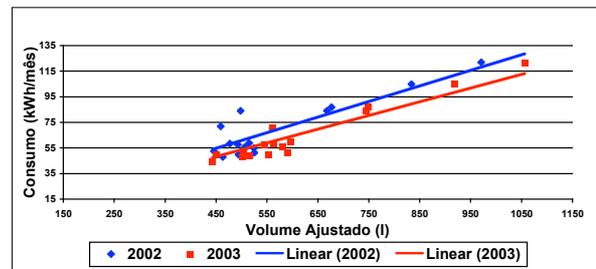


FIGURA 3 – CATEGORIA COMBINADO FROST-FREE

Também foi observado aumento de eficiência nas categorias Congelador vertical e Congelador horizontal, embora aqui não ilustradas.

2.2. Condicionadores de ar de uso doméstico

De modo a melhor avaliar a tecnologia disponível no mercado de condicionadores de ar e de forma a estabelecer critérios que melhor determinem a amplitude de cada classe de eficiência energética (6), foi necessária a criação e distribuição de produtos em categorias de forma a possibilitar intercomparações entre os diversos modelos em função das capacidades de refrigeração disponíveis no mercado nacional, resultando na criação de 4 categorias com suas faixas

de capacidade determinadas conforme mostra a Tabela 6.

TABELA 6 – CATEGORIAS PARA ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONDICIONADORES DE AR DE USO DOMÉSTICO

Categoria	Capacidade de refrigeração	
	kJ/h	BTU/h
1	≤ 9.495	≤ 9.000
2	9.496 a 14.769	9.001 a 13.999
3	14.770 a 21.099	14.000 a 19.999
4	≥ 21.100	≥ 20.000

2.2.1 Índice de eficiência energética

A eficiência energética de um condicionador de ar é definida como sendo a razão entre a capacidade de refrigeração e a potência elétrica consumida.

A capacidade de refrigeração - expressa em kJ/h, ou BTU/h - e a eficiência energética - expressa em kJ/Wh - são determinadas segundo as Normas NBR 5858 (7) e NBR 5882 (8).

2.2.2 Definição das classes

Uma vez estabelecidas as categorias buscou-se definir os índices de eficiência energética, adotando-se como base as já conhecidas eficiências energéticas dos modelos mais eficientes do mercado nacional. Para tanto o índice mínimo de eficiência energética da classe A foi adotado o valor médio das eficiências destes modelos após distribuição nas categorias recém criadas. Os índices mínimos das demais classes foram automaticamente definidos adotando-se uma faixa de eficiência 8% abaixo da imediatamente superior.

Encontram-se descritas nas Tabelas 7, 8, 9 e 10, as classes de eficiência energética com as eficiências energéticas mínimas para cada categoria

TABELA 7 – ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A CATEGORIA 1

Classe de Eficiência Energética	Índice de Eficiência Energética (kJ/Wh)
A	10,23
B	9,41
C	8,66
D	7,96
E	7,33
F	6,74
G	< 6,74

TABELA 8 – ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A CATEGORIA 2

Classe de Eficiência Energética	Índice de Eficiência Energética (kJ/Wh)
A	10,75
B	9,89
C	9,10
D	8,37
E	7,70
F	7,08
G	< 7,08

TABELA 9 – ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A CATEGORIA 3

Classe de Eficiência Energética	Índice de Eficiência Energética (kJ/Wh)
A	10,26
B	9,43
C	8,68
D	7,99
E	7,35
F	6,76
G	< 6,76

TABELA 10 – ÍNDICE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA A CATEGORIA 4

Classe de Eficiência Energética	Índice de Eficiência Energética (kJ/Wh)
A	10,16
B	9,35
C	8,60
D	7,91
E	7,28
F	6,70
G	< 6,70

A classe de eficiência energética de cada modelo, representada por uma letra, de A a G, simboliza o nível de eficiência em que se encontra cada modelo.

2.2.3 Resultados obtidos

As classes de eficiência energética atualmente adotadas pelo PBE e representadas por letras de A a G, foram redefinidas e baseadas nos resultados dos índices de eficiência energética obtidos.

A redefinição das classes foi submetida a aprovação do Grupo de Trabalho do Programa Brasileiro de Etiquetagem e através de Acordo realizado entre os representantes do Governo, da Indústria e das Associações de Classe foram implementadas em 2002.

Os fabricantes de condicionadores de ar após implementação da nova metodologia de definição das classes de eficiência energética, buscaram reformular seus projetos visando uma melhor classificação, através do aumento da eficiência energética destes produtos.

A Figura 4 mostra a evolução da eficiência energética média por categoria dos modelos de condicionadores de ar de classe de eficiência energética A disponíveis no mercado nos anos de 2001, 2002 e 2003

Pode-se verificar que a eficiência energética média dos produtos das categorias 1 e 2 apresentou uma elevação crescente no período de 2001 a 2003. A categoria 3 apresentou ligeiro aumento da eficiência média imediatamente após a implementação da nova metodologia, mantendo-se estável no período de 2002 a 2003, uma vez que não houve lançamento de novos produtos no período, o mesmo acontecendo na categoria 4, onde a eficiência média foi mantida estável desde 2001.

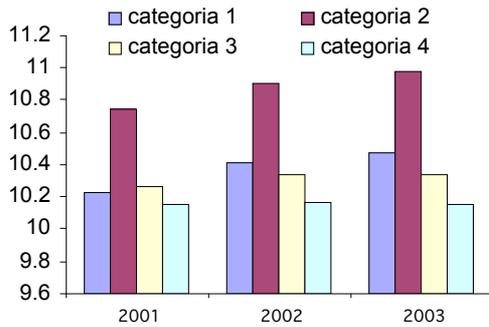


FIGURA 4 – EVOLUÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CONDICIONADORES DE AR

3.0. REAVALIAÇÕES PERIÓDICAS

Os valores estabelecidos neste trabalho foram obtidos adotando-se as Tabelas de Eficiência Energética publicadas pelo PBE/INMETRO em 30/01/2001, as quais servirão de referência para estabelecimento de novos índices.

Novas categorias poderão ser criadas a medida que os produtos abordados não estejam adequadamente representados pelas atuais. Tal medida poderá ser implementada pelas CT-REF – Comissão Técnica de Refrigeradores e pela CT-CAD – Comissão Técnica de Condicionadores de Ar do PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem, e será vinculada a um número mínimo de produtos que venham a possibilitar a definição de uma categoria.

A revisão dos índices de eficiência energética serão realizados periodicamente, sendo que a eficiência energética mínima de cada classe não será inferior a anteriormente implementada.

4.0. CONCLUSÕES

A intercomparação entre os diversos modelos das categorias Refrigerador, Combinado, Combinado frost-free, Congeladores verticais, Congeladores verticais frost-free e Congeladores horizontais foi viabilizada a partir da determinação do consumo padrão.

O surgimento das 4 categorias implementadas para condicionadores de ar e a criação de classes de eficiência energética distintas e compatíveis com as tecnologias disponíveis permitiram uma melhor avaliação entre os modelos disponíveis além de estimular a indústria na evolução destes produtos.

O surgimento de novas categorias poderá ser necessário a medida que produtos não adequadamente representados pelas atuais categorias venham a aparecer.

As metodologias adotadas para refrigeradores e congeladores e para condicionadores de ar de uso doméstico permitem a implementação de índices mínimos de eficiência energética.

A Lei de Eficiência Energética promulgada pelo Presidente da República em 2001, poderá contar com

este estudo que contém instrumentos que poderão ser considerados para subsidiar a sua regulamentação.

Os procedimentos adotados e os resultados relativos ao estabelecimento das metodologias em vigor para determinação de Índices de Eficiência Energética, ao estabelecimento de classes de eficiência energética, as reavaliações periódicas a serem realizadas nos futuros anos, e principalmente a revisão dos futuros índices de classificação das faixas de eficiência energética a serem implementadas, ajudarão a consolidar uma política energética em produtos da linha branca e a aplicabilidade à Lei de Eficiência Energética.

5.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) MOCARZEL, P.R. Eficiência Energética de Refrigeradores e Congeladores de Uso Doméstico – RELATÓRIO TÉCNICO CEPEL ADG/A-DUE 625/2001. Brasil.
- (2) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Household refrigerating appliances – Refrigerators with or without low-temperature compartment – Characteristics and test methods - ISO 7371:1995.
- (3) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Household refrigerating appliances – Refrigerator-freezers – Characteristics and test methods - ISO 8187:1991.
- (4) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Household refrigerating appliances – Refrigerators, refrigerator-freezers, frozen food storage cabinets and food freezers cooled by internal forced air circulation – Characteristics and test methods - ISO 8561:1995.
- (5) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Household refrigerating appliances – Frozen food storage cabinets and food freezers – Characteristics and test methods - ISO 5155:1995.
- (6) MOCARZEL, P.R. Metodologia para estabelecimento das classes de eficiência energética de condicionadores de ar de uso doméstico – RELATÓRIO TÉCNICO CEPEL ADG/A-DUE 429/2001. Brasil.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Condicionador de ar doméstico – Especificação - NBR 5858. Brasil.
- (8) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Condicionador de ar doméstico – Determinação das características – Método de ensaio - NBR 5882. Brasil.