

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**

**ENGENHARIA DA ENERGIA**

***ECONOMIA DE ENERGIA EM AR CONDICIONADO NO BRASIL:  
EFICIÊNCIA E ECONOMICIDADE***

**EDSON PALHARES DE SOUZA**

Itajubá, Abril de 2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

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

Edson Palhares de Souza

***ECONOMIA DE ENERGIA EM AR CONDICIONADO NO BRASIL:  
EFICIÊNCIA E ECONOMICIDADE***

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

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Luis A. Horta Nogueira.

Abril de 2010

Itajubá - MG

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá –  
Bibliotecária Margareth Ribeiro- CRB\_6/1700

S729e

Souza, Edson Palhares de

Economia de energia em ar condicionado no Brasil : eficiência e economicidade / Edson Palhares de Souza. -- Itajubá, (MG) : [s.n.], 2010.

116 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Eficiência energética. 2. Etiquetação. 3. Aparelhos de ar condicionado eficientes. I. Nogueira, Luiz Augusto Horta, orient. II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que não me faltou em momento algum.

Aos pesquisadores e colegas de trabalho do EXCEN pela ajuda constante nos momentos mais difíceis.

Ao professor, orientador e amigo dileto, Prof. Luiz Augusto Horta Nogueira por me apoiar e incentivar, acreditando na minha capacidade e determinação.

Aos amigos Rafael Balbino, Rodolfo Esmarady, Emerson e Moises pela contribuição na confecção, dedicação e ajuda com informações que tornaram possíveis o desenvolvimento deste trabalho.

A minha família, Daisy minha esposa e Ana Helena minha filha querida onde busquei sempre inspiração e apoio para atingir meus objetivos.

*Na construção do conhecimento...*

*Vi poucos se esforçarem quase nada,*

*Vi alguns se esforçarem um pouco,*

*Vi muitos se esforçarem bastante e*

*Vivo a minha, com suor, lágrimas e muito, muito esforço.*

*Graças a Deus.*

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**MESTRADO DE ENGENHARIA DA ENERGIA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

***ECONOMIA DE ENERGIA EM AR CONDICIONADO  
NO BRASIL: EFICIÊNCIA E ECONOMICIDADE***

**AUTOR: Edson Palhares de Souza**

---

**Prof. Dr. Luiz Augusto Horta Nogueira**

**UNIFEI**

---

**Prof. Dr. Jamil Haddad**

**UNIFEI**

---

**Prof. Dr. Ronaldo Goulart Bicalho**

**UFRJ**

---

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABELAS .....	vii
LISTA DE SIGLAS .....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv

PARTE I - CONTEXTO DA DISSERTAÇÃO.....	1
1 - Introdução .....	1
2 - Objetivos .....	5
3 - Revisão Bibliográfica.....	6
3.1 - Promoção de Eficiência Energética no contexto Nacional e Internacional .....	7
3.2 - Importância dos sistemas de ar condicionado nos sistemas energéticos.....	15
3.3 - Uso eficiente de energia em aparelhos de Ar Condicionado .....	17
3.4 - Conceitos básicos em Ar Condicionado .....	20
3.4.1 - Conforto Térmico .....	21
3.4.2 - Carga Térmica .....	22
3.4.3 - Estudo Psicrométrico .....	25
3.5 - Princípio de funcionamento e Tecnologia de Condicionadores de Ar.....	29
3.5.1 - Capacidade Frigorífica.....	32
3.5.2 - Potência Teórica de Compressão.....	33
3.5.3 - Calor Rejeitado no Condensador.....	34
3.5.4 - Dispositivo de Expansão .....	34
3.5.5 - Coeficiente de Desempenho do Ciclo de Refrigeração (COP).....	35
3.5.6 - Classificação das instalações de Ar Condicionado.....	36
3.6 - Normas de Ensaio de Sistemas de Ar Condicionado .....	38
3.7 - Verificação e Aferição de Eficiência Energética em aparelhos de AC .....	42



PARTE II - DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO .....	46
4 - Metodologia.....	47
5 - Dados relevantes a Metodologia de Avaliação de aparelhos de AC .....	49
6 - Modelo Conceitual de Avaliação do Selo PROCEL .....	54
6.1 - Cálculo do Parque de Equipamentos.....	55
6.2 - Cálculo do Consumo Médio Unitário.....	56
6.3 - Cálculo do Consumo do Parque .....	59
6.4 - Cálculo da Economia de Energia.....	59
6.5 - Cálculo da Redução de Demanda de Ponta .....	60
7 - Dados de Entrada do Modelo.....	61
8 - Análise de Incertezas do Modelo .....	68
8.1- Incertezas associadas ao Modelo.....	68
8.2 - Propagação das Incertezas .....	69
9 - Resultados .....	72
9.1 - Quantificação da Economia de Energia atribuída ao PSP .....	75
9.2 - Redução de Demanda de Ponta no horário de ponta.....	76
9.3 - Atualização de resultados para 2008.....	77
9.4 - Análises .....	78
PARTE III - ESTUDO ECONÔMICO .....	79
10 - Análise da viabilidade econômica na aquisição de sistemas de AC eficientes ..	79
10.1 - Metodologia .....	79
10.2 - Preços de Aparelhos de Ar Condicionado .....	80
10.3 - Método e dados para a avaliação do custo operacional dos aparelhos AC.	83
10.4 - Cálculo do consumo médio e custo de energia consumida de AC .....	87
10.5 - Estimativa da Taxa Interna de Retorno.....	92
10.6 - Análises de Sensibilidade .....	94

PÁRTE IV – CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....	99
11 - Conclusões .....	99
12 - Sugestões e Recomendações .....	102
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	103
ANEXOS .....	109
APÊNDICES.....	112

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1- Etiqueta de Eficiência Energética e Selo PROCEL.....	2
Figura 3.1 - Etiquetas Selo PROCEL de Aparelhos de Ar Condicionado .....	9
Figura 3.2 - Resultados Energéticos do Selo PROCEL em 2007.....	11
Figura 3.3 - Distribuição do Consumo de energia para eletrodomésticos.....	16
Figura 3.4 - Distribuição do Consumo de energia de aparelhos de Ar Condicionado.....	17
Figura 3.5 - Etiqueta Energy Star(USA) e Etiqueta Suíça .....	19
Figura 3.6 - Etiquetas de Eficiência Energética pelo mundo .....	19
Figura 3.7- Eficiência energética mínima para condicionadores de ar do tipo janela no Brasil e no mundo. ....	20
Figura 3.8 - Eficiência Energética atribuída às melhorias da parte civil .....	23
Figura 3.9 - Ábaco para a determinação da temperatura efetiva .....	27
Figura 3.10 - Diagrama T (temperatura) x S (entropia) para o ar.....	28
Figura 3.11- Modo de utilizar o diagrama psicrométrico.....	29
Figura 3.12 - Diagrama Funcional do Sistema de Ar Condicionado.....	30
Figura 3.13 - Esquema de resfriamento básico de sistemas de ar condicionado.....	32
Figura 3.14 - Representação Esquemática e Diagrama do calor retirado .....	32
Figura 3.15 - Representação Esquemática e Diagrama da Potência Teórica .....	33
Figura 3.16 - Representação Esquemática e Diagrama do Calor rejeitado .....	34
Figura 3.17- Representação Esquemática e Diagrama da expansão em processo adiabático .....	35
Figura 3.18 - Ar Condicionado tipo Janela ou parede. ....	37
Figura 3.19 - Ar Condicionado tipo Split.....	38
Figura 4.1- Evolução das curvas de consumo do parque de condicionadores de ar.....	48
Figura 5.1- Participação no mercado de condicionadores de ar – Brasil .....	50
Figura 5.2- Fator de degradação de eficiência de Condicionadores de Ar.....	51
Figura 7.1- Evolução das vendas anuais de AC do tipo janela no Brasil .....	61
Figura 7.2 - Concentração de Condicionadores de Ar por região do Brasil .....	62
Figura 7.3 - Concentração de condicionadores de ar Janela e Split por setor .....	63
Figura 7.4 - Coeficientes médios de Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Janela (6.000-12.000) no Brasil.....	64
Figura 7.5 - Coeficientes médios de Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Janela (12.001-30.000 Btu/h) no Brasil. ....	64

Figura 7. 6 - Coeficientes médios de Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Split no Brasil.....	65
Figura 8.1 - Fatores que interferem nas incertezas do Modelo .....	69
Figura 9.1- Evolução do parque de condicionadores de ar do tipo Janela no Brasil .	72
Figura 9.2 - Evolução do consumo de condicionadores de ar do tipo janela (6.000-12.000 Btu/h) no setor residencial brasileiro. ....	73
Figura 9. 3 - Evolução do consumo de condicionadores de ar do tipo janela (12.001-30.000 Btu/h) no setor comercial brasileiro. ....	73
Figura 9.4 - Consumo médio unitário de condicionadores de ar do tipo Janela no ano de 2007 no Brasil .....	74
Figura 9.5 - Consumo de condicionadores de ar do tipo janela (6.000-12.000 Btu/h) no setor residencial brasileiro no ano de 2007 .....	74
Figura 9.6 - Consumo de condicionadores de ar do tipo janela (12.001-30.000 Btu/h) no setor comercial brasileiro no ano de 2007 .....	75
Figura 9.7- Economia de energia atribuída aos condicionadores de ar do tipo janela (6.000-12.000 Btu/h) no setor residencial brasileiro no ano de 2007. ....	75
Figura 9.8 - Economia de energia atribuída aos condicionadores de ar do tipo janela (12.001-30.000 Btu/h) no setor comercial brasileiro no ano de 2007 .....	76
Figura 9.9 - Distribuição percentual da redução de demanda de ponta dos setores residência e comercial no Brasil em 2007. ....	77
Figura 9.10 - Participação na economia de energia em condicionadores de ar do tipo Janela no setor residencial e comercial brasileiro em 2007.....	78
Figura 10.1- Preços unitários de condicionadores de ar, por classe, de capacidade de 0,75 TR a 2,5 TR, em Novembro de 2009.....	82
Figura 10.2- Fração de tempo anual de temperatura .....	85
Figura 10.3- Diferença de consumo de energia elétrica nos estados brasileiros entre os setores residência e comercial. ....	89
Figura 10. 4- Custos anuais de operação de Condicionadores de Ar de classe A e B de 0,75 TR nas regiões do Brasil. ....	90
Figura 10. 5- Custos anuais de operação de Condicionadores de Ar de classe A e B de 1,75 TR nas regiões do Brasil. ....	90
Figura 10.6- Diferença de custo operacional na aquisição de AC nos estados brasileiros entre as classes A e B nos setores residencial e comercial.....	91

Figura 10.7- Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor residencial na região Sul.....	95
Figura 10.8- Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor comercial na região Sul..	96
Figura 10.9- Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor residencial na região Centro Oeste	97
Figura 10.10- Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor comercial na região Centro Oeste	98

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Janela.....	10
Tabela 3.2 - Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Split10	
Tabela 3.3 - Eficiência Energética (EER) dos condicionadores de ar do tipo janela .	12
Tabela 3.4 - Temperaturas de ensaio .....	41
Tabela 7.1 - Temperaturas média ambiente ponderada pela população das mesorregiões geográficas do IBGE.....	66
Tabela 7.2 - Tempo de utilização de condicionadores de ar (horas/ano).....	66
Tabela 8.1 - Impacto de incertezas das variáveis no modelo.....	70
Tabela 8.2 - Incerteza do modelo.....	71
Tabela 9.1 - Valores de Economia de Energia e Demanda de Ponta verificada em aparelhos de Ar Condicionado em 2008. ....	77
Tabela 10.1 - Preços por capacidade frigorífica, classe de eficiência e fabricante ..	81
Tabela 10.2- Preços médios unitários de condicionadores de ar em Novembro de 2009 (R\$/TR).....	82
Tabela 10.3 - Preços estimados para os condicionadores de ar representativos em Novembro de 2009.....	83
Tabela 10.4 - Dados de clima utilizados para cálculo do consumo anual de energia	85
Tabela 10.5 - Dados utilizados para cálculo do consumo anual de energia.....	86
Tabela 10.6 - Tarifa média de Energia Elétrica – R\$/kWh .....	86
Tabela 10.7- Coeficientes de Eficiência médios de AC nas categorias.....	87
Tabela 10.8 - Consumo médio de aparelhos de ar condicionado no setor residencial (0,75 TR) para as classes A e B (kWh/ano).....	88
Tabela 10.9 - Consumo médio de aparelhos de ar condicionado no setor comercial (1,75 TR) para as classes A e B em kWh/ano.....	88
Tabela 10.10 - TIR nos setores residencial e comercial e nas regiões do Brasil .....	93
Tabela 10.11 - Dados para análise de sensibilidade.....	95

## LISTA DE SIGLAS

ABINEE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

ACE – Ações para Conservação de Energia

ACEER – American Council for na EnergyEfficiency Economy

ACHEE – Agencia Chilena de Eficiência Energética

AHRI – Air-Conditioning, heating, and Refrigeration Institute

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN – Balanço Energético Nacional

BEU – Balanço de Energia Útil

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CPEC – Canada Program for Energy Conservation

CLASP – Collaborative Labeling and Advance Standards Program

CLF – Cooling Load Factors

CEPET – Centro de Pesquisas Tecnológicas

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

CONUE – Comissão Nacional para o Uso Eficiente da Energia

DOE – Department of Energy

ECCJ – Energy Conservation Center of Japan

EER – Energy Efficiency Ratio

EERE – Office of Energy and Renewable Energy

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A

ELETROS – Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPA – Environmental Protection Agency

EST – Energy Saving Trust

EXCEN – Centro de Excelência em Eficiência Energética

FEAP – Federation of European Aquaculture Producers

GLD – Gerenciamento pelo Lado da Demanda

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDAE – la Diversificación y Ahorro de la Energía

IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor

IEA – International Energy Agency

IIEC – International Institute for Energy Conservation

IMEE – Índice Mínimo de Eficiência Energética

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LBNL – Lawrence Berkeley National Laboratory

LFC – Lâmpadas Fluorescentes Compáctas

MCLTD – Cooling Load Temperature Differences Method

MME – Ministério das Minas e Energia

M&V – Medição e Verificação

NRCan – Natural Resources Canadá

OEE – Office of Energy Efficiency

PAE – Energy Conservation Programme

PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem

PCDs – Plataforma de Coleta de Dados

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

PIMPF – Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física

PIMPV – Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance

PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

POF – Pesquisa de Orçamento Familiar



PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PSP – Programa Selo Procel

RDP – Redução de Demanda de Ponta

RPA – Relação de Produtos Aprovados

SEER – Seasonal Energy Efficiency Ratio

SFL – Solar Load Factors

TEM – Transfer Function Method

TETD – Total Equivalent Temperature Differential

TP – Test Procedure

VCR – Voluntary Challenge and Registry

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AC – Ar Condicionado

BA – Benefício Anual

CEE – Consumo de Energia Elétrica

CFC – Clorofluocarbono

$c_{ei}$  – Consumo unitário de energia elétrica do equipamento  $i$

$C_{OT}$  – Custo operacional total

$C_M$  – Consumo médio anual

$C_{mek}$  – Consumo médio unitário de energia elétrica dos equipamentos  $k$

$c_{Ti}$  – Consumo unitário de energia térmica do equipamento  $i$

COP – Coeficiente de Performance Ideal

$c_p$  – Calor específico a pressão constante

cs – Com Selo PROCEL

EE – Economia de Energia Elétrica

EF – Efeito Refrigerífico

FCS – Fator de Carga Sensível

FCP – Fator de Coincidência de Ponta

FD – Fator de Degradação de Eficiência

FRC – Fator de Recuperação de Capital

FU – Fator de Utilização

FVP – Fator de Valor Presente

$G_{sat}$  – Grau de saturação

$h$  – entalpia específica

$I$  – Investimento

$i$  – idade dos equipamentos

$j$  – Ano

$k$  – Hipótese de composição do parque de equipamentos

LB – Linha de Base

LI – Limite Inferior de Incerteza  
LS – Limites superiores de incerteza  
m – fluxo de massa de ar  
 $m_{ar}$  – massa de ar seco  
n – Idade de Equipamentos  
P – Parque de equipamentos  
 $P_{mk}$  – Preço médio do equipamento de categoria k  
 $P_{ot}$  – Potência Média Consumida  
 $P_S$  – Pressão de saturação do vapor d'água  
 $P_v$  – Pressão parcial de vapor d'água  
 $Q_C$  – Calor rejeitado  
 $Q_L$  – Calor Latente  
 $Q_S$  – Calor sensível  
 $Q_t$  – Carga térmica (capacidade frigorífica ou calor absorvido)  
S – Sucateamento  
ss – Sem Selo PROCEL  
T – Temperatura  
t – tempo  
TBU – Temperatura de Bulbo Úmido  
TBS – Temperatura de Bulbo Seco  
TIR – Taxa Interna de Retorno  
TPO – Temperatura de Ponto de Orvalho  
 $T_{Amb}$  – Temperatura Ambiente  
 $T_{Ref}$  – Temperatura de Referência  
 $T_u$  – Tempo médio de utilização  
TR – Taxa de Resfriamento  
 $T_R$  – Tarifa de Energia Elétrica  
UR – Umidade Relativa  
V – Vendas

$V_{\text{esp}}$  – Volume específico

VLP – Valor Presente Líquido

$W_C$  – Potência teórica de compressão

$\Delta EE$  – Incerteza do Modelo

$\Delta x$  – Incerteza da Variável x

$\Delta y$  – Incerteza da Variável y

$\alpha$  – Coeficiente de Sucateamento

$\beta$  – Coeficiente de Sucateamento

$\lambda$  – Coeficiente de Sucateamento

$\emptyset$  – Umidade relativa

## RESUMO

O fomento ao incremento da eficiência energética em equipamentos elétricos tem sido implementado no Brasil com maior intensidade nos últimos dez anos. Entre as motivações para esta prática têm-se os crescentes custos na geração de energia e a maior preocupação com os aspectos ambientais. Nesse sentido o Programa Selo PROCEL se destaca, com o objetivo de informar aos consumidores sobre o desempenho energético de equipamentos elétricos. O presente trabalho inicialmente analisa o estudo de avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar do tipo Janela e Split, desenvolvido pelo Centro Excelência em Eficiência Energética, EXCEN/UNIFEI. Para a avaliação desse impacto e estimar a economia de energia elétrica, foram utilizados dados de consumo medidos em condições padronizadas, ajustados para o contexto real. Para tanto, o parque dos equipamentos foi modelado e desagregado de forma regional e setorial, para incluir os efeitos da temperatura ambiente e intensidade de utilização, levando em conta ainda a perda de desempenho ao longo da vida útil. O erro estimado nessa avaliação foi de  $\pm 26\%$ . Pelo presente estudo, a economia de energia promovida pela introdução do Selo PROCEL em condicionadores de ar foi de 664 GWh em 2008, que corresponde 3,4% do consumo residencial estimado para esses equipamentos nos setores residencial (80%) e comercial (20%). A redução de demanda de ponta associada a essa economia de energia foi de 339 MW, que corresponde a 0,32% da oferta máxima de energia elétrica registrada nesse ano no Sistema Interligado Nacional. Foi efetuada uma análise econômica da viabilidade de aquisição de aparelhos eficientes (classe A) adotando critérios do custo anual equivalente e a taxa interna de retorno (TIR) e considerando as tarifas elétricas e tempos de uso regionalizados, se constatando que é vantajoso comprar os modelos mais eficientes na maioria das regiões brasileiras.

**Palavras chave:** Eficiência energética, etiquetagem, aparelhos de Ar condicionado eficientes.

## ABSTRACT

Activities for increasing energy efficiency in electrical equipment have been implemented in Brazil with more intensity in the last ten years. The rising costs for energy generation and the greater concern with environmental issues are among the motivations for this practice. The PROCEL Label Program stands out with the objective of informing consumers about the energy performance of electrical equipment. This paper initially analyzes the evaluation of the energy impact attributed to the PROCEL Label Program, in Window and Split Air Conditioners by the Center for Excellence in Energy Efficiency - EXCEN/UNIFEI. It was used equipment consumption data measured under standard conditions for the assessment of the impact and estimate the energy-saving programs, , adjusted for the actual context. Therefore, the park equipment was modeled and subdivided in regional and sectoral terms, to include the effects of temperature and intensity of use, taking also into account the loss of performance over its life. The estimated error in this assessment was  $\pm 26\%$ . For this study, the savings attributed to the introduction of the PROCEL Stamp in air conditioners was 664 GWh in 2008, which represents 3.4% of residential consumption estimated for these appliances in the residential (80%) and commercial (20%) sectors. The reduction of the peak demand associated with this energy saving was 339 MW, which represents 0.32% of maximum power supplied to the National Interconnected System in the same year. An economic feasibility analysis of purchase of efficient appliances (class A) was also developed, adopting the equivalent annual cost and the internal rate of return (TIR) as criteria. Considering the electricity rates and regional typical time usage, it was shown that is an advantage purchasing more efficient models in most Brazilian regions.

**Key words:** Energy efficiency, labeling, efficient air conditioners.

## **PARTE I - CONTEXTO DA DISSERTAÇÃO**

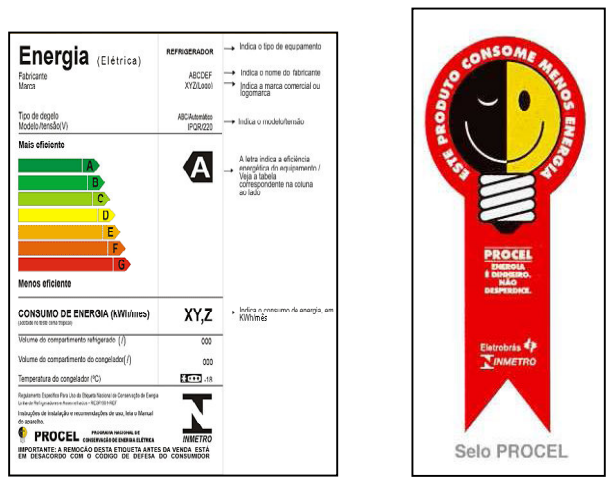
### **1 - Introdução**

A avaliação do consumo de energia elétrica em equipamentos elétricos, e o fomento à eficiência energética, tem sido nos últimos anos, uma prática em vários países. No segmento de produção destes equipamentos, os fabricantes têm tido como meta, agregar valor ao produto final, principalmente com medidas que visem melhorar seu desempenho e sua eficiência energética. Para conquistar esta melhor eficiência, programas de otimização de consumo de energia proporcionam maior qualidade no desempenho mitigando custos e investimentos. Otimizar o consumo de energia em aparelhos significa racionalizar seu uso evitando assim, perdas e desperdícios indesejáveis. Em especial, em aparelhos como condicionadores de ar é cada vez maior a procura no mercado por um tipo de equipamento que possua menor consumo de energia, sem perder em capacidade de refrigeração, ou seja, aparelhos que apresentem melhor desempenho e maior eficiência. A grande motivação deste trabalho, é mostrar que é possível e que vale a pena, a aplicação de medidas razoáveis no sentido de minimizar perdas, melhorar desempenho, promovendo desta forma a eficiência energética em aparelhos de ar condicionado.

Equipamentos que convertem energia elétrica em trabalho útil possuem em sua totalidade perdas nesta conversão. Estas perdas ocorrem por atrito, por ineficiência destes equipamentos e por uma variedade de motivos outros. Faz-se necessário e é imprescindível o combate incessante a estas perdas no sentido de minimizá-las pelo menos. Esta atitude justifica-se não só pelo lado econômico como também atualmente pelo lado ambiental. Basicamente, as formas de combate a perdas seguem em duas direções: aprimoramento técnico dos equipamentos ou atuando junto ao usuário, promovendo e incentivando mudanças de hábito no uso final dos mesmos. Na primeira alternativa e particularmente no Brasil, durante a década de oitenta surgiram os programas nacionais de fomento à eficiência energética. Entre eles podem ser citados o Programa CONSERVE, que significou o primeiro esforço de peso para promover a eficiência energética na indústria, o Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade

Industrial – INMETRO, e o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, cuja Secretaria Executiva é exercida pela Eletrobrás.

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), o qual é definido como um programa de conservação de energia que funciona por meio de sistema de etiquetagem informativo sobre a eficiência energética de aparelhos e equipamentos, como por exemplo, aparelhos de ar condicionado, fabricados e comercializados no país, estão inseridos na política dos eventos de racionalização de energia. Os rótulos de eficiência energética são usados no Brasil de forma voluntária desde 1989, baseando-se em protocolos estabelecidos entre os fabricantes e os órgãos governamentais como PROCEL e INMETRO. Este último é responsável pela execução do PBE e tem como principal produto a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE. Os modelos da ENCE e do selo PROCEL são apresentados na Figura 1.1.



**Figura 1. 1-** Etiqueta de Eficiência Energética e Selo PROCEL  
 Fonte: PROCEL -2007

De acordo com PROCEL (2006) os condicionadores de ar são responsáveis por cerca de 20% de toda energia elétrica consumida por eletrodomésticos no país. Devido ao consumo representativo desses equipamentos no Brasil, o Programa Selo PROCEL vem concedendo o Selo para os condicionadores de ar do tipo Janela, mais eficientes no mercado brasileiro (classe A), desde o ano de 2001, e mais tarde, a partir do ano de 2004, para os condicionadores do tipo Split. A avaliação dos



impactos energéticos propiciados por essas ações é de fundamental importância para o planejamento energético do país.

Neste contexto, uma avaliação do desempenho de aparelhos eletroeletrônicos, em particular, condicionadores de ar, faz-se necessário visto que este eletrodoméstico é cada vez mais presente em residências e empresas. Na busca de maior benefício com menor investimento, busca-se também cada vez mais no mercado aparelhos que apresentem maior eficiência energética e em particular por condicionadores de ar que possuam menor consumo de energia, sem perder em capacidade de operação. Os fabricantes de condicionadores de ar vêm trabalhando na procura de alternativas que possam aumentar o desempenho energético destes produtos, mas sem significar em aumento de custos no projeto para atender a um mercado cada vez mais exigente. A avaliação dos impactos energéticos propiciados por ações de medição e verificação de resultados é de fundamental importância para o planejamento energético estratégico do país, pois implica em aparelhos mais eficientes proporcionando economia de energia.

O ponto de partida e a motivação para a realização deste trabalho teve como marco inicial um estudo realizado pelo EXCEN/UNIFEI no âmbito de condicionadores de ar patrocinado pela Eletrobrás. Esse estudo teve como meta analisar o impacto energético do Programa Selo PROCEL, que se aplica apenas aos modelos mais eficientes, de classe A, no âmbito de condicionadores de ar tipo Janela e Split. Os impactos do PBE, que cobrem todas as outras classes de um dado tipo de equipamento, e desenvolvidos com o engajamento do CEPEL e PROCEL, não foram analisados neste trabalho. Entretanto, cabe reiterar que ambos os programas são complementares e convergem em seus objetivos. Mais que a avaliação individualizada de cada um deles, é interessante conhecer o impacto das informações que o PROCEL e o INMETRO fornecem ao comprador de equipamentos, consumidores de energia elétrica e, como tal informação afeta o cenário energético. Esta avaliação é relevante, pois indica como o selo PROCEL contribui e deve continuar contribuindo numa economia de energia pelo lado do consumidor e em investimentos e incentivos direcionados pelo lado do fornecedor.

O desenvolvimento metodológico apresentado neste trabalho, utilizado para a avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, detalha sua aplicação para os condicionadores de ar estudados (Janela e Split), apresentando os equacionamentos e cálculos de formação do parque de equipamentos, consumo, economia de energia e redução de demanda de ponta desagregados por categoria, setor (residencial e comercial) e região do país. Tal desagregação é necessária para a avaliação da economia de energia ao longo da vida útil dos equipamentos, incluindo os efeitos dependentes da idade dos mesmos e temperatura ambiente. Pretende-se caracterizar melhor a demanda condicionada e reduzir as incertezas na estimativa dos impactos do Selo PROCEL nesses equipamentos.

No entanto, convém observar que a modelagem proposta não leva em consideração alguns aspectos como, por exemplo, os efeitos da umidade do ar, os impactos devidos aos hábitos de uso e procedimentos operacionais, inadequações nos projetos (com casos de equipamentos sobre ou sub dimensionados) e os efeitos de variação de tensão. Tais aspectos podem e devem ser objetos de investigações posteriores, para sua efetiva avaliação e eventual inclusão na modelagem e nos estudos do impacto energético do Selo.

Os itens seguintes apresentam os objetivos do presente trabalho sobre os aparelhos de ar condicionado, bem como uma revisão bibliográfica contextualizando a conservação de energia nacional e internacional para o seu uso racional, uma revisão de conceitos, tecnologia e princípios de funcionamento de aparelhos de ar condicionado. Serão abordados aspectos em sistemas de refrigeração, uma revisão de normas, bem como a importância da Medição e Verificação (M&V) nas medidas de eficiência energética. Serão apresentadas também as funções, tecnologias e medidas para o uso eficiente de ar condicionado. Um modelo de avaliação será utilizado considerando variáveis e condições mensuráveis para o cálculo da economia de energia e da redução de demanda de ponta. Por fim, será efetuado um estudo de viabilidade econômica da aquisição de equipamentos eficientes com selo A em detrimento dos menos eficientes, com selo B, e uma análise de sensibilidade levando em conta tarifa de energia elétrica e tempo efetivo de operação.

## 2 - Objetivos

Diante da meta de ampliar a eficiência energética no Brasil, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma modelagem consistente para a avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Brasileiro de Etiquetagem e Programa Selo PROCEL, em condicionadores de ar tipo Janela e Split, incluindo os efeitos da degradação de desempenho ao longo da vida útil e da temperatura média ambiente no consumo destes equipamentos, visando determinar a energia e a capacidade economizada.

Objetivos específicos:

- Aplicar uma modelagem de formação do parque de equipamentos, desagregada por idade e região do país.
- Corrigir o consumo unitário dos equipamentos com os efeitos de degradação de desempenho e temperatura média ambiente de cada região do país por período do ano (seco e úmido).
- Estimar as incertezas das estimativas de economia de energia e redução de demanda de ponta da modelagem proposta.
- Estudar a viabilidade econômica da aquisição de equipamentos eficientes, considerando o marco tarifário vigente e as condições operacionais mais representativas.

### **3 - Revisão Bibliográfica**

O atual momento é de muita discussão sobre formas e alternativas de produção de energia, de racionalização de seu uso e de projetos de eficiência energética. A humanidade consome cada vez mais energia elétrica a medida que alcança melhores padrões de vida. Este processo de demanda é tido como irreversível, e vem acompanhado de uma busca alucinante, utilizando todos os meios, para supri-la. O aumento da demanda, seja por crescimento e/ou desenvolvimento dos segmentos de consumo, devem repousar sobre o aumento correspondente da oferta ou sobre a racionalização do uso dessa energia. Isto implica num esforço na efficientização energética pelo lado da demanda. Já são reconhecidos os benefícios econômicos, sociais e ambientais como consequência da implementação de medidas de eficiência energética. Estas medidas estão se tornando cada vez mais freqüente no Brasil e no mundo.

É neste cenário mundial de demanda crescente e de políticas de racionalização de energia que o conhecimento, aprimoramento e avaliação da tecnologia de equipamentos eletroeletrônicos se faz necessário. Conhecer intrinsecamente, em especial, aparelhos de ar condicionado para avaliá-los energeticamente, é o que se fará a seguir bem como analisar os impactos de consumo e financeiros advindos da economia de energia alcançada pela adoção do programa selo PROCEL. O Brasil através de órgãos do governo federal passou a se preocupar com racionalização do uso da energia, de forma acanhada, no início da década de 80, onde foram dados os primeiros passos no sentido de aumentar a eficiência do uso de energia no país.

Segundo GELLER et al. (2004) no período de 1975 a 2001 o Brasil apresentou um aumento de 250% no consumo de energia enquanto que o consumo per capita aumentou 60% principalmente devido ao grande crescimento industrial, urbanização e ao aumento do nível de uso de energia nos setores residencial e comercial. Conforme GHISI et al. (2007) no período de 1987 a 2000 o aumento do consumo de energia elétrica no setor residencial foi de 6% a.a. e, com isso, tornou-se imprescindível à consolidação das ações de eficiência energética no país. O aumento do consumo energético pela sociedade brasileira criou um grande potencial

para as ações de eficiência energética no país. O Brasil foi capaz de promover iniciativas bem sucedidas com criação de leis, alguns programas específicos de conservação, regulamentos e mecanismos modernos e úteis para avançar a introdução de melhores tecnologias e práticas para uso eficiente de energia. Em contrapartida, tem sido ineficiente na gestão e implementação inteligente das mesmas. Infelizmente, a resultante final dos esforços desses quase 30 anos, é modesta e frustrante para aqueles que conhecem o potencial e as oportunidades perdidas (JANNUZZI, 2004).

### **3.1 - Promoção de Eficiência Energética no contexto Nacional e Internacional**

As iniciativas de promoção da racionalização do uso da energia começaram a ser implementadas a partir da década de oitenta. Em 1981 é criado o Programa CONSERVE, constituindo-se no primeiro esforço de peso em termos de conservação de energia, visando à promoção da eficiência energética na indústria, ao desenvolvimento de produtos e processos energeticamente mais eficientes, e ao estímulo à substituição de equipamentos importados. O CONSERVE oferecia a possibilidade de realização de diagnósticos energéticos em estabelecimentos industriais, sem ônus para as indústrias, visando identificar o potencial de conservação de energia em cada caso (JANNUZZI, 2004). Uma opção estratégica em face de uma conjuntura existente foi a implementação de uma política de conservação do uso de energia elétrica, que acabou por se refletir na criação, em 1985, do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, sob a coordenação da Eletrobrás.

Em 1993 foi desenvolvido pelo PROCEL, o Programa Selo PROCEL de Economia de Energia - PSP -, um programa voluntário com os objetivos de orientar os consumidores e estimular a fabricação e comercialização de produtos mais eficientes no país. No ano seguinte foram estabelecidos, em conjunto com fabricantes, consumidores (representados pelo Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor – IDEC e o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO), os critérios para a concessão do Selo, sua marca e as bases para a realização de todo esse processo. Em 1995, já apareciam no mercado

brasileiro os primeiros produtos com o Selo PROCEL: os refrigeradores de uma porta, de duas portas ou combinados e freezer vertical (CARDOSO, 2008). Posteriormente, considerando sua participação no consumo de energia elétrica nacional, foram incorporadas as categorias: freezer horizontal, aparelhos de ar condicionado de Janela, motores elétricos trifásicos até 10 cv (hoje abrangendo até 250 cv), coletores solares planos para aquecimento de água para banho e piscina e reservatórios térmicos. Recentemente as máquinas de lavar roupa e televisores mais eficientes também receberam o Selo PROCEL.

Em paralelo com o Programa Selo PROCEL duas leis foram criadas para a promoção da eficiência energética no Brasil. A primeira refere-se à Lei 9.991/2000, que obriga a aplicação de 0,5% da receita operacional líquida das concessionárias de energia elétrica em Pesquisa e Desenvolvimento – P&D tanto quanto em eficiência energética. A segunda refere-se à Lei nº 10.295/2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, prevendo o estabelecimento de níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país. Em 2002 a ANEEL estabelece os critérios para a aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética através da resolução 492 de 19/12/02. Neste mesmo ano é promulgado o decreto de Lei nº 4.508 que dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução. No ano de 2005 uma resolução da ANEEL nº 176 estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética. Em 2006 a ANEEL baixa a resolução nº 215 que estabelece nova redação do Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética e baixa portaria nº 132 que dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de lâmpadas LFC. Finalmente em 2007 foi publicada a Portaria nº 364 que aprovou a Regulamentação Específica de Condicionadores de Ar que estabelece índices mínimos de eficiência energética para estes equipamentos.

Após a crise energética ocorrida no início dessa década e mais recentemente a partir de 2004, o PROCEL vem passando por um processo de fortalecimento de

suas ações. Atualmente, as principais ações do PROCEL são desenvolvidas no âmbito dos seguintes programas: educação, prédios públicos, setor industrial, etiquetagem, setor de saneamento, iluminação pública, apoio às universidades e centros de pesquisa. Além destes programas, o PROCEL ainda desenvolve vários outros trabalhos de base, para suporte e desenvolvimento das ações de conservação de energia, como: treinamento, suporte ao P&D do setor elétrico, sistemas de informação, gerenciamento e avaliação de resultados, seminários e conferências (HADDAD et al., 2006). É nesse processo de revitalização que se propõe revisar os processos de avaliação dos resultados PSP, coadjuvado pelo PBE/INMETRO.

A eficiência energética em equipamentos elétricos, como ar condicionado, vem sendo promovida no Brasil por instrumentos de gestão energética desde a década de 80 com a criação do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica PROCEL. No Brasil, para os equipamentos elétricos, como os condicionadores de ar, adquirirão a Etiqueta de Eficiência Energética - ENCE, concedida pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, ou o Selo PROCEL, concedido pelo PROCEL, esses equipamentos devem atingir os índices de eficiência energética especificados (PENA,2002). As etiquetas de eficiência energética próprio de aparelho de ar condicionado Janela e Split são mostradas na Figura 3.1.

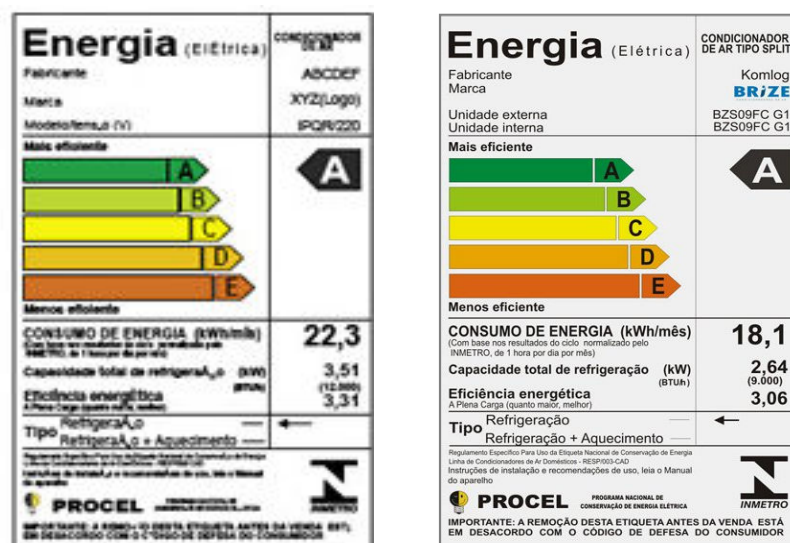


Figura 3.1 - Etiquetas Selo PROCEL de Aparelhos de Ar Condicionado  
Fonte: PROCEL -2007

Projetos inadequados, ou seja, mal dimensionados, podem afetar o desempenho energético dos sistemas de ar condicionado. De acordo com MASCARO (1991), o consumo dos condicionadores de ar no Brasil é cerca de 25% a 45% mais alto que o necessário devido a projetos inadequados. Outro fator importante que afeta a eficiência dos condicionadores de ar é a construção civil (cores das paredes, posições das janelas e portas, tipos de vidro, orientação da construção com relação ao Sol, isolamento, etc).

A etiquetagem de condicionadores de ar domésticos, dentro dos parâmetros definidos neste Regulamento Específico, faz parte do cronograma anual acordado com os fabricantes, permitindo alcançar o objetivo precípua de uma etiqueta informativa como a ENCE, que é a comparabilidade entre todos os produtos comercializados de uma linha de produtos, em cada ano, de forma a situar o consumidor nas diversas faixas de eficiência disponíveis. A seguir são mostrados os índices de eficiência energética com suas respectivas classes e categorias para aparelhos de ar condicionado tipo Janela e Split com intervalos de eficiência e suas respectivas classes. As Tabelas 3.1 e 3.2 apresentam os EER dos condicionadores de ar Janela e Split para as diversas classes de eficiência energética.

**Tabela 3.1** - Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Janela.

<b>Índice de eficiência energética - EER (W/W)</b>				
<b>Classes</b>	<b>Categoria 1 ≤ 9.000 Btu/h</b>	<b>Categoria 2 9.001 a 13.999 Btu/h</b>	<b>Categoria 3 14.000 a 19.999 Btu/h</b>	<b>Categoria 4 ≥ 20.000 Btu/h</b>
A (Com Selo)	2,91	3,02	2,87	2,82
B	2,68	2,78	2,70	2,62
C	2,47	2,56	2,54	2,44
D	2,27	2,35	2,39	2,27
E	2,27	2,35	2,39	2,27

Fonte: PBE / INMETRO -2008

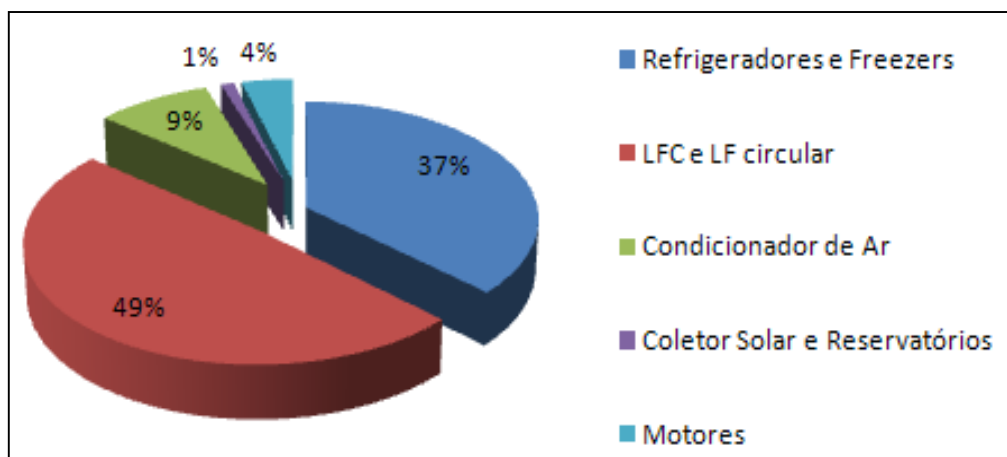
**Tabela 3.2** - Classes de eficiência energética de condicionadores de ar do tipo Split

<b>Classes</b>	<b>Índice de eficiência energética - EER (W/W)</b>
A (Com Selo)	EER > 2,94
B	2,76 < EER ≤ 2,94
C	2,58 < EER ≤ 2,76
D	2,39 < EER ≤ 2,58
E	EER ≤ 2,39

Fonte: PBE / INMETRO -2008



Cabe mencionar que os condicionadores mais eficientes (Classe A), que possuem maiores Índices de eficiência energética – EER, são os equipamentos que recebem o Selo PROCEL. Na Figura 3.2 são apresentadas as melhorias de eficiência, em decorrência das ações do Selo PROCEL, obtidas em alguns equipamentos pela redução de consumo destacando os aparelhos de ar condicionado com ganho de 9%.



**Figura 3.2** - Resultados Energéticos do Selo PROCEL em 2007

Fonte: Resultados PROCEL – 2007 (modificado)

O PROCEL, INMETRO e CEPEL desenvolveram e implementaram, em 1994, um procedimento de ensaio padrão para a determinação do consumo de energia e eficiência energética de condicionadores de ar tipo Janela, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem. Para a estimativa da economia de energia, decorrente da venda de aparelhos de ar condicionado tipo Janela mais eficientes, é empregada uma análise “top-down”. Nessa análise são consideradas as melhorias na eficiência média dos condicionadores de ar entre 1999 e 2006 comparativamente com a eficiência média em 2007 e o número de unidades vendidas neste ano. Para o cálculo dessas eficiências médias, são utilizados os dados dos ensaios para a concessão da ENCE.

O resultado de economia de energia obtido em 2007, com aparelhos de ar condicionado, foi de aproximadamente 38% superior ao alcançado no ano anterior. Essa ocorrência é explicada pelo aumento nas vendas de equipamentos eletroeletrônicos em 2007, assim como na incorporação dos resultados energéticos

dos condicionadores ar tipo *Split System* com Selo PROCEL, que não era realizada até então. Considerando-se apenas as ações realizadas em 2007, estima-se que o PROCEL obteve uma redução de demanda na ponta de 1.357 MW. Segundo o PROCEL (2007), as eficiências energéticas dos condicionadores de ar utilizadas para a avaliação da economia de energia estão apresentadas na Tabela 3.3 seguinte.

Tabela 3.3 - Eficiência Energética (EER) dos condicionadores de ar do tipo janela

Capacidade (Btu/h)	EER <sub>cs</sub> (kJ/Wh)	EER <sub>ss</sub> (kJ/Wh)
9.000	10,78	8,09
21.000	10,45	8,96

Fonte: PROCEL -2007

O impacto energético dos condicionadores de ar do tipo Split, que vêm recebendo o Selo PROCEL desde o ano de 2004, e não foi avaliado naquela oportunidade.

Segundo HADDAD et al. (1999) entre os vários países com ações voltadas à conservação de energia, tem-se como exemplo o Reino Unido, que criou o Energy Saving Trust – EST. Este órgão tem sua atuação direcionada para a eficiência energética nos setores residencial e comercial, dentro de uma perspectiva social, além da preocupação com a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. O Energy Saving Trust estabelece normas de eficiência energética para a habitação que vão além da indústria atual, também regulamentos para edifícios. Em 2004 o Governo inglês aprovou um Plano de Ação para a promoção da Eficiência Energética com base em documentos feitos em 2003 pelo Energy White Paper. Em Maio de 2007 o Reino Unido publicou um novo Plano de ação visando promover melhorias na eficiência energética. Este plano de ação reúne políticas e medidas planejadas para melhorar o uso final da energia e cumprir os objetivos de economia de energia nos diversos setores econômicos, visando proporcionar economias na ordem de 18% até 2016, com relação ao ano de 2007.

No Japão, o Energy Conservation Center of Japan – ECCJ foi criado em 1978, como uma medida do governo para minimizar o consumo energético em face da crise do petróleo dos anos setenta. Hoje, os programas do ECCJ abrangem os setores residencial, comercial, industrial e de transportes. Deve-se ressaltar o amplo trabalho de divulgação de informações e conscientização dos consumidores com relação à conservação de energia, os esforços de GLD (Gerenciamento pelo Lado da Demanda), além do estabelecimento de normas de eficiência energética para a construção civil, dentre outras várias ações (HADDAD et al., 1999). O Programa “Top Runner” é outro esforço para a promoção da eficiência energética para aparelhos elétricos. Esse Programa define índices mínimos de desempenho energético para equipamentos elétricos, fabricados no país e importados, para que sejam comercializados no mercado japonês. Graças a esse Programa, a eficiência energética dos aparelhos de ar condicionado melhorou em cerca de 40% entre 1997 e 2004.

Em junho de 1992 o governo canadense promulgou o Energy Efficient Act. Esta lei delegou ao Natural Resources Canadá – NRCan autoridade para promover programas de conservação e fontes renováveis de energia. Em 1998 o governo criou o Office of Energy Efficiency – OEE, com o objetivo de renovar e fortalecer o comprometimento do Canadá com relação à eficiência energética. A OEE tem implementado programas em vários setores, como por exemplo, o residencial e comercial (normas na construção civil, padrões mínimos de eficiência para aparelhos eletrodomésticos, iluminação, etc.). Em particular para o setor industrial, tem-se o Canadian Program for Energy Conservation - CPEC, como um braço importante do Natural Resources Canadá – NRC na área industrial (HADDAD et al., 1999). A política de eficiência energética canadense tem como principal instrumento o cadastro de adesão voluntário denominado “Voluntary Challenge and Registry – VCR”. No âmbito do VCR funciona o Programa de Energia Alternativa e Eficientização – EAE, promovido pelo “Natural Resources Canada – NRCan”, que promove a Eficientização Energética em todos os setores de uso final de energia: equipamentos, edificações, indústria e transportes. O programa adota como instrumentos a iniciativa voluntária, a informação, a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico e a regulação.

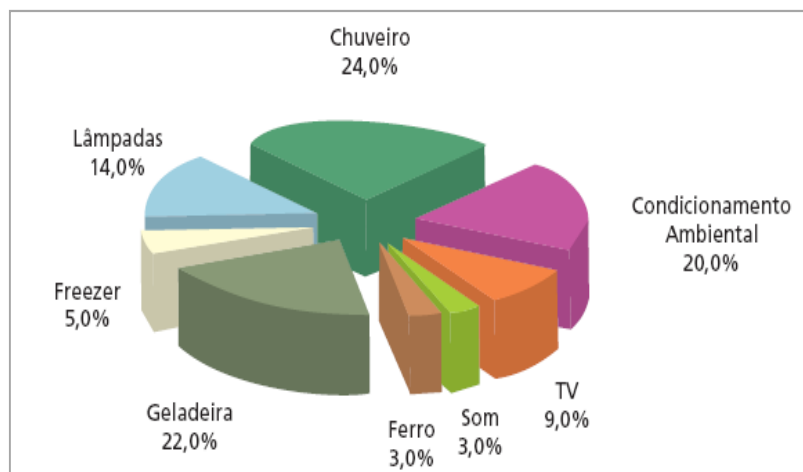
De acordo com uma publicação do Departamento de Energia dos Estados Unidos – DOE (International Energy Outlook 2001, DOE/EIA-0484 2001), os americanos, com 4,6% da população do mundo, utilizam 26% de toda a energia e 30% de toda a eletricidade consumida mundialmente. Em valores comparativos per capita, os EUA consomem 8 vezes mais do que a América Latina. Nos EUA, o Office of Energy Efficiency and Renewable Energy – EERE foi criado com o objetivo de desenvolver tecnologias eficientes, sob a ótica do consumo energético, e fontes renováveis de energia que tenham custos razoáveis e que sejam benéficos ao meio ambiente. Atualmente têm-se várias ações de eficiência energética sendo desenvolvidas nos EUA com o suporte e aval da Agência Norte Americana de Meio Ambiente – EPA (GELLER, 2003. Em uma tentativa de promover a conservação de energia, a Agência de Proteção Ambiental - Environmental Protection Agency iniciou o programa Energy Star em 1992. O Energy Star foi desenvolvido como um programa voluntário para promover inovações de economia de energia, fornecendo aos consumidores informações objetivas sobre os produtos. De acordo com o Departamento de Energia dos Estados Unidos, somente no ano de 2008, os norte-americanos, com a ajuda do Energy Star, economizaram energia suficiente para abastecer 10 milhões de casas e evitar emissões de gás de 12 milhões de carros, o que corresponde, no total, a 6 bilhões de dólares.

Ações e iniciativas de aumento de eficiência energética têm sido observadas na Espanha pela IDAE, na Alemanha pela FEAP, na China pelo Ministério das Finanças e a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China. Também na América Latina como, no México com o CONUE, no Peru como o PAE, no Chile com o ACHEE e finalmente na Argentina pela Secretaria de Energia daquele país. Enfim, atualmente as ações de promoção de eficiência energética pelo Brasil e pelo mundo vem se intensificando, onde novos índices de eficiência são estabelecidos como metas, incitando os fabricantes a investirem cada vez mais em equipamentos de melhor performance.

### **3.2 - Importância dos sistemas de ar condicionado nos sistemas energéticos**

A iluminação e o ar condicionado são os grandes usos finais da energia em edifícios nos setores comerciais e públicos. Um dos fatores responsáveis pelo consumo energético dos aparelhos de ar condicionado é a carga térmica, que depende diretamente do projeto de edificação. Dessa maneira, constata-se que a carga térmica por insolação de uma edificação contribui de forma expressiva no consumo de energia, em especial quando se usa aparelhos de ar condicionado, equipamento considerado indispensável para garantir o conforto interno do ambiente. Ao analisar edifícios comerciais em São Paulo, GELLER, (1994) observou que em média o consumo com iluminação é de 44%, com ar condicionado 20% e com outros equipamentos 36%. Já PROCEL ( 2007) avaliou que o impacto do uso de ar condicionado num ambiente comercial é da ordem de 47% e, em residências, 20% do consumo global de energia. Um projeto que racionalize os recursos dentro de uma técnica ambiental correta pode reduzir significativamente esses valores, produzindo uma economia de tal ordem, que amortize em curto prazo os investimentos em sistemas passivos.

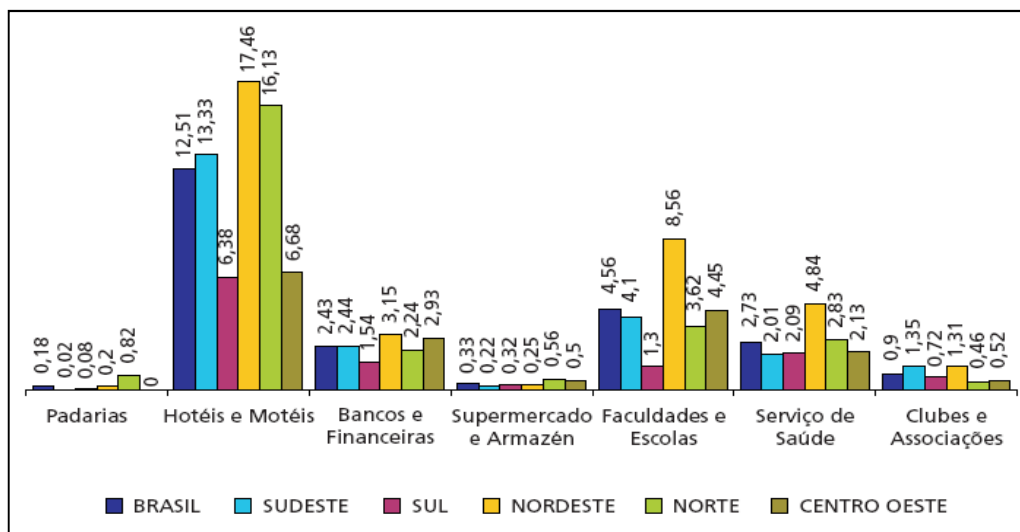
Em especial, nas edificações residenciais, o consumo energético está fortemente relacionado aos sistemas mecânicos de controle térmico – como os sistemas de ar condicionado, por exemplo. A economia possibilitada pela aquisição de aparelhos de ar condicionado de potências e capacidades adequadas, aliado a escolha de aparelhos mais eficientes energeticamente, deve proporcionar impactos consideráveis na economia de energia. O caminho é a opção por um gerenciamento energético onde se priorize a preferência por equipamentos que visam promover um melhor uso da eletricidade, através de medidas que minimizem e otimizem o seu uso. Neste contexto, os condicionadores de ar têm muito a contribuir. A Figura 3.3 mostra a participação dos eletrodomésticos mais importantes no consumo médio de uma residência, em nível Brasil, inclusive os condicionadores de ar.



**Figura 3.3 - Distribuição do Consumo de energia para eletrodomésticos.**  
 Fonte: PROCELINFO, Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil  
 Sumário Executivo – Ano Base 2005

Todos, sem dúvidas, consumidores e governo, estão interessados em economia de energia, pois, desta forma, o capital gasto para a ampliação do sistema gerador, bem como a ampliação da rede elétrica atual, podem ser adiados.

Finalmente constata-se que quando se trata de promover conforto a ambientes, verifica-se que um dos maiores responsáveis pelo consumo de energia elétrica é o sistema de condicionamento de ar. Empresas fabricantes de condicionadores de ar, cientes deste fato, são incentivadas pelo governo federal e pressionadas pelo mercado consumidor. Como são também atraídas por novos mercados no mundo globalizado, estão buscando cada vez mais melhorias tanto no aspecto do design e preço, como na eficiência energética. Deve-se enfatizar, portanto, que o condicionador de ar efetua essencialmente o tratamento de ar pelo controle simultâneo de temperatura e umidade com o objetivo de satisfazer às necessidades do espaço condicionado. Concomitantemente, controla a pureza e o fluxo de ar. Sendo assim, o grau de importância destes aparelhos é expressivo, considerando que os mesmos são utilizados tanto em residências, como em escritórios, bancos, indústrias e outras aplicações afins. A Figura 3.4 mostra a distribuição da posse média de aparelhos de Ar Condicionado nas principais atividades ou setores da sociedade em termos regionais e de Brasil.



**Figura 3.4 - Distribuição do Consumo de energia de aparelhos de Ar Condicionado.**  
 Fonte: PROCELINFO, Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil  
 Sumário Executivo – Ano Base 2005

O condicionamento ambiental é uma fonte potencial de economia de grande importância em instalações comerciais, mediante a combinação da redução da carga térmica, aliada ao uso de tecnologias eficientes de geração de frio e melhor controle dos sistemas.

### 3.3 - Uso eficiente de energia em aparelhos de Ar Condicionado

Segundo a American Council for an Energy-Efficient Economy – ACEEE (2007), nos Estados Unidos foram adotadas exigências mínimas para eficiência energética em condicionadores de ar. Nesse país, a eficiência de equipamentos de ar condicionado é freqüentemente medida pela taxa de Relação de Eficiência de Energia Sazonal ou Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER). Quanto mais alto o SEER, mais eficiente energeticamente é o aparelho de ar condicionado. O SEER relaciona a produção de frio durante seu uso anual normal em Btu e o consumo de energia elétrica total em watts-hora durante o mesmo período. Esta eficiência é avaliada pelo Air Conditioning and Refrigeration Institute em sua norma 210/240, atualizada em 2006.

A ACEEE recomenda SEER de pelo menos 14,5 Btu/Wh para todos os climas. Recomenda também, que os consumidores comprem equipamentos de refrigeração com a etiqueta Energy Star, apresentada adiante. É recomendado, também, um

Energy Efficiency Ratio - EER de pelo menos 11,6 Btu/Wh para assegurar uma unidade eficiente ao longo do ano. A eficiência dos condicionadores de ar para apartamentos é avaliada por EER que é a relação entre a produção de frio e o consumo de potência, mas nesse caso em (Btu/Wh ou W/W). Quanto maior o EER mais eficiente é o condicionador de ar. Nos EUA foram verificados padrões federais de eficiência mínima para condicionadores de ar de apartamento em outubro de 2000. Segundo a ASHRAE (1993) a EER dos aparelhos em estudo são:

- Aparelhos de Janela:  $7,5 \leq \text{EER} \leq 9,7$  Btu/Wh
- Aparelhos Split:  $6,8 \leq \text{EER} \leq 13,0$  Btu/Wh

A adoção de índices mínimos de eficiência energética para classificar os equipamentos elétricos vem sendo utilizada por diversos países no mundo. Nos Estados Unidos, o termo “*standard*” (padrão) é empregado para exprimir um índice mínimo de desempenho eficiente; a expressão “*test procedure*” (procedimento de ensaio) refere-se aos métodos de ensaio para a determinação do desempenho energético (GELLER, 2006).

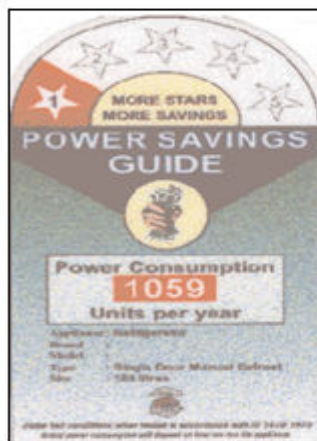
As etiquetas de eficiência energética são importantes para a divulgação dos padrões de desempenho energético de equipamentos elétricos. As escalas apresentadas nas etiquetas podem ser por categoria (A,B,C,D,E,F ou G), encontrados no Brasil e na Europa, ou contínua, que indica o valor consumido pelos equipamentos anualmente. Também são utilizadas as etiquetas denominadas Endorsement Labels. Esta etiqueta somente informa ao consumidor sobre a credibilidade que o aparelho tem quando aprovado, após ter passado por testes utilizando determinados critérios de eficiência energética. Para exemplificar tem-se a etiqueta Energy Star (Figura 3.5) que tem sido muito utilizada em computadores e, atualmente vem sendo aplicado também na área de ventilação, aquecimento, ar condicionado, equipamentos para escritório (CLASP, 2005) e, mais recentemente em refrigeradores nos EUA (ENERGY STAR, 2005).



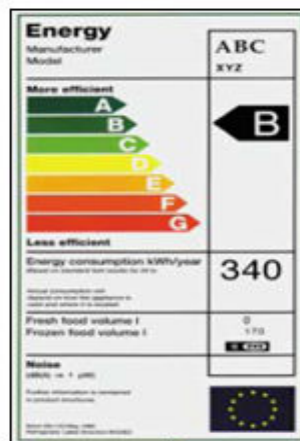


**Figura 3.5** - Etiqueta Energy Star(USA) e Etiqueta Suíça  
 Fonte: MANUAL CLASP - 2007

Para a promoção da conservação da energia no uso final, alguns países além de criarem agências públicas de eficiência energética, criaram também as etiquetas que classificam os aparelhos fabricados e comercializados nestes países. A Figura 3.6 mostra alguns tipos de etiquetas pelo mundo.



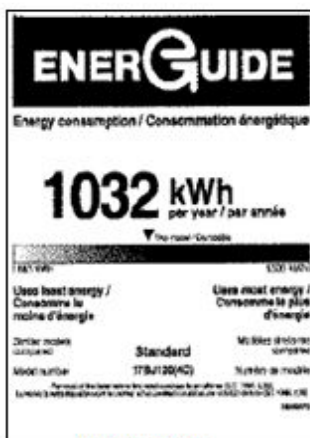
Etiqueta Indiana  
 Classificação por Categoria



Etiqueta da União Europeia  
 Classificação por Categoria



Etiqueta Tailandesa  
 Classificação por Categoria



Etiqueta Canadense  
 Classificação em escala contínua



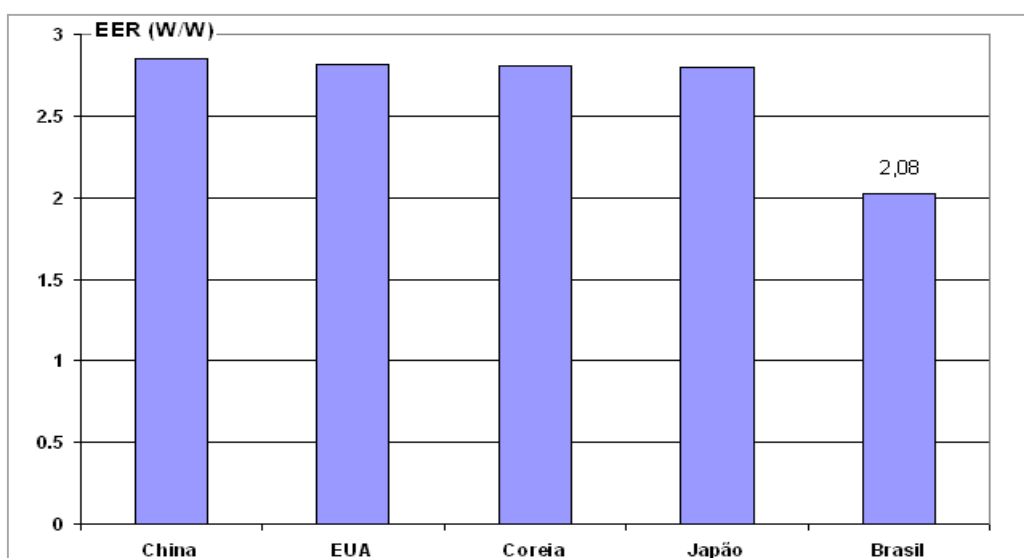
Etiqueta dos Estados Unidos  
 Classificação em escala contínua



Etiqueta Australiana  
 Classificação por Categoria

**Figura 3.6** - Etiquetas de Eficiência Energética pelo mundo  
 Fonte: MANUAL CLASP - 2007 (modificado)

Comparando os índices mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar brasileiros, do tipo janela, com os resultados dos estudos de (ROSENQUIST & LIN - 2008) em outros países, pode-se concluir que os condicionadores de ar brasileiros apresentam índices de eficiência energética (relação entre o efeito frigorífico útil e o consumo energético) menores com relação aos índices dos condicionadores dos países estudados. Essa observação é apresentada na Figura 3.7, que indica um índice mínimo de 2,08 W/W, em média, para os condicionadores de ar do tipo Janela no Brasil, enquanto para os demais países os índices estão na ordem de 2,80 W/W. Em outras palavras, um condicionador vendido no Brasil pode consumir até 34% mais que o pior equipamento nesses países.



**Figura 3.7-** Eficiência energética mínima para condicionadores de ar do tipo janela no Brasil e no mundo.

Fonte: CARDOSO, ET. AL (modificado)

### 3.4 - Conceitos básicos em Ar Condicionado

Para a elaboração de estudos de avaliação de climatização ambiental é necessária a compreensão de alguns conceitos sobre as principais variáveis climáticas utilizadas nesses estudos. Essas variáveis serão definidas a seguir, de uma maneira bem resumida bem como o princípio de funcionamento e tecnologia de condicionadores de ar.

### **3.4.1 - Conforto Térmico**

Com o objetivo de criar ambientes de trabalho e de lazer que levem à maior produtividade e satisfação do homem, muitos estudos sobre conforto térmico têm sido realizados com o intuito de identificar os vários fatores intervenientes na sensação de calor e frio pelo ser humano e como eles se relacionam. Para desempenhar qualquer atividade, física ou mental, o ser humano necessita de um estado adequado de conforto térmico. Tal conforto, que propicia o bem estar às pessoas, tem extrema relevância na produtividade das atividades humanas e, muitas vezes, não pode ser obtido naturalmente e, com isso, torna-se imprescindível o uso de equipamentos elétricos capazes de proporcionar o conforto desejável, como os condicionadores de ar.

O conforto térmico depende de variáveis que interferem no trabalho do sistema termorregulador, as chamadas variáveis pessoais e ambientais. As variáveis pessoais são a taxa de metabolismo e o isolamento térmico da vestimenta. As ambientais podem ser classificadas em gerais e locais. As variáveis ambientais gerais são a temperatura radiante média, umidade, temperatura e velocidade relativa do ar, enquanto as variáveis ambientais locais, responsáveis pelo desconforto localizado, são a assimetria de temperatura radiante, as correntes de ar, a diferença vertical de temperatura do ar e a temperatura do piso. A combinação satisfatória dessas variáveis num determinado ambiente pode levar um indivíduo a experimentar a sensação de bem estar e por conseqüência à satisfação com o conforto térmico (PRADO, 2003).

Enquanto as variáveis ambientais podem ser medidas em campo ou determinadas para um dado ambiente, as pessoais variam sensivelmente. Apesar dos esforços de avaliar o conforto térmico conforme a influência das variáveis pessoais e ambientais, é importante mencionar que a avaliação do conforto térmico depende das pessoas. Conforme a definição clássica da ISO 7730 (1994), conforto térmico é “uma condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico” (PRADO, 2003).

Estudos realizados não só ajudaram a ampliar o conhecimento sobre os mecanismos e parâmetros que levam ao conforto térmico, como também levaram ao desenvolvimento de normas para projeto de equipamentos e instalações de condicionamento de ar. No âmbito dos equipamentos e sistemas responsáveis pela produção das condições térmicas adequadas ao ser humano no ambiente de trabalho, muito desenvolvimento foi e vem sendo realizado. O estado da arte tem propiciado equipamentos e sistemas cada vez melhores e sofisticados, com diversas alternativas de implantação, buscando atender às expectativas e a satisfação do ser humano com a melhor relação custo-benefício (MARAN, 2005).

### **3.4.2 - Carga Térmica**

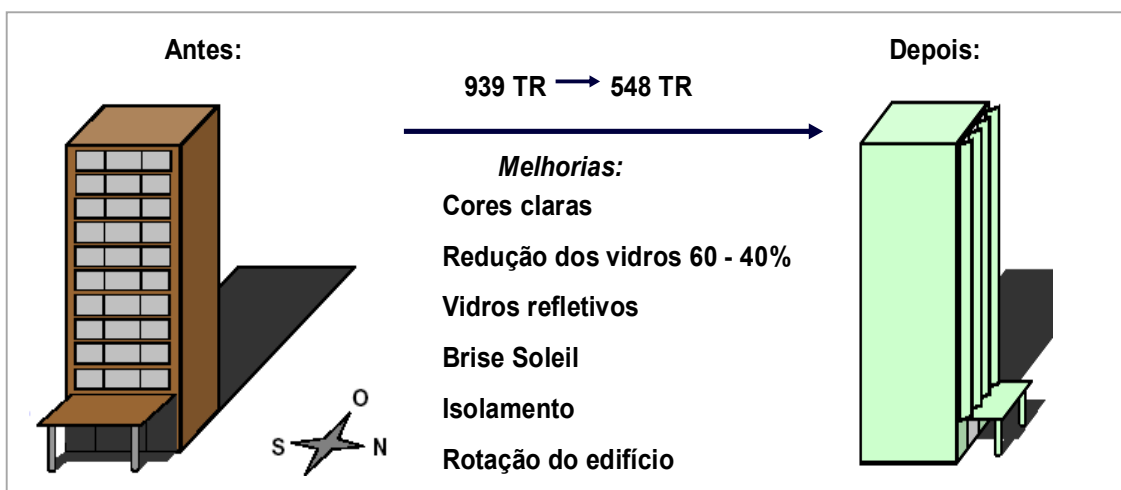
Carga térmica pode ser definida como a taxa de calor que deve ser retirada ou fornecida a um ambiente para que o mesmo se mantenha a temperatura e umidade constantes. A geração de calor interno e externo afeta as cargas térmicas de resfriamento. A estimativa da carga térmica de um ambiente deve levar em consideração fatores internos e externos que influenciam nas variações de temperatura e umidade do local estudado. Propriedades físicas dos materiais que envolvem o ambiente, ventilação, infiltração, insolação, dados geoclimáticos como altitude, localização geográfica e temperatura, são alguns dos fatores externos. Internamente, fatores como número de ocupantes, tipo de atividade desenvolvida, dissipação térmica de lâmpadas e equipamentos, denominadas de fontes de calor, dentre outros, também podem modificar tal estimativa (VENTURINI, 2007).

Essas fontes de geração de calor afetam as trocas térmicas do recinto e provocam a variação da temperatura, a menos que o equipamento de refrigeração ou aquecimento opere no sentido de manter a temperatura em um nível desejado. A carga térmica é a soma dos ganhos de calor interno (pessoas, equipamentos e iluminação) e externo (insolação). Como há vários aspectos intrínsecos ao ganho de calor interno, como a vestimenta dos ocupantes, o metabolismo individual de cada pessoa, as condições de umidade instantânea, a abertura de janelas e/ou persianas, etc., o cálculo da carga térmica é dito estimado. Embora estimado, o cálculo de carga térmica deve ser bastante criterioso e o local a ser condicionado precisa ser

totalmente caracterizado, de forma que equipamentos e materiais não sejam empregados de forma ineficiente e inadequada, causando assim prejuízos tanto financeiros quanto para o conforto humano (HAGEL, 2005).

De maior interesse nesta dissertação é a *carga térmica de resfriamento* definida como a taxa de calor que deve ser *retirada* do ambiente em um dado instante. Normalmente, os valores da carga térmica de resfriamento e do ganho de calor em um dado instante serão diferentes já que a radiação de superfícies e objetos internos e aquela através das superfícies transparentes (janelas, clarabóias, etc.) não aquecem o ar diretamente. Esta energia radiante deve primeiramente ser absorvida pelo assoalho, paredes internas, móveis, etc., para depois ser transferida ao ar interno por convecção. Só então esta energia fará parte da carga térmica.

A redução da carga térmica, conseguida por melhorias na parte civil, como exemplifica a Figura 3.8, implica em necessidades de sistemas de condicionadores de ar com menor capacidade, resultando em menores consumos energéticos. Esta figura mostra que em uma cidade localizada na região Sul do Brasil conseguiu-se reduzir a carga térmica em 41% de um prédio apenas com melhorias na parte civil (VENTURINI, 2007).



**Figura 3.8** - Eficiência Energética atribuída às melhorias da parte civil  
Fonte: modificado de Edson Tito Guimarães -1992

Vários procedimentos voltados para o cálculo da carga térmica já foram desenvolvidos, entre eles os métodos TETD (Total Equivalent Temperature Differential), TFM (Transfer Function Method), MCLTD (Cooling Load Temperature Differences Method), SFL (Solar Load Factors) e CLF (Cooling Load Factors). Todos estes métodos possuem suas particularidades e aplicações específicas dependendo da ênfase que se precise abordar no projeto de ar condicionado (HAGEL, 2005). Em síntese, o objetivo da determinação da carga térmica é estimar a capacidade dos diversos componentes do sistema de ar condicionado, necessário para manter o ambiente em condições de conforto.

Segundo LAMBERT et al. (1997) a variação da temperatura externa sobre o uso dos condicionadores de ar afeta significativamente a carga térmica a neutralizar no ambiente climatizado. Os valores de consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar brasileiros apresentados em seus manuais, são resultados obtidos em laboratórios com condições padronizadas de ensaio (temperatura (bulbo seco e úmido, vazão do ar, etc) de acordo com as normas NBR 05858/1983 e NBR 12010/1983 (BRASIL, 1983). No entanto, os condicionadores de ar instalados no Brasil operam em condições climáticas distintas nas cinco regiões do país.

O correto dimensionamento de um condicionador de ar deve levar em conta a carga térmica do ambiente que é influenciada pelos seguintes fatores (PIETROBON et al., 1999):

- Orientação e dimensões físicas do ambiente climatizado
- Uso (finalidade)
- Informações de portas e janelas (quantidade)
- Ocupação (número de pessoas)
- Iluminação (natural e/ou artificial)
- Condições exteriores e interiores (temperatura e umidade)
- Equipamentos elétricos e eletrônicos (ex: computadores).

Segundo LAMBERT et al. (1997) as informações das condições externas e internas

do ambiente a ser climatizado são fundamentais para o dimensionamento adequado de condicionadores de ar. De posse destas informações é possível se fazer o balanço térmico total, (calor sensível e latente) calcular o volume de ar insuflado, a potência frigorífica e finalmente a potência de eixo necessária.

### 3.4.3 - Estudo Psicrométrico

O conhecimento das condições de umidade e temperatura do ar é de grande relevância no estudo de aparelhos de ar condicionado. O estudo detalhado da mistura ar seco – vapor d'água é de tal importância que constitui uma ciência à parte, a Psicrometria, dotada de todo um vocabulário próprio. Além do conforto térmico, que depende mais da quantidade de vapor presente no ar do que propriamente da temperatura, a Psicrometria é também utilizada em outros ramos da atividade humana, tais como: conservação de produtos em câmaras frigoríficas, ambientes de processos industriais, bibliotecas, conservação de componentes elétricos, entre outros.

O ar atmosférico é constituído de uma mistura de gases (principalmente o  $N_2$ ,  $O_2$  e  $CO_2$ ), assim como de vapor d'água, e uma mistura de contaminantes, tais como: fumaça, poeira, e outros poluentes, gasosos ou não. A temperatura e a pressão barométrica do ar atmosférico variam consideravelmente tanto com a altitude como com as condições climáticas e geográficas do local. A atmosfera padrão é uma referência para estimar as propriedades do ar úmido a várias altitudes. Ao nível do mar, a temperatura e a pressão padrão é de 25°C e 101,325 kPa, respectivamente.

Diversas propriedades termodinâmicas fundamentais estão associadas com as propriedades do ar úmido de diferentes maneiras denominadas de variáveis psicrométricas. Três propriedades (*a, b, c*) estão associadas com a temperatura:

- a) Temperatura do bulbo seco (*TBS*);
- b) Temperatura do bulbo úmido (*TBU*);
- c) Temperatura do ponto de orvalho (*TPO*).
- d) Temperatura Efetiva

Algumas propriedades termodinâmicas caracterizam a quantidade de vapor d'água presente no ar úmido:

- e) Pressão parcial de vapor ( $PV$ );
- f) Umidade relativa ( $\varphi$  ou  $UR$ );
- g) Grau de saturação ( $Gsat$ ).

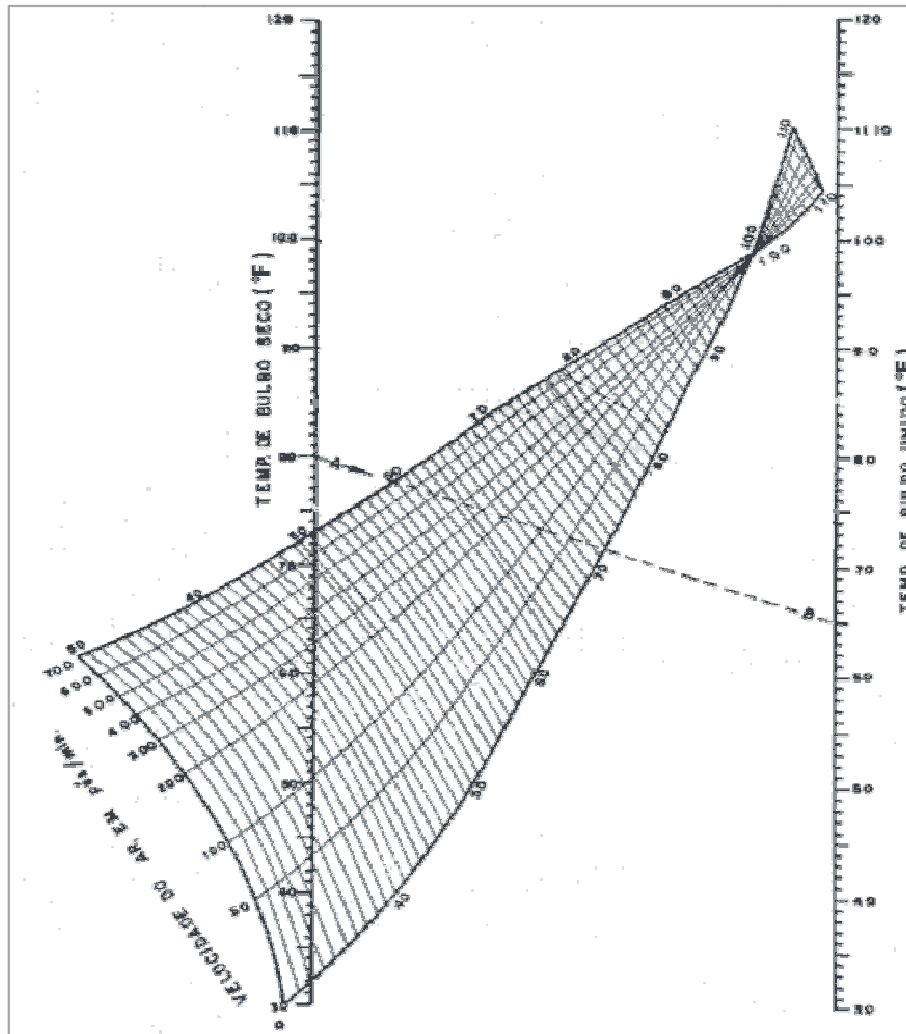
Destacam-se também as propriedades relacionadas com o volume ocupado pelo ar e com a energia do ar, que são respectivamente:

- h) O volume específico ( $v_{esp}$ ); e,
- i) A entalpia específica ( $h$ ).

A entalpia específica e o volume específico são propriedades da mistura ar seco-vapor d'água, mas, por conveniência, são expressas com base em uma unidade de massa de ar seco. O volume específico em  $m^3/kg$  e a entalpia em  $kcal/kg$  ou  $kJ/kg$ . A seguir será apresentada uma descrição breve destas propriedades relevantes para o estudo de condicionamento de ar.

*Temperatura efetiva:* É obtida em função da velocidade do ar e das temperaturas de bulbo seco e úmido pelo ábaco apresentado na Figura 3.9. Essa temperatura é a temperatura utilizada para a avaliação da carga térmica em ambientes de trabalho.





**Figura 3.9** - Ábaco para a determinação da temperatura efetiva  
 Fonte: VENTURINI -2007

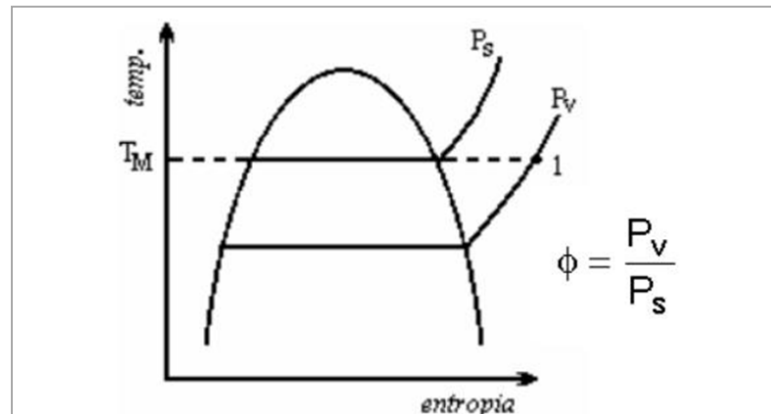
*Temperatura de bulbo seco:* É a temperatura do gás (ou ar) indicada por um termômetro comum, sem condensação na superfície do bulbo e não exposto a radiação.

*Temperatura de bulbo úmido:* Entende-se por ser a temperatura indicada por um termômetro envolto em um tecido úmido.

*Temperatura de orvalho:* Temperatura à qual o vapor d'água se condensa quando resfriado a pressão e umidade absoluta constantes.

*Pressão Parcial de Vapor (Pv):* A pressão parcial de vapor é a pressão parcial exercida pelas moléculas de vapor d'água presentes no ar úmido.

**Umidade relativa ( $\phi$ ):** É a razão entre a pressão de vapor de água ( $P_v$ ) existente em uma certa massa de ar e aquela que ela teria se estivesse saturada à mesma temperatura ( $P_s$ ), ou seja, é o nível de saturação relativo de vapor no ar. Essa umidade pode ser obtida pelo diagrama apresentado pela Figura 3.10.



**Figura 3.10** - Diagrama T (temperatura) x S (entropia) para o ar  
 Fonte: VENTURINI -2007

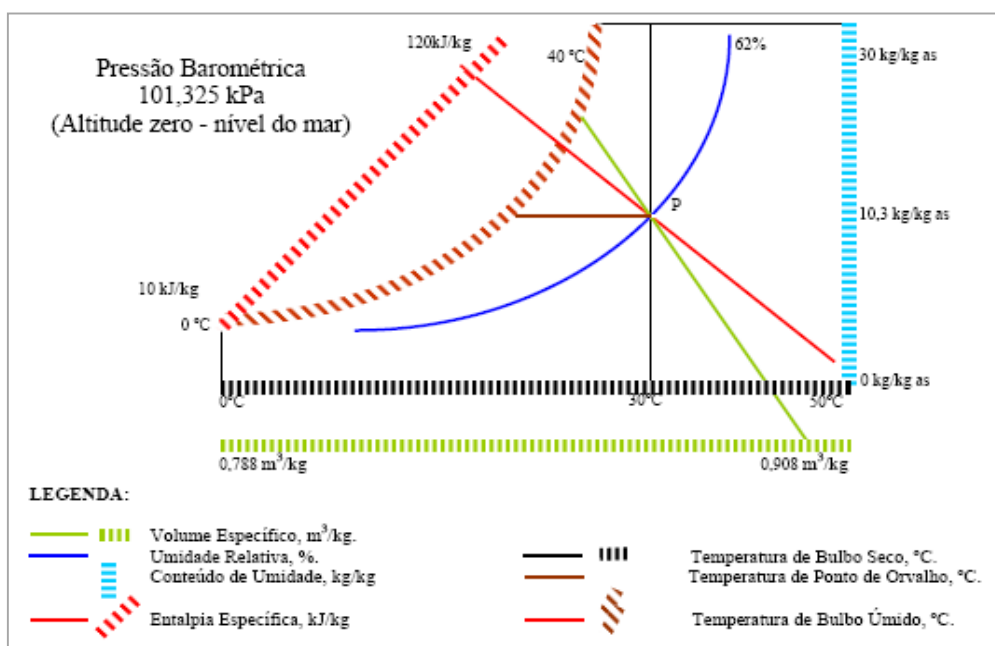
**Grau de Saturação (GSAT):** O grau de saturação, *GSAT*, é a razão entre a umidade absoluta do ar, ( $\phi$ ) e a umidade absoluta do ar saturado, ( $\phi_s$ ), isto é, mantidas as pressões e temperaturas de mistura constantes.

**Volume específico ( $v_{esp}$ ):** O volume específico referido à massa de ar seco é dado pela razão entre o volume ocupado pela mistura, ( $V$ ), e a massa de ar seco presente na mistura ( $m_{ar}$ ).

**Entalpia,  $h$ :** A entalpia total da mistura é dada pela contribuição isolada da entalpia do ar seco e do vapor de água, dada a hipótese de validade de gases perfeitos.

O conforto térmico de um ambiente climatizado está diretamente relacionado com estas propriedades descritas anteriormente que por sua vez influenciam na carga térmica do ambiente. Um recurso para análise destas propriedades é o uso de Cartas Psicrométricas. A carta psicrométrica, como conhecida atualmente, é uma representação gráfica das propriedades do ar úmido desenvolvida para facilitar os cálculos de engenharia. As cartas psicrométricas são baseadas em dados termodinâmicos precisos, incluindo-se aqui a temperatura de saturação adiabática

em vez da temperatura de bulbo úmido e relaxando-se a hipótese de gases perfeitos. Cabe observar que o estudo das cartas bioclimáticas do local climatizado também tem grande relevância para o dimensionamento de condicionadores de ar. É importante conhecer os recursos e aplicações da carta psicrométrica para uma melhor compreensão do processo de condicionamento de ar. Através da carta psicrométrica pode-se definir se uma tubulação ou equipamento deve ser isolado ou não, as condições termodinâmicas do ar de uma câmara frigorífica e de um recinto qualquer. A Figura 3.11 mostra esquematicamente uma carta psicrométrica com as respectivas propriedades a serem avaliadas.



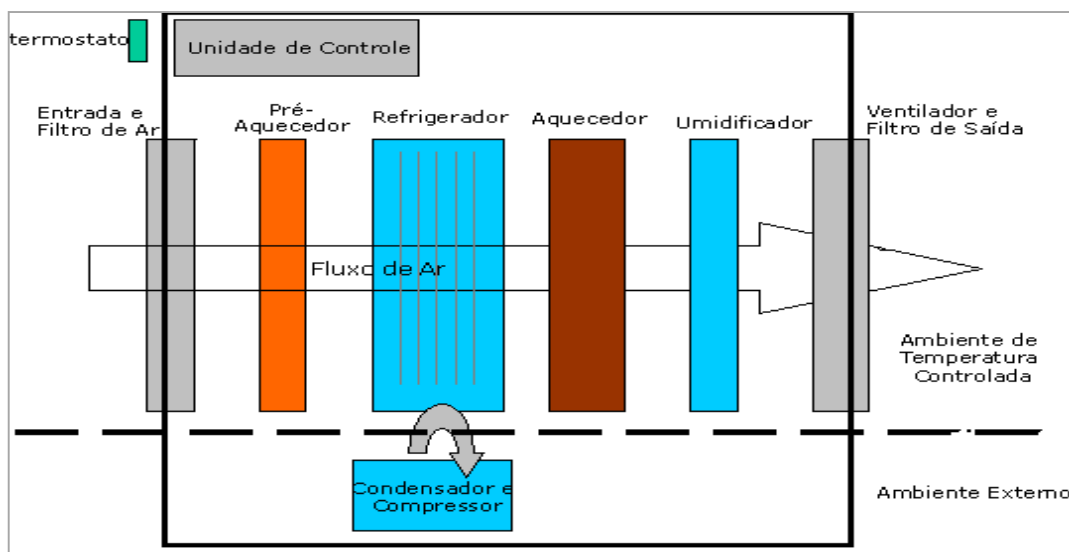
**Figura 3.11-** Modo de utilizar o diagrama psicrométrico.  
Fonte: OLIVEIRA - 2003

### 3.5 - Princípio de funcionamento e Tecnologia de Condicionadores de Ar

Os condicionadores de ar são equipamentos destinados a climatizar o ar em um recinto fechado, mantendo sua temperatura e umidade controlada. Um bom sistema de ar condicionado é aquele capaz de proporcionar condições satisfatórias e desejáveis de conforto térmico. Alguns fatores importantes influenciam na obtenção deste conforto, como por exemplo: *temperatura, umidade, circulação de ar, radiação de superfícies vizinhas, odores e ruídos* (VENTURINI, 2007). Os diferentes tipos de instalações de ar condicionado se classificam de acordo com o fluido(s) utilizado(s) para “transportar energia”, de forma a equilibrar as cargas térmicas sensíveis e

latentes do ambiente. Assim se distinguem as seguintes instalações. As instalações Ar-Água está associada ao tipo de equipamento utilizado no terminal e ao número de tubulações de água chegando e saindo do equipamento. As instalações apenas Água se caracterizam pelos Fan-coils, que são responsáveis pelo controle total das condições ambientes. Finalmente, em instalações de Expansão Direta, o ar entra em contato diretamente com o evaporador do ciclo frigorífico. Estes possuem capacidade e flexibilidade baixa, portanto são utilizados em zonas únicas.

Um diagrama funcional de ar condicionado (**AC**) pode ser representado pela Figura 3.12 a seguir. O princípio de funcionamento básico é o mesmo que o de outros sistemas existentes, para diferentes aplicações de condicionamento ambiental. Seus aspectos construtivos mudam na medida dos requisitos ambientais a que se destinam.



**Figura 3.12** - Diagrama Funcional do Sistema de Ar Condicionado  
Fonte: TELECO -2010

São três os fatores importantes para o controle de um sistema de ar condicionado, que influenciam na qualidade do ar: temperatura, umidade e ventilação. O sistema adequado deve ser eficiente no controle desses três fatores. Seguindo o diagrama da Figura 3.12, o ar flui a partir da esquerda, sendo sugado pelo ventilador de saída. Os filtros de entrada e de saída ajudam na limpeza do ar ambiente, e evitando o acúmulo de partículas dentro do sistema. O primeiro retira a poeira grossa, por meio de um material fibroso, geralmente lã de vidro, na forma de tela que é substituída

quando suja. A seguir, o filtro de saída, de segundo estágio, que é geralmente do tipo eletrostático, remove as partículas mais finas, como as de fumaça de cigarro. Nesse filtro usa-se alta-voltagem para carregar eletricamente as partículas de poeira, que então são atraídas para uma grelha de chapas carregadas com polaridade oposta. Dependendo da região e estação do ano em que o sistema estiver instalado existe um pré-aquecedor na entrada, responsável por um estágio de pré-elevação de temperatura.

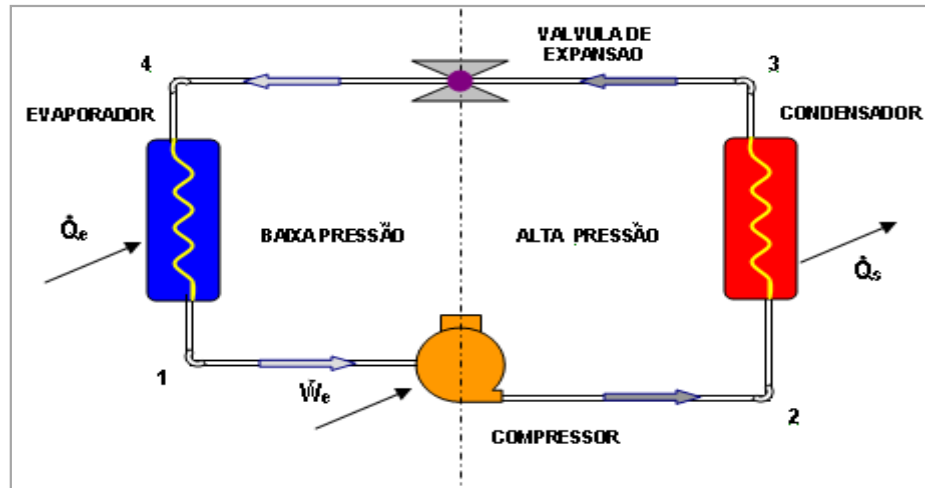
Os condicionadores de ar podem funcionar de duas formas, dependendo da condição interna do recinto em relação à condição desejada: a) retirando calor do ambiente interior climatizando, rejeitando-o ao ambiente exterior, ou b) injetando calor para climatizar o ambiente. Para isso, os condicionadores de ar dispõem de quatro elementos básicos: compressor, condensador, evaporador e válvula de expansão ou capilar. Trabalhando em ciclo fechado, estes aparelhos usam fluídos refrigerantes, capazes de se expandirem e condensarem sucessivamente e indefinidamente no sentido de retirar ou adicionar energia térmica ao ambiente. O funcionamento de um ciclo específico de refrigeração de ar condicionado é basicamente descrito por quatro processos apresentados na Figura 3.13 e descritos a seguir (ASHARE, 2001):

**Processo 1 - 2** - O compressor recebe trabalho e comprime o gás frio, fazendo com que ele se torne gás quente de alta pressão;

**Processo 2 - 3** - Este gás quente caminha para um trocador de calor (condensador) para dissipar o calor e se condensa para o estado líquido (alta pressão);

**Processo 3 - 4** - O líquido escoar através de uma válvula de expansão e no processo vaporiza para se tornar gás frio de baixa pressão;

**Processo 4 - 1** - O gás frio corre através de trocador de calor (evaporador) que permite que o gás absorva calor e esfrie o ar de dentro do ambiente (baixa pressão).

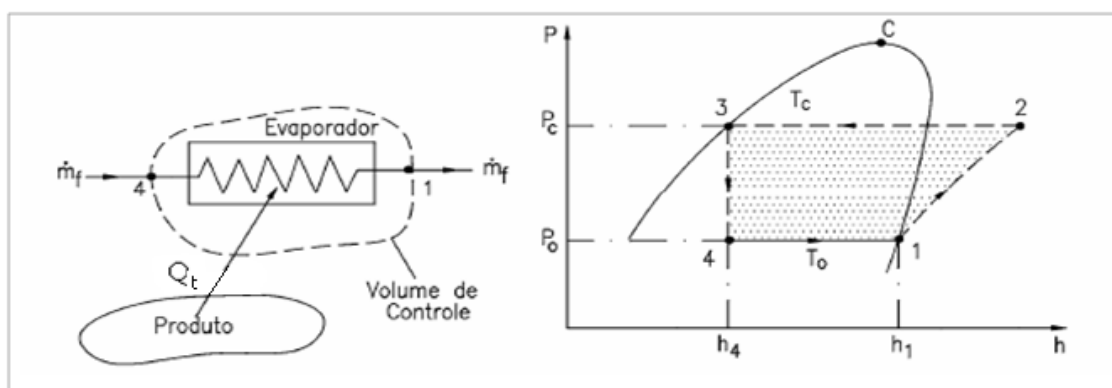


**Figura 3. 13** - Esquema de resfriamento básico de sistemas de ar condicionado. (Confecção própria)

Os gases utilizados nos sistemas de refrigeração no Brasil são dois. Em sistemas de refrigeração para conforto humano ou nos veículos automotivos é o CFC (clorofluorcarbono), que é relativamente inofensivo e não afeta a camada de ozônio. Em sistemas de refrigeração industrial ou em frigoríficos é geralmente utilizada a amônia.

### 3.5.1 - Capacidade Frigorífica

A capacidade frigorífica ( $Q_t$ ) é a quantidade de calor, por unidade de tempo, retirada do meio que se quer resfriar (calor que sai) por meio do evaporador do sistema frigorífico (Figura 3.14) (VENTURINI, 2007).



**Figura 3.14** - Representação Esquemática e Diagrama do calor retirado  
Fonte: VENTURINI - 2007

Considerando operação do sistema em regime permanente e desprezando as

variações de energia cinética e potencial, pela primeira Lei da Termodinâmica, vem:

$$\dot{Q}_t = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \quad (3.1)$$

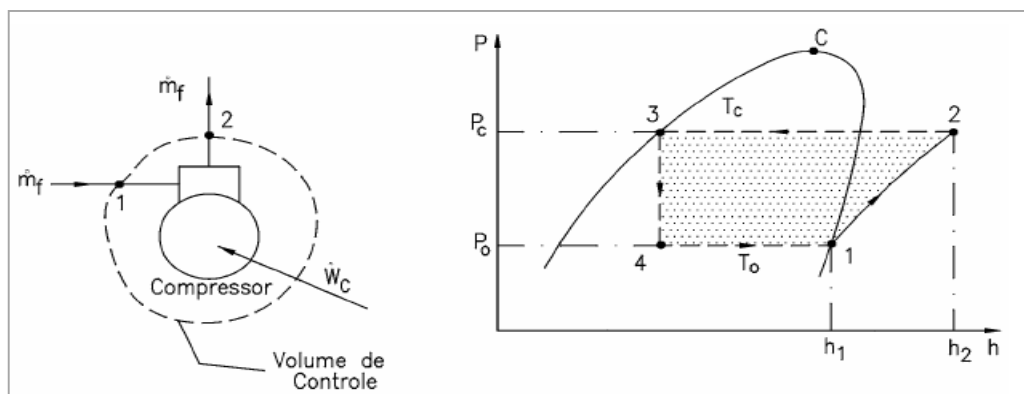
A quantidade de calor por unidade de massa de refrigerante retirada no evaporador é chamada de “efeito frigorífico” (EF) e é um dos parâmetros usados para se definir o fluido frigorífico que será utilizado em uma determinada instalação.

$$EF = h_1 - h_4 \quad (3.2)$$

Para operação em regime permanente, a capacidade frigorífica do sistema de refrigeração deve ser igual à carga térmica. Se for estabelecido o ciclo e o fluido frigorífico com o qual o sistema deve trabalhar, pode-se determinar o fluxo mássico que circula através dos equipamentos, pois as entalpias  $h_1$  e  $h_4$  são conhecidas, e conseqüentemente o compressor.

### 3.5.2 - Potência Teórica de Compressão

Chama-se potência teórica de compressão ( $W_C$ ) a quantidade de energia, por unidade de tempo, que deve ser fornecida ao refrigerante, no compressor, para se obter a elevação de pressão necessária (que é igual àquela do ciclo teórico) - Figura 3.15 (VENTURINI, 2007). No sistema de refrigeração real, o compressor perde calor para o ambiente, embora o calor perdido seja pequeno quando comparado à energia necessária para realizar o processo de compressão. Por esta razão, o processo de compressão pode ser considerado adiabático.



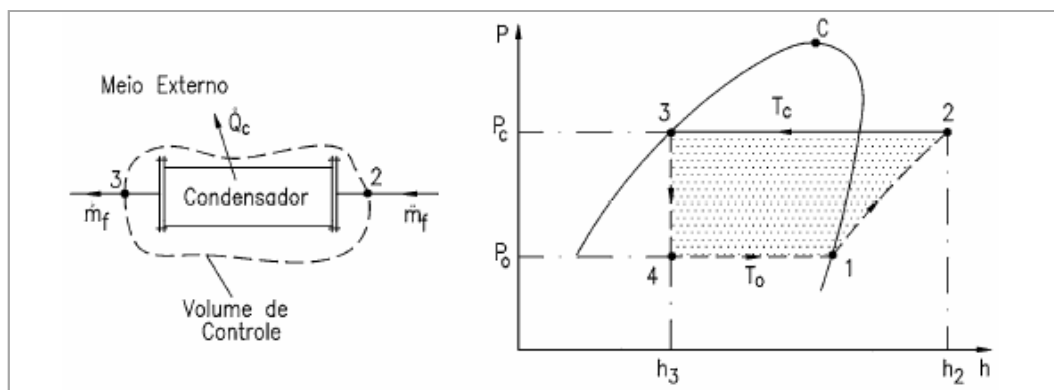
**Figura 3.15** - Representação Esquemática e Diagrama da Potência Teórica  
Fonte: VENTURINI -2007

Aplicando-se a primeira Lei da Termodinâmica, em regime permanente, ao volume de controle da figura anterior e desprezando-se a variação de energia cinética e potencial tem-se:

$$\dot{W}_C = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \quad (3.3)$$

### 3.5.3 - Calor Rejeitado no Condensador

Conforme mencionado, a função do condensador é transferir calor do fluido frigorífico para o meio de resfriamento do condensador (água ou ar). O condensador a ser especificado para o sistema de refrigeração deve ser capaz de rejeitar a taxa de calor calculada pela equação 3.4 (VENTURINI, 2007). Esta taxa de rejeição de calor depende da carga térmica do sistema e da potência de compressão.



**Figura 3.16** - Representação Esquemática e Diagrama do Calor rejeitado  
Fonte: VENTURINI -2007

Este fluxo de calor ( $Q_C$ ) pode ser determinado por meio de um balanço de energia no volume de controle da Figura 3.16. Assim, para operação em regime permanente, tem-se:

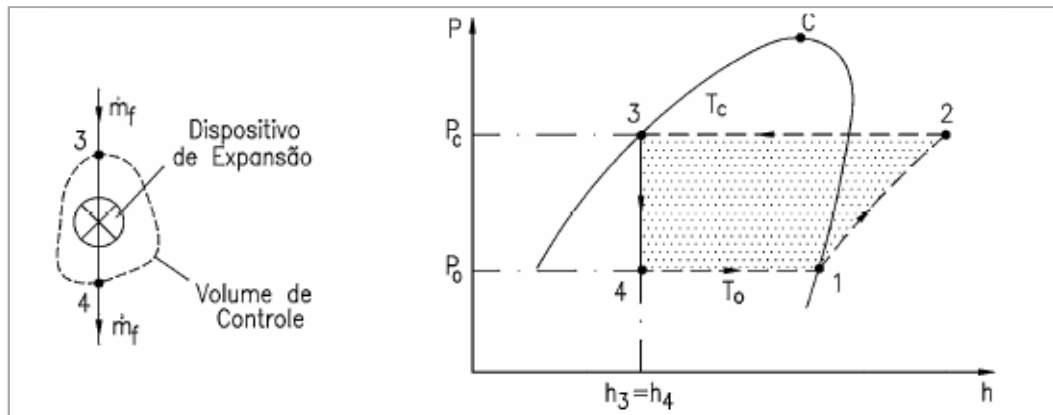
$$\dot{Q}_C = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \quad (3.4)$$

### 3.5.4 - Dispositivo de Expansão

No dispositivo de expansão, que pode ser de vários tipos, o processo teórico é adiabático (Figura 3.17) (VENTURINI, 2007). Aplicando-se a primeira lei da



termodinâmica em regime permanente e desprezando-se as variações de energia cinética e potencial, tem-se:  $h_3 = h_4$



**Figura 3.17-** Representação Esquemática e Diagrama da expansão em processo adiabático

Fonte: VENTURINI -2007

### 3.5.5 - Coeficiente de Desempenho do Ciclo de Refrigeração (COP)

Em um ciclo de refrigeração, o objetivo é a remoção de calor do ambiente a ser refrigerado. Assim, seu COP – Coeficiente de Performance, isto é, *Coeficient of Performance*, é definido como sendo a razão entre o calor retirado e o trabalho realizado. O coeficiente de desempenho ou coeficiente de performance, COP, é um parâmetro importante na análise das instalações frigoríficas. Embora o COP do ciclo real seja sempre menor que aquele do ciclo teórico para as mesmas condições de operação, o ciclo teórico permite verificar quais parâmetros influenciam no desempenho do sistema. Assim, o COP é definido por:

$$\text{COP} = \frac{\text{Energia} \cdot \text{Útil}}{\text{Energia} \cdot \text{Gasta}} \quad (3.5)$$

Vários parâmetros influenciam o desempenho do ciclo de refrigeração por compressão de vapor. Embora haja diferenças quantitativas entre os resultados para o ciclo teórico e o ciclo real, as tendências observadas são as mesmas para ambos. O COP depende:

1. Da temperatura de evaporação (vaporização);
2. Da temperatura de condensação;
3. Propriedades (*funções de estado*) do refrigerante na sucção do compressor, e
4. De todos os componentes do sistema: compressor, condensador, etc.

Pode-se inferir que, para ciclo teórico, o COP é função somente das propriedades do refrigerante e, conseqüentemente, depende das temperaturas de condensação e vaporização. Para o ciclo real, entretanto, o desempenho dependerá também das propriedades na sucção do compressor, das características do próprio compressor e dos demais equipamentos do sistema. Além do desempenho do compressor, o dimensionamento dos dois trocadores de calor utilizados (condensador e evaporador) é fundamental para assegurar a eficiência energética, na medida em que menores diferenças de temperaturas podem ser obtidas entre o fluido frigorífico e o meio externo, naturalmente às expensas de um maior custo de produção, a ser compensado pela economia de energia. Um outro parâmetro para quantificação da eficiência de uma máquina frigorífica é a “razão de eficiência energética” ou simplesmente EER (*energy efficiency rate*), dada pela expressão:

$$EER = \frac{EF}{W_C} \left[ \frac{\text{Btus / h}}{\text{Watts}} \right] \left[ \frac{\text{Watts}}{\text{Watts}} \right] \quad (3.6)$$

Este índice que relaciona o efeito térmico (frigorífico) com o consumo de energia elétrica, geralmente expresso em (kJ/Wh) ou em termos adimensionais em (W/W), quando passa a ser idêntico ao Coeficiente de Performance (COP), bastante conhecido na análise dos sistemas frigoríficos. O EER determina a eficiência do aparelho como um todo e não somente do compressor no ciclo de refrigeração.

### 3.5.6 - Classificação das instalações de Ar Condicionado

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

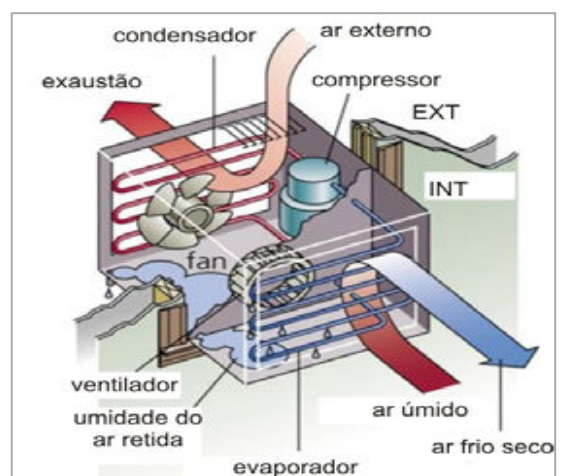
- Instalações Apenas Ar;
- Instalações Apenas Água;
- Instalações Ar-Água e
- Instalações de Expansão Direta.

Cabe destacar que existem ainda diferentes sistemas de ar condicionado em instalações de Apenas Ar, classificados em:

- Sistemas com Vazão Constante e Temperatura Variável;
- Sistemas com Temperatura Constante e Vazão Variável;
- Sistemas com Temperatura e Vazão Variável;
- Sistemas Com Vazão Variável e Recirculação Local e
- Sistemas de Duplo Duto.

De acordo com as classificações apresentadas pela NBR 10142/1987 os principais sistemas de ar condicionado de Expansão Direta estão apresentados a seguir, com o destaque para os tipos Janela ou Parede e Split, já que são os produtos avaliados no presente trabalho.

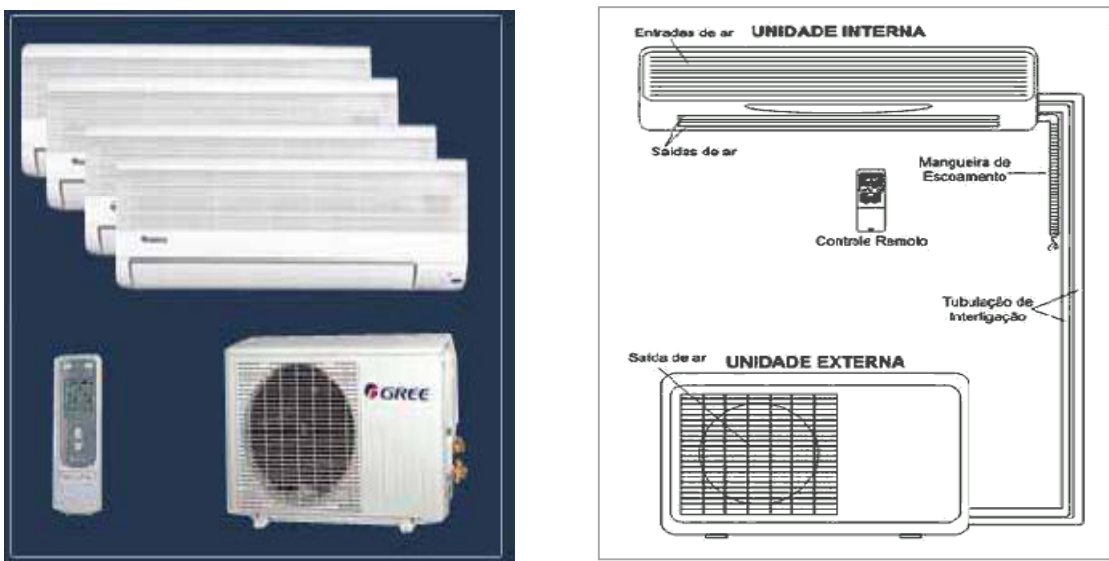
- Os aparelho **Janela ou Parede** - devem ser instalados embutidos na parede (pouca flexibilidade), são compactos, fazem renovação contínua do ar, são ruidosos e de fácil manutenção. Possuem capacidades limitadas entre 6.000 e 30.000 Btu/h (0,5 a 2,5 TR).



**Figura 3.18** - Ar Condicionado tipo Janela ou parede.

Fonte: LG, s.d. e How Stuff Works, s/d.

- b. **Portátil** - caracterizam-se pela praticidade de utilização em qualquer ambiente que se queira climatizar e possuem custo zero de instalação. Também asseguram renovação de ar e possuem controle remoto.
- c. **Split** - podem ser fixos ou móveis e possuem duas partes distintas: uma é instalada dentro do ambiente que se deseja climatizar e a outra do lado de fora onde fica o condensador. Possuem sistemas de filtragem de ar, baixo nível de ruído e não possuem renovação de ar externo. Possuem capacidades limitadas entre 7.000 e 60.000 Btu/h (0,5 a 5 TR).



**Figura 3.19** - Ar Condicionado tipo Split.  
Fonte: Arsinco, s/d

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

### 3.6 - Normas de Ensaio de Sistemas de Ar Condicionado

Dentre as várias características de um condicionador de ar a mais relevante é sua capacidade de refrigerar ou aquecer o ar, promovendo o conforto térmico ou mantendo condições determinadas em um ambiente, à custa de um consumo

energético. Assim posto, existe um grande interesse por parte de engenheiros e pesquisadores em simular o comportamento destes equipamentos em laboratório, reduzindo custos e tempo para finalização de projetos. Vários são os métodos utilizados para se determinar a capacidade térmica de condicionadores de ar. Uma das maneiras de, é através de ensaios em calorímetros, onde além desta característica pode-se determinar a corrente elétrica, potência elétrica consumida, temperaturas, pressões e vazões de ar e comportamento do refrigerante do condicionador em ensaio. No entanto, os ensaios e métodos devem sempre obedecer a certas normas.

No que tange a Normas para ensaio de condicionadores de ar, a norma ABNT NBR 6401 estabelece as bases fundamentais para a elaboração de projeto de instalações de unidades centrais de ar-condicionado. As condições a serem estabelecidas para os recintos onde se pretende instalar um sistema de condicionamento de ar, qualquer que seja a finalidade a que se destine, implica preliminarmente a limitação entre os valores preestabelecidos das grandezas discriminadas, representativas das condições que devem coexistir nos recintos, no período de tempo em que se considera a aplicação do processo:

- a) Temperatura do ar no termômetro de bulbo seco;
- b) Umidade relativa do ar;
- c) Movimentação do ar;
- d) Grau de pureza do ar;
- e) Nível de ruído admissível;
- f) Porcentagem ou volume de renovação.

Os ensaios para determinação do desempenho de condicionadores de ar são regidos por padrões mínimos, definidos pela norma técnica NBR5858 (ABNT/1983). A estrutura laboratorial e a metodologia utilizada na realização do ensaio de capacidade de refrigeração de condicionadores de ar de uso doméstico devem atender às Normas abaixo citadas. As normas aplicáveis a Condicionadores de Ar

Domésticos, tipo Janela para fins de autorização para uso da ENCE são as seguintes:

1. NBR 05858 Condicionadores de Ar Domésticos - Especificação;
2. NBR 05882 Condicionadores de Ar Domésticos - Determinação das características;
3. NBR 12010 Condicionadores de Ar Domésticos - Determinação do Coeficiente de Eficiência Energética

Existe também um Procedimento Complementar aplicável a condicionadores de ar domésticos, tipo Split. Este Procedimento deve ser adotado nos ensaios de condicionadores de ar Split (modelos Hi Wall) em complementação a Norma ISO 5151- Non Ducted Air Conditioners and heat Pumps. Para efeito do Programa Brasileiro de Etiquetagem, a capacidade de refrigeração e eficiência energética deverá ser determinada em calorímetro nas condições de ensaio descritas a seguir.

#### *a) Voltagem*

As medições do consumo elétrico pelos equipamentos utilizado no calorímetro, podem ser realizadas com indicadores ou integradores. Estes instrumentos devem possuir uma precisão de  $\pm 0,5\%$  sobre a quantidade medida.

(Critérios de estabilização: Tabela 12 da Norma ISO 5151)

Tensão a ser aplicada no ensaio: 127V ou 220V, monofásico, 60Hz

#### *b) Temperaturas*

Para medição das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido nos ambientes, pode-se utilizar termômetros de mercúrio, termopares ou termômetros de resistência elétrica. A precisão destes instrumentos deve estar compreendida nos seguintes limites:

- 1) Temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e temperatura da água gelada utilizada no sistema de compensação:  $\pm 0,05$  °C.
- 2) Outras temperaturas:  $\pm 0,3$  °C.

Em nenhum caso, o menor intervalo de graduação do instrumento de medição deve ser maior que o dobro da precisão prescrita acima. Para medição das temperaturas dos ambientes, o instrumento de medição deve ser posicionado em um local que as medições não sejam afetadas pela descarga do condicionador em ensaio ou do equipamento de compensação. Informações adicionais sobre instrumentos para medição de temperatura são descritas na norma NBR10085 (Nov/1987). (Critérios de estabilização: Tabela 12 da Norma ISO 5151). No tocante as temperaturas de ensaio devem-se adotar as temperaturas de:

**Tabela 3.4 - Temperaturas de ensaio**

Lado Interno (evaporadora)	Lado Externo (condensadora)
TBS: 26,7 °C ± 0,3 °C	TBS: 35,0 °C ± 0,3 °C
TBU: 19,4 °C ± 0,2 °C	TBU: 23,9 °C ± 0,2 °C

Observação: Temperaturas de acordo com a AHRI

*c) Vazão de ar*

As medições de volume devem ser efetuadas por meio de recipiente graduado, seja em massa ou volume ou medidor de vazão. A precisão destes equipamentos deve ser de ± 1,0%. O recipiente graduado deve consistir de um tanque com capacidade suficiente para armazenar o fluxo de ar por pelo menos dois minutos. As medições de tempo devem ser efetuadas com instrumentos de precisão igual a ± 0,2% da quantidade medida. As medições de massas devem ser efetuadas com instrumentos de precisão igual a ± 1% da quantidade medida. A determinação da vazão de ar deve ser realizada nas condições de temperatura do ensaio de capacidade de refrigeração. (Critérios de estabilização: Tabela 12 da Norma ISO 5151).

*d) Instalação*

Condicionadores de ar do tipo Split devem ser avaliados de forma que o comprimento da tubulação seja o máximo especificado no manual do fabricante ou de 7,5m, o que for menor. A carga de gás a ser inserida deve estar prevista no manual. Na montagem da unidade evaporadora, o evaporador deve ser instalado na parede divisória da câmara do lado interno do calorímetro a 1,5 m do piso. Na montagem da unidade condensadora, a unidade condensadora deve ser instalada na câmara do lado externo do calorímetro diretamente sobre o piso, de forma oposta

ao evaporador e na distância, da parede divisória, orientada no manual do fabricante, ou de 30 cm, no caso de não haver esta informação.

*e) Tubulação*

A tubulação de diâmetro e isolamento especificada no manual do fabricante deve ao final da instalação ter uma forma circular, compreendida da saída do evaporador até a condensadora, e apoiada diretamente sobre o piso.

*f) Duração do ensaio*

Mantidas controladas as temperaturas de ambos os lados por um período não inferior a 1 hora, o ensaio deverá ser executado por ½ hora, com aquisição de dados em intervalos não superiores a 5 min.

*g) Medição das pressões*

Para medição das pressões no ambientes pode-se utilizar manômetros de coluna d'água, desde que permitam a medições de  $\pm 1,25$  Pa. Em nenhum caso, o menor intervalo de graduação do instrumento de medição deve ser maior que o dobro da precisão prescrita acima. Para medição da pressão atmosférica deve ser utilizado barômetro com precisão de  $\pm 0,1$  %.

### **3.7 - Verificação e Aferição de Eficiência Energética em aparelhos de AC**

A Medição e Verificação – M&V tem extrema relevância para o acompanhamento das medidas de eficiência energética e para o planejamento energético de um país. Em várias partes do mundo têm-se usado conceitos de linhas de base (*baseline*) para a comparação de curvas de cargas antes e após a adoção de medidas de eficiência energética. De acordo com o INEE et al. (2000) o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – PIMVP é uma referência muito importante que descreve métodos para avaliar economias de energia e foi concebido para permitir desenvolver planos de Medição e Verificação – M&V de forma relativamente padronizada para um projeto específico. O PIMVP fornece uma visão geral das melhores práticas atualmente disponíveis para verificar os resultados de



projetos de eficiência energética. Segundo BIRNER e MARTINOT (2005) quanto mais cedo começar o monitoramento das medidas de eficiência energética através da Medição e Verificação melhores resultados serão adquiridos, além da maior percepção das transformações do mercado.

Existe um grande número de metodologias gerais para a avaliação de impactos de programas de eficiência energética, economia de energia de equipamentos e redução da demanda de ponta, sendo importante determinar qual apresenta resultados mais consistentes, com menor incerteza e com menores custos de elaboração e execução. Uma revisão detalhada e abrangente dessas metodologias consta do Manual para Avaliação (Vol.1), do IEA/DSM (Programa de Avaliação das Medidas para a Eficiência Energética e Gerência da Demanda), desenvolvido pela Agência Internacional de Energia e com estudos de casos na Bélgica, Canadá, Coréia do Sul, Dinamarca, França, Holanda, Itália e Suécia.

Como regra geral, esse manual recomenda a comparação das curvas de carga antes e após a adoção das medidas de fomento da eficiência, cotejando assim as curvas de linha de base com as curvas de carga modificadas (IEA/DSM, 2006). De um modo ainda mais explícito recomendando a utilização de linha de base (*baseline*) deve-se mencionar as referências da Collaborative Labeling and Appliance Standards Program – CLASP. A CLASP é um programa que desde 1999 envolve o Lawrence Berkeley National Laboratory – LBNL, a Alliance to Save Energy e o International Institute for Energy Conservation – IIEC, com a missão de promover o uso adequado de padrões de eficiência e etiquetagem energética, em especial nos países em desenvolvimento (CLASP, 2005). De modo sintético, os resultados das avaliações do impacto dos programas de eficiência energética têm sua qualidade definida essencialmente por dois componentes:

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

Em geral, a avaliação meticulosa de programas de eficiência energética requer pesquisas nos participantes e não-participantes deste programa, estudos de campo, estudos de mercado e análise de efetividade de custos. Essas atividades demandam recursos expressivos para serem satisfatoriamente implementados, sendo mencionado para o caso americano um custo entre 5 a 10 % do custo dos programas de eficiência energética (CLASP, 2005). Tal investimento na avaliação de programas de eficiência energética é fundamental para entender e dimensionar os impactos dos diversos programas bem como para possivelmente modificar sua concepção e melhorar sua efetividade. Segundo CLINCH e HEALY (2001) as análises de custo-benefício, levando em consideração a economia de energia alcançada, reduções de emissões decorrentes das ações e benefícios sociais, têm extrema relevância na avaliação das ações de eficiência energética.

No Brasil, para a prática do processo de medição e verificação o INMETRO e/ou laboratório de ensaios credenciado, de posse dos dados declarados pelo fabricante, selecionará após decorridos 180 dias da assinatura do Contrato com o fabricante e no máximo duas vezes ao ano, 1 modelo de cada tensão por categoria de produtos de sua linha de fabricação, para ensaios no laboratório de ensaios credenciado. Para esta fase só serão aceitos produtos retirados da linha de produção. Os modelos que porventura venham a estar classificados na mais alta faixa de classificação de eficiência energética em vigor de sua categoria, deverão obrigatoriamente ser submetidos a ensaios nos laboratórios de ensaios credenciados. Produtos com especificações técnicas idênticas poderão ser submetidos a ensaios ou não, a critério do INMETRO. (INMETRO, 2003).

O fabricante terá um prazo de 48 horas (equivalente a 2 dias úteis completos) para envio do(s) modelo(s) ao laboratório de ensaios, a contar da data de recebimento do comunicado. A solicitação de aumento deste prazo deverá necessariamente ser avaliada pelo INMETRO, cabendo a este o encaminhamento de mensagem ao laboratório de ensaios formalizando a sua decisão. O laboratório credenciado após recebimento e análise do modelo e da documentação encaminhada pelo interessado agendará os ensaios. Para esta fase a capacidade de refrigeração medida e a

eficiência energética obtidas no laboratório credenciado deverão ser de no máximo 8,0% acima ou abaixo daquelas declaradas pelo interessado. Caso seja constatado o não funcionamento ou funcionamento irregular da amostra em ensaio, o laboratório de ensaios credenciado poderá acionar o fabricante para que seja realizada a assistência técnica necessária a continuidade dos ensaios, ou mesmo a substituição do produto. Constatada a conformidade nos ensaios os dados do produto serão divulgados. (INMETRO, 2003)

No caso de não-conformidade nos ensaios, deverão ser encaminhadas 2 unidades do mesmo modelo e tensão de forma a se obter a média da capacidade e eficiência energética que deverá ser de no máximo 5,0% acima ou abaixo das declaradas. No caso de reincidência da não-conformidade nos ensaios, o modelo estará sujeito as condições estabelecidas a seguir:

- Suspensão provisória imediata do uso da Etiqueta.
- Revisão dos valores declarados na Etiqueta.
- O valor da eficiência energética declarada na Etiqueta deve ser alterada para a média dos resultados obtidos nas três unidades ensaiadas no laboratório credenciado.

E finalmente, o INMETRO, de posse do relatório de ensaios emitido pelo laboratório credenciado e constatada a conformidade do produto, confirmará a posição da etiqueta e o indicará na Relação dos Produtos Aprovados (RPA) do fabricante, emitida pela SE/PBE, bem como, divulgará seus dados através de Tabelas de Eficiência emitidas após 7 (sete) dias do recebimento do relatório pela SE/PBE. A divulgação deverá ter sua atualização periódica, sendo o período de seis meses o prazo máximo para atualização dos resultados. Os produtos passarão então a ser submetidos à amostragem descrita na Fase de Acompanhamento da Produção, de tal modo que o fabricante poderá ser solicitado a qualquer momento, a reiniciar o processo de etiquetagem a partir da Fase de Aferição (INMETRO, 2007).

## PARTE II - DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

A implementação de um modelo de avaliação do impacto energético atribuído ao Programa SELO PROCEL é um projeto executado pela ELETROBRÁS e tem como objetivo capacitar laboratórios para a certificação de equipamentos, dando suporte a Lei de Eficiência Energética (10.295/2001) priorizando os produtos do Programa Brasileiro de Etiquetagem PBE (INMETRO/PROCEL). A quantificação dos resultados é baseada nas medidas efetivamente implementadas e nas vendas de equipamentos que tenham o Selo PROCEL. Os resultados são expressos em GWh economizado e redução de demanda no horário de ponta em MW.

O PROCEL vem desenvolvendo diversas medidas no segmento de condicionamento ambiental, visando à promoção do aumento da eficiência energética desses equipamentos. Nesse sentido, PROCEL, INMETRO e CEPEL desenvolveram e implementaram, em 1994, um procedimento de ensaio padrão para a determinação do consumo de energia e eficiência energética de condicionadores de ar tipo Janela, no âmbito do Programa Brasileiro de Etiquetagem. A partir dos resultados dos ensaios outorga-se o Selo PROCEL de Economia de Energia para os modelos que se enquadrem na faixa **A** de eficiência energética (modelos mais eficientes). Em 2004, os condicionadores de ar do tipo “Split hi-wall” foram incorporados na lista de equipamentos agraciados com o Selo Procel. Em 2005 foram iniciadas as primeiras discussões para estender o Selo Procel e a ENCE para outros modelos de condicionadores de ar do tipo Split.

Os itens seguintes, 4,5 e 6 apresentam respectivamente a Metodologia de Avaliação utilizada neste trabalho e suas etapas, seguida da apresentação dos dados relevantes a serem considerados nesta metodologia e por fim no item 6 é apresentado o Modelo Conceitual de Avaliação com suas equações pertinentes. Os dados de entrada do Modelo com suas fontes de informação são apresentados no item 7 e uma análise de incertezas do Modelo é feita no item 8 para finalmente no item 9 serem apresentados os resultados obtidos.

#### **4 - Metodologia**

O presente trabalho apresenta uma modelagem para a avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito dos aparelhos de condicionadores de ar. Para a avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, este trabalho de forma geral, segue as seguintes etapas:

1- Apresentar uma modelagem para a avaliação do impacto energético (economia de energia e redução de demanda de ponta) atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar do tipo Janela e Split. A modelagem consiste em elaborar os seguintes critérios, para aparelhos de ar condicionado com Selo e sem o Selo PROCEL:

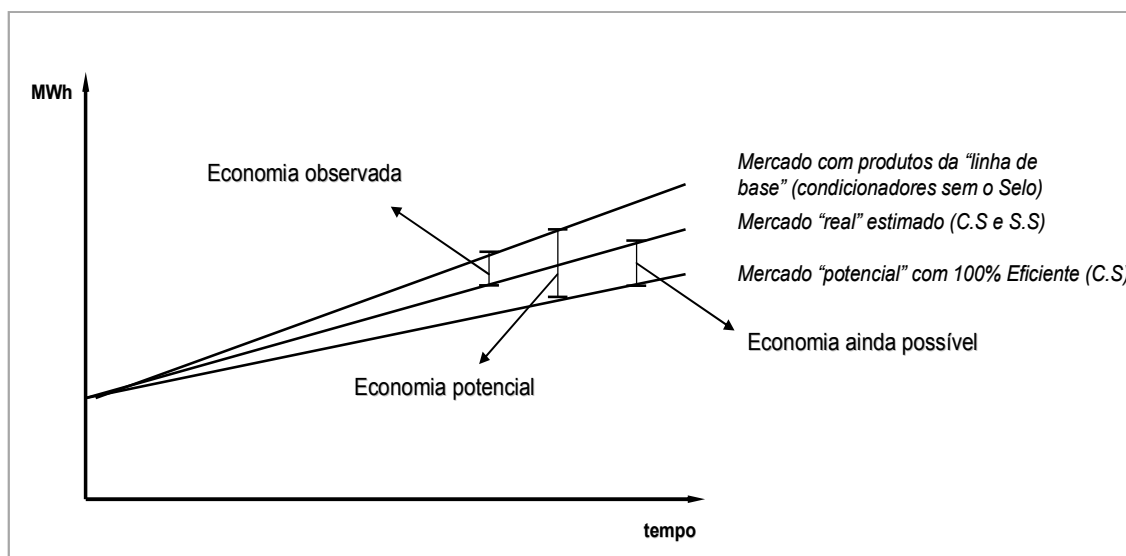
- a. Formação do parque de aparelhos de ar condicionado, desagregados por categoria (Janela e Split), região do país e idade;
- b. Consumo de energia dos equipamentos, desagregados por modelos equivalentes e separados por região do país, para a inclusão das variáveis de degradação de eficiência e temperatura ambiente;

2 - Apresentar os dados de entrada do Modelo, com suas respectivas fontes de informações ou considerações necessárias, para cálculo de Economia de Energia e Redução de Demanda de Ponta.

3 - Através desta modelagem e dos dados colhidos aplicar o Modelo fazendo todas as considerações necessárias e determinar a Economia de Energia e a Redução de Demanda de Ponta.

4 - Calcular as estimativas das incertezas no processamento dos dados e na expressão dos resultados. Essa etapa tem por objetivo quantificar os erros atribuídos a cada variável utilizada na modelagem de avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL para a determinação da incerteza global do Modelo.

A Figura 4.1 apresenta a modelagem da metodologia que mostra a diferença entre o consumo do mercado da linha de base (primeira hipótese de composição do parque) e o consumo do parque real (segunda hipótese) sendo possível estimar a economia de energia atribuída ao Programa Selo PROCEL. A diferença entre o consumo da linha de base e o consumo potencial (terceira hipótese) representa o potencial de economia do Programa.



**Figura 4. 1-** Evolução das curvas de consumo do parque de condicionadores de ar.  
Fonte: CARDOSO - 2008

Com os valores de desempenho energético dos equipamentos e do parque de equipamentos no mercado consumidor de energia elétrica, que depende por sua vez do estoque inicial, das vendas e do sucateamento observado, tem-se portanto, segundo a Figura 4.1, condições de calcular a economias de energia total e líquida.

## **5 - Dados relevantes a Metodologia de Avaliação de aparelhos de AC**

As estimativas de economia de energia atribuída ao Programa Selo PROCEL, no âmbito dos aparelhos de ar condicionado, são realizadas com base apenas em informações de vendas de equipamentos e diferença de consumo entre equipamentos sem o Selo e com o Selo PROCEL. Os efeitos de variáveis importantes como, por exemplo, a temperatura ambiente e a degradação de eficiência dos equipamentos, serão apresentadas no Modelo (item 6.0), onde estas variáveis são consideradas, avaliadas e inseridas no cálculo do impacto energético.

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os principais itens do Modelo, com suas respectivas fontes de informações ou considerações necessárias, para cálculo de Economia de Energia e Redução de Demanda de Ponta. Foram coletadas e/ou estimadas informações com relação à formação do parque de condicionadores de ar e correções no consumo unitário por equipamento, tomando como referência as condições padronizadas de ensaio.

### *a) Parque de Equipamentos*

O parque de aparelhos de ar condicionado pode ser estimado baseando-se em dados de venda e descarte de equipamentos, que permite a desagregação por idade e de penetração de equipamentos. Devido aos efeitos climáticos e de degradação de desempenho ao longo da vida útil no consumo dos aparelhos de ar condicionado, foi necessário desagregar o parque de equipamentos com Selo e sem Selo PROCEL por categoria, região do país e idade para incluir esses efeitos.

Quanto às hipóteses de composição do parque de acordo com a Figura 4.1, a primeira refere-se a um mercado fictício composto apenas por produtos da linha de base assumida no presente estudo, ou seja, caso o parque de condicionadores de ar instalados no país fosse composto apenas por equipamentos sem o Selo PROCEL. A segunda refere-se à situação real da composição do parque de condicionadores de ar instalados no país, ou seja, parte do parque com Selo e outra parte sem o Selo PROCEL. Por fim, a terceira hipótese de composição do parque é referente a um

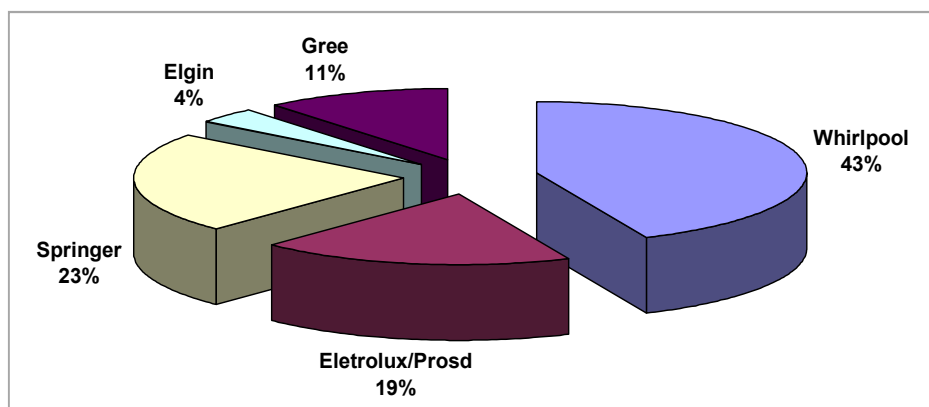
mercado fictício potencial para o Selo PROCEL, onde todos os equipamentos instalados no país possuem o Selo PROCEL.

### *b) Consumo Unitário e Médio de Energia Elétrica*

Para cada hipótese de composição do parque de equipamentos tem-se um consumo unitário de condicionadores de ar correspondente. Este consumo toma os valores de ensaio do PBE/INMETRO padronizados de acordo com a norma NBR 05858/1983, seguindo as especificações da Norma ISO 5151. Esses valores são corrigidos pelos efeitos da temperatura ambiente média de cada região do país, já que o Brasil é um país que apresenta grandes variações climáticas regionais, e pelos efeitos da degradação de eficiência dos equipamentos ao longo da vida útil.

O consumo médio unitário de energia elétrica dos condicionadores de ar é definido como sendo a relação entre o consumo de energia térmica e o coeficiente de performance – COP dos equipamentos. Tanto o consumo de energia térmica quanto o COP variam com a temperatura do ambiente climatizado. Além disso, o desempenho dos equipamentos é influenciado pela degradação de eficiência ao longo da vida útil destes aparelhos.

Outra informação relevante para as estimativas do consumo unitário é a participação do mercado de cada marca, que foi obtida a partir de pesquisas da (ABRAVA, 2008), como mostra a Figura 5.3.



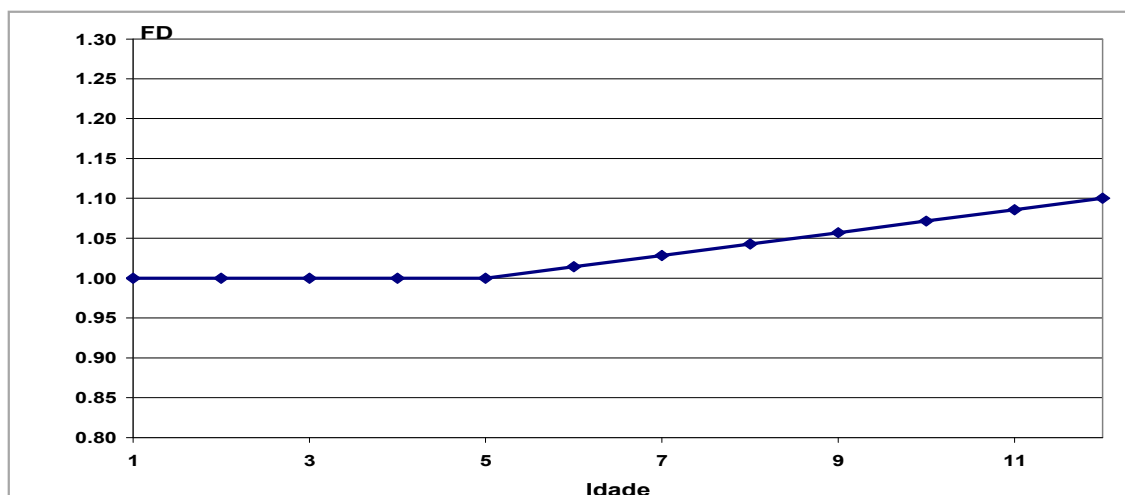
**Figura 5. 1-** Participação no mercado de condicionadores de ar – Brasil  
Fonte: ABRAVA - 2008



### c) Fator de Degradação e Sucateamento

Na avaliação do estudo do modelo verifica-se que os equipamentos elétricos sofrem desgastes ao longo da vida de operação, como conseqüências acabam reduzindo o desempenho e consumindo mais energia. No caso dos aparelhos de ar condicionado, basicamente quatro fatores interferem na degradação de eficiência: compressor, válvula de expansão, isolamento e termostato.

As informações quanto aos efeitos de degradação de desempenho ao longo da vida útil dos equipamentos foram levantadas a partir de informações de fabricantes. A Figura 5.2 mostra que nos primeiros cinco anos de idade os equipamentos não perdem desempenho. Do sexto ano ao décimo segundo, final da vida útil teórico, os condicionadores de ar perdem cerca de 10% de sua eficiência devido, principalmente a perda de desempenho do compressor. Cabe observar que a má instalação, operação e manutenção também afetam no desempenho, no entanto, esses efeitos não foram tomados em consideração na medida em que não dependem dos equipamentos.



**Figura 5. 2-** Fator de degradação de eficiência de Condicionadores de Ar (Confecção própria)

Para o cálculo do efeito de degradação, adotou-se uma porcentagem incrementada de condicionadores de ar vendidos com o Selo PROCEL. Foram adotados os

seguintes valores para os aparelhos do tipo Janela e Split:

- Janela: 20%, 30%, 40%, 50% e 60%, para os anos 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 a 2007, respectivamente.
- Split: 60% para os anos entre 2004 e 2007.

Estes valores foram adotados tendo em vista que no início do programa de etiquetagem se pretendia que os condicionadores de ar do tipo Janela e da classe **A** corresponderem a 20% do total produzido para o mercado interno, fração paulatinamente incrementada ao nível praticado nos últimos anos, 60% das vendas. Para o caso dos equipamentos do tipo Split, de introdução mais recente no mercado, em sua expressiva maioria de origem chinesa, na falta de maiores informações, foi assumida uma porcentagem de equipamentos classe **A** similar à observada nos últimos anos para os equipamentos do tipo Janela, 60%. Quanto ao sucateamento dos aparelhos de AC, serão estabelecidos coeficientes que deverão ser detalhados no item 6.1.

#### *d) Fator de Utilização*

Outra informação essencial para as estimativas do consumo de energia elétrica de condicionadores de ar refere-se ao tempo de utilização. Estimou-se o tempo de utilização dos condicionadores de ar de cada região do país desagregado por período do ano a partir das seguintes premissas, que permitiram obter os valores apresentados na Tabela 7.2:

- Os condicionadores são utilizados somente quando a temperatura média ambiente de cada período é superior a 23°C (resfriamento) ou inferior a 18°C (aquecimento). Considerou-se, portanto, que para temperaturas entre 18°C e 23°C os equipamentos não são ligados.
- Com base em informações do PROCEL (2007) os condicionadores de ar são utilizados 8 horas por dia no setor residencial e 10 horas por dia no setor comercial.

*f) Fator de Carga Sensível (FCS)*

O Fator de Carga Sensível (FCS) ou fator de calor sensível é definido como sendo uma relação entre essas cargas térmicas sensíveis e a latente. Segundo VENTURINI (2007) a relação entre a carga térmica sensível e latente é variável de acordo com as características físicas e de ocupação específicas (número de pessoas, quantidade de eletrodomésticos, cor de parede, etc) para o ambiente climatizado. Considera-se representativa a seguinte faixa de valores:  $0,8 \leq FCS \leq 0,9$ .

*g) Fator de Coincidência de Ponta*

O Fator de Coincidência de Ponta é a relação entre a demanda máxima simultânea de um conjunto de equipamentos elétricos ou consumidores em um período especificado, e a soma de cada uma de suas demandas máximas dentro do mesmo período de tempo a ser definido pela concessionária. Para as estimativas do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar para efeitos de Redução de Demanda de Ponta - RDP, por região e período do ano, são utilizadas equações próprias. A redução de demanda no horário de ponta, medida em MW, é um dos principais indicadores quantitativos para projetos de eficiência energética. Os valores deverão ser levantados por meio de diagnóstico ou pré-diagnóstico. Esses valores deverão ser mensurados por meio de práticas adequadas de medição e verificação (M&V). A importância de redução do consumo de energia no horário de ponta permite racionalizar investimentos em geração e/ou transmissão para o aumento da carga. Esta redução também aumenta a qualidade e segurança do fornecimento de energia elétrica bem como evita investimentos na construção de usinas térmicas gás natural que operam para atender na ponta. Deve-se ainda ressaltar, que existem dificuldades para a estimativa do fator de coincidência de ponta. Para a avaliação dos aparelhos de ar condicionado é necessário uma desagregação por modelo (Janela – Split), por classe de atendimento (residencial – comercial), e enfim por faixa de potência do aparelho. Dependendo desta classificação, sua operação se dá em horários mais diversificados possíveis.

## **6 - Modelo Conceitual de Avaliação do Selo PROCEL**

A modelagem para a avaliação do impacto energético (economia de energia e redução de demanda de ponta) atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar do tipo Janela e Split seguem as seguintes premissas:

- Avaliação do impacto energético ao longo da vida útil dos equipamentos.
- Definição de uma unidade representativa para cada grupo de unidades homogêneas de condicionadores de ar, cobrindo as faixas de capacidade, modelos (Janela e Split) e a existência de Selo PROCEL.
- Avaliação em dois setores produtivos, residencial e comercial, e em dois períodos do ano de acordo com a classificação da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (seco - Maio a Novembro e úmido - Dezembro a Abril).
- Consideração da vida útil média dos condicionadores de ar de 10 a 12 anos.
- Inclusão dos efeitos da temperatura média ambiente no desempenho dos condicionadores de ar para a desagregação regional.
- Consideração dos impactos da idade, ou seja, perda de desempenho, no consumo de energia ao longo da vida útil dos equipamentos.
- Utilização de informações de pesquisas de posse de equipamentos e hábitos de uso para obtenção de informações quanto ao tempo de utilização dos condicionadores de ar nos setores residencial e comercial brasileiro, fator de utilização, posse de equipamentos, entre outros.

Portanto, para a estimativa da economia de energia atribuída ao Programa Selo PROCEL utilizando a modelagem, calcula-se primeiramente o parque e equipamentos levando em conta o sucateamento dos mesmos. Em seguida calcula-se o consumo médio unitário considerando o fator de degradação e de utilização dos aparelhos. Finalmente, efetua-se o cálculo do consumo do parque de equipamentos nos mercados de linha de base e real. A economia de energia será a diferença deste consumo entre estes mercados de linha de base e real, obtida em GWh.

## 6.1 - Cálculo do Parque de Equipamentos

O parque de equipamentos de um determinado ano  $j$ , desagregado por unidades homogêneas de equipamentos consumidores de energia e região do país é estimado pela seguinte equação:

$$P_j = \sum_{i=j-vu}^j V_i - S_j \quad (6.1)$$

com:

$$S_j = \beta.V_{n-1} + \alpha.V_n + \lambda.V_{n+1} \quad (6.2)$$

onde:

$P_j$  - parque de equipamentos no ano  $j$  (milhões de unidades)

$V$  - Refere-se às vendas de condicionadores de ar (milhões de unidades)

$S$  - Refere-se à função de sucateamento dos condicionadores de ar (.)

$i$  - Índices referentes à idade dos equipamentos (anos)

$j$  - Índice referente ao ano de análise (anos)

$vu$  - vida útil média ( 12 anos)

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\lambda$  - Coeficientes de sucateamento, que equivalem a 0,1; 0,4 e 0,5; respectivamente (.)

Os coeficientes de sucateamento  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\lambda$  apresentados nesta modelagem equivalem a 0,1; 0,4 e 0,5 respectivamente, significando um descarte dos aparelhos de ar condicionado usados do mercado do tipo degrau. O sucateamento médio dos equipamentos varia na idade de 5 a 12 anos, e, para determinar as porcentagens de equipamentos sucateados em cada ano deste período foi feita uma relação entre o parque de equipamentos obtidos pelo modelo e o parque de equipamentos obtidos pela PNAD/IBGE (dados históricos), utilizando o método do erro mínimo quadrático. Essas variáveis indicam que em média 10% dos equipamentos são sucateados com 5 anos de idade, 40% com entre 8 e 9 anos e 50% com 12 anos de idade.

## 6.2 - Cálculo do Consumo Médio Unitário

O consumo médio unitário de energia elétrica dos equipamentos do parque K (Real e LB) é definido como sendo a relação entre o consumo unitário de energia elétrica dos equipamentos de idade  $i$  vezes as vendas efetuadas no ano  $i$ , ponderada pelo somatório do número de vendas no ano de análise. Esta ponderação se faz necessária para a inclusão dos efeitos de degradação de eficiência no consumo dos equipamentos, devido a idade. A equação 6.3 mostra este procedimento.

$$cme = \frac{\sum_{i=j-vu}^j ce_i \cdot V_i}{\sum_{i=j-vu}^j V_i} \quad (6.3)$$

Porém, o consumo de energia elétrica dos equipamentos é definido como sendo a relação entre o consumo de energia térmica e o coeficiente de performance COP. Então deve-se escrever:

$$ce_i = \frac{c_{T_i}}{COP_i} \quad (6.4)$$

Sendo  $COP_R$  para sistemas de refrigeração

$$COP_R = \frac{0,6}{\frac{T_{Amb}}{T_r} - 1} \quad (6.5)$$

E  $COP_A$  para sistemas de aquecimento

$$COP_A = 1 + COP_R \quad (6.6)$$

No entanto, tanto o consumo de energia térmica quanto o COP variam com a temperatura do ambiente climatizado. Além disso, o desempenho dos equipamentos é influenciado pelos efeitos de degradação de eficiência ao longo da vida útil dos equipamentos. No cálculo do consumo unitário de energia térmica estes efeitos são incluídos nas unidades homogêneas de condicionadores de ar, de cada região do país, período do ano (seco ou úmido) e nos setores considerados, ou seja, o

residencial e o comercial. Então:

$$c_{Ti} = (Q_S + Q_L).FD_i.FU \quad (6.7)$$

Os valores de FD e FU foram obtidos através de visitas a fabricantes de condicionadores de ar e frente às pesquisas de posse de equipamentos e hábitos de uso, respectivamente. Seus respectivos valores são apresentados no item 7 E e F.

onde:

$c_{me_k}$  - Consumo médio unitário de energia elétrica dos equipamentos k (kWh)

$ce_i$  - Consumo unitário de energia elétrica do equipamento de idade i (kWh)

$V_i$  - Venda de condicionadores de ar no ano i (milhões de unidades)

$c_{Ti}$  - Consumo unitário de energia térmica do equipamento de idade i (kBtu/h)

$Q_S$  - Carga térmica sensível (cálculo pela diferença de  $T_{amb}$  e  $T_{ref}$  a pressão cte) (Btu)

$Q_L$  - Carga térmica latente (Btu)

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

FU - Fator de utilização (.)

COP - Coeficiente de performance (condicionadores com Selo PROCEL ou sem Selo),(.)

Um ponto relevante a se destacar tem a ver com a correção do desempenho dos condicionadores de ar foi com relação à temperatura média ambiente de cada região do país por período do ano (seco e úmido). Sendo assim, a partir de informações do CPTEC/INPE coletadas em 18 Plataformas de Coleta de Dados – PCDs espalhadas pelo Brasil conseguiu-se obter a temperatura média ambiente por período do ano de cada região do país.

A carga térmica sensível e latente como já foi dito é variável de acordo com as características físicas e de ocupação específicas para cada ambiente climatizado.

Desta forma, o fator de carga sensível (FCS) pode ser expresso como uma relação entre essas cargas, da seguinte forma:

$$FCS = \frac{Q_s}{Q_L + Q_s} \quad (6.8)$$

Como foi considerado a faixa de valores do fator de calor sensível de  $0,8 \leq FCS \leq 0,9$ , no presente trabalho adotou-se um FCS médio de 0,85 como valor representativo dos ambientes climatizados na média das condições brasileiras. Acrescentando a Equação 6.8 em 6.5 tem-se:

$$c_{Ti} = \frac{Q_s}{FCS} \cdot FD_i \cdot FU \quad (6.9)$$

Sabendo-se que para cada região e período do ano tem um tempo de operação, a equação 6.9 pode então ser escrita como:

$$c_{Ti} = \frac{m \cdot c_p \cdot (T_{Amb} - T_{Ref})}{FCS} \cdot FD_i \cdot t \cdot FU \quad (6.10)$$

onde:

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

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

$m$  - massa do ar pelo tempo ou fluxo de massa de ar (kg/s).

$c_p$  - calor específico a pressão constante do ar (kJ/kg.K)

$t$  - tempo de operação dos aparelhos de ar condicionado

Assim é possível obter o consumo unitário de energia térmica do equipamento de ar condicionado de idade  $i$  levando-se em consideração dados de temperatura, do fator de degradação, do fator de utilização e do tempo de utilização.



### 6.3 - Cálculo do Consumo do Parque

O consumo de energia elétrica do parque de condicionadores de ar referente ao mercado da linha de base ou ao mercado real é calculado pela seguinte equação:

$$CEE_K = P.cme_k \quad (6.11)$$

onde:

$CEE_K$  - consumo de energia elétrica do parque. (GWh)

P - Parque de condicionadores de ar (milhões de unidades)

$cme_k$  - Consumo médio unitário de energia elétrica dos equipamentos K (kWh)

K – Refere-se à hipótese de composição do parque de equipamentos (LB, Real)

Deve-se reiterar que o consumo médio unitário de energia elétrica dos equipamentos ( $cme_k$ ), nessa abordagem, foi corrigido pelos efeitos da temperatura ambiente média de cada região do país e pelos efeitos de degradação de eficiência. E também que o parque P, referente a cada unidade homogênea de equipamentos consumidores de energia, foi desagregado por idade e região do país para a inclusão desses efeitos. Desta forma, o salto de economia observada na Figura 4.1 pode ser calculado utilizando as equações mostradas anteriormente para o mercado de linha de base e para o mercado real como mostrado a seguir.

### 6.4 - Cálculo da Economia de Energia

A economia de energia em nível de Brasil corresponde ao somatório das economias no âmbito de condicionadores de ar, tipo Janela, desagregados por unidades homogêneas de equipamentos consumidores de energia por região do país e referente ao setor residencial e deverá ser obtida pela seguinte expressão:

$$EE = CEE_{LB} - CEE_{Real} \quad (6.12)$$

onde:

EE - economia de energia (GWh)

$CEE_{LB}$  - Consumo de energia elétrica do parque da linha de base (100% do parque sem o Selo PROCEL) (GWh)

$CEE_{Real}$  - Consumo de energia elétrica do parque real (sem Selo e com Selo PROCEL) (GWh)

Os aparelhos de ar condicionado com capacidade acima de 30.000 Btu/h não são objetos de análise neste trabalho. Com essa modelagem considera-se possível avaliar a economia de energia atribuída ao Programa Selo PROCEL, ao longo da vida útil dos condicionadores de ar tipo Janela, no setor residencial e comercial incluindo os efeitos regionais, referentes à temperatura ambiente sazonais, considerando os dois períodos do ano, bem como as influências da perda de desempenho dos equipamentos.

### 6.5 - Cálculo da Redução de Demanda de Ponta

Para as estimativas do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar para efeitos de Redução de Demanda de Ponta - RDP, por região e período do ano, utilizou-se a seguinte modelagem apresentada pelo (PROCEL, 2007):

$$RDP = \frac{EE \cdot FCP}{t} \quad (6.13)$$

onde:

RDB - Redução de demanda de ponta (MW)

EE - Economia de energia (GWh)

FCP - Fator de Coincidência de Ponta (.)

t - Tempo (h)

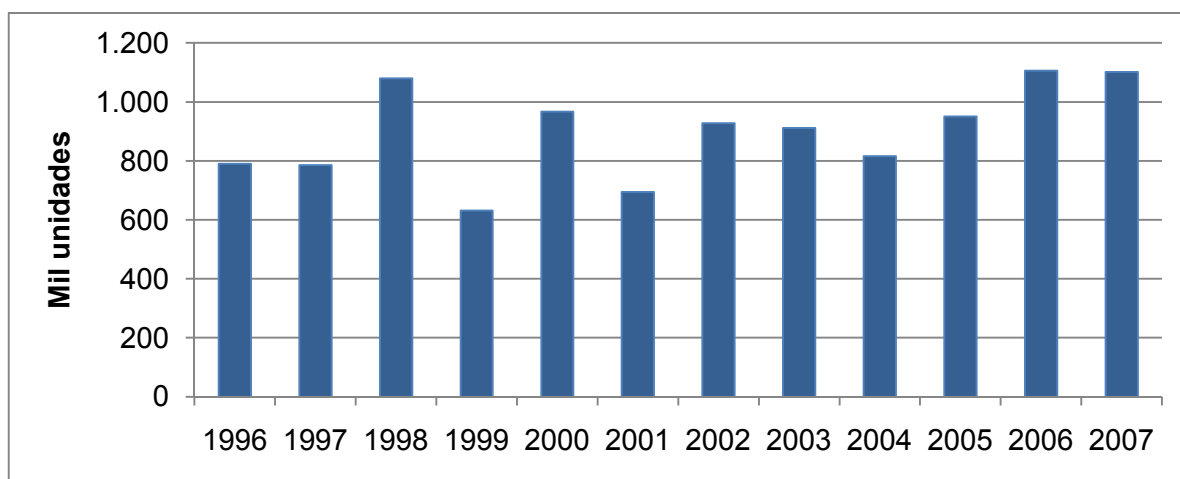
## 7 - Dados de Entrada do Modelo

Neste item o objetivo é apresentar os dados de entrada para o Modelo, com suas respectivas fontes de informações ou considerações necessárias, para cálculo de Economia de Energia e Redução de Demanda de Ponta. Foram coletadas e/ou estimadas informações com relação à formação do parque de condicionadores de ar e correções no consumo unitário por equipamento, tomando como referência as condições padronizadas de ensaio.

### A) Informações para a formação do parque de equipamentos

A modelagem para a formação do parque de condicionadores de ar tem como fonte principal de informações os dados de venda fornecidos pela Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – ABRAVA(2007) e POF/IBGE (2007) e das Pesquisas de Posse e Hábitos de Uso do (PROCEL, 2007). Estes órgãos prestaram informações referentes à concentração dos condicionadores por região do país e nos setores residencial e comercial, bem como o tipo de equipamento (Janela ou Split) por setor.

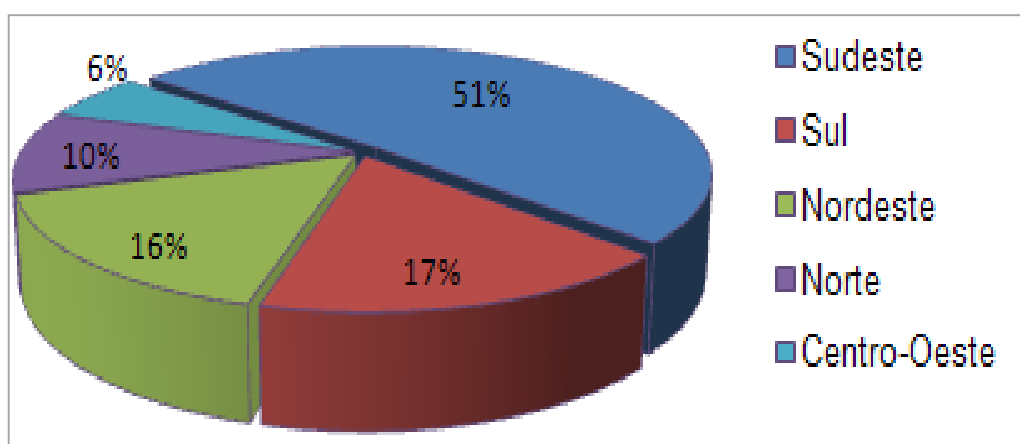
A Figura 7.1 mostra a evolução das vendas de condicionadores de ar nos últimos 10 anos. Tais informações foram fornecidas pela ABRAVA que se baseou em informações de fabricantes, como a Suframa, e da Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos - ELETROS.



**Figura 7.1-** Evolução das vendas anuais de AC do tipo janela no Brasil  
Fonte: ABRAVA - 2007

As informações apresentadas na Figura 7.1 são agregadas, ou seja, não são segmentadas por região do país, setor ou tipo de equipamento (Janela ou Split). Para desagregação regional foram utilizados os dados apresentados pela POF/IBGE (2007).

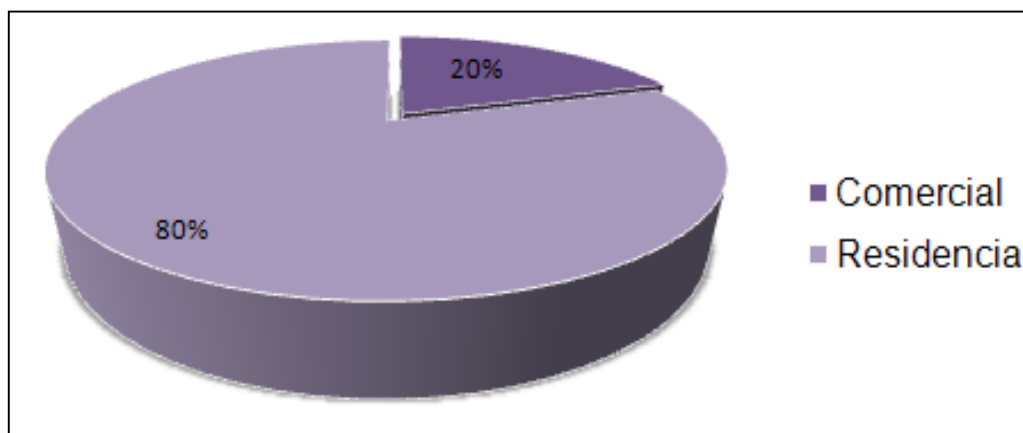
As vendas de condicionadores tipo Janela totalizaram 1.691.550 unidades em 2007, para os equipamentos *Split* foi considerado 30% do total de vendas, ou seja, 724.950 unidades vendidas. Assim, o total estimado de condicionadores tipo Janela e Split vendidos em 2007 foi de 2.416.500 unidades. Com relação às vendas de condicionadores tipo Janela o valor foi obtido a partir de dados da Pesquisa Industrial Anual - PIA - Produto 2006 (IBGE) e considerando-se um crescimento de mercado de 8% de 2006 para 2007, com base no crescimento de 11,14% nas vendas dos equipamentos da linha branca no período, conforme a Pesquisa Industrial Mensal Produção Física Brasil (PIM-PF Brasil) de janeiro de 2008. Com relação às vendas de condicionadores tipo Split o percentual foi obtido em sondagens ao mercado de condicionadores de ar e contatos com fabricantes e Associações. Para a distribuição de vendas de condicionadores de ar por região do país, assumiu-se a mesma distribuição apresentada pela Figura 7.2.



**Figura 7.2** - Concentração de Condicionadores de Ar por região do Brasil  
Fonte: POF/IBGE -2003

Segundo o PROCEL (2007), os condicionadores de ar utilizados no setor residencial apresentam tipicamente capacidades entre 6000 e 12000 Btu/h, enquanto no setor comercial as capacidades ficam geralmente entre 12.000 e 36.000 Btu/h. Sendo a

participação no mercado distribuído da seguinte forma: o setor residencial com 80% (condicionadores de ar com capacidade de 9.000 Btu/h) e o setor comercial com 20% (condicionadores de ar com capacidade de 21.000 Btu/h). O fator de utilização é de 70%. Um histórico de vendas pode ser visto no Anexo E.



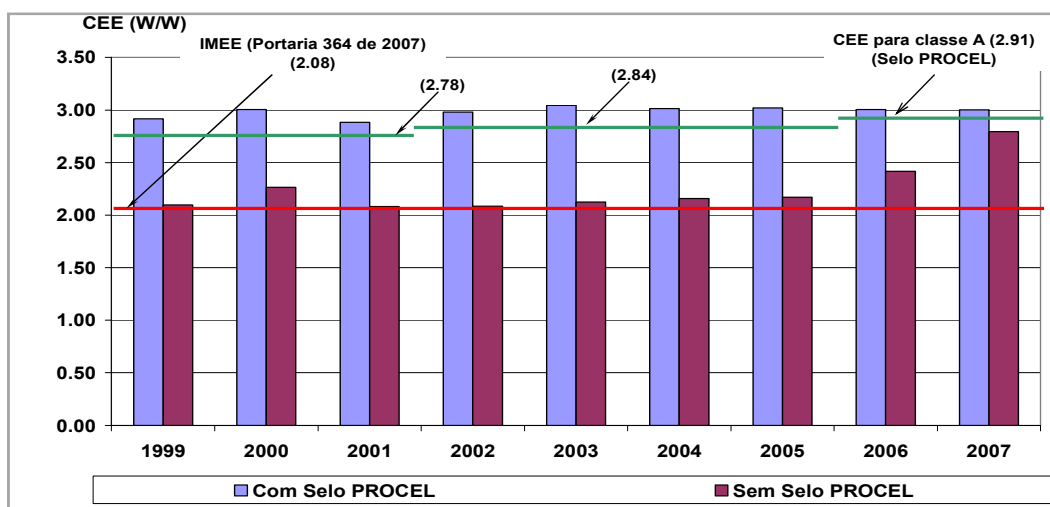
**Figura 7.3** - Concentração de condicionadores de ar Janela e Split por setor  
Fonte: PROCEL - 2007

## **B) Informações para cálculo do consumo unitário dos equipamentos**

De acordo com a metodologia utilizada, se determinaram os modelos equivalentes para as diferentes classes de condicionadores (tipo Janela residencial com Selo e sem Selo, tipo Janela comercial com Selo e sem Selo, e Split com Selo e sem Selo), em função da participação de cada fabricante no mercado. Esses seis modelos equivalentes foram considerados os equipamentos típicos para as estimativas do consumo de energia. Os valores médios dos índices normalizados de eficiência energética (nas condições padronizadas em norma), obtidos durante os ensaios dos diversos modelos de condicionadores de ar disponíveis no mercado (cerca de 570 modelos, apresentados por fabricante), foram ajustados para as temperaturas representativas das regiões em estudo. A evolução dos coeficientes médios de eficiência energética de condicionadores de ar Janela e Split, é apresentada nas figuras seguintes, onde também se apresentam os níveis mínimos de eficiência estabelecidos pela Portaria MME 364 de 2007.

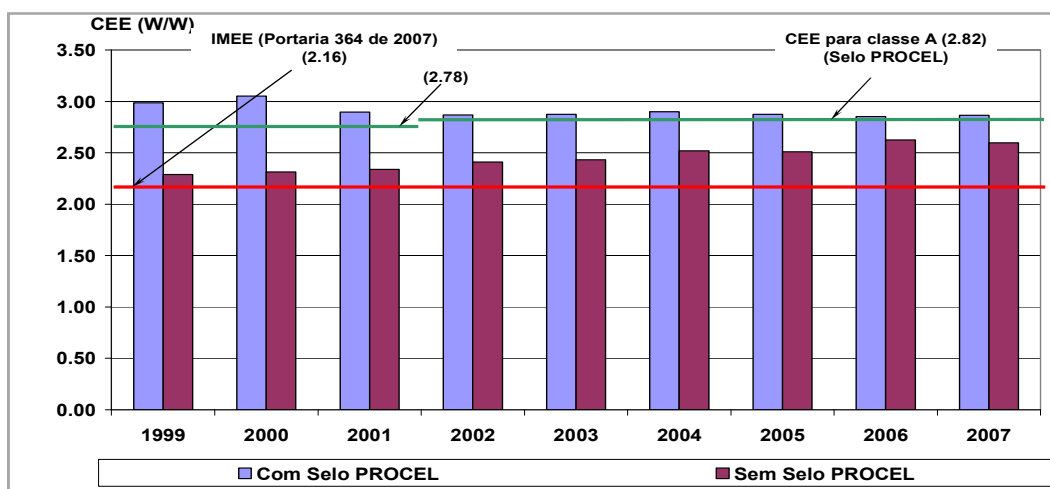
As Figuras 7.4 e 7.5 a seguir mostram a evolução dos Coeficientes médios de

Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Janela de duas classes distintas de energia consumida (CS e SS) do ano de 1999 a 2007.



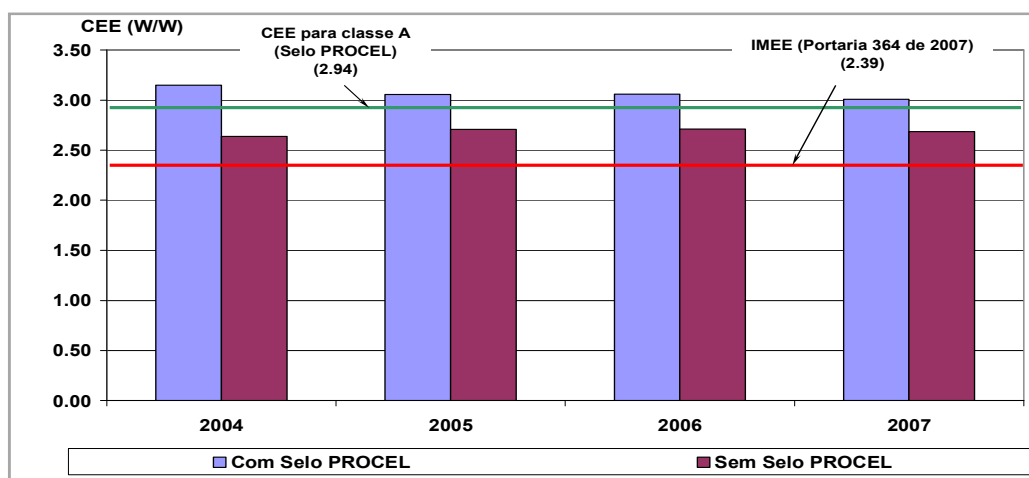
**Figura 7.4** - Coeficientes médios de Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Janela (6000-12000) no Brasil.  
Fonte: CARDOSO, et. al. - 2009

Nas Figuras 7.4, 7.5 e 7.6 além dos coeficientes médios de Eficiência Energética para modelos com e sem selo, foram traçadas linhas de valores de índices mínimos de eficiência energética (IMEE) que indicam a exigência da Lei 10.295 para aparelhos sem selo, sancionada pela portaria 364 de 2007.



**Figura 7.5** - Coeficientes médios de Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Janela (12001-30000 Btu/h) no Brasil.  
Fonte: CARDOSO, et. al. - 2009

Já para os aparelhos de ar condicionado tipo Split a evolução dos Coeficientes médios de Eficiência Energética é apresentada do ano de 2004 a 2007.



**Figura 7.6** - Coeficientes médios de Eficiência Energética de condicionadores de ar do tipo Split no Brasil.  
Fonte: CARDOSO, et. al. - 2009

Constatou-se que as eficiências energéticas - EERs ou CEEs médios dos condicionadores com Selo PROCEL não vêm mantendo os níveis nos últimos anos, já os dos condicionadores sem Selo PROCEL vêm aumentando nos últimos anos. Acredita-se que este aumento foi impulsionado pela implementação da Lei 10.295/01 (índices mínimos de eficiência energética), em implementação nesses equipamentos.

### C) Dados sobre temperatura

A temperatura ambiente é um condicionante importante do desempenho de equipamentos para refrigeração, afetando a carga térmica e o desempenho do ciclo térmico associado. Para a correção do desempenho dos condicionadores de ar em função da temperatura de operação, a temperatura média ambiente de cada região do país foi estimada para os períodos do ano utilizados na tarifação de energia elétrica (seco e úmido), conforme se descreve a seguir.

A partir de informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC/INPE, coletadas em 18 Plataformas de Coleta de Dados – PCDs espalhadas

pelo Brasil conseguiu-se obter a temperatura média ambiente por período do ano de cada uma das 137 mesorregiões do país, unidades de desagregação climática estabelecidas pelo IBGE. Visando representar a distribuição heterogênea dos condicionadores em uma dada região, combinando o efeito da temperatura com a dimensão do mercado, as temperaturas das mesorregiões em uma determinada região foram ponderadas pela população das respectivas mesorregiões geográficas, resultando os dados da Tabela 7.1.

**Tabela 7.1 - Temperaturas média ambiente ponderada pela população das mesorregiões geográficas do IBGE.**

Região	Período	
	Seco (°C)	Úmido (°C)
<b>Sul</b>	15,3	21,8
<b>Sudeste</b>	20,6	24,6
<b>Centro-Oeste</b>	22,2	25,0
<b>Nordeste</b>	24,4	25,1
<b>Norte</b>	25,1	25,2

Fonte: confecção própria

#### **D) Dados sobre tempo de utilização de aparelhos de Ar Condicionado**

De acordo com um levantamento de posse e hábitos de consumo, realizado sobre uma base de 2,4 milhões de residências, (PROCEL, 2007) verificou-se que a grande maioria dos condicionadores de ar instalados no Brasil funciona cerca de quatro vezes por semana. Outro dado é que o número de semanas do ano é aproximadamente 52 (22 referentes ao período úmido e 30 ao período seco). Com as informações quanto ao tempo diário de operação dos condicionadores de ar por setor (residencial e comercial) apresentadas no item 5d e também quanto ao número de horas de utilização, estimou-se o tempo de utilização total apresentado a seguir.

**Tabela 7.2 - Tempo de utilização de condicionadores de ar (horas/ano)**

Região	Setor Residencial		Setor Comercial	
	P. Seco	P. Úmido	P. Seco	P. Úmido
<b>Sul</b>	974	0	1217	0
<b>Sudeste</b>	0	695	0	869
<b>C.-Oeste</b>	0	695	0	869
<b>Nordeste</b>	974	695	1217	869
<b>Norte</b>	974	695	1217	869

Fonte: confecção própria



A Tabela 7.2 mostrada anteriormente foi confeccionada em função das temperaturas apresentadas na Tabela 7.1 e do número de horas de funcionamento dos aparelhos de cada setor. Para temperaturas acima de 18° C e abaixo de 23°C os aparelhos não são acionados, portanto não há tempo de utilização.

#### **E) Dados quanto ao Efeito de Degradação**

A Figura 5.2 que apresenta o fator de degradação de eficiência de aparelhos de ar condicionado mostra que este o efeito de degradação começa a partir do quinto ano de uso do aparelho. A perda da eficiência do quinto até o décimo segundo ano é de dez por cento de forma linear perdendo em média 0,0143 por ano.

#### **F) Dados referentes ao Fator de Utilização e ao Fator de Coincidência de Ponta**

As informações referentes ao Fator de Utilização e ao Fator de Coincidência de Ponta foram às mesmas utilizadas no Relatório de Avaliação dos Resultados do PROCEL do ano de 2006 (PROCEL, 2007), assumindo-se o valor de 0,7 para ambos os fatores. No entanto, cabe observar que refinamentos dessas informações podem ajudar na redução das incertezas da modelagem proposta.

## **8 - Análise de Incertezas do Modelo**

As estimativas das incertezas são importantes no processamento dos dados e na expressão dos resultados. A abordagem esboçada no presente trabalho contém muitas simplificações com relação a uma análise rigorosa, sendo que a intenção é fornecer uma abordagem prática, objetiva e satisfatória para as estimativas das incertezas. No entanto, métodos matemáticos relativamente simples são úteis para as estimativas das incertezas de resultados obtidos em avaliação de programas de eficiência energética (VUOLO 1996) e PROCEL (2007).

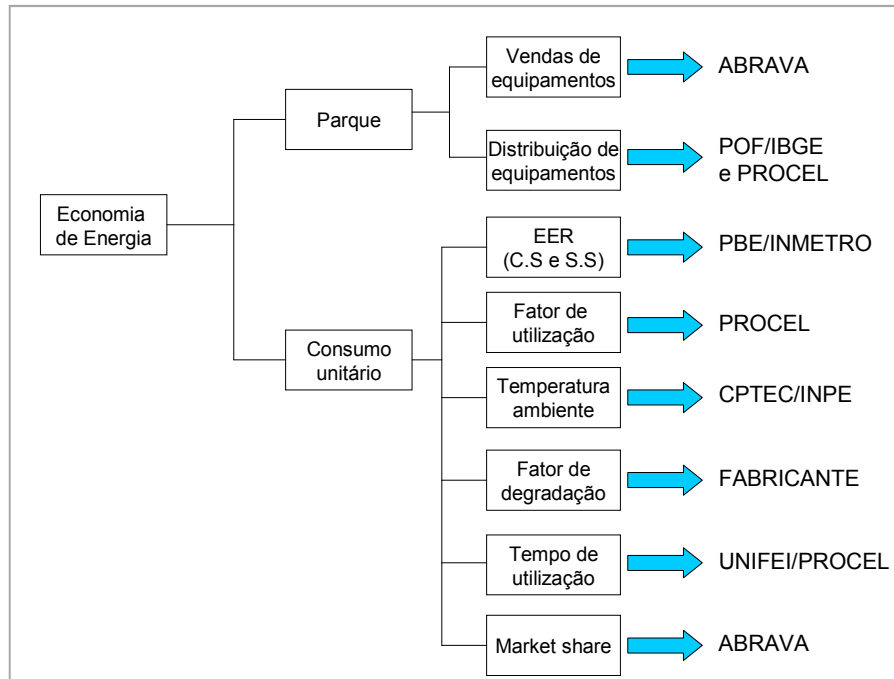
### **8.1- Incertezas associadas ao Modelo**

As incertezas associadas ao Modelo estão relacionadas à propagação de erros decorrente da entrada de dados para o cálculo do consumo de energia elétrica ou parque de equipamentos, como mostra a Figura 8.1, com suas respectivas fontes de informações. Cabe observar que alguns efeitos como, por exemplo, os ocasionados pelos hábitos de uso e variação de tensão não foram incorporados ao modelo.

A determinação de incertezas do Modelo pode ser dividida em:

1. Incertezas relacionadas ao consumo ( $C_i$ )
2. Incertezas relacionadas ao parque de equipamentos instalado ( $N_i$ )
3. Incertezas combinadas relacionada a economia de energia (EE)

A Figura 8.1 mostra que os fatores que interferem nas incertezas dos resultados de economia de energia estão intrinsecamente ligados aos dados de entrada do modelo, que são fornecidos por entidades e associações governamentais e fabricantes de aparelhos de ar condicionado.



**Figura 8.1** - Fatores que interferem nas incertezas do Modelo

A metodologia aplicada nesta dissertação para o cálculo das incertezas do Modelo, apresentadas no tópico seguinte (Propagação das Incertezas), foi utilizada na modelagem para cálculo de Economia de Energia e Redução de demanda de ponta, apresentada nos itens 6.4 e 6.5.

## 8.2 - Propagação das Incertezas

Sabendo que a economia de energia, calculada pelo Modelo, está em função de várias variáveis do parque de equipamentos e de algumas variáveis do consumo específico, o modelo de propagação de incertezas destas variáveis utilizado pelo presente trabalho é o de VUOLO (1996) e BALBINOT (2006). Este modelo é utilizado neste trabalho por ser o mais geral de propagação de incertezas e por ser razoavelmente bem consistente.

$$\text{Seja: } EE = f(x, y, \dots) \quad (8.1)$$

$$\Delta EE = \sqrt{\left(\frac{\partial EE}{\partial x} \cdot \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial EE}{\partial y} \cdot \Delta y\right)^2 + \dots} \quad (8.2)$$

onde:

- EE – Economia de energia
- $\Delta EE$  – Incerteza do modelo
- $\Delta x$  – Incerteza da variável x
- $\Delta y$  – Incerteza da variável y

Se não for possível obter a incerteza de alguma variável utilizada pelo modelo, então, tal incerteza é determinada pelo seguinte equacionamento:

$$\Delta x = \frac{LS - LI}{2\sqrt{3}} \quad (8.3)$$

Onde:

- $\Delta x$  – Incerteza da variável x
- LS – Limite superior de incerteza
- LI – Limite inferior de incerteza

A Tabela 8.1 apresenta a incerteza adotada para as variáveis utilizadas no modelo e o impacto de cada uma delas sobre a economia de energia. As incertezas foram estimadas com base nos procedimentos utilizados para a sua determinação.

**Tabela 8.1** - Impacto de incertezas das variáveis no modelo

	Variável	Incerteza da variável	Incerteza no modelo
<b>Consumo</b>	CEE	$\pm 0,2$	$\pm 1\%$
	Temperatura	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 5\%$
	Fator degradação	$\pm 0,2$	$\pm 12,5\%$
	Fator de utilização	$\pm 10\%$	$\pm 10\%$
	Tempo utilização	$\pm 150$ horas	$\pm 8\%$
	<b>Ci</b>	-	<b><math>\pm 17,9\%</math></b>
<b>Parque</b>	Vi	$\pm 1,5\%$	$\pm 1,5\%$
	Si	$\pm 15\%$	$\pm 4,3\%$
	<b>Ni</b>	-	<b><math>\pm 4,6\%</math></b>

O impacto da temperatura ambiente no modelo, quanto à incerteza, é de 5%, pois, o erro da fonte primária o CPTEC/INPE é de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Os impactos das variáveis, referentes à carga térmica e rendimento, foram estimados empiricamente. As incertezas quanto às vendas de equipamentos e sucateamento estão relacionadas

aos erros das respectivas fontes de informação. O Market Share interfere muito pouco nas incertezas do modelo, já que, para a mesma capacidade, os equipamentos apresentam pequenos desvios de consumo de uma marca com relação à outra.

Com as incertezas dos cálculos de consumo de energia e parque de equipamentos determinados, estima-se a incerteza final do modelo de cálculo de economia de energia atribuída ao Programa Selo PROCEL utilizando a equação 8.2.

**Tabela 8.2 - Incerteza do modelo**

<b>Variável</b>	<b>Incerteza</b>
Ni	± 4,6%
Ci	± 17,9%
<b>EEi</b>	<b>± 25,8 %</b>

Conclui-se que a incerteza do Modelo Proposto de Avaliação de Economia de Energia atribuída ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar, está na ordem de 26%. Assim a economia dos equipamentos avaliados (Janela), atribuída ao Programa Selo PROCEL, obtida em 2007 pode ser expressa da seguinte forma:

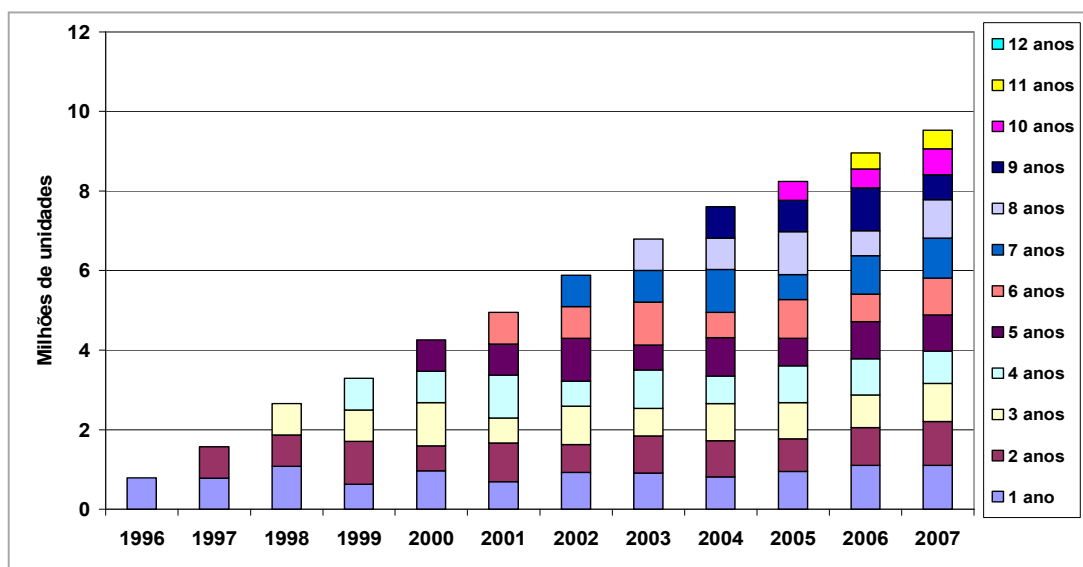
$$EE_{2007} = EE_{\text{energia}} \pm 26\% \text{ (GWh)}$$

Cabe ressaltar que os resultados das incertezas da modelagem foram obtidos com base nas informações disponíveis no mercado brasileiro. Maiores informações de mercado, como por exemplo, pesquisas de posse e hábitos de uso de equipamentos e, maiores informações técnicas, como influências da variação de tensão no consumo de energia elétrica dos eletrodomésticos, poderão reduzir os níveis de incertezas estimados atualmente.

## 9 - Resultados

A partir da modelagem desenvolvida anteriormente, o presente capítulo apresenta os resultados de economia de energia e redução de demanda de ponta, atribuídos ao Programa Selo PROCEL (PSP), no âmbito de condicionadores Janela e Split.

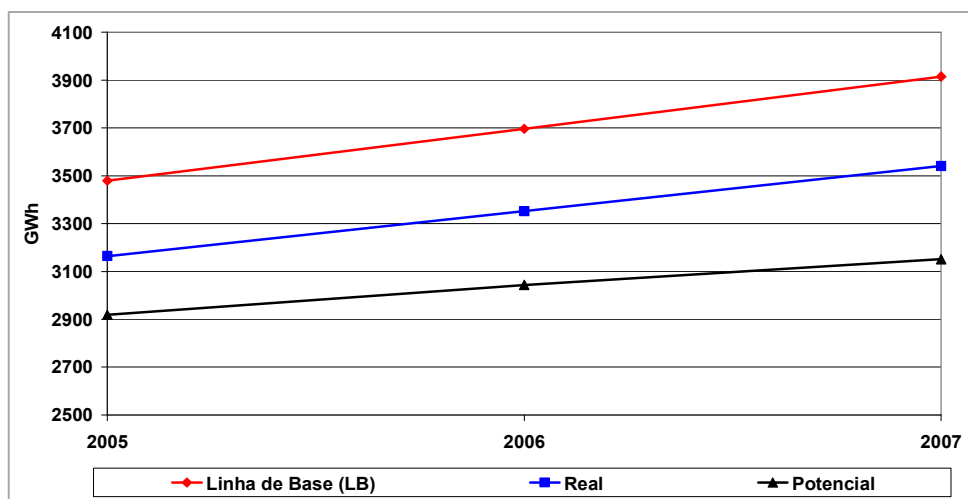
Aplicando a modelagem de formação do parque de equipamentos, a partir das informações de vendas anuais fornecidas pela ABRAVA e Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comercio Exterior - MDIC constatou-se que o parque total de condicionadores de ar do tipo Janela no ano de 2007 foi de aproximadamente 9,8 milhões de unidades. Cerca de 80% do parque alocado no setor residencial (6.000-12.000 Btu/h) e 20% no setor comercial (12.001-30.000 Btu/h). Para os condicionadores de ar do tipo Split não foi possível estimar o parque por falta de informações de mercado. A Figura 9.1 mostra a contribuição anual de aparelhos de ar condicionado tipo Janela em milhões de unidades em 12 anos.



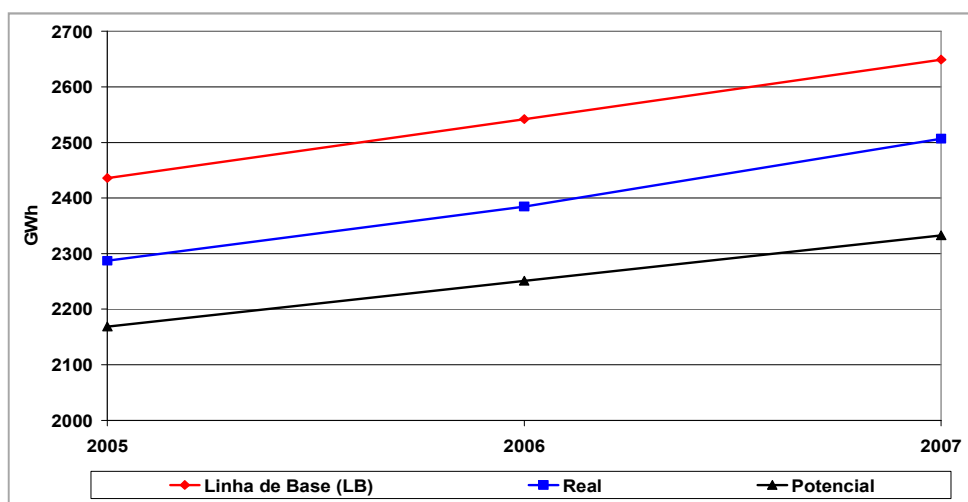
**Figura 9.1-** Evolução do parque de condicionadores de ar do tipo Janela no Brasil  
Fonte: PROCEL - 2007

Cabe observar que os valores representativos do parque de equipamentos são referentes aos anos de 2006 e 2007, pois, somente a partir desses anos conseguiu-se um histórico de vendas para a formação do parque. Segundo PROCEL (2007) a partir do ano de 1999 cerca de 20% das vendas de condicionadores de ar no país possuíam o Selo PROCEL.

Tendo estimado o parque de condicionadores (número e idade) e o consumo unitário médio anual dos condicionadores representativos de cada classe, ajustados com os efeitos da temperatura média ambiente para as cinco regiões do país e a degradação de eficiência, foi possível obter a evolução do consumo de energia do parque considerando as três hipóteses de mercado (linha de base, real e potencial) nos dois setores considerados, como indicam as Figuras 9.2 e 9.3.

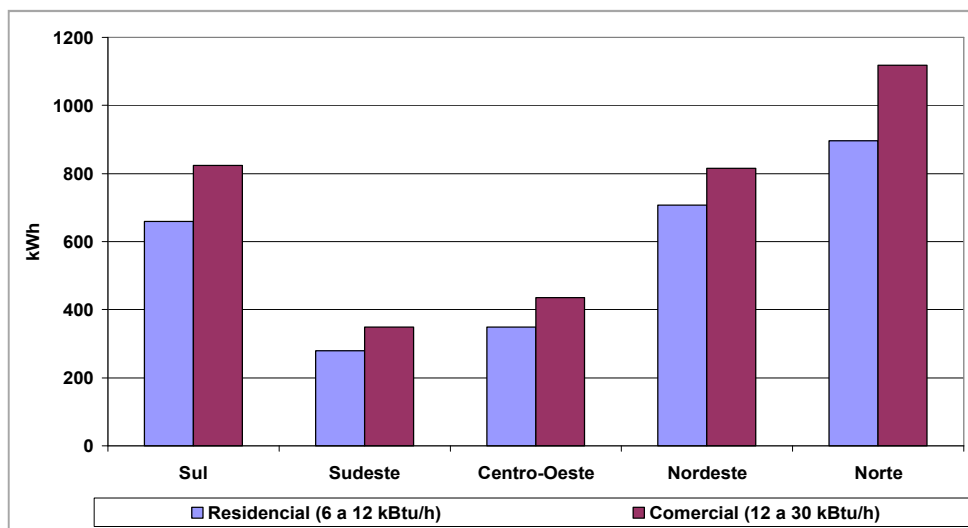


**Figura 9. 2** - Evolução do consumo de condicionadores de ar do tipo janela (6000-12000 Btu/h) no setor residencial brasileiro.



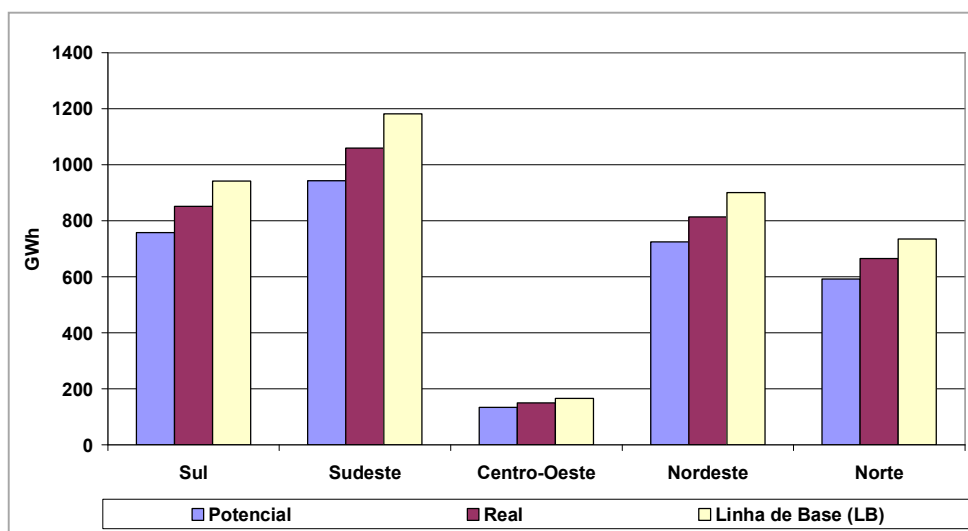
**Figura 9. 3** - Evolução do consumo de condicionadores de ar do tipo janela (12001-30000 Btu/h) no setor comercial brasileiro.

A Figura 9.4 representa o consumo médio unitário “Real” dos condicionadores do tipo Janela no Brasil.



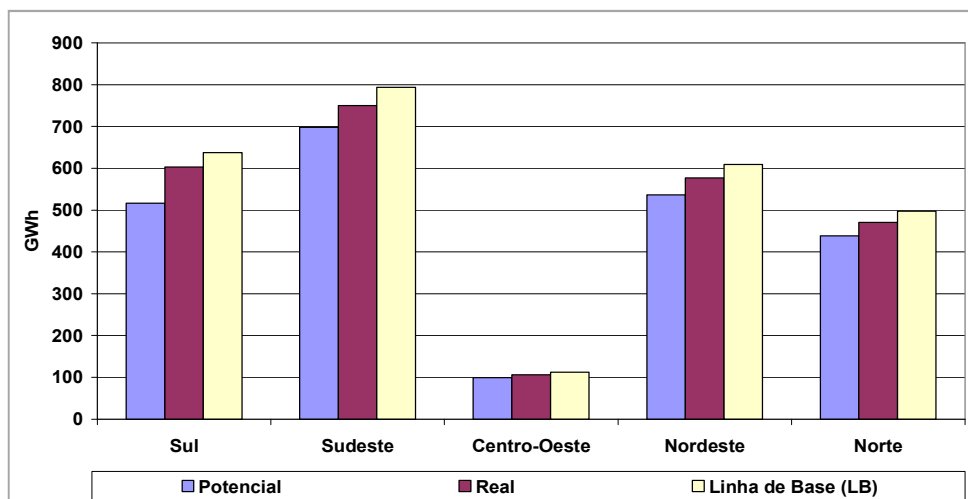
**Figura 9.4** - Consumo médio unitário de condicionadores de ar do tipo Janela no ano de 2007 no Brasil

Com relação ao ano de 2007, os resultados de consumo de energia são apresentados nas Figuras 9.5 e 9.6.



**Figura 9.5** - Consumo de condicionadores de ar do tipo janela (6000-12000 Btu/h) no setor residencial brasileiro no ano de 2007

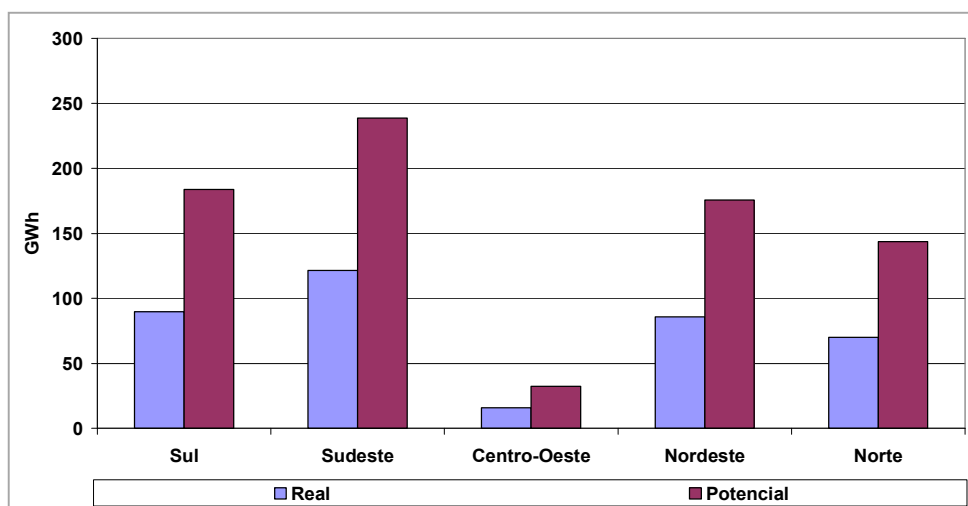




**Figura 9.6** - Consumo de condicionadores de ar do tipo janela (12001-30000 Btu/h) no setor comercial brasileiro no ano de 2007

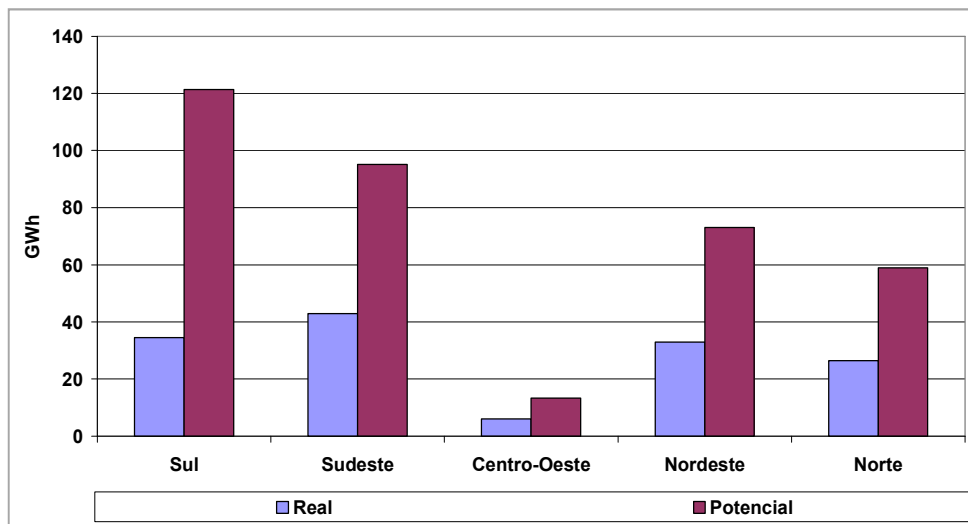
### 9.1 - Quantificação da Economia de Energia atribuída ao PSP

Aplicando a modelagem para cálculos de economia de energia, resultante das diferenças entre os cenários considerados, foram obtidos os seguintes resultados para os condicionadores de ar tipo Janela com capacidade de 6.000 a 12.000 Btu/h, em cada região do setor residencial brasileiro.



**Figura 9.7**- Economia de energia atribuída aos condicionadores de ar do tipo janela (6000-12000 Btu/h) no setor residencial brasileiro no ano de 2007.

Da mesma forma, para os condicionadores de ar tipo Janela com capacidade de 12.001 a 30.000 Btu/h, em cada região do setor comercial brasileiro, os resultados de economia de energia foram:

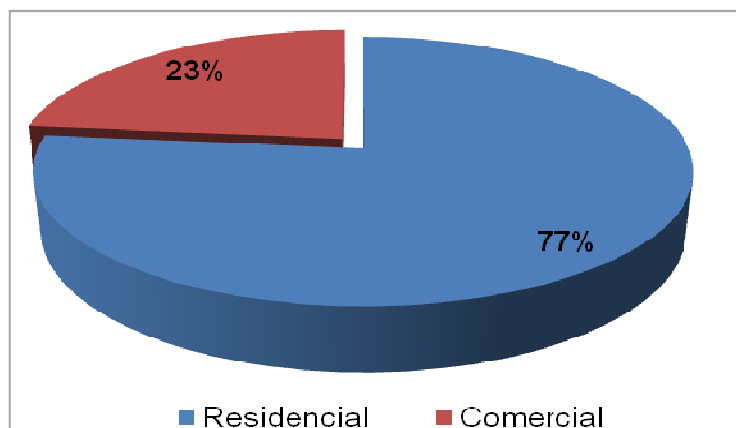


**Figura 9. 8** - Economia de energia atribuída aos condicionadores de ar do tipo janela (12001-30000 Btu/h) no setor comercial brasileiro no ano de 2007

De forma geral, a economia total atribuída ao programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores do tipo Janela, no setor residencial brasileiro, foi de 373 GWh no ano de 2007 e no setor comercial 143 GWh, totalizando 516 GWh no ano. Considerando as importações brasileiras de condicionadores de ar do tipo Split entre 2004 e 2007, segundo (MDIC, 2007), bem como os índices de eficiência energética dos equipamentos com Selo e sem Selo, e aplicando a modelagem proposta apresentada, concluiu-se que o potencial de economia de energia, atribuído a esses condicionadores, no ano de 2007 foi de 85 GWh.

## 9.2 - Redução de Demanda de Ponta no horário de ponta

Em termos de redução de demanda de ponta calculou-se que o Brasil reduziu cerca de 265 MW na demanda do horário de ponta, onde 203 MW no setor residencial e 62 MW no setor comercial. Para condicionadores de ar tipo Split a redução de demanda de ponta foi de 42 MW em 2007.



**Figura 9.9** - Distribuição percentual da redução de demanda de ponta dos setores residência e comercial no Brasil em 2007.

### 9.3 - Atualização de resultados para 2008

Através desta nova modelagem também é possível fazer uma atualização dos valores que são foco deste trabalho, ou seja, a determinação da Economia de Energia e da Redução da Demanda de Ponta para 2008. Portanto, os impactos energéticos do Programa Selo PROCEL no ano de 2008 em condicionadores de ar do tipo Janela e Split são apresentados na Tabela 9.1.

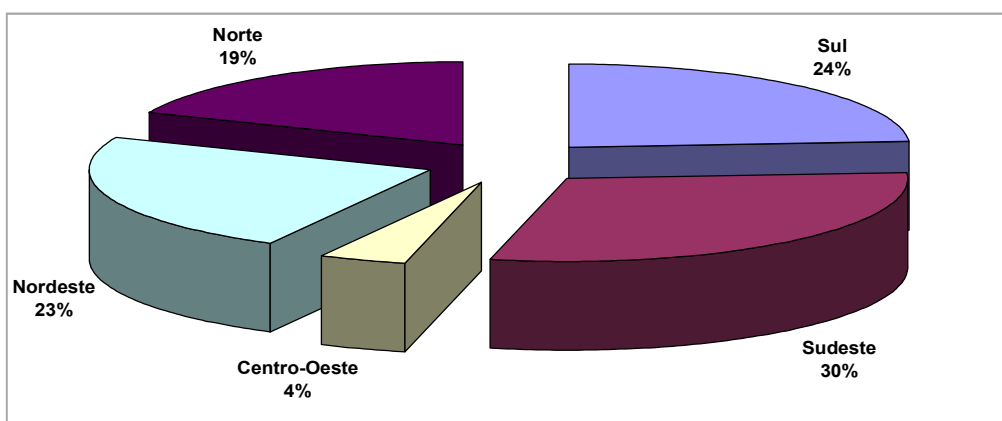
**Tabela 9.1** - Valores de Economia de Energia e Demanda de Ponta verificada em aparelhos de Ar Condicionado em 2008.

Impactos energéticos do Selo PROCEL (Real) – Ano 2008						
Tipo/Faixa	6 – 12 kBtu/h		12 – (30 ou 36) Btu/h		Total	
	EE (GWh)	RDP (MW)	EE (GWh)	RDP (MW)	EE (GWh)	RDP (MW)
<b>Janela</b>	403	220	161	70	<b>564</b>	<b>290</b>
<b>Split</b>	55	30	45	19	<b>100</b>	<b>49</b>
<b>Total</b>	<b>458</b>	<b>250</b>	<b>206</b>	<b>89</b>	<b>664</b>	<b>339</b>

Segundo resultados do PROCEL 2008 foram vendidos 1,6 milhões de unidades em 2008, sendo que 60% dos equipamentos possuem Selo. Economia **potencial** atribuída ao Selo PROCEL em condicionadores de ar no ano de 2008 = **1.332 GWh**. Analisando este valor, observa-se que o Selo PROCEL alcançou 49,85% do potencial técnico de economia de energia (PROCEL 2008). Já a RDP **potencial** atribuída ao Selo PROCEL em condicionadores de ar no ano de 2008 = **678 MW**.

## 9.4 - Análises

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que as ações do Programa Selo PROCEL apresentam maiores impactos nas regiões Norte e Nordeste, por utilizarem por mais tempo os condicionadores de ar anualmente. Os impactos na região Sul também são interessantes, pelo fato da região utilizar os equipamentos para aquecimento. Cabe ressaltar que apesar do período seco brasileiro ser mais longo (59% do ano), a maior parte da economia de energia é obtida no período úmido (54% da economia anual) pelo fato do maior uso de condicionadores de ar nesse período. A Figura 9.10 mostra a distribuição dos impactos energéticos atribuídos a cada região do país.



**Figura 9.10** - Participação na economia de energia em condicionadores de ar do tipo Janela no setor residencial e comercial brasileiro em 2007.

A economia de energia elétrica verificada em 2007 para ambos os equipamentos (Janela e Split) foi de 601 GWh com redução de demanda de ponta de 307 MW. Essa redução de consumo corresponde a 3,3% do consumo residencial em condicionamento de ar naquele ano, e o valor de redução de ponta equivale a uma usina hidrelétrica do porte de Promissão no rio Tietê (SP). Em 2008, somando os efeitos de ambos os equipamentos novamente, foram economizados 664 GWh e de capacidade instalada 344 MW. Essa redução de consumo corresponde a 3,4% do consumo residencial em condicionamento de ar naquele ano e o valor de redução de ponta equivale a uma usina hidrelétrica do porte de Avandava, também no rio Tietê (SP). Em 2007 e 2008 os valores de demanda de ponta correspondem respectivamente a 0,31% e 0,32% da oferta máxima de energia elétrica registrada nestes anos no Sistema Interligado Nacional.

## **PARTE III - ESTUDO ECONÔMICO**

### **10 - Análise da viabilidade econômica na aquisição de sistemas de AC eficientes**

O estudo econômico desenvolvido nos próximos tópicos é constituído de uma análise da viabilidade da aquisição de sistemas mais eficientes (com selo PROCEL por estarem na classe de eficiência A na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) frente aos menos eficientes (sem selo PROCEL), do ponto de vista do consumidor, e uma análise de sensibilidade das principais variáveis que afetam esta avaliação. Em síntese, trata-se de identificar as condições nas quais, do ponto de vista do consumidor, é economicamente interessante empregar os modelos mais eficientes, utilizando como critério o Custo anual do Equipamento( investimento + operação) e a taxa Interna de Retorno.

#### **10.1 - Metodologia**

Na presente análise se assume que o custo total ao longo da vida útil de um eletrodoméstico é a soma do custo de investimento (preço na compra) e o custo operacional (associado à tarifa de energia elétrica e à eficiência energética), desprezando-se o custo de manutenção, que é considerado aproximadamente igual entre os casos comparados.

Adotando a classificação empregada pelo PROCEL (2008), os condicionadores de ar tipo Janela foram agrupados em duas faixas de consumo. A primeira faixa de consumo contempla os aparelhos mais utilizados no setor residencial, com capacidades de 6.000 Btu/h (0,5 TR) a 12.000 Btu/h (1,0 TR), enquanto a segunda busca considerar os modelos utilizados no setor comercial, com capacidades de 12.000 Btu/h (1,0 TR) a 30.000 Btu/h (2,5 TR). Para simplificar a análise econômica, foram escolhidas modelos representativos de cada faixa de consumo: os equipamentos do setor residencial, que, conforme visto anteriormente totaliza 80% do mercado, foram representados por um condicionador ar de capacidade média de 9.000 Btu/h (0,75 TR), enquanto os aparelhos utilizados no setor comercial, que

compõem o restante do parque, foram representados por um equipamento com 21.000 Btu/h (1,75 TR) de capacidade.

Conforme se apresenta nos próximos tópicos, para a análise da viabilidade econômica da aquisição dos modelos representativos de aparelhos de ar condicionado, foram estimados ou levantados: a) os preços destes equipamentos, b) a tarifa média da energia elétrica por região do Brasil, c) o consumo médio de energia dos equipamentos de ar condicionado com e sem selo PROCEL nestas regiões. Esses dados permitem estimar a redução de consumo de energia elétrica associada ao emprego dos equipamentos mais eficientes e a correspondente economia anual com energia elétrica, a ser considerada frente aos custos dos aparelhos e finalmente determinar os indicadores de economicidade. Em suma, o objetivo é analisar para estes modelos representativos, em que condições é economicamente interessante a aquisição dos modelos mais eficientes.

## **10.2 - Preços de Aparelhos de Ar Condicionado**

Para a estimativa do preço médio dos dois modelos representativos de condicionadores de ar adotou-se o conceito de preço unitário médio, isto é, o preço médio por unidade de capacidade frigorífica, dado em R\$/TR. Com esse propósito foi efetuada em novembro de 2009 uma pesquisa de mercado para determinar os preços à vista de equipamentos de ar condicionado, consultando os sites de compra on-line de grandes redes varejistas como Casas Bahia, Magazine Luiza, Ponto Frio e Lojas Americanas. Foi levantado um total de 27 preços, entre os varejistas consultados e, de um modo geral, foi observada uma pequena variação de preços para um mesmo modelo. A seleção dos fabricantes e respectivos modelos, inclusive para verificar sua situação com relação à eficiência energética, foi realizada com base nas tabelas da ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (PROCEL, 2009). Foram determinados os preços para aparelhos de ar condicionado com as capacidades de 7.500, 10.000, 12.000, 18.000, 21.000 e 30.000 Btu/h, com classificação A, B e C na etiqueta PROCEL/INMETRO, contemplando os modelos produzidos por seis fabricantes, com as marcas CONSUL, ELECTROLUX, ELGIN, GREE, LG e SPRINGER CARRIER. Alguns fabricantes não oferecem produtos em

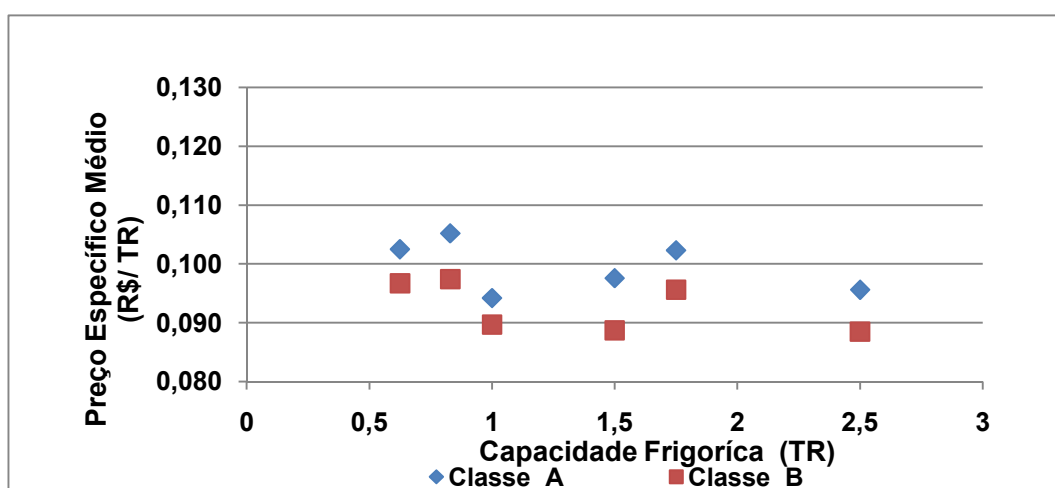
todas as capacidades ou não possuem modelos em todas as classificações na etiqueta de eficiência. A Tabela 10.1 sintetiza os resultados dessa pesquisa de mercado, com os preços médios para as diversas capacidades, fabricantes e modelos, identificando-se as respectivas classes de eficiência na Etiqueta PROCEL/INMETRO.

**Tabela 10. 1 - Preços por capacidade frigorífica, classe de eficiência e fabricante**

<b>Capacidade frigorífica</b>	<b>Classe de Eficiência</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Preço médio (R\$)</b>
7.500 Btu/h (0,75 TR)	A	Cônsul	799,00
	A	GREE	649,00
	A	LG	999,00
	C	Elgin	769,00
	B	Elgin	725,00
10.000 Btu/h (0,83 TR)	A	Cônsul	1.229,00
	A	LG	1.399,00
	A	Cônsul	1.219,00
	B	Springer Carrier	1.219,00
	B	Gree	729,00
12.000 Btu/h (1,0 TR)	A	Cônsul	1.249,00
	A	LG	1.449,00
	A	Springer Carrier	1.179,00
	B	Springer Carrier	1.139,00
18.000 Btu/h (1,5 TR)	A	Electrolux	1.399,00
	A	Elgin	1.759,00
	D	Cônsul	1.132,00
	B	Gree	1.279,00
21.000 Btu/h (1,75 TR)	A	Gree	2.299,00
	A	Springer Carrier	2.548,00
	A	Elgin	1.999,00
	B	Springer Carrier	1.930,00
	E	Consul	2.049,00
	E	Springer Carrier	1.760,00
30.000 Btu/h (2,5 TR)	B	Springer Carrier	2.200,00
	B	Springer Carrier	2.450,00
	B	Consul	2639,00

Fonte: Elaboração própria

Para a determinação dos preços unitários médios decidiu-se excluir os equipamentos com classe de eficiência C, considerando sua reduzida participação no mercado e o fato de que vários fabricantes não mais produzem modelos com esse nível de desempenho. Assim, a partir desse levantamento de preços depurado dos modelos de menor eficiência, foi calculado como uma média simples o preço unitário médio para as capacidades disponíveis no mercado, mantendo a separação nas classes de eficiência A e B na Etiqueta de Eficiência Energética, conforme apresentado na Figura 10.1. Em seguida, efetuando-se novamente uma média simples dos valores de preços unitários para a faixa de capacidades dos equipamentos nos setores residencial e comercial. Assim foram determinados os correspondentes preços unitários médios, mantendo-se a separação entre as classes de eficiência A e B, conforme apresentado na Tabela 10.1.



**Figura 10.1-** Preços unitários de condicionadores de ar, por classe, de capacidade de 0,75 TR a 2,5 TR, em Novembro de 2009.

**Tabela 10. 2-** Preços médios unitários de condicionadores de ar em Novembro de 2009 (R\$/TR).

Classe de Eficiência	Faixa de capacidades frigoríficas	
	Setor Residencial (0,5 a 1,0 TR)	Setor comercial (1,0 a 2,5 TR)
<b>A</b>	0,1127	0,1105
<b>B</b>	0,1014	0,0994

Fonte: Elaboração própria

Finalmente, de posse desses preços unitários foi possível estimar o preço dos equipamentos com as capacidades representativas para os setores residencial e comercial, igualmente para as classes A e B, como apresentado na Tabela 10.3,



onde se apresenta também que os modelos mais eficientes devem custar aproximadamente em média 10% que os modelos de menor desempenho energético.

**Tabela 10.3** - Preços estimados para os condicionadores de ar representativos em Novembro de 2009

Setor	Capacidade frigorífica	Preço (R\$)		Incremento de preços
		Classe A	Classe B	
Residencial	9.000 Btu/h (0,75 TR)	1.015,00	915,00	10,0%
Comercial	21.000 Btu/h (1,75 TR)	2.095,00	1.900,00	9,0%

Fonte: Elaboração própria

### 10.3 - Método e dados para a avaliação do custo operacional dos aparelhos AC

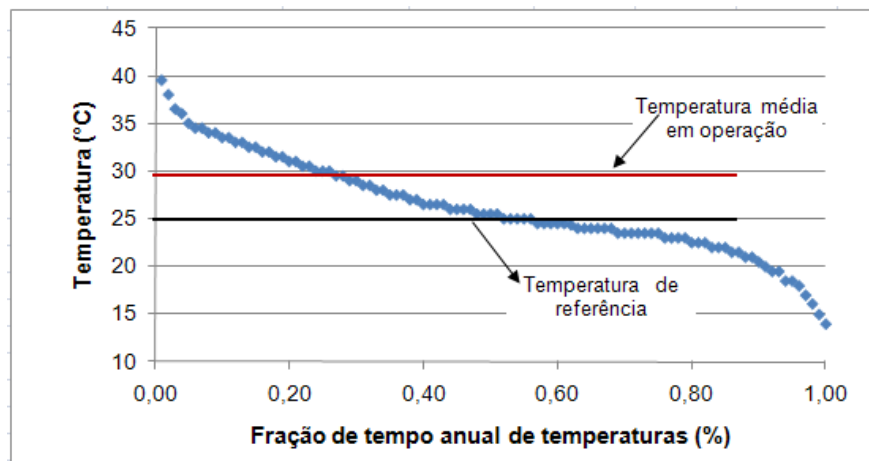
O custo operacional é estimado pelo produto entre o consumo de energia elétrica e a respectiva tarifa. Como depende da temperatura ambiente, que varia regionalmente, o consumo dos equipamentos de ar condicionado foi estimado para uma cidade representativa de cada região brasileira, para a qual se conta com dados suficientes de temperatura ambiente.

A carga térmica a ser atendida por um equipamento de ar condicionado depende diretamente da temperatura ambiente e do tempo em que ele deve operar. Nesse sentido, longos tempos de operação a temperaturas relativamente baixas ou curtos tempos de operação sobre temperaturas muito altas implicam em consumos semelhantes. Por esse motivo foi utilizado o “Método Graus-Dias” para a estimativa do consumo energético em sistemas de ar condicionado, que considera a soma dos produtos entre a diferença de temperatura ambiente e um valor de referência, e a duração dessa diferença, ao longo do ano. Este método é limitado aos casos em que a eficiência dos equipamentos de aquecimento e de resfriamento é constante (SEM,1998). Segundo MARTINAITIS (1998) para dados obtidos junto a estações meteorológicas, o método graus-dia apresenta maior facilidade para o tratamento de tais dados para fins de simulação de desempenho energético em edificações. Para algumas cidades brasileiras estão disponíveis tabelas com valores dos “graus-dias” para diferentes temperaturas de referência.

No presente trabalho, a estimativa da carga térmica foi desenvolvida de modo similar, utilizando os registros de temperatura efetuados a cada três horas ao longo do ano nas cidades selecionadas e informados pelo CEPTEC/INPE (2009). Estes valores foram ordenados de forma decrescente, permitindo identificar a fração do ano em que a temperatura está acima da temperatura de referência, correspondente ao tempo em que o aparelho de ar condicionado deverá operar, bem como estimar a temperatura média durante esse período. Para definir a temperatura de referência, segundo VENDRAMIN, A. I. et. al (2009), a temperatura-base de resfriamento recomendada fica entre 23 e 25,5°C para residências sem insolação e entre 25,5 e 27,8°C para residências bem ensolaradas. Com base nessas premissas foram efetuadas as seguintes hipóteses:

- a) A temperatura máxima de conforto ou temperatura de referência, a partir da qual os equipamentos de ar condicionado são ligados foi assumida em 25°C, para todo o País.
- b) Na determinação do número de horas em operação, para o setor residencial, assumiu-se para o ano sua duração total, 8.760 horas, e para o setor comercial, considerando a operação apenas durante os dias úteis, assumiu-se o ano com 6.318 horas, correspondente à fração média de dias de semana (22 dias para um mês médio com 30,5 dias).
- c) Os equipamentos só serão acionados quando a temperatura ambiente ultrapassar este valor (25°C). Isto implica que somente será analisado o caso de resfriamento do ambiente, sem incluir o passível uso para aquecimento, de menor importância no País.
- d) Essa estimativa do tempo de operação considera que o equipamento de AC opera sempre que a temperatura estiver acima do valor de referência, não tomando em conta a possibilidade de que os usuários eventualmente não estejam presentes por algum motivo. Nesse sentido, estudos de campo mostram que nem sempre os proprietários desses equipamentos os utilizam. No estudo de sensibilidade apresentado adiante, ao variar o tempo de uso esse aspecto será avaliado.

Como um exemplo desse procedimento, a Figura 10.2 apresenta os valores para a cidade de Cuiabá (MT), ordenados desde o valor mais alto, 39,5°C, até o valor mínimo, 14°C, permitindo observar que em 54% do tempo (4730,4 horas no ano) a temperatura ambiente esteve acima de 25°C. Durante esse período, em que os aparelhos de ar condicionado devem ter operado, e a temperatura média foi de 29,7°C. O critério de escolha dessas cidades representativas para as diversas regiões brasileiras foi em função das mesmas apresentarem registros completos de temperatura a cada três horas e durante todo o ano. Não se pretende que estas cidades correspondam à eventual média para a região, mas podendo servir como uma referência para as avaliações no contexto dessas mesmas regiões. Na Tabela 10.4 são apresentados os valores de tempo de operação dos aparelhos de ar condicionado e temperaturas medias durante a operação para as cidades representativas.



**Figura 10.2** - Fração de tempo anual de temperatura

**Tabela 10.4** - Dados de clima utilizados para cálculo do consumo anual de energia

Cidade representativa (região)		Porto Alegre (S)	São Paulo (SE)	Cuiabá (CO)	Recife (NE)	Manaus (N)
Temperatura ambiente média durante a operação (°C)		27,3	27,8	29,7	27,4	27,8
Tempo de utilização anual (horas)	Setor Residencial	1226,4	2014,8	4730,4	3328,8	2803,2
	Setor Comercial	899,4	1477,5	3469,0	2444,1	2055,7

Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 10.4 pode-se observar que há uma pequena variação entre as

temperaturas de cada cidade representativa e uma variação mais significativa no tempo de operação. Vale lembrar que estas temperaturas correspondem às médias de temperaturas acima de 25°C o que justifica esta pequena variação. O consumo médio anual de condicionadores de ar para as duas classes de eficiência energética e para cada região do país será efetuada pela Equação 6.11 corrigida pelo COP. Para a utilização desta equação, além dos dados climatológicos apresentados nos parágrafos anteriores, foram utilizados os dados mostrados na Tabela 10.5.

**Tabela 10. 5 - Dados utilizados para cálculo do consumo anual de energia**

<b>Dados para consumo de energia</b>	<b>Valores</b>	<b>Valores</b>
Capacidade frigorífica	0.75 TR	1.75 TR
Fluxo de ar refrigerado (kg/s)	0.86	2.0
Calor Específico do ar (kJ/kg.K)	1.005	1.005
Fator Degradação	1.033 a.a	1.033 a.a

De forma análoga às cidades representativas, se considerou relevante trabalhar com as tarifas de energia elétrica em termos regionais, já que existem significativas diferenças entre as 62 concessionárias, onde as tarifas vazias variam de 0,197 até 0,414 R\$/kWh (Tarifas com vigência válida até 25/01/2010) ANEEL – 2009. Neste estudo será considerado que todos os proprietários de aparelhos de AC estejam situados no Grupo B – Baixa tensão. Com base em informações da ANEEL (2009) são considerados para a tarifação os encargos da União, COFINS, PIS/PASEP e encargo do Estado o ICMS e a Taxa de Iluminação Pública. Como cada estado pratica um tributo diferenciado, e a taxa de iluminação pública também é variável de acordo com o consumo de cada consumidor, neste estudo será considerado, portanto, a tarifa tributada em média a 30%, assim ter-se-á uma tarifa mais real. Nessas condições, o custo médio da tarifa cheia, de energia elétrica para cada região do país, adotado neste trabalho, é mostrado na Tabela 10.7.

**Tabela 10. 6 - Tarifa média de Energia Elétrica – R\$/kWh**

<b>Região</b>	<b>Classe de consumo</b>	
	<b>Residencial</b>	<b>Comercial e Serviços</b>
Sul	0.39	0.36
Sudeste	0.41	0.39
Centro Oeste	0.40	0.39
Nordeste	0.40	0.42
Norte	0.43	0.43

Fonte: ANEEL – SAD – Informações Técnicas – Agosto 2009

#### 10.4 - Cálculo do consumo médio e custo de energia consumida de AC

Recorrendo à equação 6.11 para o cálculo da carga térmica, é possível obter a carga elétrica com auxílio do EER, coeficiente de eficiência utilizado no Capítulo 5 e que relaciona a capacidade de remoção de calor de um equipamento à potencia requerida pelo compressor de forma adimensional. Assim, para estimar o consumo médio de energia elétrica dos aparelhos de ar condicionado nas duas categorias selecionadas, é utilizada a Equação 10.1:

$$C_M = \left[ \frac{m_k \cdot c_p \cdot (T_{Amb} - T_{Ref}) \cdot FU \cdot FD \cdot t_u}{EER} \right] \quad (10.1)$$

Onde o índice **k** refere-se à variável de cada categoria e o índice **i** refere-se às classes A e B.

$C_M$  - consumo médio de energia elétrica (kWh/ano)

$m_k$  - fluxo de ar (kg/s).

$c_p$  - calor específico do ar a pressão constante (kJ/kg.K).

$T_{Amb/R}$  - temperatura ambiente média de cada região do país (°C).

$T_{Ref}$  - temperatura de referência adotada (25°C).

FU - fator de utilização (0,7)(.)

FD - fator de degradação do equipamento (.)

$T_u$  - tempo médio de utilização em cada estado do país (h)

EER - índice de eficiência (.)

O EER adotado para as duas categorias de AC e nas duas classes de aparelhos é mostrado na Tabela 10.8.

**Tabela 10. 7-** Coeficientes de Eficiência médios de AC nas categorias.

<b>Condicionador de 0,75 TR</b>		<b>Condicionador de 1,75 TR</b>	
Classe A	Classe B	Classe A	Classe B
3,2	2,78	2,82	2,60

Fonte: ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia - 2009

O consumo médio estimado de energia de condicionadores de ar para cada cidade representativa de cada região do Brasil, é mostrado pelas Tabelas 10.8 e 10.9 para os setores residencial (equipamento de 0,75 TR) e comercial (equipamento de 1,75 TR), durante um ano.

**Tabela 10. 8** - Consumo médio de aparelhos de ar condicionado no setor residencial (0,75 TR) para as classes A e B (kWh/ano)

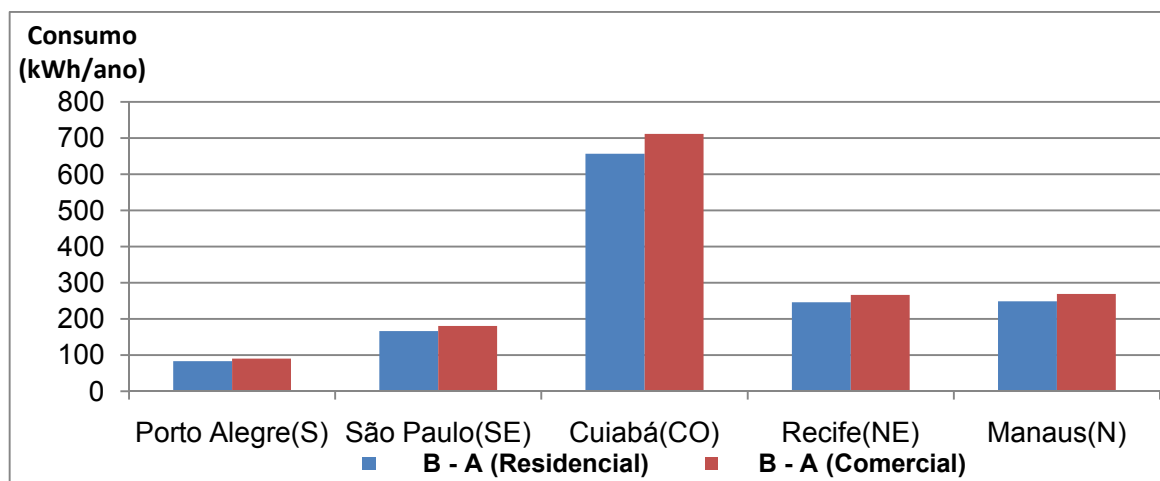
<b>Etiqueta</b>	<b>Porto Alegre</b>	<b>São Paulo</b>	<b>Cuiabá</b>	<b>Recife</b>	<b>Manaus</b>
<b>A</b>	551,09	1.102,18	4.343,69	1.625,89	1.643,00
<b>B</b>	634,35	1.268,70	4.999,93	1.871,53	1.891,23

**Tabela 10. 9** - Consumo médio de aparelhos de ar condicionado no setor comercial (1,75 TR) para as classes A e B em kWh/ano.

<b>Etiqueta</b>	<b>Porto Alegre</b>	<b>São Paulo</b>	<b>Cuiabá</b>	<b>Recife</b>	<b>Manaus</b>
<b>A</b>	1.066,54	2.132,95	8.406,17	3.150,32	3.179,63
<b>B</b>	1.156,78	2.313,43	9.117,46	3.416,89	3.448,68

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que o consumo de energia em Cuiabá na região Centro Oeste é o mais expressivo tanto para equipamentos de 0,75 TR como para de 1,75 TR. Em contrapartida, a cidade representativa que apresenta o menor consumo de energia é Porto Alegre na Sul para aparelhos de AC de 0,75 TR e 1,75 TR nas duas classes. Isto se justifica pelo fato que o consumo é diretamente proporcional ao número de horas de operação, e isto pode ser visto na para a cidade de Cuiabá. Analisando os números das duas tabelas vê-se que para cada cidade representativa e nas classes A e B, os valores da Tabela 10.8 são quase o dobro dos valores da Tabela 10.9. Este fato se deve a que o fluxo de massa de ar para aparelhos de 1,75 TR é mais de duas vezes o fluxo de massa de ar dos aparelhos de 0,75 TR.

A Figura 10.3 mostra a diferença de consumo de energia elétrica nas cidades representativas do Brasil entre os setores residencial e comercial e enfatiza os comentários anteriores.



**Figura 10.3** - Diferença de consumo de energia elétrica entre os setores residencial e comercial para as cidades representativas.

Conforme a Figura 10.3, percebe-se que a cidade de Cuiabá se destaca na diferença de consumo entre as classes A e B nas duas categorias. Enquanto a diferença de tempo de operação entre as cidades de Cuiabá e Porto Alegre chega a 3,8 vezes, esta diferença em termos de consumo de energia entre estas mesmas cidades chega a sete vezes. Embora a cidade de Recife na região Nordeste tenha 525 horas a mais de operação no setor residencial e 389 horas no setor comercial a mais que a cidade de Manaus na região Norte, os valores de consumo das duas cidades são muito próximos uns dos outros.

Com os consumos médios determinados anteriormente torna-se possível efetuar cálculos de custos totais anuais para o consumidor aplicando a tarifa média de cada região aplicada a cidade representativa, e avaliando qual a cidade mais crítica monetariamente, ou seja, a que apresenta o maior custo de operação para as duas classes e para os dois modelos representativos. O custo operacional anual de cada aparelho de AC é calculado pelo produto do preço médio do equipamento em reais (Tabela 10.3) pelo fator de recuperação de capital somado ao produto do consumo médio anual em kWh/ano (Tabelas 10.8 e 10.9) pela tarifa média de energia elétrica em R\$/kWh praticada em cada região (Tabela 10.6). A expressão 10.2 explicita esta operação mantendo as mesmas convenções anteriores para  $i$  e  $k$ .

$$C_{OT} = P_{M k(i)} \cdot FRC + C_{M k(i)} \cdot T_R \quad (10.2)$$

Onde:

$C_{OT}$  - Custo de operação total anual (R\$/ano)

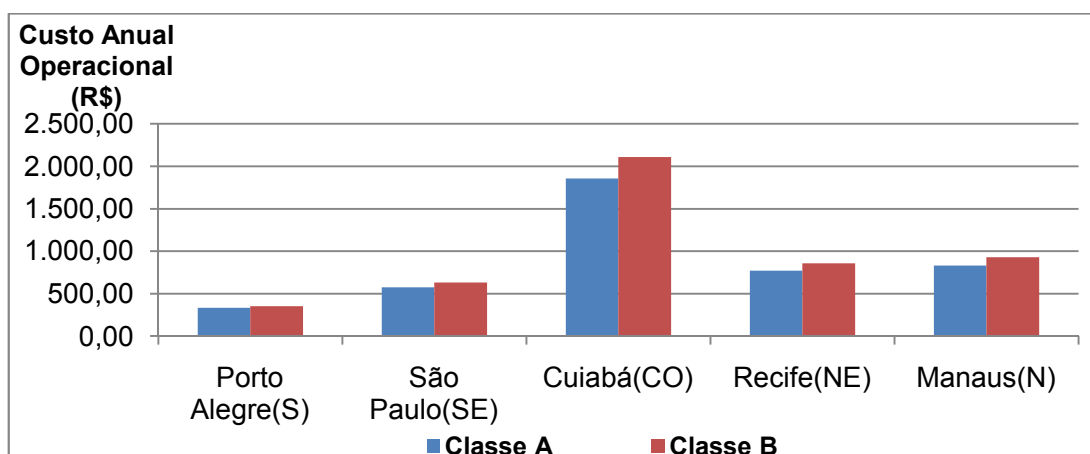
$P_{Mk(i)}$  - Preço médio do equipamento da categoria k e da classe i (R\$)

FRC - Fator de Recuperação de Capital (taxa juros real e período de desconto razoável) (0,1192).

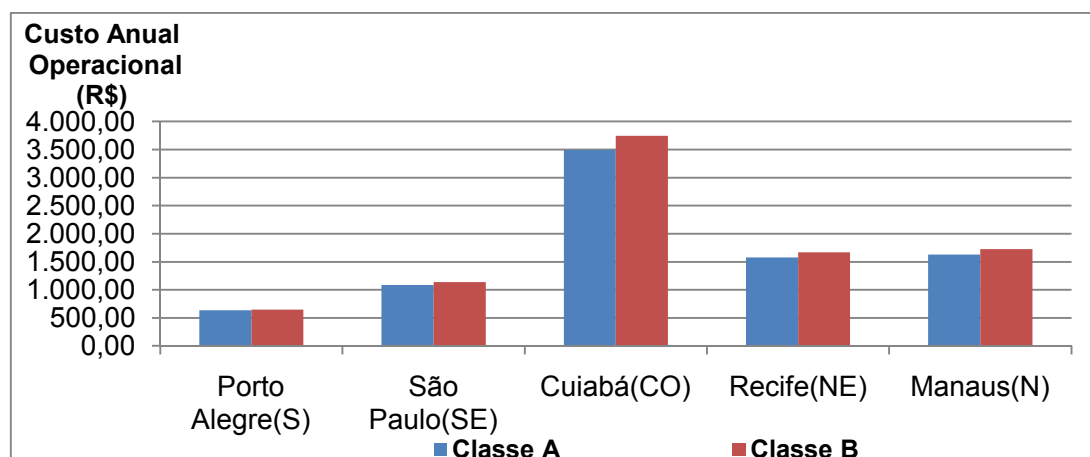
$C_{Mk(i)}$  - Consumo médio anual do equipamento da categoria k e da classe i (kWh/ano)

$T_R$  - Tarifa de energia elétrica da região (R\$/kWh)

Desse modo, é possível calcular os custos anuais de energia elétrica em cada cidade representativa de cada região para as duas categorias e ambas as classes de desempenho, como mostrado nas Figuras 10.4 e 10.5.



**Figura 10.4** - Custos anuais de operação de Condicionadores de Ar de classe A e B de 0,75 TR nas cidades representativas das regiões do Brasil.

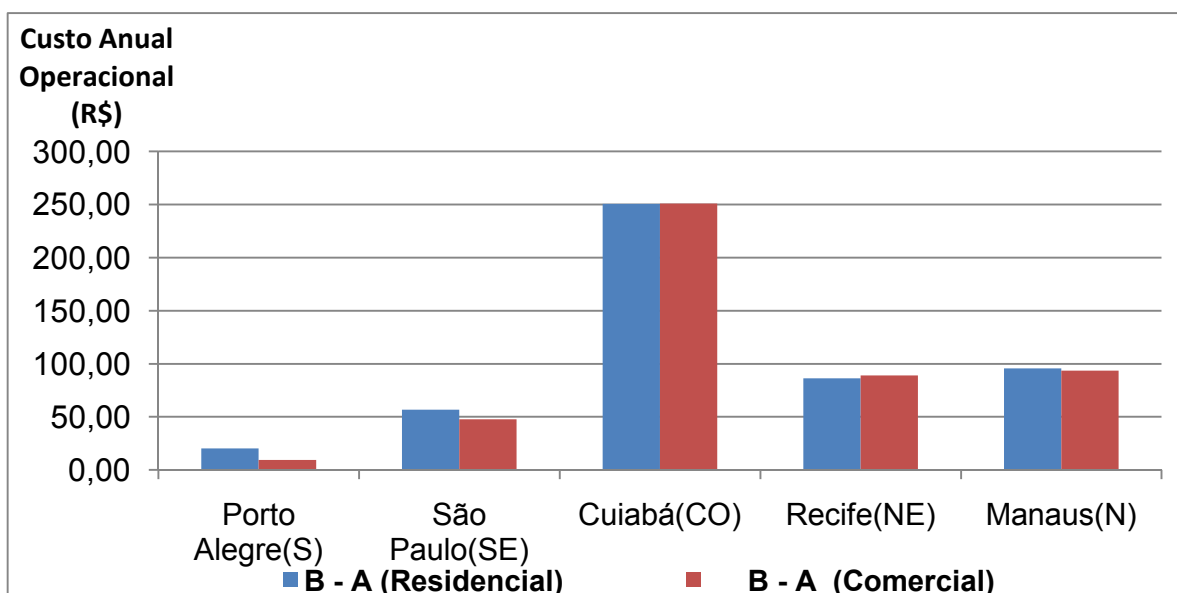


**Figura 10.5** - Custos anuais de operação de Condicionadores de Ar de classe A e B de 1,75 TR nas cidades representativas das regiões do Brasil.



Ao analisar a Figura 10.4 pode-se verificar que para as cinco cidades representativas do setor residencial, os aparelhos de ar condicionado de classe A possuem um custo operacional menor que os de classe B. Para as duas categorias de ar condicionado os custos operacionais anuais mais elevados ocorrem na cidade de Cuiabá, pois o consumo de energia nesta cidade é o maior de todas. A menos crítica em custo para as duas categorias encontra-se na cidade de Porto Alegre, onde a o consumo anual também é o menor dentre todas as regiões.

A Figura 10.6 apresenta uma comparação da diferença de custos operacionais na aquisição de aparelhos de ar condicionado de classe A e B nas cidades representativas nos estados brasileiros para os modelos representativos.



**Figura 10.6** - Diferença de custo operacional na aquisição de AC entre as classes A e B nos setores residencial e comercial nas cidades representativas.

Na Figura 10.6 pode-se ver que cidade de Porto Alegre apresenta a menor diferença de custo operacional dentre todas as cidades representativas tanto no setor comercial quanto no residencial. Outro fato a observar é que a diferença de custo operacional entre as classes dos aparelhos de AC nos setores comercial e residencial é mais expressiva em Cuiabá, sendo que esta diferença é praticamente igual para os dois setores. Na cidade de Recife esta diferença de custo total anual no setor comercial é superior ao setor residencial sendo justificada pela maior tarifa praticada no setor comercial.

## 10.5 - Estimativa da Taxa Interna de Retorno

Através das informações e cálculos efetuados anteriormente foi possível avaliar do ponto de vista financeiro a conveniência da compra de um aparelho de ar condicionado de classe A ao invés de um de classe B ou vice-versa. Outra forma de avaliar a economicidade ou vantagem da aquisição de um aparelho é através do cálculo da Taxa Interna de Retorno – TIR. A TIR é um indicador da rentabilidade do projeto, e deve ser comparada com a taxa mínima de atratividade do investidor. Esta taxa mínima de atratividade é a taxa correspondente à melhor remuneração que poderia ser obtida com o emprego do capital em um investimento alternativo. A TIR é a taxa de juros que torna o valor presente líquido – VPL das entradas de caixa igual ao valor presente das saídas de caixa do investimento. É uma taxa tal que se utilizada fará com que o lucro do projeto seja nulo ou  $VPL = 0$ . A TIR é obtida por tentativa e erro pela seguinte expressão:

$$EE_k \cdot \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] - I = 0 \quad (10.3)$$

A equação do Valor Presente Líquido (VPL) é:

$$VPL = BA - I \quad (10.4)$$

$$BA = FVP \cdot E \quad (10.5)$$

Onde:

VPL - Valor presente líquido

BA - Benefício anual

FVP - Fator de valor presente

E - Economia (anual, se n do FVP for n° de anos)

I - Investimento

Para o estudo em questão:  $BA = EE$  (Economia de Energia) e  $I = \Delta I_{A-B}$  (Diferença de preço pago entre um condicionador de ar de classe A e um de classe B). Com as equações 10.3 e 10.4 e aplicando a condição de cálculo da TIR, vem:

$$\frac{EE_{A-B} \cdot (1 + TIR)^n - 1}{(1 + TIR)^n \cdot TIR} = \Delta I_{A-B} \quad (10.6)$$

Para

$$n = 12 \text{ anos}$$

$$\Delta I_{A-B} = I_{CSA} - I_{CSB} \quad (10.7)$$

Onde:

$I_{CSA}$  - investimento num aparelho de AC com selo A

$I_{CSB}$  - investimento num aparelho de AC com selo B

$EE_{A-B}$  - economia de energia elétrica entre aparelho de classe A e o de classe B.

Para as duas categorias de aparelhos de ar condicionado tipo Janela (0,75 e 1,75 TR), pode-se calcular a TIR. Portanto, é possível estabelecer uma relação entre as classes de eficiência energética mostrando a taxa interna de retorno para as duas categorias nos casos mais extremos para condicionadores de ar tipo Janela. O tempo estimado foi de 12 anos que é o tempo de vida útil teórico do aparelho. Os resultados obtidos foram para as condições de referência do mercado com taxa mínima de atratividade de 6% a.a.. Os parâmetros fundamentais que afetam as análises econômicas são primeiramente o tempo de operação nas regiões onde se encontram os aparelhos e em segundo lugar a temperatura média de cada região. A Tabela 10.10 mostra os resultados da TIR efetuado para todas as regiões mostrando esta relação nos dois setores.

**Tabela 10.10** - TIR nos setores residencial e comercial nas cidades representativas.

Cidades	TIR Setor Residencial	TIR Setor Comercial
Porto Alegre (S)	17%	-8%
São Paulo (SE)	56%	22%
Cuiabá (C O)	251%	129%
Recife (NE)	86%	45%
Manaus (N)	95%	89%

Os valores encontrados e mostrados na Tabela 10.10 nos setores residencial e comercial, a menos da cidade Porto Alegre no setor comercial são satisfatórios. Deve-se, no entanto ressaltar que o tempo estimado de retorno baseado na vida útil

é extremamente grande, visto que na realidade o tempo de retorno é de no máximo três anos, que é geralmente o período de pagamento do aparelho quando comprado no crediário. Porém, quando se calcula a TIR neste período os valores encontrados diferem pouco dos mostrados na Tabela 10.10. Outra forma de verificar a viabilidade de se comprar um aparelho de classe A ao invés de um de classe B, é através do Valor Presente Líquido (VLP). Para uma taxa de atratividade de 0,5% ao mês e para ser pago no máximo em trinta e seis parcelas, a aquisição de ar condicionado em todas as cidades é viável.

### **Comentários**

Deste estudo de análise econômica é relevante observar que para os setores residencial e comercial em todas as cidades representativas de cada região, o custo operacional dos aparelhos de classe B é superior ao custo operacional dos aparelhos de classe A. Cabe observar que a maior diferença de custo A - B no setor residencial ocorre na cidade de Cuiabá, e no setor comercial ocorre na cidade de Recife. Entretanto, é importante ressaltar que as tarifas de energia elétrica das regiões e dos setores têm entre si pouca diferença. A variável que efetivamente modifica e diferencia os custos finais é o tempo de operação dos equipamentos que está embutido no consumo. Isto porque o FRC é igual para todos e a diferença de preço dos aparelhos entre A e B para os dois setores é de apenas 10%.

### **10.6 - Análises de Sensibilidade**

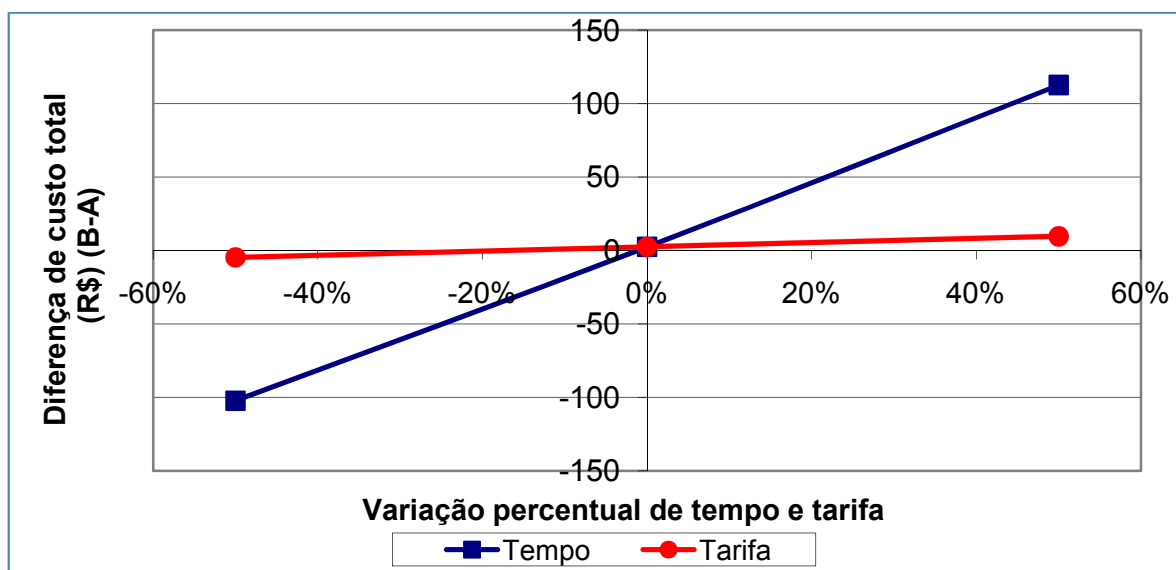
As análises de sensibilidade das variáveis que interferem na decisão do consumidor, ou seja, de compra de equipamentos com Selo PROCEL, foram realizadas para as condições padronizadas de acordo com a NBR10085. Essas condições representam as extremidades de consumo de energia do equipamento, ou seja, condições em que se consome mais e menos energia elétrica, respectivamente. A análise de sensibilidade econômica na obtenção de um aparelho de ar condicionado será realizada para duas condições consideradas críticas e para os dois modelos representativos de aparelhos de 0,75 TR e de 1,75 TR. Sendo o tempo de operação e a tarifa de energia elétrica em cada região os fatores mais relevantes nesta avaliação, a análise de sensibilidade se fará considerando estas duas variáveis.

Avaliando a variável tempo de operação e tarifa de energia elétrica, a análise se fará nos setores residencial e comercial em dois casos extremos de maior e menor diferença de custo: Na cidade de Porto Alegre com a menor diferença de custo e na cidade de Cuiabá com a maior diferença de custo. Para esta análise de sensibilidade optou-se em fazer variar a tarifa de energia elétrica em 50% para mais e para menos do valor praticado em cada setor e avaliar esta variação em relação a diferença de custo total do equipamento. O mesmo procedimento é feito com relação ao tempo de utilização, variando este em 50% para mais e para menos em cada setor e avaliar esta variação em relação à diferença de custo total do equipamento. A Tabela 10.11 mostra os valores das variáveis pertinentes.

**Tabela 10. 11 - Dados para análise de sensibilidade.**

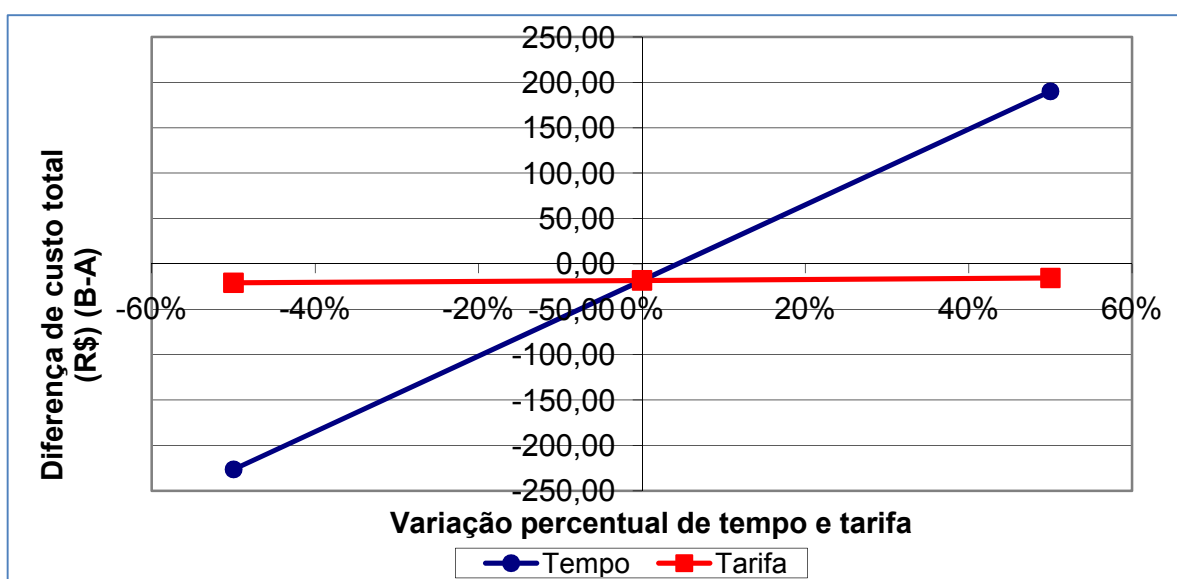
Cidades	TARIFA DE ENERGIA ELÉTRICA (R\$/kWh)		TEMPO DE UTILIZAÇÃO (horas)	
	SETORES		SETORES	
	Residencial	Comercial	Residencial	Comercial
Porto Alegre (S)	0,39	0,36	1226	899
Cuiabá (CO)	0,40	0,39	4730	3469

As Figuras 10.7, 10.8, 10.9 e 10.10 mostram para os dois setores a sensibilidade na diferença de custo total do equipamento levando em consideração a tarifa de energia elétrica e o tempo de operação para as cidades representativas mais críticas. Inicialmente para a cidade de Porto Alegre tem-se a seguinte variação.



**Figura 10. 7 - Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor residencial em Porto Alegre.**

A Figura 10.7, com valores para setor residencial na cidade de Porto Alegre mostra que para tempo de funcionamento dos equipamentos de AC abaixo de 2014 horas não é vantajosa a compra do aparelho de classe A ao invés da compra do aparelho de classe B, que passaria a ser mais econômico. Com relação à tarifa de energia elétrica percebe-se, também pela mesma figura, que para valores acima de R\$0,39 é vantajosa a compra de um aparelho A ao invés da compra de um aparelho de classe B.

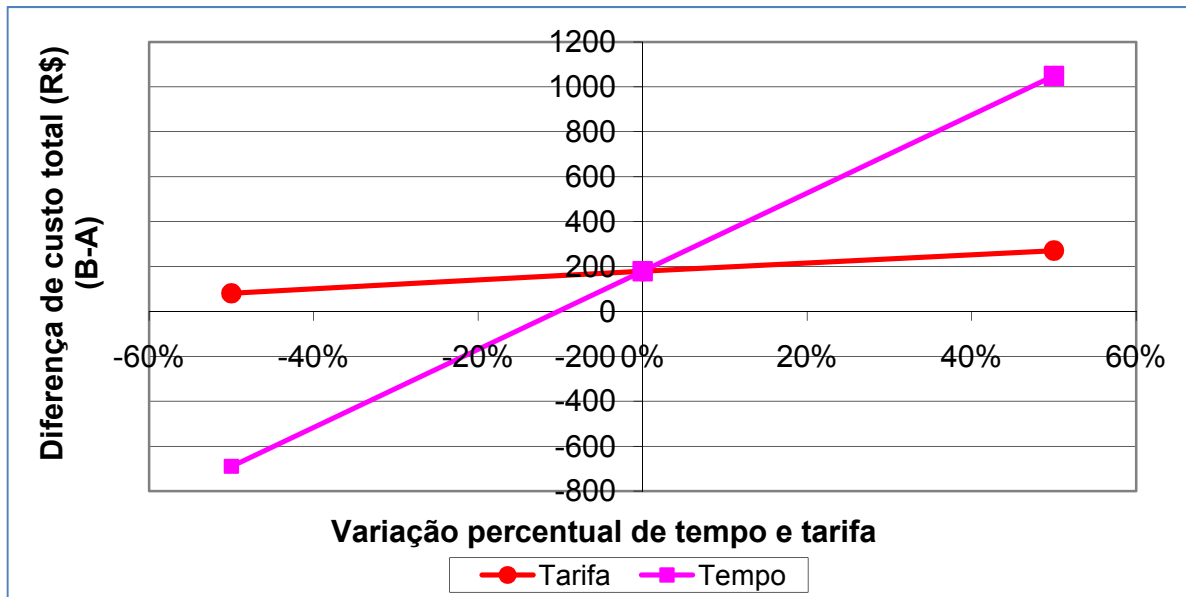


**Figura 10. 8** - Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor comercial em Porto Alegre.

Para o setor comercial na cidade de Porto Alegre, como mostrado na Figura 10.8, para valores abaixo de 899 horas de funcionamento dos aparelhos de AC não é vantajosa a compra de um aparelho classe A ao invés da compra de um aparelho classe B. Com relação à tarifa de energia elétrica percebe-se pela mesma figura que para valores acima e abaixo em 50% de R\$0,36 a diferença de custo anual é sempre negativa. Isto indica que a variação da tarifa pouco influencia na escolha de um aparelho A ao invés de um aparelho B, mesmo porque nesse caso o tempo de operação é bastante reduzido.

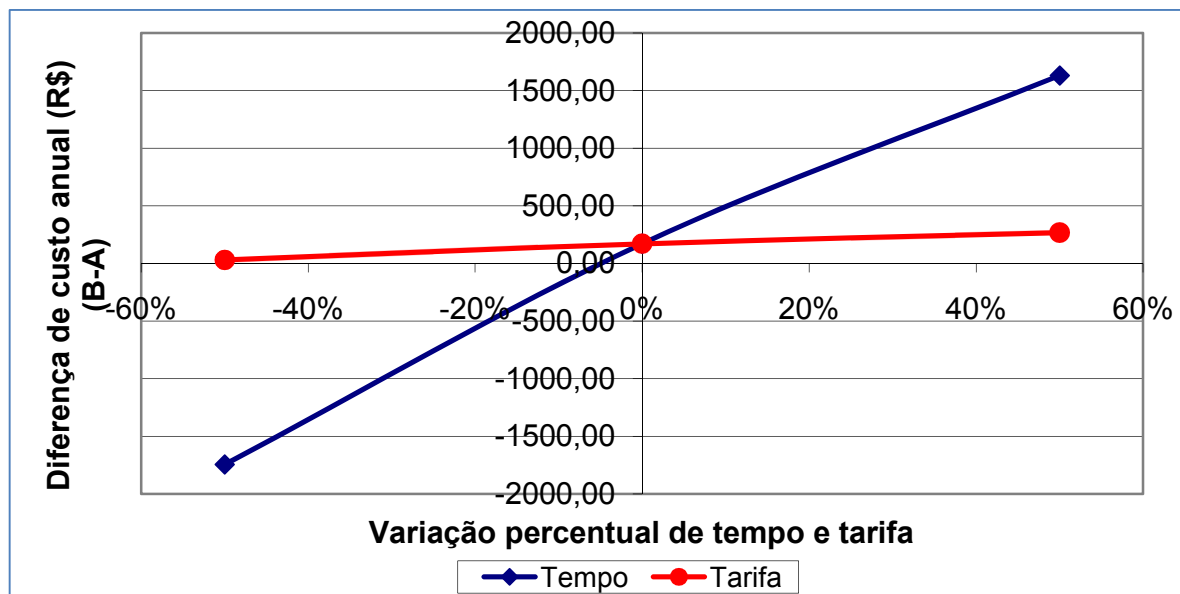
Enfim, para a cidade representativa de Porto Alegre, observa-se para os dois setores estudados que a variação da tarifa de energia elétrica e de tempo de funcionamento tem comportamento linear e uniforme com relação à diferença de

custo total do equipamento. Percebe-se também que nos dois setores o comportamento da variável tempo de operação, apresenta na diferença de custo total uma influência bem mais forte que a variável tarifa. Já a variável tarifa, apresenta em especial no setor comercial, quase nenhuma influencia sobre a diferença de custo anual. Para a cidade de Cuiabá é feita tem-se a seguinte variação.



**Figura 10. 9** - Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor residencial em Cuiabá.

A Figura 10.9, com valores para setor residencial na cidade representativa de Cuiabá, mostra que para o tempo de funcionamento abaixo de 4730 horas não é vantajosa a compra do aparelho de classe A ao invés da compra do aparelho de classe B, que passaria a ser mais econômico. Com relação à tarifa de energia elétrica, percebe-se pela mesma figura, que para valores acima de R\$0,40 é vantajosa a compra de um aparelho A ao invés da compra de um aparelho B.



**Figura 10. 10** - Sensibilidade do custo do equipamento de AC em relação ao tempo de utilização e a tarifa de energia elétrica no setor comercial em Cuiabá.

Finalmente, para o setor comercial na cidade representativa de Cuiabá, como mostrado na Figura 10.10, para valores abaixo de 3469 horas de funcionamento dos aparelhos de AC não é vantajosa a compra de um aparelho classe A ao invés da compra de um aparelho classe B. Com relação à tarifa de energia elétrica percebe-se pela mesma figura que para valores acima e abaixo em 50% de R\$0,39 a diferença de custo anual é sempre positiva. Isto indica que a variação da tarifa pouco influencia na escolha de um aparelho A ao invés de um aparelho B, pois nesse caso o tempo de operação é razoavelmente grande.

Enfim, na cidade de Cuiabá observa-se para os dois setores estudados que a variação do tempo de operação causa maior impacto na diferença de custo anual total dos equipamentos. Já este impacto, também nos dois setores, é menor quando se trata da variável tarifa de energia elétrica. A observar é que no setor residencial o comportamento da variável tempo de operação é linear e uniforme com relação diferença de custo anual, já no setor comercial o comportamento é também linear, porém sendo menos ascendente para tempo superior a 3469 horas. Isto quer dizer que acima de 3469 horas com variação da tarifa a diferença de custo varia menos que abaixo deste valor.



## **PÁRTE IV – CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **11 - Conclusões**

Este trabalho teve como ponto de partida o estudo completo de Avaliação do impacto energético atribuído ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar do tipo Janela e Split, patrocinado pela Eletrobrás. Para a avaliação desse impacto contemplou-se os aspectos tecnológicos e institucionais, onde foi utilizada uma modelagem que determinasse o parque de equipamentos e seu desempenho. Buscou-se através desta modelagem desenvolver a avaliação desses impactos de forma desagregada e ao longo de toda a vida útil dos equipamentos, incluindo efeitos de temperatura, e perda de desempenho dos mesmos ao longo dos anos.

Seguindo esta metodologia aplicada no estudo de Avaliação do impacto do Selo PPROCEL, este trabalho apresentou para economia de energia e demanda de ponta os resultados no âmbito de condicionadores de ar do tipo Janela e Split. A economia de energia promovida pela introdução do Selo PROCEL em condicionadores de ar do tipo Janela nos setores residencial e comercial foi de 516 GWh em 2007 e de 564 GWh em 2008. A redução de demanda de ponta em 2007, para este mesmo aparelho, foi de 265 MW e em 2008 foi de 290 MW. Quanto aos condicionadores de ar do tipo Split, estimando-se de modo agregado um potencial de economia de energia de 85 GWh em 2007 e em 2008, 100 GWh. A redução de demanda de ponta para este mesmo aparelho em 2007 foi de 42 MW e em 2008, 49 MW.

Somados os efeitos de ambos os equipamentos, em 2007 foram economizados, 601 GWh e de capacidade instalada 307 MW. Essa redução de consumo corresponde a 3,3% do consumo residencial em condicionamento de ar naquele ano. Já em 2008, somando os efeitos de ambos os equipamentos, foram economizados 664 GWh e de capacidade instalada 344 MW. Essa redução de consumo corresponde a 3,4% do consumo residencial em condicionamento de ar naquele ano. Em 2007 e 2008 os valores de demanda de ponta correspondem respectivamente a 0,31% e 0,32% da oferta máxima de energia elétrica registrada nestes anos pelo Sistema Interligado Nacional.

Pelas análises de incertezas concluiu-se que a modelagem proposta apresenta incertezas na ordem de 26%. Para a redução dos níveis de incertezas há que se aprofundar em pesquisas que podem ser realizadas juntamente a fabricantes de condicionadores de ar e órgãos como o CEPEL, em laboratório e no IBGE referentes aos seguintes tópicos:

- Fator de degradação de eficiência ao longo da vida útil dos equipamentos.
- Condições e níveis de sucateamento de condicionadores de ar.
- Fração das vendas com o Selo PROCEL
- Fator de Coincidência de Ponta dos equipamentos.

Também de acordo com os resultados do presente estudo, as ações do Programa Selo PROCEL em condicionadores de ar apresentam maiores impactos nas regiões Norte e Nordeste, onde os tempos de operação são mais expressivos.

Enfim, cabe observar que os índices mínimos de eficiência energética de condicionadores de ar exigidos no Brasil são inferiores aos índices de alguns países asiáticos e Estados Unidos, principalmente para os condicionadores Split, produto cujo mercado vem se expandindo bastante. Essa maior tolerância tem permitido que países como a China exportem produtos de baixa qualidade para o Brasil. Nesse sentido, ganha especial relevância o acompanhamento sistemático do desempenho energético em todas as classes dadas na etiqueta de eficiência energética do PBE. Algumas limitações podem ser apontadas neste modelo que se fossem equacionadas poderiam dar maior consistência ao mesmo como os efeitos da umidade do ar, os impactos devidos aos hábitos de uso e procedimentos operacionais, inadequações nos projetos (com casos de equipamentos sobre ou subdimensionados) e os efeitos da qualidade da energia como a variação de tensão.

Na análise de Viabilidade Econômica de sistemas de AC eficientes para equipamentos tipo Janela com modelos representativos de 9000 Btu/h (0,75 TR) e 21000Btu/h (1,75 TR), foi realizado um estudo de custos de venda, consumo e operação anual, análise do número de horas de operação com o cálculo de graus-

dia e a tarifa elétrica praticada em cada região do Brasil e adotada para uma cidade representativa da mesma. Concluiu-se para as duas categorias e nos dois setores a compra de aparelhos de ar condicionado de Classe A é vantajosa ao invés da compra de classe B a exceção da cidade de Porto Alegre no setor comercial. Para quase todas as regiões o custo operacional dos aparelhos de classe A é inferior a dos de classe B. Para condicionadores de 0,75 TR e de 1,75 TR esta diferença é mais expressiva na cidade representativa de Cuiabá e menos expressiva na cidade representativa de Porto Alegre.

Na análise de Sensibilidade foram levadas em consideração as tarifas praticadas em cada região e adotada para as cidades representativas, o tempo de operação de cada modelo representativo e a diferença de custo na aquisição de um equipamento de classe A ao invés do de classe B. Nas duas regiões analisadas verificou-se que a variação em 50% para mais e para menos dos tempos de operação dos aparelhos causa maior impacto na diferença de custo operacional total. Já a variável tarifa de energia elétrica, também variando 50% para baixo e para cima, contribui muito pouco, ou faz com que esta diferença de custo total varie de forma inexpressiva. Em suma, a variação do tempo de operação é mais impactante que a variação de tarifa de energia elétrica na diferença de custo operacional total dos equipamentos.

Neste trabalho o método de estimar o tempo de operação de aparelhos de AC foi feito de duas formas diferentes. Uma para o cálculo da economia de energia e a outra para cálculo da viabilidade econômica. Ambas contêm imprecisões e apresentam valores diferentes, comparando região à região. Porém, estes métodos não se contradizem e têm suas validades, apenas enfocam o tempo de consumo de forma distinta. Pode-se evidentemente, caso queira, utilizar apenas um dos métodos para os dois cálculos. O fato de se optar pelo uso do método graus-dias na viabilidade econômica, constitui-se em uma contribuição do autor ao estudo realizado pelo EXCEN/UNIFEI, por entender que este método é um dos mais utilizados quando se pretende avaliar o número de horas em que determinada temperatura ocorre e conseqüentemente neste caso determinando o tempo de funcionamento dos aparelhos.

## 12 - Sugestões e Recomendações

É possível realizar uma modelagem do comportamento de aparelhos de ar condicionado através de um programa de Software para a avaliação da economia de energia e redução de demanda de ponta atribuída ao Programa Selo PROCEL, no âmbito de condicionadores de ar Janela e Split atualizando os resultados ano a ano. Esta proposta não foi objetivo deste trabalho, porém poderá em trabalhos futuros ser realizada e deverá se basear na modelagem aqui aplicada. Outro fato importante é levar em consideração, no momento de cálculo do tempo de operação, seu efetivo funcionamento, acreditando-se que nem sempre quando a temperatura estiver acima de 25°C o aparelho é ligado. Ou seja, seu funcionamento não é automático e só ocorre quando existe efetivamente carga térmica ou pessoas que queiram maior conforto térmico. Outra recomendação quanto a melhoria dos resultados obtidos na questão eficiência é levar em consideração aspectos ligados a qualidade de energia elétrica que alimenta os aparelhos de ar condicionado. Este aspecto não foi considerado neste trabalho e questões quanto à variação de corrente e tensão devem influir no rendimento destes aparelhos que precisam ser medidos e analisados.

Quanto a recomendações ao uso de aparelhos de ar condicionado, hoje em dia projetistas estão em busca de soluções arquitetônicas adequadas e na orientação sobre o uso de materiais em todas as fases da obra, vidros refletivos e telhado térmico podem reduzir em até 30% a entrada de calor e assim, diminuir a carga do ar condicionado. Além disso, recomenda-se levar-se em conta itens como isolamento térmico, controle de volume de ar, automação, proteção contra insolação, programas de regulagem e manutenção, dimensionamento do sistema, local do empreendimento, tempo de funcionamento do equipamento, área destinada ao sistema, etc., fatores estes que levam ao melhoramento do desempenho destes aparelhos. Ainda com relação a redução de consumo, pode-se introduzir sistemas de controle com maior precisão como por exemplo: sensores de presença, programas de monitoramento de temperaturas, alteração do ponto de desligamento e limite de carga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, “*Vendas de Condicionadores de ar*”, 2008.

ABRAVA, Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento, “*Vendas de Condicionadores de ar*”, 2009.

ACEEE – “American Council for an Energy-Efficient Economy - Consumer Guide to Home Energy Savings: Condensed Online Version - Cooling Equipment”, 2007.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, “*Manual para elaboração do Programa de eficiência energética: Ciclo 2005/2006*”, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=27&idPerfil=6>>. Acesso em: 29 Set, 2007.

ASHREA, “*Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*”, USA, 1993.

ASHREA, “*Fundamentals Handbook, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*”, USA, 2001.

BALBINOT A., BRUSAMARELLO V. J., Instrumentação e Fundamentos de Medidas V 1 e V2 , 2006 e 2007.

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

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

BRASIL, “*NBR 05882 e NBR 5858*”, Domestic Air Conditioners - Determination of the Characteristics, Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT, Brasil, 1983.

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

CARDOSO, et. al “*A study of the impacts of energy efficiency of air conditioners of low capacity in Brazil.*” (em preparação)

CPTEC/INPE – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – Banco de dados meteorológicos – 2009 – site: <http://www.cptec.inpe.br/>

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

CLINCH, J. P.; HEALY, J. D.; “*Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency*”, Energy Policy, n.29, p.113-124, 2001.

ENERGY STAR, [www.energystar.gov](http://www.energystar.gov), 2005. Acessado em 09/08/2006.

GELLER, H. et al.; *“Policies for increasing energy efficiency: Thirty years of experience in OECD countries”*, Energy Policy, n.34, p.556–573, 2006.

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

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

GELLER, H. S., *“Minimum Efficiency Performance Standards, Labels, and Test Procedures for Refrigerators, Freezers, and Room Air Conditioners in Canadá, México, the United States, China, and Other Developing and Transition Nations”*, disponível em:  
[www.clasponline.org/files/standards\\_report\\_eng\\_version.pdf](http://www.clasponline.org/files/standards_report_eng_version.pdf)2006,2006,  
acessado em 08/11/2007

GHISI, E.; GOSCH, S.; LAMBERTS, R.; *“Electricity end-uses in the residential sector of Brazil”*, Energy Policy, n.35, p.4107–4120, 2007.

GUIMARÃES, E.T.” Sistema modular de Refrigeração” 1992.

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

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

HAGEL, A.L., *“Análise Computacional da Demanda Energética de Climatização de Edifícios”*, Projeto de Graduação, Universidade de Brasília – 2005.

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

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

JANNUZZI, G.M., *“A conservação e uso eficiente de energia no Brasil”*, Revista Eletrônica Consciência, Campinas, n.61, Dez 2004. Disponível em:<<http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/06.shtml>>. Acesso em: 21 Abr 2004.

JANNUZZI, G. M.; *“Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities”*, Energy Policy, n.33, p.1753–1762, 2005.

LAMBERT, R.; DUTRA, L.; PERIRA, O.R.F., *“Eficiência Energética na Arquitetura”*, 1997.

MARAN, M. *“Modernização de sistemas de ar condicionado no estudo de caso d implementação de melhorias para um edifício de escritórios”* Dissertação – USP – São Paulo, 2005



MASCARO, L.R., *“Energia na Edificação”*. São Paulo. Projetos Editores Associados Ltda., 213 pp, 1991.

MARTINAITIS, V. Analytic calculation of degree-day for the regulated heating season. *Energy and Buildings* v.26, n. 2,p. 185-189, 1998.

MDIC – Ministério do Desenvolvimento indústria e Comércio - [www.mdic.gov.br](http://www.mdic.gov.br)

OLIVEIRA, S.R. “Metodologia para caracterização do desempenho de unidades de ar condicionado tipo Janela” Dissertação – UFP – Recife, dez/ 2003.

PBE/INMETRO, *“Programa Brasileiro de Etiquetagem / Instituto Nacional de Metrologia e Normalização e Qualidade industrial”*, 2007.

PENA, M. S., *“Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração”*, PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, 1ª edição/julho 2002.

PIETROBON C. E.; LAMBERTS R. & PEREIRAF. O. R., *“Tratamentos de Elementos Climáticos para a Climatologia das Edificações: o caso de Maringá”*. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil, Maringá – Brasil, 1999.

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

PRADO, R.T.A. - Conforto térmico. Universidade de São Paulo, MBA Gerenciamento de Facilidades, 2003.

PROCEL, *“Avaliação dos Resultados do Procel 2005”*, Eletrobrás, DPS/DPST, Setembro de 2006.

PROCEL, *“Avaliação dos Resultados do Procel 2005”*, Eletrobrás, DPS/DPST, 2007.

PROCEL, *“Avaliação dos Resultados do Procel 2008”*, Eletrobrás, DPS/DPST, 2009.

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

SEM, Z. and KADIOGLO, M., *“Theoretical Risk Formulation for Degree-Day Calculation”*, Istanbul Technical University, Meteorology Department, Istanbul, Turkey, 1998.

TELECO, [www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br) “Princípios de Funcionamento do Sistema”

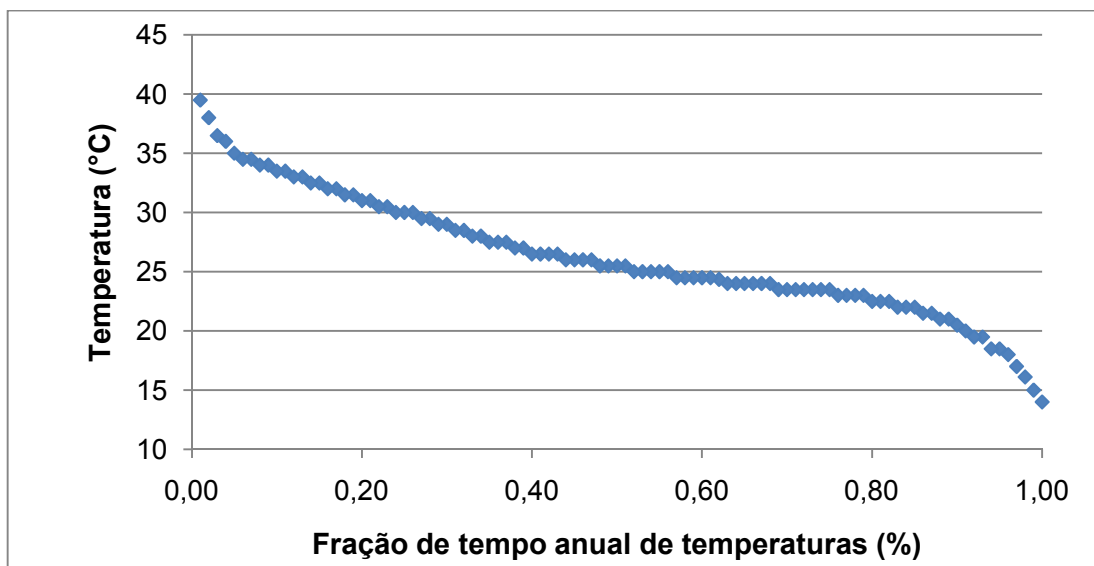
VENDRAMIN, A. L. et al. Exame de caso sobre o método de graus-dia para avaliação do desempenho energético de uma edificação unifamiliar. Artigo – universidade estadual do Oeste do Paraná – 2009.

VENTURINI, O., *“Sistemas de Climatização Ambiental”* – Cursos em Eficiência Energética – UNIFEI – 2007.

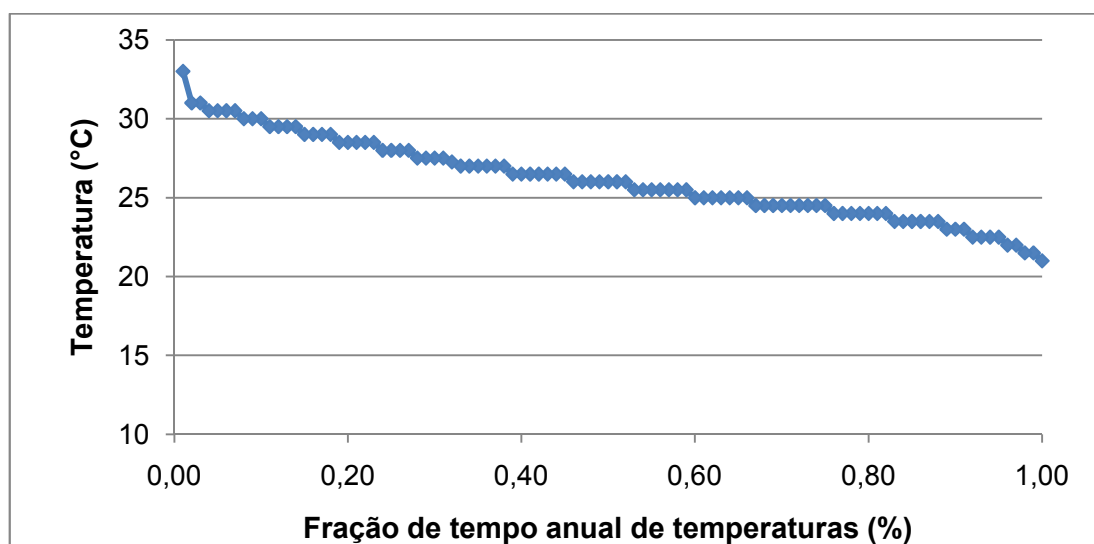
VUOLO, H.J., Fundamentos da Teoria de Erros – Editora Edgard Blucher Ltda. 1996.

## ANEXOS

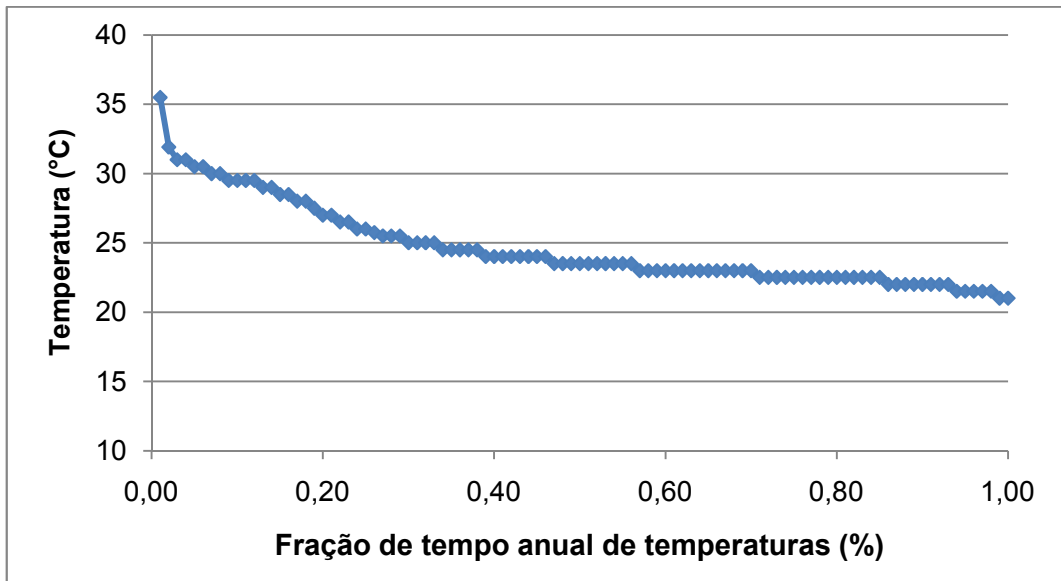
### Anexo A – Frequência da temperatura durante o ano para região Centro Oeste



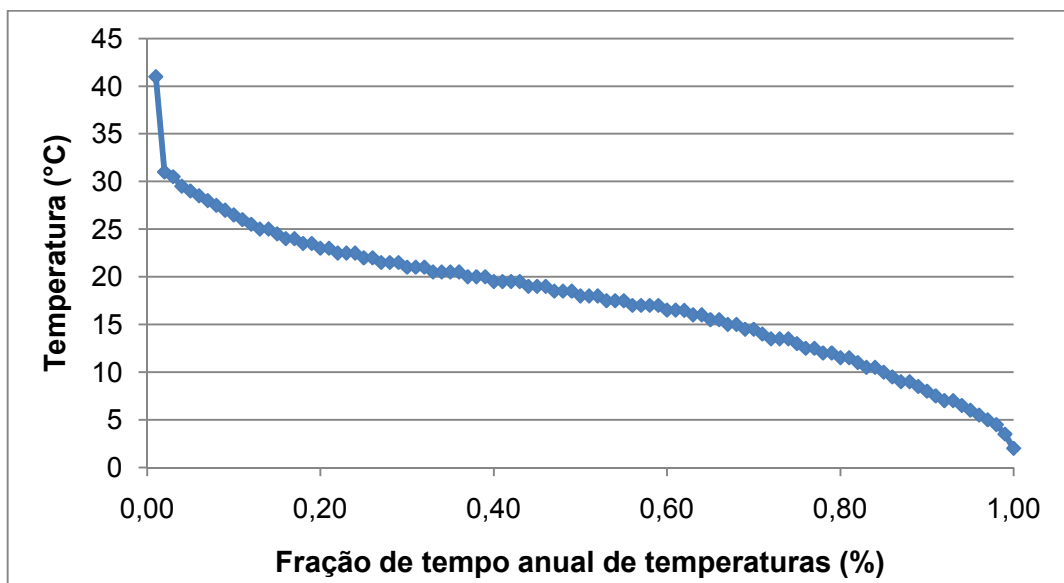
### Anexo B – Frequência da temperatura durante o ano para região Nordeste



**Anexo C –** Frequência da temperatura durante o ano para região Norte



**Anexo D –** Frequência da temperatura durante o ano para região Sul



## Anexo E – Histórico de vendas de condicionadores de ar Janela e Split

<b>Vendas de condicionadores de ar tipo Janela (6.000 a 12.000 Btu/h) e milhões de unidade</b>												
<b>ANO</b>	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2202	2003	2004	2005	2006	2007
<b>VENDAS</b>	0,63	0,63	0,86	0,50	0,77	0,56	0,74	0,73	0,65	0,76	0,88	0,88

<b>Vendas de condicionadores de ar tipo Janela (12.000 a 30.000 Btu/h) e milhões de unidade</b>												
<b>ANO</b>	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2202	2003	2004	2005	2006	2007
<b>VENDAS</b>	0,16	0,16	0,22	0,13	0,19	0,14	0,19	0,18	0,16	0,19	0,22	0,22

<b>Vendas de condicionadores de ar tipo Split (6.000 a 12.000 Btu/h) e milhões de unidade</b>												
<b>ANO</b>	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2202	2003	2004	2005	2006	2007
<b>VENDAS</b>	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,4	0,4	0,56	0,77

<b>Vendas de condicionadores de ar tipo Split (12.000 a 30.000 Btu/h) e milhões de unidade</b>												
<b>ANO</b>	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2202	2003	2004	2005	2006	2007
<b>VENDAS</b>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,1	0,1	0,14	0,19

## APÊNDICES

**Apêndice A** - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores janela com Selo PROCEL - 6.000 a 12.000 Btu/h

<b>Condicionadores janela com Selo 6.000 - 12.000 Btu/h</b>									
Marca / Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
WHIRLPOOL	2,91	2,96	2,91	2,97	3,08	2,97	3,00	-	-
ELETROLUX	-	-	2,78	2,91	2,91	2,91	2,91	2,96	2,96
ELGIN	-	-	-	-	-	3,19	3,19	3,12	3,12
GREE	-	-	-	-	-	3,06	3,06	2,97	2,97
SPRINGER	-	3,08	2,91	3,04	3,08	3,10	3,10	3,02	3,01

**Apêndice B** - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores janela sem Selo PROCEL - 6.000 a 12.000 Btu/h

Marca / Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
WHIRLPOOL	2,00	2,34	2,00	1,87	-	1,78	1,77	-	-
ELETROLUX	2,22	2,21	2,21	2,28	2,46	2,46	2,39	-	-
ELGIN	-	-	2,03	-	2,03	-	2,10	2,12	2,63
GREE	-	-	-	-	-	2,74	2,74	2,82	2,82
SPRINGER	2,16	2,15	2,13	2,33	1,86	2,32	2,47	2,27	2,80

**Apêndice C** - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores janela com Selo PROCEL - 12.000 a 30.000 Btu/h

Marca / Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
WHIRLPOOL	2,98	-	-	2,85	2,85	2,86	2,87	-	-
ELETROLUX	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ELGIN	-	-	-	-	-	2,90	2,90	2,91	2,91
GREE	-	-	-	-	-	-	-	2,85	2,80
SPRINGER	-	3,05	2,89	2,90	2,86	2,96	-	2,84	2,86

**Apêndice D - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores janela sem Selo PROCEL - 12.000 a 30.000 Btu/h**

Marca / Ano	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
WHIRLPOOL	2,18	2,24	2,26	2,26	2,26	2,45	2,26	-	-
ELETROLUX	2,27	2,27	2,27	2,37	2,37	2,37	2,37	2,41	2,41
ELGIN	-	-	2,36	-	2,55	-	2,55	2,47	2,41
GREE	-	-	-	-	-	-	2,74	2,73	2,73
SPRINGER	2,49	2,47	2,51	2,70	2,76	2,76	2,96	2,76	2,70

**Apêndice E - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores split com Selo PROCEL - 6.000 a 12.000 Btu/h**

Marca / Ano	2004	2005	2006	2007
WHIRLPOOL	3,24	3,18	3,10	3,08
ELETROLUX	-	3,01	3,01	3,01
ELGIN	-	3,05	-	3,02
GREE	3,10	3,06	3,08	3,23
SPRINGER	2,99	2,95	2,95	3,21

**Apêndice F - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores split sem Selo PROCEL - 6.000 a 12.000 Btu/h**

Marca / Ano	2004	2005	2006	2007
WHIRLPOOL	2,64	2,64	2,73	2,83
ELETROLUX	-	-	-	-
ELGIN	-	2,34	2,74	2,78
GREE	2,87	2,84	2,86	2,87
SPRINGER	2,80	2,65	2,79	2,86

**Apêndice G - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores split com Selo PROCEL - 12.000 a 36.000 Btu/h**

<b>Marca / Ano</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<b>WHIRLPOOL</b>	-	-	3,06	3,06
<b>ELETROLUX</b>	-	-	-	2,95
<b>ELGIN</b>	-	2,97	-	-
<b>GREE</b>	-	3,05	3,10	3,10
<b>SPRINGER</b>	-	-	-	3,02

**Apêndice H - Índice de Eficiência Energética (W/W) de condicionadores split sem Selo PROCEL - 12.000 a 36.000 Btu/h**

<b>Marca / Ano</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>
<b>CONSUL</b>	2,37	2,38	2,58	2,72
<b>ELETROLUX</b>	-	2,58	2,58	2,70
<b>ELGIN</b>	-	2,73	2,84	2,79
<b>GREE</b>	-	2,80	2,73	2,68
<b>SPRINGER</b>	2,86	2,81	2,58	2,75



## Apêndice I - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Elétrica – critério 2009

**CONDICIONADOR DE AR JANELA** Data atualização: 19/10/2009

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)												Total de modelos por classe
	Categoria 1			Categoria 2			Categoria 3			Categoria 4			
	≤9.495 kJ/h ≤9.000 BTU/h			9.496 a 14.769 9.001 a 13.999			14.770 a 21.099 14.000 a 19.999			≥ 21.100 ≥ 20.000			
<b>A</b>	≥ 2,91	43	64,2%	≥ 3,02	30	58,8%	≥ 2,87	8	47,1%	≥ 2,82	4	25,0%	85
<b>B</b>	≥ 2,68	16	23,9%	≥ 2,78	13	25,5%	≥ 2,70	5	29,4%	≥ 2,62	6	37,5%	40
<b>C</b>	≥ 2,47	8	11,9%	≥ 2,56	8	15,7%	≥ 2,54	2	11,8%	≥ 2,44	1	6,3%	19
<b>D</b>	≥ 2,27	0	0,0%	≥ 2,35	0	0,0%	≥ 2,39	2	11,8%	≥ 2,27	2	12,5%	4
<b>E</b>	≥ 2,08	0	0,0%	≥ 2,16	0	0,0%	≥ 2,24	0	0,0%	≥ 2,11	3	18,8%	3
		67 un			51 un			17 un			16 un		151 un

## Apêndice J - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Elétrica – critério 2009

ENCE - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Critérios 2009 - 1ºSemestre  
 Selo PROCEL de Economia de Energia

**CONDICIONADORES DE AR SPLIT HI-WALL** Data atualização: 30/6/2009

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		Split Hi-Wall			
			Rotação Fixa		Rotação Variável	
<b>A</b>	2,94	<CEE	274	41,0%	18	100,0%
<b>B</b>	2,76	<CEE≤ 2,94	209	31,3%	0	0,0%
<b>C</b>	2,58	<CEE≤ 2,76	140	21,0%	0	0,0%
<b>D</b>	2,39	<CEE≤ 2,58	42	6,3%	0	0,0%
<b>E</b>		CEE≤ 2,39	3	0,4%	0	0,0%
			668 un		18 un	



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)