

**ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ**

**USO RACIONAL E EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA:  
METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DOS  
POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DOS USOS FINAIS EM  
INSTALAÇÕES DE ENSINO E SIMILARES**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do  
título de Mestre em Engenharia.

**SÃO PAULO  
1998**

**ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ**

**USO RACIONAL E EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA:  
METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DOS  
POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DOS USOS FINAIS EM  
INSTALAÇÕES DE ENSINO E SIMILARES**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de  
São Paulo para a obtenção do  
título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração:  
Sistemas de Potência

Orientador:  
Prof. Dr. Marco Antonio Saidel

**SÃO PAULO  
1998**

Alvarez, André Luiz Montero

Uso racional e eficiente de energia elétrica: metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares. São Paulo, 1998.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1. Uso eficiente de energia elétrica. 2. Conservação de energia elétrica. 3. Energia elétrica na USP. I. Universidade de São Paulo – Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. II. t.

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA POLITÉCNICA**

**TERMO DE JULGAMENTO**  
**DE**  
**DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Aos 22 dias do mês de abril de 1998, às 14:00 horas, no Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, presente a Comissão Julgadora, integrada pelos Senhores Professores Doutores Marco Antonio Saidel, Orientador do candidato, Carlos Márcio Vieira Tahan e Murilo Tadeu Werneck Fagá iniciou-se a Defesa de Dissertação de Mestrado do Senhor **ANDRÉ LUIZ MONTERO ALVAREZ**

Título da Dissertação: "USO RACIONAL E EFICIENTE DE ENERGIA ELÉTRICA: METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DOS POTENCIAIS DE CONSERVAÇÃO DOS USOS FINAIS EM INSTALAÇÕES DE ENSINO E SIMILARES".

Concluída a argüição, procedeu-se ao julgamento na forma regulamentar, tendo a Comissão Julgadora considerado o candidato:

Prof.Dr. Marco Antonio Saidel.....( *Aprovado* )  
Prof.Dr. Carlos Márcio Vieira Tahan .....( *aprovado* )  
Prof.Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá.....( *APROVADO* )

Para constar, é lavrado o presente termo, que vai assinado pela Comissão Julgadora e pela Secretária de Pós-Graduação.

São Paulo, 22 de abril de 1998.

A Comissão Julgadora :

*Saidel*  
\_\_\_\_\_  
*Carlos Márcio Vieira Tahan*  
\_\_\_\_\_  
*Murilo Tadeu Werneck Fagá*  
\_\_\_\_\_

Secretária: Elisabete Ap<sup>a</sup> F.S.Ramos

Obs: Resolução 4476, de 17.09.1997 Altera dispositivos do Regimento Geral da USP Art.109 – Imediatamente após o encerramento da argüição da dissertação ou da tese cada examinador expressará seu julgamento em sessão secreta, considerando o candidato **aprovado** ou **reprovado**.

Homologado pela C.P.G. em reunião realizada a \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

*"... dar conselhos ... ... conhecer a si próprio ..."*

Tales de Mileto (624 a.C. - 546 a.C.),  
quando indagado sobre o que era fácil e o que era difícil de se fazer [1].

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha gratidão às pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho. São elas:

**Prof. Dr. Lineu Belico dos Reis**, pelas importantes sugestões dadas no exame de qualificação e pela oportunidade de participar como pesquisador do GEPEA - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da USP.

**Prof. Dr. Carlos Márcio Vieira Tahan**, pelas importantes sugestões dadas e pelas participações no exame de qualificação e na banca de defesa.

**Prof. Dr. Murilo Tadeu Werneck Fagá**, pela contribuição e participação na banca de defesa.

**Prof. Miguel Bussolini**, pelo apoio dado, juntamente com o pessoal da PCO - Prefeitura da Cidade Universitária - e da RUSP - Reitoria da USP, na distribuição e no encaminhamento de planilhas, pelas contas de energia elétrica do campus e demais informações gentilmente cedidas.

**Prof. Dr. Walter Kaiser**, pela revisão dos tópicos sobre tecnologias de iluminação.

**Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto**, pela revisão dos tópicos sobre tecnologias de ar condicionado.

**Prof<sup>a</sup>. Eliane Aparecida Faria Amaral Fadigas**, pelo material cedido e convívio no GEPEA.

**Eng. Luiz Carlos Alves de Lima**, pela metodologia de desagregação do consumo.

**Paulo Hélio Kanayama**, amigo e colega de Mestrado, pelo trabalho de equipe realizado no Projeto Conservusp e pelas informações e sugestões que muito colaboraram para este trabalho.

**Maurício de Oliveira e Silva**, também amigo e colega de Mestrado, pelo trabalho de equipe realizado no Projeto Conservusp, pelas inúmeras sugestões e discussões, em especial pela idéia inicial da análise estatística de contas de energia elétrica, e pela revisão do trabalho.

**Sílvio Sarno Brasiliense Fusco**, pela amizade e convívio no GEPEA durante o seu mestrado.

**Renata Katayama**, pela descontração e ajuda com os problemas "burocráticos".

**CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, pela bolsa de mestrado concedida.

**FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo**, pela oportunidade de trabalho no Projeto Conservusp, cujas informações levantadas possibilitaram o desenvolvimento da metodologia e do estudo de caso apresentados neste trabalho.

Em especial, **Prof. Dr. Marco Antonio Saidel**, amigo e também orientador, pela orientação e oportunidade, dentro do GEPEA, de participar de grandes projetos como o Conservusp, matéria-prima deste trabalho, e de cursos e seminários dentro da área de conservação de energia, exercendo papel fundamental na minha introdução à vida acadêmica.

Finalmente, pela minha ausência em inúmeras ocasiões, meus pais, **Reynaldo** e **Eugênia**, meus irmãos **Ricardo** e **Luiz Fernando**, e amigos, **Danielle**, **Zé**, **Giba** e **Edu**.

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE ABREVIATURAS

### RESUMO

### "ABSTRACT"

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativa	2
1.2 Estrutura do Trabalho	9
<b>2 PRINCIPAIS USOS FINAIS DE ENERGIA ELÉTRICA EM INSTALAÇÕES DE ENSINO</b>	<b>11</b>
2.1 Sistemas de Iluminação	11
2.1.1 Nível de Iluminamento	12
2.1.2 Componentes do Sistema de Iluminação	14
2.1.2.1 Lâmpadas	16
2.1.2.2 Reatores	25
2.1.2.3 Luminárias	28
2.1.2.4 Dispositivos de Controle	30
2.1.3 Influência da Iluminação na Saúde e no Conforto dos Usuários	36
2.2 Sistemas de Ar Condicionado	39
2.2.1 Eficiência do Sistema de Ar Condicionado	43
2.3 Equipamentos de Escritório	46
2.3.1 Diretrizes do Programa Energy Star	46
2.3.2 Microcomputadores Pessoais Eficientes: "Green PC"	48
2.3.2.1 Gerenciamento de Energia de um "Green PC"	50
<b>3 METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE USOS FINAIS</b>	<b>52</b>
3.1 Levantamento de Dados	52
3.1.1 Contas de Energia Elétrica	53

3.1.2	Medição Direta	55
3.1.3	Levantamento de Dados por Inspeção	58
3.2	Determinação do Consumo de Energia Elétrica	59
3.2.1	Consumo Global	59
3.2.2	Consumo Desagregado em Usos Finais	63
3.3	Indicadores do Uso de Energia Elétrica	67
3.3.1	Indicadores Genéricos	68
3.3.1.1	Fator de Carga	68
3.3.1.2	Consumo Mensal por Área Útil	68
3.3.1.3	Consumo Mensal em Iluminação por Área Iluminada	68
3.3.1.4	Consumo Mensal em Ar Condicionado por Área Climatizada	69
3.3.1.5	Potência Instalada em Iluminação por Área Iluminada	69
3.3.1.6	Potência Instalada em Iluminação por Número de Interruptores	70
3.3.1.7	Potência Instalada em Ar Condicionado por Área Climatizada	70
3.3.1.8	Porcentagem de Luminárias Defeituosas	70
3.3.2	Indicadores para Análises de Instalações de Ensino	71
3.3.2.1	Consumo Mensal por Docente Equivalente	71
3.3.2.2	Consumo Mensal por Aluno Equivalente	71
3.3.2.3	Consumo Mensal por Usuário Equivalente	72
3.4	Análise do Sistema de Iluminação	73
3.4.1	Potencial de Conservação do Sistema de Iluminação	73
3.5	Análise do Sistema de Ar Condicionado	79
3.5.1	Potencial de Conservação do Sistema de Ar Condicionado	79
3.6	Análise de Microcomputadores Pessoais	82
3.6.1	Potencial de Conservação de Microcomputadores “Green PCs”	83
3.7	Análise de Outros Equipamentos	87
3.8	Análise Econômica	90
3.9	Análise Tarifária	91
3.9.1	Simulações Tarifárias	92
3.9.2	Análise Estatística e Previsão de Demanda	94

<b>4</b>	<b>APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – ESTUDO DE CASO: A CIDADE UNIVERSITÁRIA ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA (USP)</b>	<b>96</b>
4.1	O Universo de Estudo: CUASO	96
4.2	Aplicação da Metodologia	97
4.3	Resultados Obtidos	99
4.3.1	Edifício da Engenharia de Eletricidade da EPUSP	99
4.3.1.1	Levantamento de Dados	99
4.3.1.2	Desagregação do Consumo em Usos Finais	107
4.3.1.3	Potencial de Conservação do Uso Final Iluminação	109



4.3.1.4	Potencial de Conservação do Uso Final Ar Condicionado	115
4.3.1.5	Potencial de Conservação do Uso Final Microcomputadores	116
4.3.1.6	Potencial de Conservação Total	117
4.3.2	Edifício da Zoologia do IB	118
4.3.2.1	Levantamento de Dados	118
4.3.2.2	Desagregação do Consumo em Usos Finais	125
4.3.2.3	Potencial de Conservação do Uso Final Iluminação	127
4.3.2.4	Potencial de Conservação do Uso Final Ar Condicionado	132
4.3.2.5	Potencial de Conservação do Uso Final Equipamentos	133
4.3.2.6	Potencial de Conservação Total	135
4.3.3	Demais Unidades Analisadas	135
4.3.3.1	Levantamento de Dados	135
4.3.3.2	Potencial de Conservação de Energia Elétrica	144
4.3.4	Análise das Contas de Energia Elétrica da CUASO	148
4.3.5	Conclusões	153

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS** **155**

## **6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** **157**

### **APÊNDICE**

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	Brasil: consumo de fontes primárias de energia em 1996.	3
Figura 1.2:	Brasil: evolução da geração e do consumo de energia elétrica.	3
Figura 1.3:	Brasil: evolução do consumo de energia elétrica, da população e do PIB.	4
Figura 2.1:	Classificação dos tipos de lâmpadas comerciais.	16
Figura 2.2:	Lâmpadas incandescentes e mista: aspectos construtivos.	17
Figura 2.3:	Lâmpadas fluorescentes: aspectos construtivos.	21
Figura 2.4:	Lâmpadas de descarga de alta pressão: aspectos construtivos.	23
Figura 2.5:	Lâmpadas de multivapores metálicos: aspectos construtivos.	24
Figura 2.6:	Luminárias reflexivas e convencionais.	29
Figura 2.7:	Detetor de presença sensível à radiação infravermelha.	31
Figura 2.8:	Exemplo de um "scheduling control".	33
Figura 2.9:	Sistema usado para compensar a depreciação luminosa.	35
Figura 2.10:	Modulação de lâmpadas incandescentes e fluorescentes.	37
Figura 2.11:	Sistema de ar condicionado tipo "split" com dutos de insuflamento.	41
Figura 2.12:	Bomba de calor: ciclos de operação.	42
Figura 2.13:	Luminárias integradas.	45
Figura 2.14:	Logotipo do programa Energy Star.	46
Figura 3.1:	Exemplo de conta de energia elétrica expedida pela concessionária.	54
Figura 3.2:	Gráficos e tabelas típicos obtidos a partir de um analisador de energia.	57
Figura 3.3:	Exemplo de planilha utilizada em levantamentos de dados por inspeção.	60
Figura 3.4:	Exemplo de publicidade para educação de usuários.	78
Figura 3.5:	Curvas de carga de um "green PC" típico.	83
Figura 3.6:	Ciclos de operação de um equipamento genérico.	88
Figura 3.7:	Exemplo de planilha de cálculo para análises tarifárias.	93
Figura 4.1:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: curva de carga semanal.	100
Figura 4.2:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: curva de carga de um dia típico.	100

Figura 4.3:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.	105
Figura 4.4:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: consumo desagregado em usos finais.	108
Figura 4.5:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: simulação do sistema de iluminação composto por luminárias de uma lâmpada.	110
Figura 4.6:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: simulação do sistema de iluminação composto por luminárias de duas lâmpadas.	111
Figura 4.7:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: hábito de uso da sala A2-43.	114
Figura 4.8:	Edifício da Zoologia: curva de carga semanal.	119
Figura 4.9:	Edifício da Zoologia: curva de carga de um dia típico.	119
Figura 4.10:	Edifício da Zoologia: desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.	122
Figura 4.11:	Edifício da Zoologia: consumo desagregado em usos finais.	126
Figura 4.12:	CUASO: desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.	137
Figura 4.13:	CUASO: curva de carga de um dia útil (12/1996).	150
Figura 4.14:	CUASO: regressão linear da demanda registrada.	151

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1:	PROCEL: resultados do período 1994 - 1996.	8
Tabela 2.1:	Iluminâncias recomendadas por classe de tarefas visuais.	13
Tabela 2.2:	Fatores determinantes da iluminância recomendada.	13
Tabela 2.3:	Características de algumas lâmpadas encontradas no mercado.	18
Tabela 2.4:	Detetores de presença: potenciais de conservação.	32
Tabela 2.5:	EER de alguns aparelhos de ar condicionado.	44
Tabela 2.6:	Diretrizes do programa Energy Star.	47
Tabela 2.7:	Potenciais de conservação de equipamentos "energy saving".	47
Tabela 2.8:	Modos de operação de monitores segundo padrão VESA.	49
Tabela 3.1:	Grandezas utilizadas no cálculo do consumo desagregado.	66
Tabela 3.2:	Carga térmica aproximada de ambientes.	80
Tabela 4.1:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: demanda e fator de potência médios.	101
Tabela 4.2:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: carregamento dos transformadores.	103
Tabela 4.3:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: características de consumo.	103
Tabela 4.4:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: sistema de iluminação.	104
Tabela 4.5:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: potência instalada em ar condicionado.	106
Tabela 4.6:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: potência instalada em microcomputadores pessoais.	106
Tabela 4.7:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: desagregação do consumo global.	107
Tabela 4.8:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: características físicas de ambientes padrão.	109
Tabela 4.9:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: características físicas do sistema de iluminação projetado para os ambientes padrão.	112
Tabela 4.10:	Edifício da Engenharia de Eletricidade: comparação entre os sistemas de iluminação atual e projetado.	113

Tabela 4.11: Edifício da Engenharia de Eletricidade: potencial de conservação de energia elétrica.	118
Tabela 4.12: Edifício da Zoologia: demanda e fator de potência médios.	120
Tabela 4.13: Edifício da Zoologia: características de consumo.	121
Tabela 4.14: Edifício da Zoologia: sistema de iluminação.	122
Tabela 4.15: Edifício da Zoologia: estado de conservação do sistema de iluminação.	124
Tabela 4.16: Edifício da Zoologia: potência instalada em ar condicionado.	124
Tabela 4.17: Edifício da Zoologia: potência instalada em equipamentos.	125
Tabela 4.18: Edifício da Zoologia: desagregação do consumo global.	126
Tabela 4.19: Edifício da Zoologia: características do sistema de iluminação projetado para os ambientes padrão.	127
Tabela 4.20: Edifício da Zoologia: comparação entre os sistemas de iluminação atual e projetado.	128
Tabela 4.21: Edifício da Zoologia: potência ativa total e fator de potência dos equipamentos que trabalham em regime de operação contínua.	129
Tabela 4.22: Edifício da Zoologia: potencial de conservação de energia elétrica.	135
Tabela 4.23: CUASO: características físicas.	136
Tabela 4.24: CUASO: populações.	137
Tabela 4.25: CUASO: potência instalada em iluminação por tipo de lâmpadas.	139
Tabela 4.26: CUASO: segmentação da potência instalada em lâmpadas fluorescentes.	140
Tabela 4.27: CUASO: potência instalada em ar condicionado.	141
Tabela 4.28: CUASO: potência instalada em microcomputadores e equipamentos.	142
Tabela 4.29: CUASO: potências instaladas em usos finais.	143
Tabela 4.30: CUASO: consumos calculados.	143
Tabela 4.31: CUASO: indicadores calculados.	146
Tabela 4.32: CUASO: potenciais de conservação de energia elétrica.	147
Tabela 4.33: CUASO: contas de energia elétrica.	149
Tabela 4.34: CUASO: resultados das simulações tarifárias.	153
Tabela 4.35: CUASO: potenciais de conservação de energia elétrica.	154

## LISTA DE ABREVIATURAS

APM	"Advanced Power Management"
BF	"Ballast Factor"
BIOS	"Basic Input Output System"
CUASO	Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira
DHT	Distorção Harmônica Total
DPMS	"Display-Power Management Signaling"
EER	"Energy Efficiency Ratio"
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
LED	"Light-Emitting Diode"
IRC	Índice de Reprodução de Cores
MME	Ministério das Minas e Energia
PC	"Personal Computer"
PCV	Probabilidade de Conforto Visual
PIB	Produto Interno Bruto
PROCEL	Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica
TCC	Temperatura Correlata de Cor
TES	"Thermal Energy Storage"
TRC	Tubo de Raios Catódicos
USP	Universidade de São Paulo

## **RESUMO**

Este trabalho apresenta uma metodologia para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais, orientada para a análise de instalações de ensino, aplicável, também, a instalações comerciais em geral.

Os usos finais considerados no trabalho são: iluminação, ar condicionado, microcomputadores pessoais e outros equipamentos elétricos.

São apresentados procedimentos para o levantamento de dados e para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica de cada uso final analisado, além de uma metodologia estatística para a análise de contas de energia elétrica. São definidos, também, indicadores do uso de energia elétrica bastante úteis em diagnósticos energéticos, permitindo estimar o potencial de conservação da instalação a partir da análise comparativa de seus índices com valores típicos obtidos em outros diagnósticos energéticos ou em publicações especializadas.

A aplicação prática da metodologia é apresentada na forma de um estudo de caso, realizado em 1996 na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - CUASO, o maior campus da Universidade de São Paulo – USP e um dos maiores do Brasil, localizado na cidade de São Paulo. Um volume considerável de informações é analisado e discutido em detalhes, fornecendo dados globais e desagregados em usos finais sobre as características de consumo e os potenciais de conservação de energia elétrica do campus.

## **“ABSTRACT”**

This work presents a methodology for determining the potential of electric energy conservation of electricity end uses. The methodology is oriented to university premises, but it is also applicable to other types of installations.

End uses considered in this work include lighting, air conditioning, personal computers and other electric devices.

Procedures for data gathering and determination of conservation potential of each end use are presented. A statistical methodology for analyzing electricity bills is also presented. Furthermore, some useful indicators for energy diagnoses are developed. These indicators allow the estimation of the conservation potential of a given installation through comparison with typical values extracted from the other energy diagnoses or technical literature.

The proposed methodology was applied in the main campus of University of São Paulo – USP, one of the largest in Brazil with some 30,000 undergraduate students. A large amount of data is analyzed and discussed, yielding global and specific indicators regarding end use characteristics and conservation potential within the campus.



# 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica ocupa um lugar de destaque na matriz energética brasileira, sendo a modalidade de energia atualmente mais consumida no país.

O consumo crescente de energia elétrica aliado à falta de investimentos no setor de geração vem diminuindo a distância entre a demanda e a oferta, tornando o fornecimento cada vez mais crítico no curto prazo.

A busca de soluções para o problema de fornecimento abrange, entre outras alternativas, a construção de novas usinas hidroelétricas e termoeletricas, a conclusão de usinas não acabadas, a importação de gás natural e de energia elétrica de países vizinhos, a implementação de campanhas de combate ao desperdício de energia e o investimento em ações que promovam o aumento da eficiência no uso de energia elétrica.

As alternativas que visam o uso racional e eficiente de energia elétrica apresentam, geralmente, custo e tempo de retorno de investimento pequenos quando comparados aos valores de outras alternativas. Os resultados obtidos, relativos à redução do consumo, são imediatos, tornando o uso racional e eficiente de energia elétrica uma alternativa, de certa forma, natural para a solução de parte do problema de fornecimento no curto prazo.

Uma das linhas de ação para promover o uso racional e eficiente de energia elétrica é a intervenção junto a instalações consumidoras. Através de ações que otimizam os sistemas de cada uso final de energia elétrica presentes na instalação, é possível reduzir seu consumo sem comprometer seu desempenho. Para analisar a viabilidade técnica e econômica dessas ações, é preciso, inicialmente, determinar a forma como a energia elétrica está sendo utilizada, procedimento este chamado de

diagnóstico energético, permitindo propor soluções que aumentem a eficiência dos sistemas analisados bem como calcular os respectivos potenciais de conservação dos usos finais considerados. Conhecidos esses potenciais, é possível analisar a viabilidade econômica das soluções propostas, devendo ser implementadas aquelas que apresentarem as maiores vantagens técnicas e econômicas.

Infelizmente, a literatura a respeito dos procedimentos envolvidos na determinação do potencial de conservação de energia elétrica em usos finais ainda é escassa, não sendo encontrada, no material pesquisado, nenhuma referência que apresentasse uma metodologia explícita e abrangente para a realização de diagnósticos energéticos em instalações consumidoras, bem como para o cálculo dos respectivos potenciais de conservação. Diante desse fato, este trabalho pretende dar uma pequena contribuição na área de uso racional e eficiente de energia elétrica, apresentando uma metodologia para a determinação do potencial de conservação de usos finais, aplicada a diagnósticos energéticos de instituições de ensino, genérica o bastante para ser estendida a qualquer tipo de instalação que apresente usos finais de energia elétrica semelhantes.

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

Devido à hidrologia favorável, a energia hidráulica ocupa um lugar de destaque na matriz energética brasileira, correspondendo à fonte primária mais consumida no país (Figura 1.1). Em 1996, o aproveitamento da energia hidráulica resultou em 92% da energia elétrica total gerada no país, cerca de 290 TWh, para um consumo final de 277 TWh [2]. A evolução da geração e do consumo de energia elétrica é apresentada na Figura 1.2.

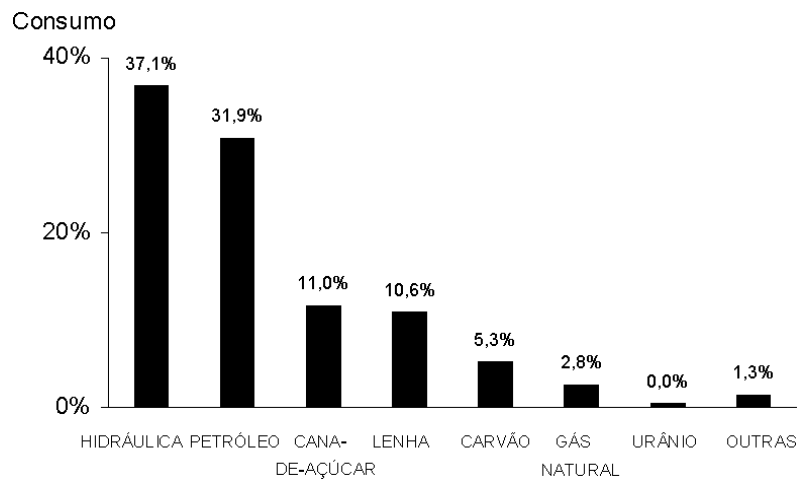


Figura 1.1: Brasil: consumo de fontes primárias de energia em 1996.

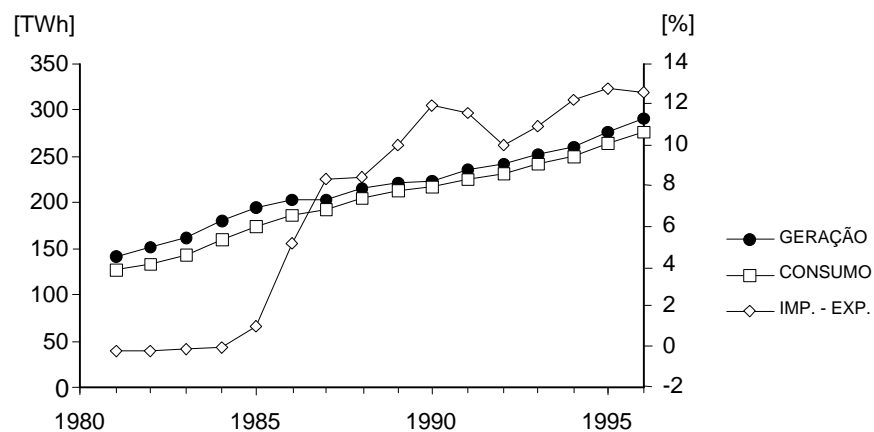


Figura 1.2: Brasil: evolução da geração e do consumo de energia elétrica.

Na figura acima, a curva "imp. - exp." corresponde à diferença entre a energia elétrica importada e exportada, dada em porcentagem da energia elétrica efetivamente gerada no país.

Conforme o gráfico, o consumo de energia elétrica apresenta um crescimento de 9,6 TWh por ano, calculado por regressão linear. Considerando esta taxa de crescimento anual, o consumo de energia elétrica seria de 313 TWh em 2000 e de 361 TWh em 2005, ou seja, 13% e 30% a mais, respectivamente, do que o consumo de 1996, valores 5% e 16% inferiores aos valores do Cenário II do Plano 2015 [3].

A diferença entre a importação e a exportação de energia elétrica também é crescente, passando de 1% em 1985 para 13% em 1996, consequência da entrada em operação da usina hidroelétrica binacional de Itaipú. A tendência atual é de que energia elétrica importada aumente devida aos acordos de intercâmbio firmados com a Argentina, o Uruguai e a Venezuela<sup>1</sup>, evidenciando a necessidade urgente de expansão do setor de geração.

Uma análise mais minuciosa da evolução do consumo de energia elétrica pode ser realizada a partir da Figura 1.3, onde são exibidos o PIB, a população e os consumos setoriais em termos dos valores de 1981.

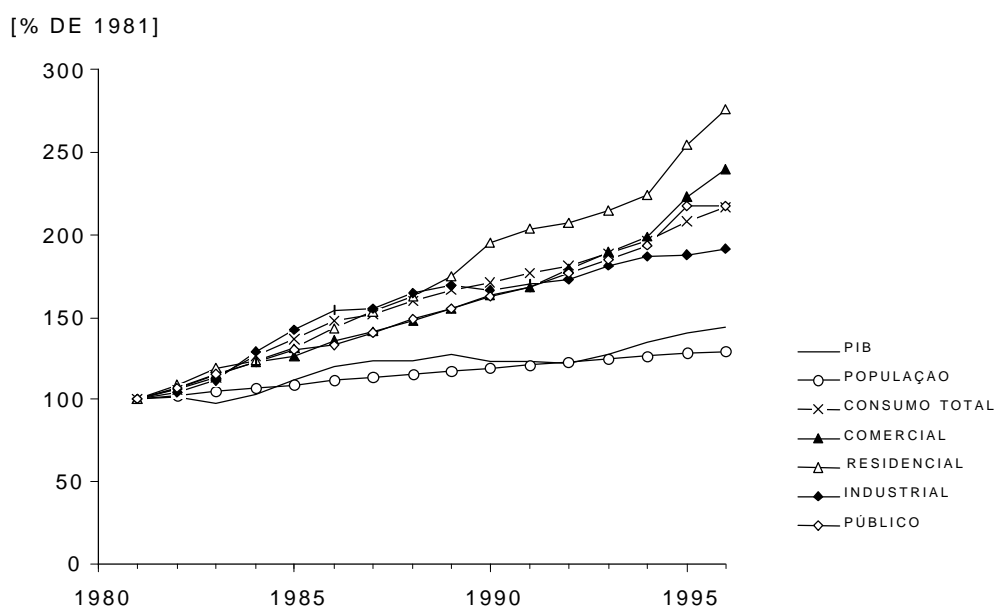


Figura 1.3: Brasil: evolução do consumo de energia elétrica, da população e do PIB.

Na figura acima, observa-se um crescimento mais acentuado do consumo de energia elétrica em relação ao crescimento do PIB e da população. Entre 1981 e 1996,

<sup>1</sup> O Brasil comprará energia elétrica da Argentina (1.000 MW durante 20 anos) e da Venezuela, segundo reportagens do jornal O Estado de São Paulo, publicadas em 18/03/97 e 10/09/97, disponíveis, respectivamente, na World Wide Web < URL: <http://w.w.estado.com.br/jornal/97/03/18/news128.html>> e <URL: <http://w.w.estado.com.br/97/09/10/news145.html>> [24/03/98].

a população aumentou 30%, o PIB 44% e o consumo total de energia elétrica 119%. Os setores residencial e comercial foram os que apresentaram o maior crescimento, com, respectivamente, 176% e 140% para o mesmo período.

Essa disparidade pode ser explicada, em parte, pela entrada de capital estrangeiro, na forma de empréstimos, no setor elétrico<sup>2</sup>, ocorrida entre as décadas de 70 e 80 com o objetivo de promover o desenvolvimento do país, fato que permitiu expansão do parque instalado.

De 1994 a 1996, as taxas de crescimento foram 7,3% para o PIB e 2,7% para a população, inferiores a taxa de 10,8% verificada para o consumo total de energia elétrica, causada pelo aumento do consumo dos setores residencial (23,4%) e comercial (20,5%), que compensaram o menor crescimento do setor industrial (2,4%).

O crescimento do consumo do setor residencial foi reflexo do aumento do número de ligações e da significativa aquisição de eletrodomésticos e outros bens de consumo duráveis por parte da população, principalmente as classes de menor renda, motivada pela queda da inflação [2].

No setor comercial, o crescimento do consumo foi devido à modernização e automação dos serviços e do uso intensificado de sistemas de ar condicionado, contando ainda com a abertura de grandes centros comerciais [2].

O baixo crescimento do consumo no setor industrial pode ser explicado, em parte, pelo baixo desempenho das indústrias eletro-intensivas, como, por exemplo, siderúrgica, de ferro-ligas, de alumínio, de papel e celulose, devida à crescente importação de produtos manufaturados.

---

<sup>2</sup> Fonte: Jornal do Brasil, caderno especial Energia, 11/06/97, página 11.

Em relação à demanda de energia elétrica, sucessivos valores recordes tem sido registrados nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste, responsáveis por 2/3 do PIB e 80% do consumo de energia elétrica do país. Em junho de 1996, a demanda alcançou a casa dos 38,6 GW, superados pelos 39,5 e 40,4 GW registrados, respectivamente, em abril e agosto de 1997<sup>3</sup>, levando o sistema a operar próximo do limite de segurança, comprometendo a confiabilidade do fornecimento.

Para acompanhar esse crescimento da demanda, seriam necessários investimentos da ordem de US\$ 6 bilhões por ano na geração de energia elétrica, cifras bastante superiores quando comparadas aos US\$ 3 bilhões investidos em 1995 e 1996<sup>4</sup>.

Além de depender da disponibilidade de recursos financeiros, a expansão do sistema elétrico está fortemente condicionada a questões de ordem ambiental. A construção de barragens resulta, geralmente, no alagamento de extensas áreas, desequilibrando, ou mesmo destruindo, ecossistemas locais. Além disso, o alagamento de áreas povoadas pode gerar sérios problemas de ordem econômica e social, relacionados com a relocação das populações locais e a retomada das atividades econômicas.

Os resíduos lançados à atmosfera resultantes da queima de combustíveis fósseis em termoelétricas são altamente poluentes, contribuindo para a ocorrência do fenômeno de inversão térmica nas grandes cidades e, a nível global, para o efeito estufa. Para o caso de energia elétrica obtida a partir da queima de combustíveis fósseis, a simples substituição de uma lâmpada incandescente de 75 W por uma lâmpada fluorescente compacta de 18 W evita, durante a sua vida útil, o lançamento à atmosfera

---

<sup>3</sup> Fonte: jornal Gazeta Mercantil, caderno Empresas e Negócios, 28 de abril de 1997, página C1; jornal O Estado de São Paulo, 4 de maio de 1997, página B13; Jornal da Tarde, 21 de agosto de 1997, página 9A.

<sup>4</sup> Fonte: Jornal do Brasil, caderno especial Energia, 11 de junho de 1997, página 2.

de 267 Kg de carbono e de 7,5 Kg de dióxido de enxofre [4].

É nesse contexto de crescimento contínuo do consumo e da demanda de energia elétrica, da falta de investimentos no setor elétrico, do comprometimento do fornecimento e da preocupação cada vez maior com questões ambientais é que se fortalece a idéia de uso racional e eficiente de energia elétrica em usos finais como uma alternativa viável para a solução de uma parte do problema de fornecimento.

O uso racional e eficiente de energia elétrica tem como paradigma a implementação de ações que otimizem o uso de energia elétrica, através da redução do consumo ou do deslocamento de cargas para fora do horário de ponta do sistema elétrico, sem comprometer, no entanto, o desempenho dos sistemas de cada uso final ou o nível de conforto proporcionado aos usuários.

Do ponto de vista do setor elétrico, o uso mais racional e eficiente de energia elétrica diminui a necessidade de expansão do parque instalado, postergando os grandes investimentos necessários ao atendimento do mercado consumidor de energia elétrica, uma vez que o custo médio da energia conservada é estimado em 0,024 US\$/kWh, inferior ao custo marginal de expansão do setor elétrico, situado entre 0,047 e 0,100 US\$/kWh [5].

Para o usuário final, as principais vantagens da adoção de medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica são a redução do gasto com energia elétrica (para o caso do custo da energia conservada ser inferior ao custo do fornecimento), a otimização do desempenho dos sistemas de cada uso final presente na instalação e, talvez a principal delas na atualidade, o marketing associado às idéias de preservação ambiental.

Segundo o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL, o investimento em ações de uso racional e eficiente de energia mostram

resultados compatíveis com o valor do custo da energia conservada obtidos por GELLER (0,024 US\$/kWh) [5].

A Tabela 1.1 exibe os resultados do PROCEL obtidos durante o período 1994-1996.

Tabela 1.1: PROCEL: resultados do período 1994 - 1996.

RESULTADOS	PERÍODO		
	1994	1995	1996
Investimento [R\$ milhões]	10	30	50
Energia economizada [GWh]	344	572	1.970
Redução da demanda na ponta [MW]	70	103	293
Usina equivalente [MW]	80	135	430
Investimento evitado [R\$ milhões]	160	270	860

Fonte: referência [6].

Segundo a tabela, é crescente a implementação de medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica. Os investimentos realizados em 1996 foram 67% superiores aos do ano anterior, proporcionando uma economia de energia elétrica de 1.970 GWh. A demanda no horário de ponta foi reduzida, em 1996, de 293 MW, postergando um investimento de R\$ 860 milhões, 17 vezes superior ao investimento efetivamente realizado em ações de uso racional e eficiente de energia elétrica.

Em relação às perspectivas apontadas no Plano 2015, é estimada uma economia de 9,1 TWh e 21,1 TWh em 2000 e 2005, respectivamente, para o cenário I e 20,0 TWh e 49,5 TWh para o cenário IV [3], valores bastante consideráveis quando comparados aos consumos de 1996, 277 TWh, e de 1997, estimado em 293 TWh<sup>5</sup>.

É muito importante mencionar que as idéias e estratégias de uso racional e eficiente de recursos naturais devem ser aplicadas e difundidas, buscando o

<sup>5</sup> Fonte: Eletrobrás - Resenha de Mercado, dezembro de 1997. Disponível na World Wide Web < URL: <http://w.w.w.eletrabras.gov.br/pecono.htm>>



desenvolvimento sustentável. Usuários podem ser educados de forma a utilizarem racionalmente todos os recursos disponíveis, separando o lixo reciclável, não desperdiçando água e nem a energia.

## **1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A metodologia apresentada foi desenvolvida durante a implementação do Projeto Conservusp em 1996, quando foram estimados os potenciais de conservação de energia elétrica da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - CUASO, maior campus da USP, localizado na cidade de São Paulo.

Inicialmente, são apresentados, no capítulo 2, noções sobre as tecnologias geralmente encontradas nos usos finais analisados: iluminação, ar condicionado e equipamentos de escritório. O objetivo dessa exposição é fornecer informações básicas para a realização de análises comparativas entre tecnologias diferentes de um mesmo uso final, permitindo a escolha daquela mais eficiente e eficaz perante as necessidades da instalação.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica em usos finais. A metodologia exposta é bastante abrangente, contemplando procedimentos para a aquisição de dados, métodos distintos para a determinação do potencial de conservação de cada uso final, definição de indicadores energéticos aplicados em análises comparativas e um procedimento estatístico para análises tarifárias. Vale observar que boa parte da metodologia apresentada não consta em nenhum dos trabalhos pesquisados, sendo considerada inédita. É o caso, por exemplo, das metodologias para análise de microcomputadores

peçoais e para análise da segmentação dos acionamentos do sistema de iluminação, desenvolvidas a partir de ensaios experimentais durante o Projeto Conservusp.

Como exemplo de aplicação prática, é apresentado, no capítulo 4, um estudo de caso que serve de matéria-prima para a consolidação da metodologia apresentada. Ele trata do diagnóstico energético da CUASO, onde a metodologia foi aplicada a uma amostra de 50% das unidades consumidoras do campus. Embora existam estudos anteriores na área de conservação de energia elétrica realizados na Universidade de São Paulo [7], [8], a metodologia aplicada, bem como o volume de dados levantados, permitem considerá-lo inédito. As informações levantadas, bem como os indicadores energéticos, as características de consumo, os potenciais de conservação e os demais resultados obtidos, formam um conjunto de dados consistente que pode ser utilizado em outros estudos, independentemente da área de concentração.

## **2 PRINCIPAIS USOS FINAIS DE ENERGIA ELÉTRICA EM INSTALAÇÕES DE ENSINO**

Este capítulo tem por objetivo apresentar noções sobre os usos finais geralmente presentes em instalações de ensino e similares: iluminação, ar condicionado e equipamentos de escritório.

A exposição das principais tecnologias de cada um desses usos finais fornece informações que permitem estimar quantitativamente e qualitativamente as vantagens e desvantagens do uso de cada uma delas no que diz respeito à economia de energia elétrica e de recursos financeiros, permitindo uma aplicação mais adequada da metodologia apresentada para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica da instalação.

### **2.1 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO**

No Brasil, aproximadamente 20% da energia elétrica consumida é destinada à iluminação, ultrapassando a casa dos 40% no setor de terciário [9]. Tais valores, aliados ao fato de que tecnologias de iluminação não eficientes ainda são largamente empregadas [10], apontam para a existência de um grande potencial de conservação de energia elétrica, não se restringindo apenas à economia proporcionada pela substituição de equipamentos antigos por novos mais eficientes, mas abrangendo, também, a redução da carga térmica em ambientes climatizados.

Embora a questão do uso racional e eficiente de energia tenha se tornado uma preocupação atual, muitos projetos ainda ignoram aspectos simples e de baixo custo

relacionados com a tecnologia de iluminação adotada. É muito mais caro substituir um sistema de iluminação já existente do que instalar um novo num edifício em construção. Nesse caso, é comum o erro de se escolher um sistema apenas considerando seu custo inicial, ao invés de se realizar uma análise econômica levando em conta, também, os custos relacionados com o consumo energia elétrica, a substituição e a manutenção de equipamentos e, talvez, o mais importante, o custo da perda de eficiência das pessoas que fazem uso desse sistema.

### 2.1.1 NÍVEL DE ILUMINAMENTO

O nível de iluminamento é um dos parâmetros mais importantes na especificação de um sistema de iluminação, correspondendo à iluminância<sup>6</sup> que deve ser medida na altura do campo de trabalho<sup>7</sup>. O nível de iluminamento ideal está diretamente relacionado com o tipo de tarefa visual e com a idade do usuário, como mostram a Tabela 2.1 e a Tabela 2.2, extraídas das normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) [11].

Segundo os procedimentos da ABNT, após a análise de cada uma das características apresentadas na Tabela 2.2, o projetista deve somar os respectivos pesos. Se o total for igual a -3 ou -2, a iluminância recomendada será a menor das três apresentadas na Tabela 2.1. Se o total for igual a -1, 0 ou 1, a iluminância recomendada será a de valor intermediário. Para um total igual a 2 ou 3 será recomendada a maior iluminância das três indicadas [11].

---

<sup>6</sup> Iluminância é a grandeza que relaciona o fluxo luminoso incidente num plano com a respectiva área desse plano. Sua unidade de medida é o lux (lx) e é igual a um lumem (lm) dividido por um metro quadrado (m<sup>2</sup>).

<sup>7</sup> Campo de trabalho é o local onde são desenvolvidas atividades que necessitam de níveis de iluminamento apropriados. Quando o campo de trabalho não for definido, deve-se adotar um plano de altura 0,75 metros paralelo ao piso.

Tabela 2.1: Iluminâncias recomendadas por classe de tarefas visuais.

CLASSE	ILUMINÂNCIA [lux]	ATIVIDADE
Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros.
	50 – 75 – 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 – 150 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo; depósitos.
	200 – 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto de maquinaria, auditórios.
Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios.
	1000 – 3000 – 5000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 – 5000	Tarefas exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5000 – 7500 - 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Tabela 2.2: Fatores determinantes da iluminância recomendada.

CARACTERÍSTICAS DA TAREFA E DO OBSERVADOR	PESO		
	-1	0	+1
Idade	Inferior a 40 anos	40 a 55 anos	Superior a 55 anos
Velocidade e precisão	Sem importância	Importante	Crítica
Reflectância <sup>8</sup> do fundo da tarefa	Superior a 70%	30% a 70%	Inferior a 30%

É importante observar que os valores recomendados do nível de iluminamento presentes em normas técnicas, manuais de fabricantes de equipamentos de iluminação e publicações especializadas variam muito entre si. Conseqüentemente, a especificação do nível de iluminamento acaba ficando sob inteira responsabilidade do projetista, que deve escolher um valor dentro da faixa recomendada. Essa arbitrariedade do projetista às vezes resulta em projetos mal dimensionados, onde o nível de iluminamento final não corresponde às reais necessidades do ambiente. Sistemas com nível de iluminamento

<sup>8</sup> Reflectância é relação entre luz refletida e a luz incidente da superfície.

fora da faixa recomendada podem reduzir drasticamente o desempenho do usuário e, em alguns casos, comprometer sua saúde. Além disso, no caso de superdimensionamento, ainda existe um acréscimo desnecessário do consumo de energia elétrica, seja por excesso de iluminação, seja por aumento do ciclo de trabalho do sistema de ar condicionado.

### **2.1.2 COMPONENTES DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO**

O projeto de um sistemas de iluminação deve considerar aspectos tanto quantitativos como qualitativos. A escolha de uma tecnologia de iluminação compatível com o ambiente e com o nível de iluminamento recomendado é fundamental. A análise comparativa entre as diversas tecnologias existentes no mercado deve ser balizada em dois critérios: satisfação do usuário e atratividade econômica.

A satisfação do usuário é estimada através da adequação do sistema de iluminação às tarefas desenvolvidas no ambiente. Nesse caso, a escolha da tecnologia empregada deve considerar, além do nível de iluminamento, outros parâmetros: índice de reprodução de cores (IRC), temperatura de cor correlata (TCC), ofuscamento, uniformidade, efeito estroboscópico, ruído e padrões estéticos.

O índice de reprodução de cores exprime a capacidade da fonte luminosa em fazer um objeto iluminado exibir suas cores verdadeiras. O IRC varia de 0 a 100, onde, por definição, as fontes incandescentes apresentam IRC igual a 100. Quanto maior o IRC, menor a distorção cromática. Um IRC maior que 75 é considerado excelente, entre 65 e 75 bom, entre 55 e 65 regular e menor que 55 pobre. É importante observar que o IRC não indica qual radiação do espectro visível está distorcida, correspondendo apenas

a uma média dos valores de todas as radiações. Portanto, sistemas de iluminação dotados de fontes luminosas de mesmo IRC podem apresentar, na prática, resultados bastante diferentes.

A temperatura de cor correlata indica a cor aparente da luz emitida. O TCC corresponde à temperatura na escala Kelvin (K) de um corpo negro que irradia luz de espectro semelhante. Conforme o TCC aumenta, a luz emitida perde coloração vermelha e ganha coloração azul. O Sol do meio-dia apresenta TCC próximo de 5.000 K.

O ofuscamento e a uniformidade são dois pontos críticos num sistema de iluminação, uma vez que eles podem afetar de forma significativa o bem-estar e a produtividade dos usuários. O ofuscamento é a sensação de desconforto visual causada pelo excesso de iluminação. Ele pode ser causado, geralmente, por exposição direta de fontes luminosas, por excesso de contraste<sup>9</sup> e por reflexos (por exemplo, luz refletida nos monitores de computadores). A uniformidade está relacionada com a variação do nível de iluminamento no ambiente. Tarefas onde o usuário necessita visualizar áreas bem e mal iluminadas alternadamente podem se tornar cansativas. Além disso, pontos com níveis de iluminamento muito superiores em relação ao resto do ambiente (luz proveniente de “spots”, por exemplo) podem distrair o usuário, diminuindo a sua capacidade de concentração no trabalho.

O efeito estroboscópico é causado pelas lâmpadas de descargas que operam com tensão de frequência igual à da rede elétrica, piscando, no caso do Brasil, em 120 Hz. É o caso das lâmpadas fluorescentes que utilizam reatores eletromagnéticos, apresentando, também, o problema do ruído sonoro de 120 Hz, causado pela vibração das lâminas do núcleo e da própria carcaça do reator.

---

<sup>9</sup> O contraste corresponde à relação entre a iluminação de um objeto e a iluminação do fundo da cena.

Por outro lado, a análise de atratividade econômica avalia qual das alternativas econômicas é a mais vantajosa, através de figuras de mérito como, por exemplo, tempo de retorno do investimento e custo da energia conservada. Nessa análise, é importante considerar o consumo, o rendimento e a vida média<sup>10</sup> dos equipamentos bem como os respectivos custos de aquisição, instalação e manutenção.

### 2.1.2.1 LÂMPADAS

A lâmpada é um dos componentes fundamentais de um sistema de iluminação, correspondendo ao elemento irradiador de luz. Conforme seu princípio de funcionamento, a lâmpada pode ser classificada como incandescente ou de descarga. Lâmpadas incandescentes necessitam de um condutor sólido (filamento) para irradiar luz enquanto que lâmpadas de descarga emitem luz a partir da passagem de corrente elétrica por um gás. A Figura 2.1 exhibe a classificação de vários tipos de lâmpadas disponíveis atualmente no mercado.

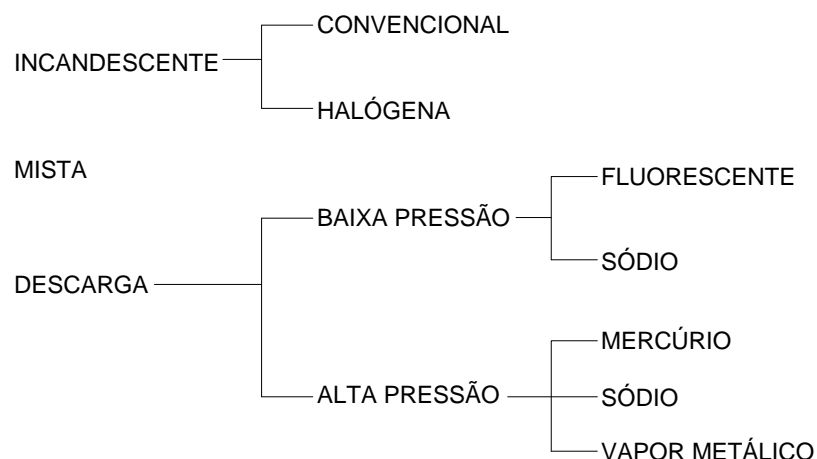


Figura 2.1: Classificação dos tipos de lâmpadas comerciais.

<sup>10</sup> A vida média corresponde ao tempo no qual 50% do lote de equipamentos ensaiados (de acordo com normas pertinentes) permanece em operação normal.



De forma bastante genérica, lâmpadas incandescentes são adequadas para aplicações pontuais, decorativas ou aplicações onde a iluminação é intermitente. Lâmpadas de descarga de baixa pressão são apropriadas para sistemas de iluminação em ambientes climatizados (lâmpadas fluorescentes) e iluminação pública (lâmpadas de sódio de baixa pressão). Lâmpadas de alta pressão são adequadas para lugares onde seja desejada uma fonte de luz intensa, econômica e que não opere de forma intermitente. A Tabela 2.3 apresenta um resumo das características de algumas lâmpadas comerciais.

Quando comparadas com as demais lâmpadas comerciais, as lâmpadas incandescentes convencionais (Figura 2.2.a) são as que apresentam o menor rendimento luminoso (entre 12 e 17 lm/W). Além disso, são as menos duráveis, com vida média de 1.000 horas. Como vantagens podem ser consideradas a excelente reprodução de cores, o baixo custo (são as mais baratas do mercado) e a fácil manutenção, dispensando qualquer dispositivo auxiliar (reator e ignitor) para operar.

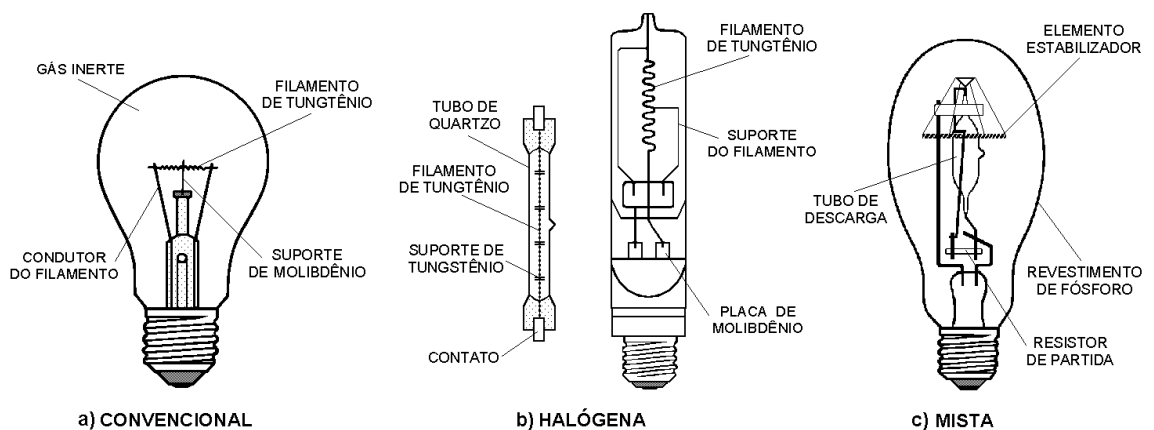


Figura 2.2: Lâmpadas incandescentes e mista: aspectos construtivos.

Uma lâmpada incandescente comum de 100 W converte apenas 5% da potência de entrada em luz visível. Os demais 95% são convertidos em calor (83% em

Tabela 2.3: Características de algumas lâmpadas encontradas no mercado.

TIPO DE LÂMPADA	POTÊNCIA [W]		TCC [K]	IRC	VIDA MÉDIA [horas]	FLUXO LUMINOSO [lm]	RENDIMENTO [lm/W]	
	LÂMPADA	REATOR <sup>(1)</sup>					LÂMPADA	GLOBAL
Incandescente Convencional (OSRAM)	60	n	3.000	100	1.000	730	12	12
	100	n	3.000	100	1.000	1.380	14	14
	150	n	3.000	100	1.000	2.220	15	15
	200	n	3.000	100	1.000	3.150	16	16
	300	n	3.000	100	1.000	5.000	17	17
Halógena (GE)	500	n	3.000	100	1.000	8.400	17	17
	300	n	2.900	100	2.000	5.000	17	17
	500	n	2.950	100	2.000	9.500	19	19
	1.000	n	3.050	100	2.000	21.000	21	21
	1.500	n	3.050	100	2.000	33.000	22	22
Mista (SYLVANIA)	2.000	n	3.050	100	2.000	44.000	22	22
	160	n	3.500	60	8.000	2.900	18	18
	250	n	3.500	60	8.000	5.200	21	21
Fluorescente convencional (OSRAM)	500	n	3.500	60	8.000	12.500	25	25
	20	12	5.250	72	7.500	1.060	53	33
	40	11	5.250	72	7.500	2.700	68	53
Fluorescente eficiente (OSRAM)	110	25	5.250	72	7.500	8.300	75	62
	16	15	4.000	85	7.500	1.200	75	39
	18	10	4.000	85	7.500	1.350	75	48
	32	15	4.000	85	7.500	2.700	84	57
	36	11	4.000	85	7.500	3.350	93	71
Fluorescente compacta (OSRAM)	58	13	4.000	85	7.500	5.200	90	73
	11	i	4.000	85	10.000	600	55	55
	15	i	4.000	85	10.000	900	60	60
	18	5	4.000	85	10.000	1.200	67	52
	23	i	4.000	85	10.000	1.500	65	65
	26	7	4.000	85	10.000	1.800	69	55
Vapor de mercúrio (SYLVANIA)	36	11	4.000	85	10.000	2.800	78	60
	125	15 <sup>(2)</sup>	4.000	45	12.000	5.800	46	41
	250	24 <sup>(2)</sup>	4.000	45	12.000	12.100	48	44
Vapor de sódio alta pressão (PHILIPS)	400	26 <sup>(2)</sup>	4.000	45	15.000	21.700	54	51
	250	21	2.000	23	16.000	27.500	110	102
	400	43	2.000	23	16.000	48.000	120	108
Multivapor metálico (OSRAM)	1.000	70	2.000	23	16.000	125.000	125	117
	70	15	3.000	80	10.000	5.000	71	59
	70	15	4.300	85	10.000	5.500	79	65
	150	20	3.000	80	10.000	11.000	73	65
	150	20	4.300	85	10.000	11.250	75	66
	250	25	3.000	80	10.000	20.000	80	73
	250	25	4.300	85	10.000	20.000	80	73
	400	40	4.300	85	10.000	38.000	95	86

Fonte: catálogos técnicos da GE, OSRAM, PHILIPS e SYLVANIA.

n: não necessita reator.

i: reator eletrônico incorporado.

<sup>(1)</sup> reator eletromagnético convencional.

<sup>(2)</sup> reator PHILIPS.

radiação infravermelha e 12% em perdas pelo bulbo)<sup>11</sup>. Tal fato representa uma grande desvantagem da tecnologia incandescente como opção para sistemas de iluminação em ambientes servidos por sistemas de ar condicionado, uma vez que uma lâmpada de 100 W corresponde a 85% da carga térmica de uma pessoa normal em repouso [12].

O uso de lâmpadas incandescente é mais apropriado para locais de pouco uso, iluminação decorativa (lustres e abajures, por exemplo) e ambientes onde uma iluminação “quente”<sup>12</sup> seja desejável.

As lâmpadas incandescentes halógenas (Figura 2.2.b) apresentam algumas vantagens em relação às lâmpadas incandescentes convencionais. A presença de radicais de compostos halógenos (iodeto e brometo), em contato com o filamento, evitam que o tungstênio evaporado se instale nas paredes internas do bulbo da lâmpada, mantendo um rendimento luminoso de 17 a 22 lm/W durante quase toda a sua vida média (2.000 horas, o dobro que a de uma incandescente convencional).

A lâmpada halógena é indicada para aplicações que necessitem de luz intensa e bem direcionada. A alta intensidade luminosa associada à excelente reprodução de cores tornam as lâmpadas halógenas uma ótima opção para a iluminação de vitrines em lojas, existindo modelos comerciais com lente que filtra o espectro ultravioleta, responsável pelo desbotamento de plásticos e tecidos de mercadorias expostas.

Nas lâmpadas halógenas dicróicas, um refletor especial desvia parte da radiação infravermelha emitida pelo filamento para trás, refletindo apenas a radiação visível para frente. Com essa propriedade, as dicróicas são ideais para a exposição de mercadorias sensíveis ao calor, existindo novos modelos de 35 e 50 W que substituem diretamente as lâmpadas dicróicas normais de 50 e 65 W.

---

<sup>11</sup> Fonte: Apostila de PEA 704, prof. Walter Kaiser.

<sup>12</sup> Quente se refere à baixa temperatura de cor correlata da lâmpada incandescente (3.000 K).

A lâmpada mista (Figura 2.2.c) possui uma tecnologia híbrida das tecnologias incandescentes e de descarga. Diferente das lâmpadas incandescente, a lâmpada mista utiliza o filamento de tungstênio para limitar a corrente de descarga no gás. Com um IRC 33% superior ao das lâmpadas de mercúrio e uma durabilidade seis vezes maior que a de uma incandescente convencional, a lâmpada mista representa uma alternativa de substituição direta de lâmpadas incandescentes já existentes. Por outro lado, suas principais desvantagens são o baixo rendimento luminoso (semelhante ao das halógenas) e os tempos de reacendimento e de estabilização, cerca de 5 minutos para ambos.

O uso de lâmpadas mistas é recomendado para casos de substituição direta de lâmpadas incandescentes onde não exista a possibilidade do uso de outras tecnologias mais eficientes.

A tecnologia fluorescente é a mais utilizadas nos setores comercial e de serviços. Lâmpadas fluorescentes convencionais (Figura 2.3.a) apresentam rendimentos entre 33 e 62 lm/W (para reatores eletromagnéticos convencionais), com bom IRC e tonalidades variando entre 2.700 e 6.100 K.

Uma lâmpadas fluorescentes de 40 W convencional converte 25% da potência de entrada em luz visível, 35% em radiação infravermelha e 40% em calor dissipado por condução e convecção<sup>13</sup>. A energia térmica dissipada por um sistema de iluminação fluorescente é bem menor que a dissipada por um sistema de iluminação incandescente equivalente, fato que favorece o uso da tecnologia fluorescente (lâmpada “fria”) em ambientes climatizados.

---

<sup>13</sup> Fonte: Apostila de PEA 704, prof. Walter Kaiser.

Na tecnologia fluorescente convencional, o aumento do IRC implica numa diminuição do fluxo luminoso emitido, uma desvantagem em aplicações onde a reprodução fiel de cores é importante. Tal fato não ocorre na nova geração de lâmpadas fluorescentes eficientes com revestimentos a base de trifósforos (terras raras), que apresenta elevados IRC e fluxo luminoso para as mesmas temperaturas de cor que as das lâmpadas fluorescentes convencionais. O rendimento das lâmpadas eficientes varia entre 39 e 73 lm/W (reatores convencionais), atingindo os 93 lm/W (reatores eletrônicos), com excelente IRC (85) e mesma vida média que as fluorescentes convencionais.

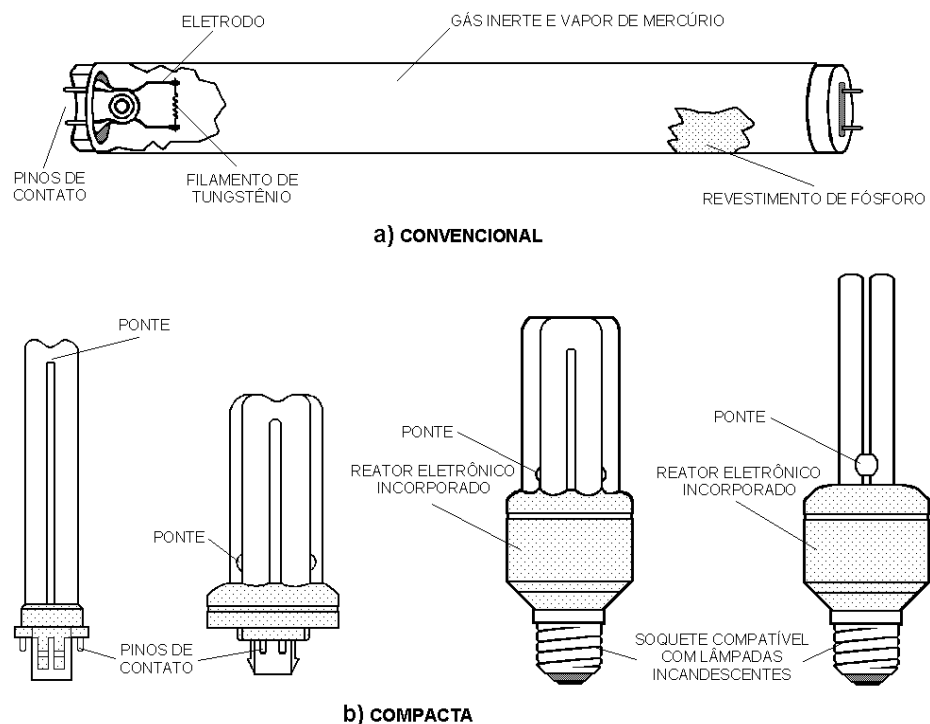


Figura 2.3: Lâmpadas fluorescentes: aspectos construtivos.

Avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de lâmpadas fluorescentes ainda mais eficientes, as chamadas lâmpadas T5 (5/8" de diâmetro). O rendimento luminoso de uma lâmpada T5 de 35 W (95 lm/W) é 7% maior que o de uma T8 de 36 W equivalente (89 lm/W), ambas alimentadas por reatores eletrônicos, uma

vez que as T5 não admitem o uso de reatores eletromagnéticos. Além do aspecto econômico, as T5 apresentam uma vantagem ecológica devida à redução da quantidade de mercúrio adicionada a cada lâmpada (3 mg de Hg), 80% menor em relação às lâmpadas T8 (15 mg de Hg) [13].

A partir de meados da década de 80, lâmpadas fluorescentes compactas (Figura 2.3.b) começaram a ser fabricadas com o objetivo de substituírem lâmpadas incandescentes convencionais. O desenvolvimento dos trifósforos permitiu a redução do diâmetro do tubo da lâmpada, proporcionando uma elevada eficiência luminosa, variando entre 52 e 60 lm/W (de 3 a 5 vezes maior que a eficiência da tecnologia incandescente), com elevado IRC (85) e vida média dez vezes superior à das lâmpadas incandescentes. Por possuírem reator eletrônico incorporado e soquete compatível, as lâmpadas fluorescente compactas são adequadas para a substituição direta das lâmpadas incandescentes mesmo em ambientes onde cores “quentes” sejam desejadas (existem modelos com TCC de 2.700 K).

As lâmpadas de mercúrio de alta pressão (Figura 2.4) apresentam eficiência luminosa ligeiramente inferior à das lâmpadas fluorescentes convencionais, com uma tonalidade de cor verde-azulada. Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão convertem 16% da potência de entrada em radiação visível, 16% em radiação infravermelha, 4% em radiação ultravioleta e 64% em calor dissipado pelo bulbo<sup>14</sup>.

Devido ao seu pobre IRC (45) e aos tempos de reacendimento e estabilização elevados (5 e 4 minutos, respectivamente), as lâmpadas de mercúrio de alta pressão são geralmente empregadas em estacionamentos, iluminação pública, praças, quadras poliesportivas e aplicações de uso não intermitente do sistema de iluminação.

---

<sup>14</sup> Fonte: Apostila de PEA 704, prof. Walter Kaiser.

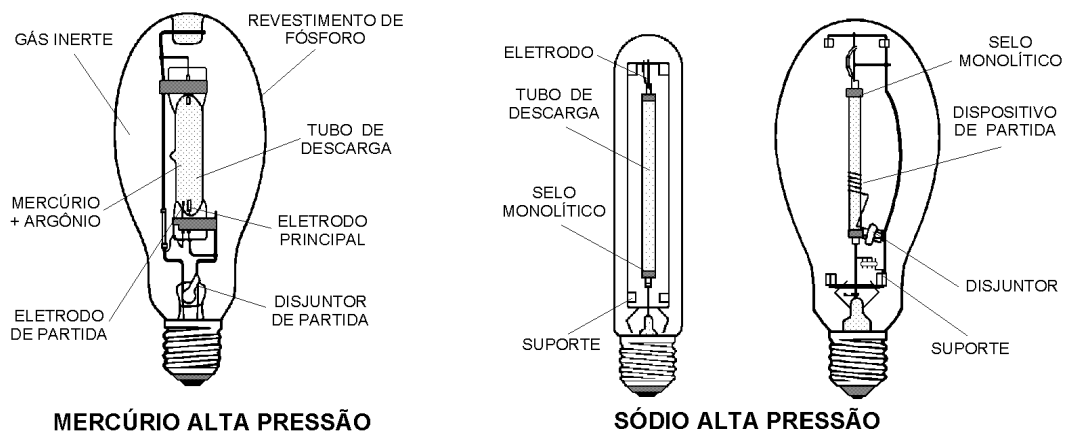


Figura 2.4: Lâmpadas de descarga de alta pressão: aspectos construtivos.

As lâmpadas de sódio de alta pressão (Figura 2.4) apresentam elevada eficiência luminosa (entre 102 e 117 lm/W), grande durabilidade (vida média de 16.000 horas) e IRC igual a 23, existindo modelos com IRC elevado (70). Uma lâmpada de sódio de alta pressão de 400 W transforma 34% da potência de entrada em luz visível, 10% em radiação infravermelha e 56% em calor dissipado pelo bulbo<sup>15</sup>.

As lâmpadas de sódio de alta pressão são adequadas para aplicações que não exijam fidelidade cromática, como, por exemplo, iluminação pública, monumentos, túneis e viadutos, aeroportos, certos tipos de indústrias, estacionamentos e outras áreas exteriores.

Existem lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão que substituem diretamente as lâmpadas de mercúrio de 250 W e 400 W sem necessidade de troca do reator. Essa substituição possibilita uma economia de energia elétrica da ordem de 15% e 12%, com aumento do fluxo luminoso emitido de 50 e 127%, respectivamente .

As lâmpadas de multivapores metálicos (Figura 2.5) possuem rendimento luminoso similar ao das lâmpadas fluorescentes eficientes, boa durabilidade (10.000

<sup>15</sup> Fonte: Apostila de PEA 704, prof. Walter Kaiser.

horas) e excelente IRC (entre 80 e 85). Aliada a essas características, o elevado fluxo luminoso emitido por lâmpada tornam as lâmpadas de multivapor metálico ideais para sistemas de iluminação de estádios, quadras poli-esportivas, "shopping centers" e aplicações onde se deseje a correta reprodução de cores.

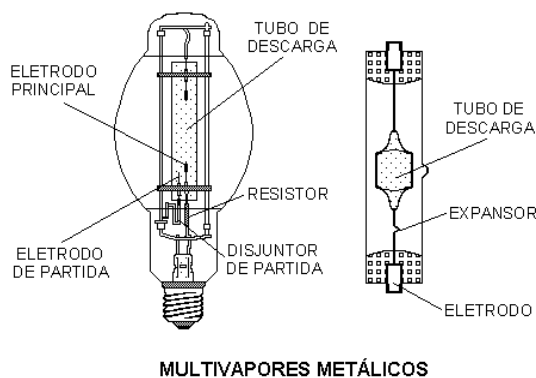


Figura 2.5: Lâmpadas de multivapores metálicos: aspectos construtivos.

Entre todas os tipos de lâmpadas atualmente encontradas no mercado, a lâmpada de sódio de baixa pressão é a mais eficiente. Uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão de 180 W converte 35% da potência de entrada em radiação visível, 3% em radiação infravermelha e 62% em calor dissipado pelo bulbo<sup>16</sup>. Sua grande deficiência está em emitir luz monocromática na cor amarela, fazendo as demais cores parecerem tons de cinza. Tal fato limita o uso dessa tecnologia a aplicações onde a reprodução fiel de cores não seja fundamental, como, por exemplo, iluminação de ruas, estradas, pontes, viadutos, túneis e monumentos.

Avanços recentes em microeletrônica permitiram o desenvolvimento de LEDs (“Light-Emitting Diode” – diodo emissor de luz) de alta luminosidade. O fato de um LED possuir pequenas dimensões e emitir um fluxo luminoso reduzido torna o seu uso restrito a sinalizações de trânsito e de saídas de emergência.

<sup>16</sup> Fonte: Apostila de PEA 704, prof. Walter Kaiser.



Com elevada vida média (maior que 20 anos) e rendimento luminoso de 24 lm/W (superior aos 10 lm/W da tecnologia incandescente<sup>17</sup>), discos de LEDs vermelhos de 9 W estão sendo testados nos EUA e na Suécia para substituírem as lâmpada incandescente convencionais de 150 W usadas em semáforos de trânsito, representando uma economia de 85% de energia e um tempo de retorno de investimento estimado em 2 anos. Testes parecidos estão sendo realizados na Europa, onde são apontadas outras vantagens do uso de LEDs, como, por exemplo, o menor custo de manutenção e a operação contínua dos semáforos mesmo quando uma quantidade razoável de LEDs estiver danificada, ao contrário do que ocorreria com uso de lâmpadas incandescentes. Nesse caso, a redução de acidentes de trânsito também pode ser considerada na análise econômica para o uso de LEDs [14] [15].

Assim como os sinais de trânsito, a sinalização de emergência também apresenta um considerável potencial de conservação de energia devido ao seu elevado ciclo de trabalho (24 horas por dia em alguns casos). A substituição de sinais de saída de emergência convencionais (de 20 a 40 W) por sinais com LEDs (5 W) proporciona uma economia de energia de 75 a 88% [16].

### **2.1.2.2 REATORES**

Diferente da lâmpada incandescente, a lâmpada de descarga necessita de dois dispositivos auxiliares para operar de forma adequada: o reator e o ignitor. Basicamente, o reator limita a corrente elétrica que circula pela lâmpada e eleva, quando necessário, a tensão de alimentação para níveis adequados à operação do conjunto. O ignitor atua

---

<sup>17</sup> O rendimento luminoso da tecnologia incandescente em aplicações de sinalização é inferior a 10 lm/W devido ao uso de filtros coloridos que bloqueiam as radiações com determinados comprimentos de onda.

apenas no momento de ignição da lâmpada, fornecendo uma tensão impulsiva que provoca a ionização inicial do gás necessária ao acendimento da lâmpada.

Em algumas lâmpadas (fluorescentes, por exemplo), o reator também fornece o impulso de tensão para a ignição da lâmpada, dispensando, dessa forma, o uso de um ignitor separado.

Os principais parâmetros utilizados para avaliar a performance de reatores são: fator de potência, perdas e fator de reator (BF – “Ballast Factor”)<sup>18</sup>.

Os reatores eletromagnéticos podem ser classificados conforme seu princípio de ignição da lâmpada: partida com preaquecimento (com “starter”<sup>19</sup>) e partida rápida. Reatores de partida com preaquecimento precisam de um botão de pressão (interruptor de campainha) ou de um “starter” para dar a partida na lâmpada. Os reatores de partida rápida fornecem uma baixa tensão aos filamentos da lâmpada mantendo-os incandescentes durante todo o tempo de operação da lâmpada.

Reatores eletromagnéticos mais antigos possuíam baixo fator de potência (cerca de 0,60 indutivo) e considerável perda de energia, dissipada no núcleo e nos enrolamentos. Através do uso de materiais com melhores características ferromagnéticas no núcleo e de cobre nos enrolamentos no lugar do alumínio, foi possível aumentar cerca de 10% o rendimento desses reatores, denominados reatores eletromagnéticos eficientes. Existem, ainda, reatores híbridos, compostos por um reator de partida rápida e um circuito eletrônico que corta a alimentação dos filamentos após a ignição da lâmpada, proporcionando uma redução de 2 W na demanda do conjunto.

---

<sup>18</sup> “Ballast Factor” (BF) corresponde à relação entre os fluxos luminosos emitidos por uma lâmpada alimentada pelo reator ensaiado e por um reator padrão de referência. Reatores de uso geral costumam possuir BF inferior a 1, enquanto que reatores especiais possuem BF maior que a unidade.

<sup>19</sup> “Starter” é um dispositivo que funciona como um interruptor automático, fechando o circuito de preaquecimento dos filamentos nos eletrodos da lâmpada fluorescente. Assim que o gás é ionizado e a lâmpada dá a partida, o “starter” abre, deixando de alimentar os filamentos da lâmpada.

Entre todos os reatores disponíveis atualmente no mercado, os reatores eletrônicos são os mais eficientes, dissipando cerca de 25% menos energia que os equivalentes eletromagnéticos [17]. Através de avanços na tecnologia de semicondutores, um reator eletrônico dispensa o uso de transformador ou indutor para limitar a corrente de descarga na lâmpada, reduzindo bastante as suas dimensões e o seu peso. Seu funcionamento está baseado num circuito eletrônico operando como chave, abrindo e fechando a alimentação da lâmpada com frequência entre 25 e 40 kHz. Para reatores eletrônicos de baixa qualidade (sem filtros), a distorção harmônica total (DHT) pode chegar a 25%, enquanto que reatores magnéticos convencionais e híbridos possuem DHT entre 12 e 20%. No entanto, um bom reator eletrônico, dotado de filtros, pode apresentar DHT inferior a 5% e fator de potência do conjunto lâmpada/reator até 0,95 capacitivo.

Com “Ballast Factor” geralmente maior que 0,85, os reatores eletrônicos proporcionam uma partida instantânea e uma redução no consumo de energia de até 30% [16]. Isso ocorre porque, para um mesmo fluxo luminoso emitido, a operação de uma lâmpada fluorescente em alta frequência consome menos energia em relação à operação em 60 Hz. Além da perda de energia e temperatura de operação reduzidas (até 30 °C inferior à dos reatores eletromagnéticos), a operação em alta frequência aumenta a vida útil da lâmpada, reduz em 75% o ruído e elimina o “flicker”<sup>20</sup> e o problema de cintilação em 120 Hz típicos em reatores eletromagnéticos.

Alguns reatores eletrônicos modernos são capazes de controlar o fluxo luminoso emitido pela lâmpada de 0 a 100% de seu fluxo total, os chamados reatores controláveis (ou “dimerizáveis”<sup>21</sup>). A aplicação de reatores “dimerizáveis” é bastante

---

<sup>20</sup> “Flicker” corresponde à oscilação perceptível da luz com frequência inferior a 60Hz.

<sup>21</sup> O termo técnico “dimerizável” é originário da palavra inglesa “dimmmable” – passível de redução (da luz).

recomendada para sistemas com iluminação natural e artificial integradas, onde é possível uma considerável economia de energia elétrica.

### 2.1.2.3 LUMINÁRIAS

A principal função de uma luminária é distribuir de maneira adequada a luz emitida pelas lâmpadas sobre o campo de trabalho.

Um dos parâmetros mais importantes de uma luminária é sua eficiência, que corresponde à porcentagem de luz irradiada pela lâmpada que efetivamente é emitida pela luminária.

Geralmente, quanto maior a eficiência da luminária, menor a probabilidade de conforto visual (PCV)<sup>22</sup> e vice-versa, uma vez que o excesso de fluxo luminoso emitido pode causar o ofuscamento.

Existem diversos componentes numa luminárias que são responsáveis pela distribuição adequada da luz no campo de trabalho: refletores, louvres<sup>23</sup>, difusores, lentes e lamelas. Esses componentes podem influenciar drasticamente o desempenho da luminária. Por exemplo, uma lente de acrílico translúcido pode absorver até 65% da radiação emitida pela lâmpada.

A escolha da luminária adequada para um certo ambiente deve ser baseada nos fatores: atividade desenvolvida, tipo de iluminação desejada (direta, semi-direta, indireta, direta-indireta, etc.), curva de distribuição luminosa da luminária e fator de utilização<sup>24</sup> [9].

---

<sup>22</sup> A probabilidade de conforto visual (PCV) corresponde à porcentagem de pessoas que se sentem confortáveis em relação a um sistema de iluminação.

<sup>23</sup> Louvre é o componente da luminária formado por materiais translúcidos e opacos dispostos geometricamente de forma a evitar a visão direta das lâmpadas sob um determinado ângulo.

<sup>24</sup> O fator de utilização corresponde a um dos coeficientes utilizados em cálculos luminotécnicos. Ele considera as dimensões do ambiente e os fatores de reflexão das paredes, do piso e do teto.

Avanços tecnológicos permitiram o desenvolvimento de luminárias eficientes dotadas de refletores espelhados (alumínio polido), Figura 2.6.

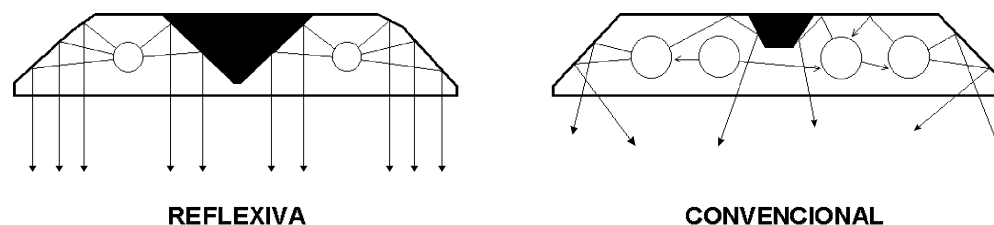


Figura 2.6: Luminárias reflexivas e convencionais.

Conforme a figura, a superfície espelhada das luminárias reflexivas reduz as perdas por reflexão, aumentando a eficiência do conjunto. A ausência da lâmpada vizinha evita que a iluminação emitida por uma lâmpada seja absorvida pela outra, reduzindo, também, as perdas. Nesse aspecto, é importante enfatizar que o uso de lâmpadas fluorescentes T5 (diâmetro 5/8'') no lugar de lâmpadas T8 (diâmetro 8/8'') aumenta a eficiência do conjunto lâmpada/luminária em até 15% devida à sua temperatura de operação ideal mais elevada (35°C) e ao menor diâmetro da lâmpada, que reduz os obstáculos à luz emitida [13].

A substituição de uma luminária convencional de 4 lâmpadas por uma luminária reflexiva de 2 lâmpadas reduz o fluxo luminoso emitido entre 25 e 40%, proporcionando uma diminuição do ofuscamento e um aumento entre 20 e 50% do rendimento da luminária [16].

Outra técnica para melhorar o desempenho do sistema de iluminação é através da reforma das luminárias antigas. Existe, atualmente, uma fita adesiva prateada que melhora a capacidade de reflexão da luminária, aumentando o seu rendimento.

#### 2.1.2.4 DISPOSITIVOS DE CONTROLE

A substituição de uma tecnologia de iluminação antiga por uma mais moderna tem como principal objetivo aumentar a eficiência do sistema de iluminação, ou seja, diminuir a sua potência instalada mantendo ou aumentando qualitativamente o seu desempenho, proporcionando uma redução do consumo de energia elétrica.

Uma outra maneira de reduzir o consumo de energia do sistema de iluminação é promover o seu uso racional, minimizando os desperdícios provocados pela despreocupação do usuário em relação às idéias de conservação e preservação dos recursos energéticos. Nesse caso, o uso de detetores de presença e de dispositivos de controle podem proporcionar grandes economias de energia, uma vez que eles limitam o acionamento do sistema de iluminação aos ambientes que estiverem ocupados.

O detetor de presença é um dispositivo eletrônico que detecta a movimentação de usuários em ambientes monitorados. Após determinado tempo, geralmente programável, sem detectar a movimentação de usuários, o sensor de presença desliga as luminárias do ambiente, simulando o hábito de uso de um usuário consciente da necessidade do uso racional e eficiente de energia.

Em relação ao mecanismo de detecção, existem dois tipos básicos de detetores de presença: sensíveis à radiação infravermelha e sensíveis ao ultra-som.

Detetores sensíveis ao infravermelho detectam a movimentação entre franjas de visão verticais e horizontais geradas por um lente facetada colocada na frente do semiconductor sensível à radiação infravermelha (Figura 2.7). Quando algum usuário move-se entre duas franjas adjacentes, o sensor gera um sinal elétrico que é enviado para um circuito de controle que acende ou mantém acesas as luminárias controladas.

Como as franjas divergem de uma lente de pequenas dimensões, suas espessuras aumentam proporcionalmente com o afastamento do detetor, diminuindo a sua sensibilidade em relação aos movimentos do usuário. Geralmente, detetores desse tipo detectam o movimento da mão de um usuário até 3 metros de distância, atingindo o alcance de 12 metros onde o sensor detecta apenas o movimento do corpo inteiro.

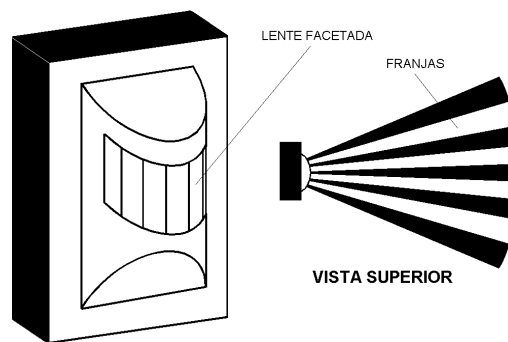


Figura 2.7: Detetor de presença sensível à radiação infravermelha.

Além da distância, a obstrução do campo visual também limita a operação dos detetores sensíveis ao infravermelho. Nesse caso, o uso de detetores sensíveis ao ultrassom ou de detetores híbridos dessas duas tecnologias pode ser mais eficaz.

Um detetor sensível ao ultrassom emite e monitora ondas sonoras com frequência entre 25 e 40 kHz. As ondas emitidas são refletidas nos usuários, objetos, mobília, paredes, teto e piso do ambiente, sendo monitoradas no detetor. Quando há alguma movimentação dentro do ambiente, as ondas refletidas sofrem alterações que são detectadas pelo dispositivo, acendendo ou mantendo acesas as luminárias controladas.

A Tabela 2.4 fornece valores típicos do potencial de conservação de energia elétrica proporcionado pelo uso de detetores de presença [16].

É importante observar que a performance desse tipo de controle é bastante influenciada pela frequência de usuários nos ambientes monitorados. Em corredores e

áreas de passagem muito movimentados, por exemplo, o acionamento das luminárias seria bastante frequente, reduzindo de forma significativa o tempo cujo sistema de iluminação permaneceria desativado. Além disso, quanto maior a frequência de acionamento da lâmpada, principalmente da tecnologia fluorescente, menor a sua vida útil, podendo tornar o uso de detetores de presença inviável economicamente.

Tabela 2.4: Detetores de presença: potenciais de conservação.

<b>APLICAÇÃO</b>	<b>POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [%]</b>
Escritórios	20 - 50
Banheiros	30 - 75
Corredores	30 - 40
Áreas de estoque	45 - 65
Salas de reuniões	45 - 65
Sala de conferências	45 - 65
Depósitos	50 - 75

Fonte: referência [16].

Uma outra forma de promover o uso eficiente do sistema de iluminação é através de sistemas de gerenciamento programáveis - "scheduling controls". Atualmente existem diversas topologias desse tipo de sistema, todas com o objetivo de minimizar o consumo de energia elétrica ou deslocar, quando possível, parte da demanda para o horário fora de ponta, através da programação horária do acionamento do sistema de iluminação (Figura 2.8).

O uso de um "scheduling control" permite desligar o sistema de iluminação durante períodos de pouca atividade, como durante o almoço, por exemplo. Em sistemas mais sofisticados, a intervenção pode ser programada para ser parcial ou integral, seguindo um cronograma distinto para cada dia da semana.

O sistema de gerenciamento pode interagir com os usuários de forma que a iluminação de ambientes ocupados não seja desativada mesmo após o término do



período de operação especificado na programação do sistema. A monitoração da presença de usuários pode ser realizada através de detetores de presença ou, em sistemas mais simples, através de acionamentos manuais. Por exemplo, se o período de trabalho num edifício termina às 18:00 horas, o sistema de gerenciamento pode ser programado para às 18:10 horas avisar os usuários de que as luzes serão apagadas dentro de cinco minutos. Esse aviso pode ser do tipo três piscadas na iluminação. Após o aviso, os usuários que desejarem permanecer mais tempo na sala deverão acionar o interruptor do sistema de iluminação, fazendo com que o sistema de gerenciamento mantenha a sala iluminada por mais um certo tempo também programável. Cinco minutos antes de se esgotar esse tempo, o sistema novamente avisará os usuários restantes, reiniciando o ciclo até que a sala esteja desocupada.

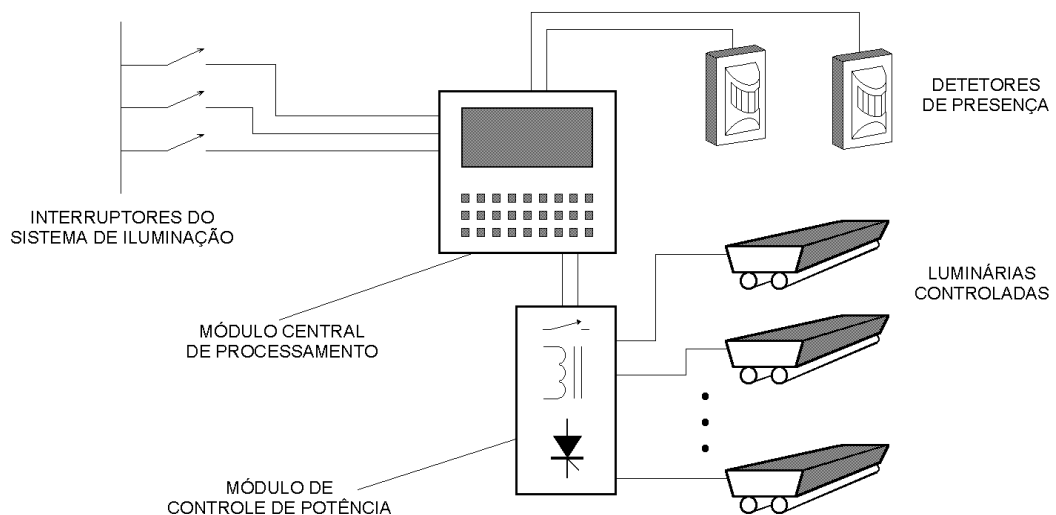


Figura 2.8: Exemplo de um "scheduling control".

Além dos sistemas de gerenciamento programáveis e dos detetores de presença, existem ainda os sistemas detetores de luminosidade natural ("daylight switching systems"), utilizados para promover a integração entre a luz artificial e a luz do natural.

Um sistema desse tipo monitora a luminosidade natural do ambiente através de uma fotocélula que fornece um sinal elétrico em função da iluminância medida. Em sistemas mais simples, do tipo "on/off", o sinal fornecido pela fotocélula é comparado com um sinal de referência ("set-point") ajustável, que se for maior significa que a luz natural é suficiente para iluminar o ambiente, fazendo com que o dispositivo desative ou mantenha desativada a iluminação artificial. Quando a iluminação medida for inferior ao valor ajustado, o dispositivo acionará o sistema de iluminação. Um exemplo prático do uso desse sistema é a iluminação pública, onde um único detetor de luminosidade (relé fotoelétrico) controla o acionamento das luminárias de vários postes de iluminação.

A versão mais moderna e eficiente de um sistema de monitoração de iluminação natural permite um controle analógico e preciso do sistema de iluminação. Através de lâmpadas fluorescentes e de reatores eletrônicos "dimerizáveis", é possível integrar as parcelas de iluminação natural e artificial de forma a otimizar a eficiência do sistema. Quanto maior a parcela de luz natural incidente no ambiente, menor o consumo de energia elétrica em iluminação artificial.

O uso desse sistema é bastante recomendado para áreas próximas a janelas ou ambientes onde seja possível o aproveitamento de luz natural. Ele também pode ser utilizado com grande sucesso para compensar a depreciação luminosa das luminárias devida ao depósito de pó e ao envelhecimento das lâmpadas que ocorrem no período entre sessões de manutenção.

A depreciação luminosa de uma luminária devido ao envelhecimento das lâmpadas pode variar entre 5 e 30%. Em relação ao depósito de pó, a depreciação também pode variar entre 5 e 30%. Para ambientes de escritório, a depreciação luminosa total geralmente está na faixa entre 10 e 20% [18].

Para compensar a depreciação luminosa, o sistema de iluminação deve ser projetado para fornecer, na condição de máxima iluminação, 125% do fluxo luminoso ideal calculado para o ambiente. Após a instalação dos equipamentos, o sensor de luminosidade deve ser ajustado para que a luminária opere a 80% de sua capacidade (Figura 2.9), emitindo o fluxo luminoso idealmente projetado. Conforme ocorre a depreciação luminosa da luminária, o dispositivo de controle compensa a perda de fluxo luminoso, fazendo com que a lâmpada irradie mais luz, atingindo os 100% no instante de sofrer nova manutenção.

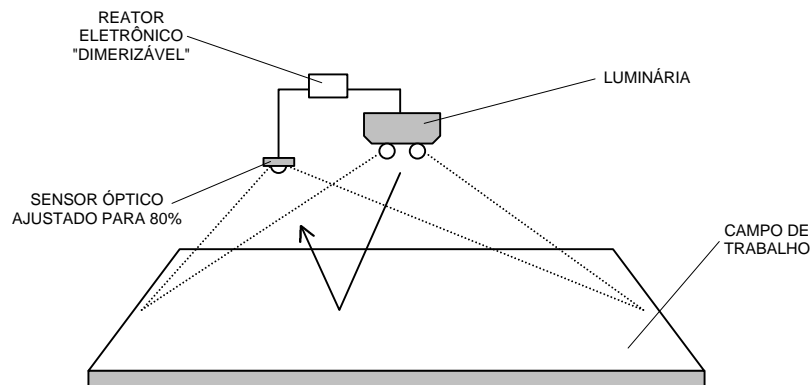


Figura 2.9: Sistema usado para compensar a depreciação luminosa.

As tecnologias de detecção e de controle podem ser combinadas em sistemas complexos e extremamente eficientes no gerenciamento de energia elétrica. Existem casos práticos onde o uso desses sistemas proporcionaram economias da ordem de 50% no consumo em iluminação de grandes instalações [18], [19].

Para a iluminação pública e de exteriores em geral, existe a possibilidade de aplicação de relés fotoelétricos capazes de reduzir a potência dissipada nas luminárias em 30% durante horários programados pelo usuário. Esses dispositivos são recomendados para sistemas de iluminação em áreas que apresentem pouca movimentação durante períodos definidos de tempo (madrugada, por exemplo).

### 2.1.3 INFLUÊNCIA DA ILUMINAÇÃO NA SAÚDE E NO CONFORTO DOS USUÁRIOS

Pesquisas recentes revelaram que o comportamento e a saúde de usuários sensíveis a campos eletromagnéticos podem ser profundamente afetados pelo sistema de iluminação. Embora haja bastante discussão a respeito da hipersensibilidade realmente existir ou de ser apenas uma doença psicossomática, o fato é que existem muitos casos relatados onde a exposição a monitores de vídeo e a ambientes iluminados por lâmpadas fluorescentes operando em baixa frequência são prováveis responsáveis por sintomas como queda de rendimento, dor de cabeça e vista cansada em usuários [20].

A sensação de desconforto provocada pelo sistema de iluminação geralmente está relacionada com a tecnologia de iluminação, a distribuição espacial das luminárias, o nível de iluminamento e a quantidade de luz natural aproveitada.

O fluxo luminoso emitido por uma fonte de luz alimentada em tensão alternada não é constante, possuindo uma oscilação denominada modulação. A modulação é calculada através da expressão:

$$M = \frac{L2 - L1}{L2 + L1} \cdot 100\% \quad (1)$$

onde L2 e L1 são, respectivamente, as luminâncias máxima e mínima da fonte de luz.

O fenômeno de modulação tem origem na baixa frequência da rede elétrica. A cada segundo, a corrente que circula numa lâmpada passa por zero 120 vezes (Brasil),

fato que, dependendo da lâmpada, diminui bastante a intensidade da luz irradiada nesses instantes, causando a modulação.

A intensidade da modulação está relacionada diretamente com o mecanismo de funcionamento das lâmpadas do sistema de iluminação. Na tecnologia incandescentes, mesmo quando a corrente passa por zero, o filamento da lâmpada continua incandescente devido à inércia térmica, mantendo uma luminância próxima da máxima com modulação pequena, da ordem de 5% a 10% (Figura 2.10) [20].

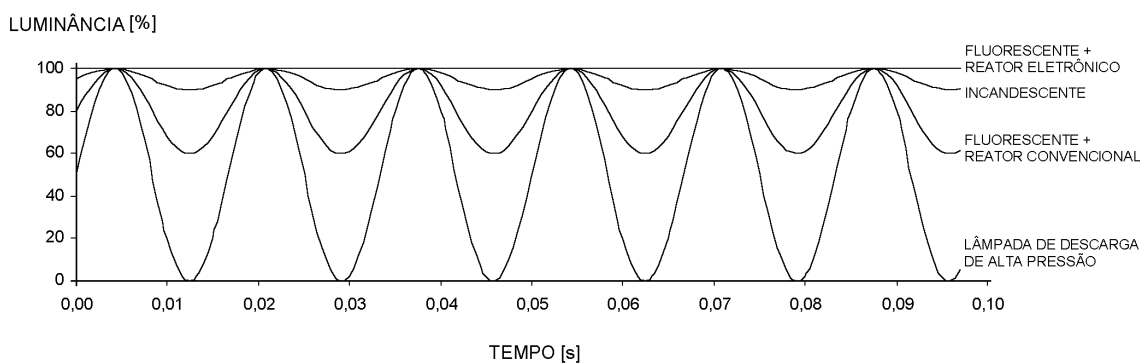


Figura 2.10: Modulação de lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

Devido ao diferente mecanismo de operação, as lâmpadas fluorescentes alimentadas por reatores convencionais apresentam modulação bastante superior, entre 17% e 90% dependendo do revestimento interno de fósforo. Quando a corrente elétrica passa por zero, mesmo não ocorrendo emissão de luz ultravioleta (não há arco elétrico), o fósforo do revestimento mantém uma certa luminância, sensivelmente inferior à luminância máxima [21].

A modulação pode ser reduzida a valores da ordem de 1% em lâmpadas fluorescentes alimentadas por reatores eletrônicos operando em frequências superiores a 20 kHz. Nesse caso, o tempo no qual o fósforo deixa de receber luz ultravioleta é diminuído, sendo a sua inércia luminosa grande o suficiente para manter uma luminância elevada.

Algumas lâmpadas de descarga de alta pressão não possuem revestimento interno de fósforo, apresentando modulações próximas de 100% quando operadas na frequência da rede. Conseqüentemente, o efeito estroboscópico é mais pronunciado, tornando perigoso o uso dessas lâmpadas em ambientes industriais com acionamentos motorizados.

A modulação perceptível da luz com frequência inferior a 60 Hz (“flicker”) pode ocorrer em lâmpadas de descarga defeituosas ou envelhecidas alimentadas por reatores convencionais. O “flicker” pode afetar profundamente o sistema nervoso de pessoas normais, provocando ansiedade, dor de cabeça, vista cansada e queda de rendimento. Esses efeitos tendem a ser mais pronunciados em usuários de microcomputadores, onde o movimento de correção dos olhos pode dobrar de frequência devido à interação do “flicker” com a frequência de varredura do monitor de vídeo (entre 50 Hz e 100 Hz). Em pessoas suscetíveis, além desses sintomas, ataques epilépticos também podem ser induzidos [21].

Os sintomas acima mencionados podem ser causados, também, pela disposição espacial das luminárias. Nesse caso, disposição de lâmpadas formando listras e outros desenhos geométricos alternados e a falta do uso de iluminação natural são os prováveis responsáveis pela sensação de desconforto visual dos usuários.

Em relação aos campos magnéticos gerados pelo sistema de iluminação, existem suspeitas de que eles podem contribuir para o desenvolvimento de câncer em usuários, porém não existem estudos conclusivos a esse respeito. A maioria das fontes de luz não ultrapassa o limite de 0,2-0,3  $\mu\text{T}$ , considerado de risco [21].

O mesmo ocorre para a emissão de radiação ultravioleta. A parcela de radiação ultravioleta da luz do dia é superior à da maioria das fontes luminosas, não sendo prejudiciais à saúde. Porém, deve-se tomar cuidado com lâmpadas que possuem filtros

de radiação ultravioleta. Algumas dessas lâmpadas podem permanecer operando mesmo com o filtro de vidro quebrado, comprometendo a saúde das pessoas expostas.

Estudos recentes falharam em provar que o uso de lâmpadas fluorescentes com temperatura correlata de cor elevada (próxima da luz do dia) e com maior radiação de ultravioleta aumenta a disposição e o ânimo de funcionários de escritórios e de alunos do primeiro grau. Por outro lado, também foi constatada uma redução da incidência de cáries em alunos do primeiro grau relacionada com o uso dessas lâmpadas [21].

Um outro estudo, porém, relacionado com o tipo de reator utilizado em iluminação fluorescente, foi realizado com 14 usuários suspeitos de serem hipersensíveis, dos quais 9 relataram se sentirem melhor em sistemas operados com reatores eletrônicos (modulação quase nula), evidenciando uma possível influência da modulação no comportamento dos usuários [20].

## **2.2 SISTEMAS DE AR CONDICIONADO**

O sistema de ar condicionado é responsável pelo controle das condições climáticas de certos ambientes. Esse controle abrange a monitoração e o ajuste da temperatura, umidade, pureza e fluxo do ar insuflado. Geralmente, o sistema de ar condicionado é utilizado para proporcionar conforto aos usuários da instalação, podendo, também, ser usado para manter alguns tipos de ambiente sob rigorosas características climáticas, como, por exemplo, hospitais e centros de computação [22].

Assim como no uso final iluminação, existem normas que orientam o projeto de sistemas de ar condicionado, recomendando, por exemplo, os valores mais adequados de temperatura, umidade e fluxo de ar para cada tipo de ambiente, ocupação e atividade desenvolvida.

Basicamente, os equipamentos de ar condicionado são compostos por compressores, ventiladores, condensadores, evaporadores, filtros e gás refrigerante [23], existindo diversos modelos e topologias de sistemas: aparelhos de janela, aparelhos "self-contained", aparelhos "split", "ductless systems", sistemas centrais de expansão direta, sistemas centrais de expansão indireta (água gelada), bombas de calor, sistemas de termoacumulação, entre outros.

Os aparelhos de janelas são os equipamentos mais portáteis, instalados diretamente nos ambientes a serem climatizados. Com capacidade de refrigeração geralmente é inferior a 30.000 Btu/h (8,8 kW), a aplicação desses aparelhos se restringe a ambientes de dimensões não muito grandes, onde pelo menos uma das paredes deve permitir a comunicação com o ambiente exterior (trocas de calor com o ar externo).

Basicamente, aparelhos "self-contained" correspondem a equipamentos de ar condicionado completos formados por uma única unidade, diferente dos sistemas "split", compostos por módulos internos e um módulo externo.

Um sistema "split" com dutos de insuflamento possui uma unidade externa (condensador) que, através de tubulações de pequeno diâmetro, bombeia refrigerante para uma grande unidade interna (evaporador), responsável pela refrigeração do ar, ventilado para os ambientes climatizados através de dutos de dimensões consideráveis (Figura 2.11).

Por outro lado, os sistemas de ar condicionado "split" sem dutos de insuflamento ("ductless systems") possui uma pequena unidade interna (evaporador) em cada ambiente climatizado, dispensando o uso de dutos de insuflamento. A implementação de sistemas de ar condicionado do tipo "ductless split" é bastante adequada para instalações onde não haja disponibilidade de espaço físico para a colocação de dutos de insuflamento. As vantagens desse sistema vão desde a instalação



fácil e versátil (as unidades internas podem ser instaladas tanto nas paredes como no teto) até o controle climático individual de cada ambiente (controle por zona), não disponível em diversos sistemas do tipo central. Além disso, a operação é bastante silenciosa, podendo, em alguns modelos, ser controlada e programada através de controle remoto sem fio [24].

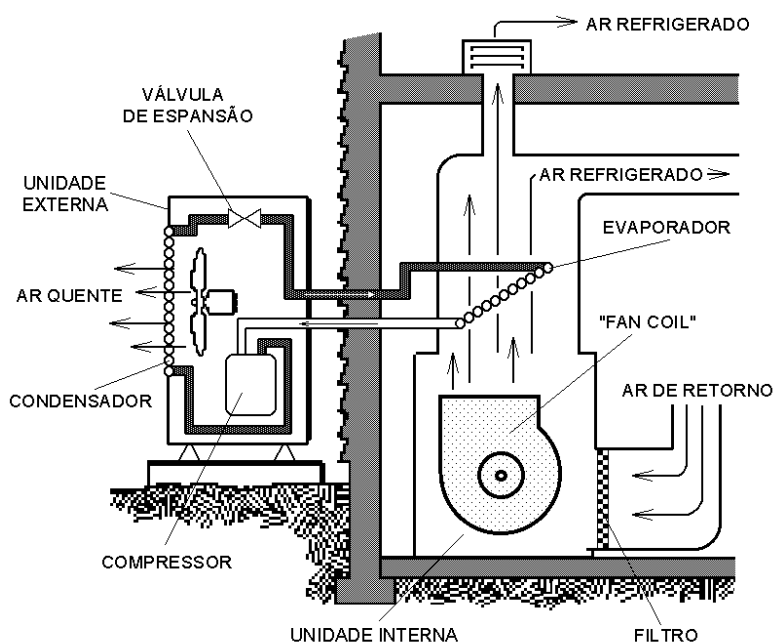
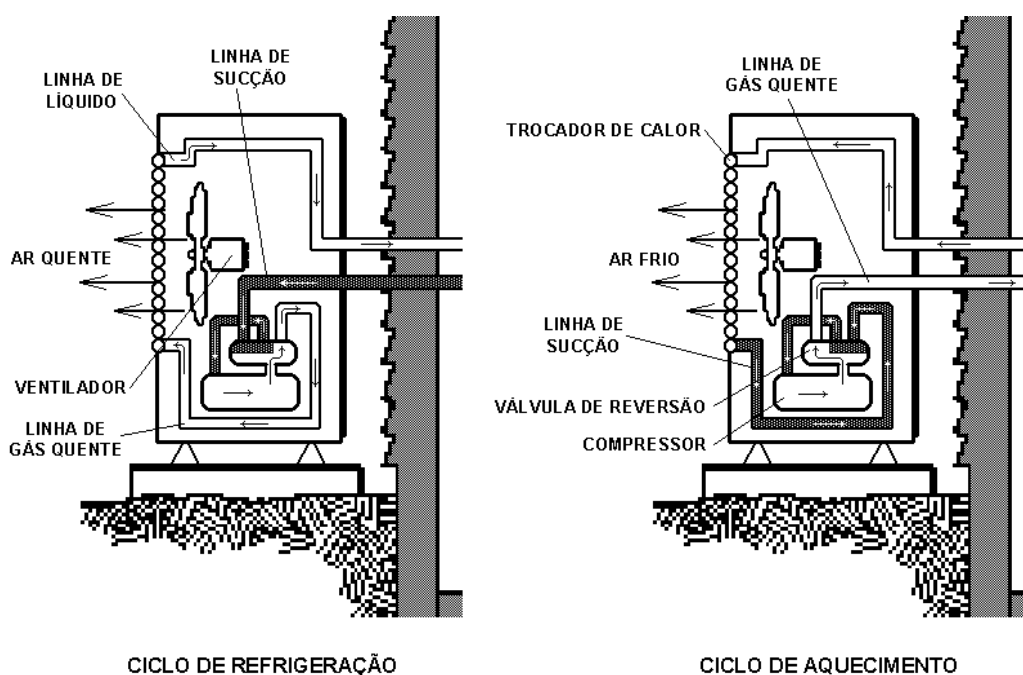


Figura 2.11: Sistema de ar condicionado tipo "split" com dutos de insuflamento.

Os sistemas de ar condicionado central podem ser classificados como sistemas de expansão direta, onde o evaporador resfria diretamente o ar interno dos ambientes climatizados, ou de expansão indireta, onde o ar interno é refrigerado em trocadores de calor através da passagem de um líquido com propriedades térmicas adequadas, geralmente água ou salmoura [12].

Existem equipamentos de ar condicionado que podem operar tanto para resfriar (no verão) como para aquecer (no inverno) ambientes, as chamadas bombas de calor (Figura 2.12).



### BOMBA DE CALOR - MÓDULO EXTERNO

Figura 2.12: Bomba de calor: ciclos de operação.

As bombas de calor possuem uma válvula que permite a inversão do fluxo de refrigerante nas serpentinas do condensador e do evaporador, possibilitando a transferência de calor entre os ambientes interno e externo nos dois sentidos.

Operando no ciclo de aquecimento, as bombas de calor são muito mais eficientes do que os aquecedores elétricos resistivos, uma vez que é necessário menos energia elétrica para transferir calor de um ambiente para o outro do que transformar energia elétrica em energia térmica. Uma bomba de calor pode fornecer de 50% a 150% mais calor do que a energia elétrica consumida, uma economia de 33% a 60% em relação aos aquecedores elétricos [25]. Além disso, outra vantagem do uso de bombas de calor está no fato delas substituírem os aparelhos de ar condicionado e de aquecimento num único equipamento mais compacto. A principal desvantagem das bombas de calor é o custo inicial elevado, justificando seu uso, do ponto de vista econômico, em regiões onde o inverno seja mais rigoroso.

Em relação aos sistemas de ar condicionado baseados na termoacumulação (TES - "thermal energy storage"), reduções significativas no custo médio da energia elétrica podem ser obtidas. O sistema opera mais intensamente fora do horário de ponta do sistema elétrico (energia elétrica mais barata), acumulando energia térmica (água congelada, por exemplo). Durante o horário de ponta, apenas os ventiladores de circulação de ar e as bombas de circulação da salmoura permanecem acionados, reduzindo sensivelmente a demanda do sistema [26].

### 2.2.1 EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

A eficiência de um sistema de ar condicionado depende, basicamente, da tecnologia de refrigeração empregada, do dimensionamento do sistema, da manutenção, dos hábitos de uso, das condições de isolamento térmica dos ambientes, dos equipamentos elétricos em operação, entre outros.

A eficiência de um equipamento de ar condicionado é expressa pelo seu EER - "Energy Efficiency Ratio"<sup>25</sup> - dado em Btu/h/W. O EER fornece a relação entre o fluxo de calor retirado do ambiente, em Btu/h, e a potência elétrica demandada, em watts. Quanto maior o EER, maior a eficiência do equipamento. O EER é definido por:

$$ERR = \frac{C}{P_{MÉDIA}} \quad [\text{Btu/h/W}] \quad (2)$$

onde:

$C$  : capacidade de refrigeração do aparelho, em Btu/h.  
 $P_{MÉDIA}$  : demanda média do aparelho, em W.

<sup>25</sup> Embora a norma ABNT NBR - 5882 recomende o uso do EER para a análise de aparelhos de ar condicionado [27], existem, atualmente, índices mais adequados para análises energéticas, como o SEER - "Seasonal Energy Efficiency Ratio", definido pelo U. S. Department of Energy, que considera a operação do equipamento em diversas situações [23].

Como exemplo, a Tabela 2.5 apresenta alguns valores de EER para alguns dos equipamentos disponíveis no mercado [27].

Tabela 2.5: EER de alguns aparelhos de ar condicionado.

TIPO DE EQUIPAMENTO	CAPACIDADE [BTU/h]	COMPRESSOR	EER [BTU/h/W]
Aparelho de janela	15.000	alternativo	7,9
Aparelho de janela	18.000	rotativo	9,5
Aparelho de janela	30.000	rotativo	9,7
Split	40.000	alternativo/rotativo	7,2
Split	90.000	scroll	13,0
Self a água	100.800	scroll	10,6
Self a ar	90.000	scroll	7,3
Central (chiller)	430.800	alternativo	9,6
Central (chiller)	2.395.200	alternativo	9,3

Fonte: referência [27].

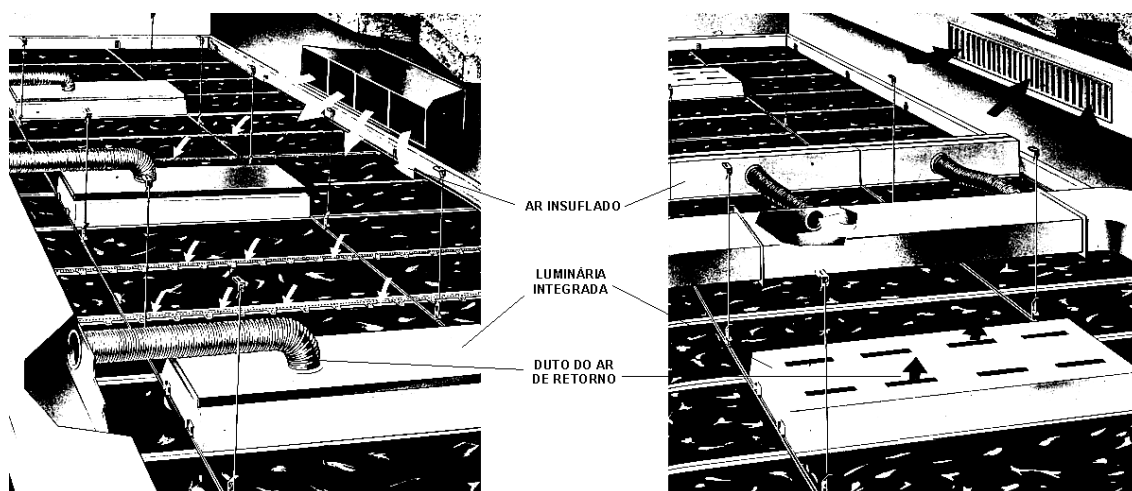
Existem diversas estratégias que proporcionam aumentos significativos na eficiência de sistemas de ar condicionado, entre elas, destacam-se:

- Aplicação de películas reflexivas em vidros de janelas.
- Controle da mistura ar externo/ar de retorno.
- Uso de luminárias integradas.

A aplicação de películas reflexivas em vidros de janela corresponde a uma das medidas mais baratas e utilizadas para reduzir a carga térmica devida a incidência de radiação solar em ambientes climatizados. As películas reflexivas são formadas por folhas adesivas de poliéster metalizadas capazes bloquear os raios solares que penetram pelas janelas. Podendo ser aplicadas diretamente na superfície interna dos vidros de paredes e de janelas, as películas reflexivas geralmente duram entre 7 e 12 anos [28].

A estratégia de controle da mistura ar externo/ar de retorno permite ajustar o fluxo de ar novo (externo) que é misturado ao ar de retorno a valores adequados para a otimização do sistema de ar condicionado. Durante o dia, quando o ar externo é mais quente e úmido do que o ar interno, o fluxo é restringido a valores mínimos que preservem a saúde e o conforto dos usuários (nível de CO<sub>2</sub>). Durante a noite, quando possível, o fluxo de ar externo é maximizado, permitindo retirar o calor acumulado pela instalação durante o dia ("night precooling"). Existem casos onde esse tipo de estratégia proporcionou reduções de 18% e 31%, respectivamente, no consumo e na demanda de instalações [28].

Existem no mercado, atualmente, luminárias especialmente projetadas para operarem em conjunto com o sistema de ar condicionado, as chamadas luminárias integradas (Figura 2.13).



Fonte: catálogo da PHILIPS.

Figura 2.13: Luminárias integradas.

As luminárias integradas possuem "respiros" pelos quais o ar de retorno do ambiente é coletado. Dessa forma, boa parte do calor irradiado pelas lâmpadas é retirada pelo ar de retorno, diminuindo a carga térmica do ambiente e o consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado [12].

## 2.3 EQUIPAMENTOS DE ESCRITÓRIO

Em junho de 1992, a EPA - U.S. Environmental Protection Agency (Agência Norte Americana de Proteção Ambiental), motivada pelo crescente e elevado consumo de energia elétrica dos equipamentos de escritório<sup>26</sup>, anunciou um programa de incentivo ao desenvolvimento de equipamentos eficientes, dotados de gerenciadores de energia. O programa foi batizado de Energy Star e foi baseado na parceria da EPA com os fabricantes de equipamentos de informática.

Os equipamentos que obedecem às diretrizes do Energy Star são identificados pelo logotipo do programa (Figura 2.14) que o fabricante pode exibir em anúncios, publicações e no próprio produto.



Figura 2.14: Logotipo do programa Energy Star.

Na Europa, padrões semelhantes de conservação de energia foram definidos pelo NUTEK, Departamento de Eficiência Energética da Suécia.

### 2.3.1 DIRETRIZES DO PROGRAMA ENERGY STAR

As diretrizes do programa Energy Star reconhecem, basicamente, dois níveis de operação: modo normal e modo de baixo consumo de energia (“low-power mode” ou

---

<sup>26</sup> Nos EUA, em 1996, o segmento de PCs e periféricos foi responsável por 5% do consumo de energia elétrica do setor comercial, havendo previsões de que essa participação dobre até o ano 2000 [29].

"sleep mode"). Para cada tipo de equipamento, as diretrizes do Energy Star especificam a máxima potência que o aparelho pode demandar quando estiver no modo "sleep" e o tempo de ociosidade recomendado para a entrada nesse modo (Tabela 2.6).

Tabela 2.6: Diretrizes do programa Energy Star.

EQUIPAMENTO	CARACTERÍSTICA	DEMANDA MÁXIMA NO MODO "SLEEP" [W]	TEMPO DE OCIOSIDADE RECOMENDADO [min]
Microcomputador Pessoal	Torre	30	15 - 30
	Monitor	30	15 - 30
	Torre + monitor	60	15 - 30
Impressora	$0 < \text{ppm}^{(1)} \leq 7$	15	15
	$7 < \text{ppm} \leq 14$	30	30
	$14 < \text{ppm}$	45	60
Fotocopiadora	$0 < \text{cpm}^{(2)} \leq 20$	5	30
	$20 < \text{cpm} \leq 44$	10	60
	$44 < \text{cpm}$	15	90
Fax	$0 < \text{ppm} \leq 7$	15	5
	$7 < \text{ppm} \leq 14$	30	5
	$14 < \text{ppm}$	45	15

Fonte: referências [29], [30], [31].

<sup>(1)</sup> Páginas por minuto.

<sup>(2)</sup> Cópias por minuto.

Dependendo do hábito de uso, o consumo de energia elétrica pode ser reduzido drasticamente através da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos eficientes (equipamentos "energy saving"). Os potenciais de redução do consumo de energia elétrica podem atingir os valores da Tabela 2.7 [29], [30],[31].

Tabela 2.7: Potenciais de conservação de equipamentos "energy saving".

EQUIPAMENTO	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [%]
Microcomputador Pessoal	80
Impressora	65
Fotocopiadora	60
Fax	50

Fonte: referências [29], [30], [31].

Além de consumirem menos energia elétrica, os equipamentos "energy saving" também apresentam vida útil maior, em virtude da baixa dissipação de energia quando no modo "sleep". Tal fato proporciona, também, uma redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado.

### **2.3.2 MICROCOMPUTADORES PESSOAIS EFICIENTES: "GREEN PC"**

Seguindo as diretrizes da Energy Star e do NUTEK, a Phoenix Technologies e a Intel desenvolveram o conceito de "green PC" aplicado aos computadores "energy saving".

Um microcomputador pessoal é constituído internamente por vários componentes, cada qual responsável por uma fração da potência demandada pela máquina. Os principais componentes de um PC são: o microprocessador, a unidade de disco rígido ("Winchester") e a memória de acesso aleatório (RAM). Dispositivos periféricos, como o monitor de vídeo, o teclado, o "mouse" e a impressora, complementam o PC.

Entre todos os componentes internos do PC, o microprocessador é o maior consumidor de energia. Dependendo da família, do "clock" (frequência de operação) e do programa que está sendo executado, um microprocessador pode demandar uma potência entre 5 e 15 W.

Os microprocessadores modernos, a partir da família 80486, possuem uma função que reduz a frequência do "clock" quando ociosos. Essa função permite uma redução de mais de 90% da energia consumida pelo componente, uma vez que a potência demandada é diretamente proporcional à frequência do "clock" [32].

Entre os periféricos, os maiores consumidores de energia são os monitores de vídeo e as impressoras laser.



Um monitor de vídeo de 14" Super VGA colorido demanda cerca de 60 W, enquanto que um de 17", demanda 100 W. Tais valores correspondem, respectivamente, a 60% e 70% da potência de um PC, uma vez que a torre demanda aproximadamente 40 W [33].

A grande maioria dos monitores de vídeo que obedecem as diretrizes do Energy Star e do NUTEK seguem o padrão VESA - Video Electronics Standards Association. Ele consiste em quatro estados progressivos de conservação de energia gerenciados por um programa chamado de DPMS ("display-power management signaling"). O DPMS envia um código binário para o monitor através de seus sinais de sincronismo vertical e horizontal. Esse código binário (Tabela 2.8) especifica em qual estado o monitor deve operar [32].

Tabela 2.8: Modos de operação de monitores segundo padrão VESA.

MODO DE OPERAÇÃO	DEMANDA	SINCRONISMO	
		VERTICAL	HORIZONTAL
Normal	100%	ativado	ativado
Standby	80%	ativado	desativado
Suspend	< 30W	desativado	ativado
Off	< 8W	desativado	desativado

A sequência de estados é: "normal", "standby", "suspend" e "off". No modo "standby", o sinal de sincronismo horizontal é desativado, não disparando o feixe de elétrons que excita a tela, deixando-a apagada. No modo "suspend", a alta tensão do "flyback" e os circuitos de vídeo são geralmente desativados, deixando o filamento do TRC (tubo de raios catódicos) alimentado. Por isso, a recuperação total do brilho do monitor demora cerca de 5 segundos. No estado "off", que corresponde ao estado de maior conservação de energia (geralmente, demanda inferior à 5 W), quase todos os

circuitos do monitor, inclusive o filamento do TRC, estão desativados. O único circuito ativo é o “watchdog” (circuito de vigia), que monitora a atividade dos sinais de sincronismo vertical e horizontal. Quando o “watchdog” detecta alguma atividade nesses sinais, ele alterna o monitor para o estado normal. Como o filamento do TRC não é alimentado no modo “off”, o monitor pode demorar até 20 segundos para recuperar seu brilho total.

Entre os vários tipos de impressoras, a laser é a maior consumidora de energia elétrica. Uma impressora laser a plena carga pode demandar uma potência de até 700 W. Mesmo ociosas, algumas impressoras demandam cerca de 100 W para se manterem aquecidas, elevando, também, o consumo de energia elétrica em ambientes climatizados.

As impressoras “energy saving”, conforme as diretrizes da Energy Star e do NUTEK, demandam uma potência reduzida no modo “sleep”. O único inconveniente é que algumas delas podem levar mais de 10 minutos para voltar ao modo normal devido à necessidade de preaquecimento.

### **2.3.2.1 GERENCIAMENTO DE ENERGIA DE UM "GREEN PC"**

Existem duas formas de realizar o gerenciamento de energia de um “green PC”: pelo BIOS (“Basic Input Output System”) do computador e por programas APM (“Advanced Power Management”).

A programação pelo BIOS é realizada no “setup” (programa de configuração básica) do PC, permitindo programar, entre outros parâmetros, os tempos de atuação do gerenciador no controle do monitor de vídeo e do disco rígido.

Dependendo do aplicativo utilizado, o gerenciamento de energia realizado por programas APM costuma ser mais vantajoso do que o gerenciamento realizado pelo BIOS, uma vez que os parâmetros de configuração podem ser alterados sem a necessidade de reinicialização do computador. O Windows 95, por exemplo, possui uma função APM que gerencia o consumo de energia do monitor de vídeo, permitindo ao usuário especificar os tempos de entrada em dois modos de conservação de energia. A programação dessa função pode ser realizada na opção "Proteção de tela", dentro do menu "Vídeo" do "Painel de controle" do Windows 95.

### **3 METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA DE USOS FINAIS**

Este capítulo expõe a metodologia desenvolvida para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica dos usos finais presentes em instalações de ensino e similares, foco do presente trabalho.

São apresentados métodos e procedimentos para a coleta de dados e a determinação dos consumos de energia elétrica global e desagregado em usos finais. A partir dessas informações, é possível calcular uma série de indicadores do uso de energia elétrica, bastante úteis em diagnósticos energéticos.

Cada uso final estudado é tratado de forma distinta, através de uma metodologia adequada à determinação de seu respectivo potencial de conservação de energia elétrica.

O capítulo é complementado por uma metodologia para análises tarifárias.

#### **3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS**

O levantamento de dados é uma das fases mais importantes do diagnóstico energético. Todos os dados necessários à determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais são obtidos nessa etapa. Consequentemente, os resultados fornecidos pelo diagnóstico energético são bastante dependentes da precisão das informações coletadas no levantamento de dados, que deve ser realizado de forma crítica e bastante criteriosa.

### 3.1.1 CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA

As contas de energia elétrica expedidas pela concessionária fornecem informações importantes sobre o uso de energia elétrica da instalação sob análise, constituindo uma fonte de dados relativamente confiável e de fácil acesso.

As principais informações geralmente disponíveis em contas de energia elétrica são:

- Consumo de energia ativa [kWh].
- Consumo de energia reativa [kVarh].
- Demanda registrada [kW].
- Demanda faturada [kW].
- Fator de carga.
- Valor da fatura [R\$].

Dependendo da modalidade tarifária, a conta de energia elétrica pode fornecer, também, informações segmentadas em horários do dia (ponta e fora de ponta) e em períodos do ano (seco e úmido).

É importante observar que as informações disponíveis em contas de energia elétrica são calculadas para um período de aproximadamente 30 dias, não permitindo inferir sobre o comportamento diário ou semanal da instalação. Por outro lado, a série histórica das últimas faturas, não inferior a 12 meses, permite analisar a evolução do consumo e da demanda de energia elétrica da instalação, permitindo, inclusive, estimar os valores de contrato mais adequados para os períodos futuros.

A Figura 3.1 exibe um exemplo de conta de energia elétrica para um consumidor do subgrupo A4, tarifado na modalidade horo-sazonal azul.

A discriminação dos valores da demanda, do consumo de ativos e da energia reativa conforme horários do dia e períodos do ano é indicada pelas siglas PS (horário de ponta, período seco), FPS-I (horário fora de ponta - indutivo, período seco) e FPS-C (horário fora de ponta - capacitivo, período seco)<sup>27</sup>.

Referencia		Roteiro de Leitura		Instalação	Códigos		OP	Cod. Eletrobras	Parcela	Conta do mês de	Ano	Leitura	Apresentação		Vencimento			
Local	Local	Local	Local	Local	C	F	OP					Dia	Mês	Dia	Mês			
02	446	22566	90229	5	A4	4	20	00000000	00/00	OUTUBRO	97	02	10	07	11	24	11	97
Nome																		
Endereço da unidade consumidora																		
Endereço para entrega																		
CEP																		
C.G.C.																		
Inscrição Estadual																		
Rural - SF																		
Banco																		
Local																		
Folha																		
000000000/0000-00																		
01																		
Inscrição	Leituras	Registrado	Contratado	Faturado	VALORES EM REAIS													
***** MATRIZ *****																		
MED DEMANDA NO 035900601																		
CONSTANTE																		
DEMANDA PS KW *		531,0	500,0	531,0		6.961,41												
DEMANDA FPS-I KW *		798,7	810,0	810,0		3.539,70												
DEMANDA FPS-C KW *		345,6	810,0															
MED ATIVO NO 035900601																		
CONSTANTE																		
CONSUMO PS KWH *	51696	27997		27997		2.406,34												
CONSUMO FPS-I KWH *	51696	241022		241022		9.850,56												
CONSUMO FPS-C KWH *	51696	35301		35301		1.442,75												
MED REATIVO NO 035900601																		
CONSTANTE																		
ENERGIA REATIVA PS KVARH		24634																
ENERGIA REATIVA FPS-I KVARH		186313																
ENERGIA REATIVA FPS-C KVARH		28222																
UFDR PS				119,5		1.566,64												
UFDR FPS-I				118,9		519,59												
UFER PS				6299		541,39												
UFER FPS-I				39287		1.605,65												
FC P		0,811																
FC FP		0,520																
Emitida em		I.C.M.S. incluso no importe		Total a pagar até o vencimento		Total a pagar após o vencimento												
1/10/97		18%		28.434,03		*****												

Figura 3.1: Exemplo de conta de energia elétrica expedida pela concessionária.

As abreviações UFDR e UFER correspondem, respectivamente, às multas por ultrapassagem de demanda e de energia reativas em relação ao fator de potência de referência (0,92). A abreviação FC corresponde ao fator de carga, com valores discriminados, assim como os valores das multas de ultrapassagem, por segmento horossazonal.

<sup>27</sup> A divisão do horário fora de ponta em indutivo e capacitivo está relacionada com a verificação do fator de potência conforme a legislação vigente, ou seja, o fator de potência deve ser superior ou igual a 0,92 indutivo das 06:00 às 00:00 horas e igual ou superior a 0,92 capacitivo durante a madrugada.

### 3.1.2 MEDIÇÃO DIRETA

O procedimento de medição direta consiste na monitoração das cabinas primárias da instalação sob análise com o objetivo de determinar precisamente informações sobre as características de consumo diárias que não estão disponíveis nas contas de energia elétrica.

A medição direta pode ser realizada por um equipamento eletrônico microprocessado denominado analisador de energia, capaz de medir continuamente as grandezas elétricas de interesse, fornecendo registros a cada intervalo de tempo específico, programável pelo usuário. Um registro é composto pelos valores das seguintes grandezas:

- Tempo (hh:mm:ss).
- Tensões de fase ( $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ).
- Correntes de fase ( $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$ ).
- Potências ativas ( $P_A$ ,  $P_B$ ,  $P_C$ ).
- Potências reativas ( $Q_A$ ,  $Q_B$ ,  $Q_C$ ).

Todos os registros são armazenados na memória de massa do analisador, sendo posteriormente transferidos para um microcomputador com o objetivo de receberem o tratamento matemático necessário. Dessa forma, pode-se determinar, entre outras, as seguintes informações:

- Fator de potência por fase.
- Consumo de ativos por fase.
- Demanda máxima trifásica.

- Demanda média trifásica.
- Fator de carga trifásico.

O fator de potência pode ser calculado pela equação:

$$\cos \phi = \cos(\arctg(Q/P)) \quad (3)$$

onde:

$P$  : potência ativa.  
 $Q$  : potência reativa.

O consumo de ativos pode ser determinado através de integração numérica pelo Método dos Trapézios, dado por:

$$C = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \cdot Dh \quad (4)$$

onde:

$P_i$  : potência ativa da  $i$ -ésima medição.  
 $Dh$  : intervalo de tempo entre medições (constante).

A demanda média pode ser calculada através da divisão do consumo do período pelo respectivo intervalo de tempo. Já o fator de carga é obtido através da divisão demanda média pela demanda máxima registrada.

Para determinar o perfil de consumo de uma instalação, deve ser adotado um período de análise conveniente, conforme suas características de operação. Em instalações onde o perfil de consumo não for regular, o período de análise deverá ser estendido de forma a permitir um estudo de possíveis variações sazonais.



Afim de se obter uma curva de carga fiel e representativa, o intervalo de tempo entre medições deverá ser pequeno o suficiente para detectar as variações no ciclo de trabalho dos sistemas de cada uso final considerado. No caso das instalações de ensino analisadas no estudo de caso, a monitoração realizada durante uma semana típica e em intervalos de 15 minutos mostrou-se bastante adequada.

Os resultados obtidos através da medição direta são curvas de carga e tabelas com os valores das grandezas elétricas de interesse, calculadas para períodos de tempo convenientes (Figura 3.2).

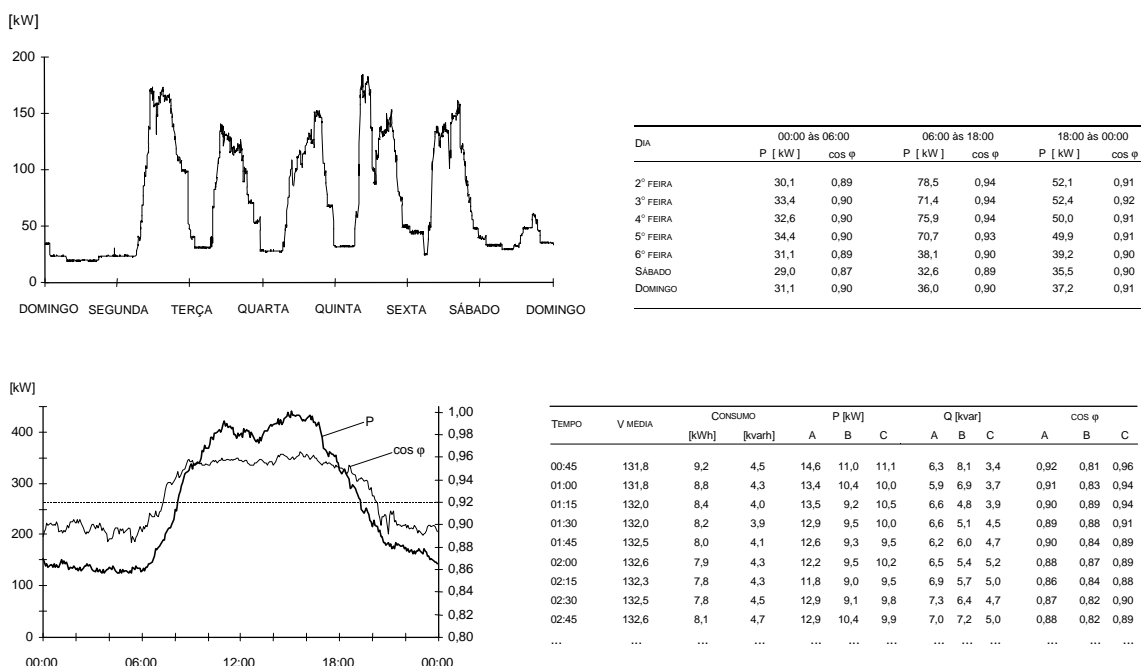


Figura 3.2: Gráficos e tabelas típicos obtidos a partir de um analisador de energia.

A análise de curvas e tabelas possibilita um estudo minucioso sobre o perfil de consumo da instalação, permitindo identificar picos de demanda, horários de maior e de menor consumo, faltas de energia elétrica, comportamento do fator de potência, entre outros.

### 3.1.3 LEVANTAMENTO DE DADOS POR INSPEÇÃO

O levantamento de dados por inspeção corresponde ao procedimento de aquisição de informações sobre as características físicas e os hábitos de uso da instalação sob análise, complementando as informações obtidas via medição direta e análise de contas de energia elétrica, todas necessárias para a caracterização do consumo de energia elétrica da instalação.

Nessa fase, as equipes inspecionam todos os ambientes da instalação, preenchendo uma planilha que contempla, por exemplo, as seguintes informações:

- Características físicas do ambiente:
  - Localização do ambiente (bloco, andar, número da sala, etc.).
  - Finalidade.
  - Área útil total.
  - Pé direito.
- Características de ocupação:
  - Número de usuários.
  - Horário de funcionamento.
- Sistema de iluminação:
  - Tecnologia de iluminação (quantidade e potência das lâmpadas, tipos de luminárias, estado de conservação, etc.).
  - Área iluminada.
  - Nível de iluminamento médio (medições com luxímetros).
  - Quantidade de acionamentos (interruptores).
  - Horário de operação.
  - Aproveitamento da iluminação natural.

- Sistema de ar condicionado:
  - Tecnologia de ar condicionado (central, aparelhos de janela, etc., potência e quantidade dos equipamentos).
  - Área climatizada.
  - Temperatura do ambiente (medições com termômetros).
  - Horário de operação.
  - Condições de isolamento e vedação.
- Equipamentos (quantidade, potência, horário de funcionamento, etc.).

A Figura 3.3 exibe um exemplo de planilha que pode ser usada para a realização do levantamento de dados por inspeção.

## **3.2 DETERMINAÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Para determinar o potencial de conservação de energia elétrica de uma instalação, é essencial conhecer detalhadamente o seu perfil de consumo. O primeiro passo a ser dado nessa direção, é determinar o consumo global de energia elétrica e o consumo de energia elétrica desagregado por usos finais.

### **3.2.1 CONSUMO GLOBAL**

O consumo global de energia elétrica é um dos parâmetros de faturamento considerados pela concessionária. Como um dos principais objetivos das ações de uso racional e eficiente de energia elétrica é reduzir o consumo e os custos, é imprescindível o conhecimento do consumo global para a realização de qualquer diagnóstico energético.

IDENTIFICAÇÃO DO AMBIENTE:	RESPONSÁVEL:	DATA: / /
----------------------------	--------------	-----------

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E DE OCUPAÇÃO										
ÁREA [m <sup>2</sup> ]			PÉ DIREITO [m]	NÍVEL DE ILUMINAMENTO [lux]	TEMPERATURA [°C]	Nº DE INTERRUPTORES	NÚMERO DE USUÁRIOS		HORÁRIO DE FUNCIONAMENTO	
TOTAL	ILUMINADA	CLIMATIZADA					2ª A 6ª FEIRA	FIM DE SEMANA	2ª A 6ª FEIRA	FIM DE SEMANA

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO							
EQUIPAMENTO	QUANTIDADE		POTÊNCIA NOMINAL [W]		TEMPO DE OPERAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	TOTAL	INOPERANTE	LÂMPADA	REATOR	2ª A 6ª FEIRA	FIM DE SEMANA	

CONDIÇÕES DE APROVEITAMENTO DA LUZ NATURAL :

SISTEMA DE AR CONDICIONADO						
EQUIPAMENTO	QUANTIDADE		CAPACIDADE [BTU]	TEMPO DE OPERAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	TOTAL	INOPERANTE		2ª A 6ª FEIRA	FIM DE SEMANA	

CONDIÇÕES DE ISOLAMENTO E VEDAÇÃO DO AMBIENTE :

EQUIPAMENTOS						
EQUIPAMENTO	QUANTIDADE		POTÊNCIA NOMINAL [W]	TEMPO DE OPERAÇÃO		OBSERVAÇÕES
	TOTAL	INOPERANTE		2ª A 6ª FEIRA	FIM DE SEMANA	

Figura 3.3: Exemplo de planilha utilizada em levantamentos de dados por inspeção.

A partir do consumo global, pode-se calcular a demanda média, que, juntamente com a demanda máxima, fornece o fator de carga da instalação, bastante útil em análises energéticas.

O consumo global de energia elétrica pode ser obtido diretamente nas contas expedidas pela concessionária ou determinado via processo de medição direta de cabinas primárias, podendo, também, ser estimado a partir dos dados levantados por inspeção de ambientes.

Os valores obtidos em contas de energia são extremamente úteis, permitindo verificar sazonalidades, existência de multas por ultrapassagem de demanda ou por excesso de reativos (baixo fator de potência), entre outras informações. A análise das faturas dos últimos dois anos permite, através de regressões, estimar tendências de crescimento do consumo e da demanda, uma importante ferramenta para o planejamento futuro da instalação no que diz respeito à expansão de seu sistema elétrico e ao seu contrato de fornecimento junto à concessionária. Ela permite, também, acompanhar a evolução das medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica implementadas, comparando o consumo real da instalação com o consumo previsto. Em ambos os casos, os valores contidos nas contas de energia devem ser corrigidos para um período de tempo padrão, geralmente 30 dias. Esse procedimento tem por objetivo uniformizar as faturas da concessionária, que são expedidas em períodos próximos de 30 dias.

Outra importante aplicação das contas de energia elétrica é na validação do consumo obtido através de medição direta ou de inspeção de ambientes, verificando a existência de distorções.

No caso da medição direta, o valor obtido por equipamentos analisadores de energia deve ser comparado com o consumo das últimas faturas, corrigindo-se o período de medição. Essa correção deve ser feita a partir do cálculo dos consumos médios

relativos a dias úteis e de fim-de-semana obtidos por medição direta, compensando-se, também, os feriados quando existirem. A quantidade de dias úteis e de dias de fim-de-semana contemplados na conta de energia elétrica é obtida pelas datas de medição de duas faturas consecutivas. O valor corrigido é calculado pela equação:

$$C_{CORRIGIDO} = N_{DIA \acute{U}TIL} \cdot C_{DIA \acute{U}TIL} + N_{FIM-DE-SEMANA} \cdot C_{FIM-DE-SEMANA} \quad (5)$$

onde:

- $C_{CORRIGIDO}$  : consumo corrigido obtido por medição direta.
- $C_{DIA \acute{U}TIL}$  : consumo médio dos dias úteis medidos.
- $C_{FIM-DE-SEMANA}$  : consumo médio dos dias de fim-de-semana medidos.
- $N_{DIA \acute{U}TIL}$  : número de dias úteis dentro do período de medição da concessionária.
- $N_{FIM-DE-SEMANA}$  : número de dias de fim-de-semana dentro do período de medição da concessionária.

Consumos corrigidos discrepantes com os valores indicados nas contas expedida pela concessionária podem indicar um perfil de consumo sazonal. Isso pode ocorrer principalmente em casos onde o procedimento de medição direta é realizado em períodos relativamente curtos ou de forma segmentada, onde cada cabina primária é monitorada em períodos distintos por falta de condições que propiciem uma monitoração simultânea (quantidade insuficiente de equipamentos analisadores de energia disponíveis, por exemplo).

Para diferenças superiores a 10%, recomenda-se a realização de um novo procedimento de medição direta, com período prolongado, visando um estudo mais detalhado da sazonalidade encontrada.

Quando não for possível a realização de medições diretas (questões técnicas, disponibilidade de equipamentos de medição e de recursos humanos, etc.), o consumo poderá ser estimado a partir dos dados obtidos via inspeção de ambientes, através da

soma dos consumos individuais de cada equipamento consumidor de energia elétrica presente na instalação. Os consumos individuais podem ser calculados a partir da potência média dissipada pelo equipamento multiplicada pelo tempo mensal de utilização. A planilha usada no levantamento de campo contempla as informações necessárias para esse cálculo (potência média e tempo de utilização em dias úteis e em dias de fim de semana).

Devido a imprecisões contidas nas informações levantadas via inspeção de ambientes, o consumo estimado poderá ser bastante diferente em relação ao consumo apresentado na conta de energia elétrica. A discrepância entre os valores faturado e estimado do consumo poderá ser reduzida através de ajustes realizados nas potências médias e nos tempos de operação dos equipamentos levantados, através da adoção de valores típicos.

É importante observar que os resultados obtidos por medição direta são intrinsecamente mais precisos do que as estimativas baseadas em potências médias e períodos de operação. Por outro lado, a estimativa do consumo global realizada a partir de dados obtidos via inspeção de ambientes já apresenta valores desagregados em usos finais. Para o caso da medição direta, dependendo da instalação, o cálculo do consumo desagregado em usos finais é um pouco mais complexo.

### **3.2.2 CONSUMO DESAGREGADO EM USOS FINAIS**

A metodologia utilizada para determinar o potencial de conservação de energia elétrica é distinta para cada um dos usos finais presentes na instalação. Os procedimentos de cálculo geralmente fornecem valores percentuais do potencial de conservação do uso final. Para determinar o potencial de conservação em termos de

energia (kWh) ou de custos (R\$), é necessário conhecer o consumo individual de cada uso final. Dessa forma, a desagregação do consumo global nos diversos usos finais facilita a determinação precisa do potencial de conservação de energia elétrica total da instalação.

Existem várias maneiras de desagregar o consumo global em consumos por usos finais. A medição direta dos circuitos de alimentação de cada uso final fornece resultados com a máxima precisão possível. Infelizmente, boa parte das instalações não possuem circuitos de alimentação independentes para os sistemas de iluminação e de ar condicionado, tornando muito difícil, na prática, segmentar a medição por usos finais.

Nos casos onde os circuitos de alimentação não sejam independentes, a desagregação do consumo global poderá ser realizada através dos fatores de carga e de demanda dos usos finais.

O fator de carga global da instalação é definido por:

$$F_{CARGA} = \frac{P_{MÉDIA}}{P_{MÁXIMA}} \quad (6)$$

onde:

$P_{MÉDIA}$  : demanda média da instalação.  
 $P_{MÁXIMA}$  : demanda máxima da instalação.

A equação anterior pode ser aplicada para cada uso final, resultando no fator de carga individual do uso final:

$$F'_{CARGA} = \frac{P'_{MÉDIA}}{P'_{MÁXIMA}} \quad (7)$$



onde:

$F'_{CARGA}$  : fator de carga do uso final.  
 $P'_{MÉDIA}$  : demanda média do uso final.  
 $P'_{MÁXIMA}$  : demanda máxima do uso final.

O fator de demanda para cada uso final é definido por:

$$F'_{DEMANDA} = \frac{P'_{MÁXIMA}}{P'_{INSTALADA}} \quad (8)$$

A partir das equações 7 e 8 é obtida a equação 9, que relaciona a demanda média com a potência instalada e com os fatores de carga e de demanda por uso final.

$$P'_{MÉDIA} = F'_{CARGA} \cdot F'_{DEMANDA} \cdot P'_{INSTALADA} \quad (9)$$

A partir da equação anterior, o consumo por uso final pode ser calculado através da equação:

$$C' = F'_{CARGA} \cdot F'_{DEMANDA} \cdot P'_{INSTALADA} \cdot Dt \quad (10)$$

onde  $Dt$  corresponde ao intervalo de tempo considerado.

Quando o fator de carga do uso final for desconhecido, pode-se admitir a hipótese de que ele seja igual ao fator de carga global da instalação, resultando:

$$C' = F_{CARGA} \cdot F'_{DEMANDA} \cdot P'_{INSTALADA} \cdot Dt \quad (11)$$

É importante enfatizar que a potência instalada de cada uso final deve ser determinada sem considerar os equipamentos defeituosos ou fora de operação, uma vez que eles definitivamente não contribuem para consumo de energia elétrica da instalação.

Para o cálculo do consumo desagregado segundo as equações 10 e 11, as grandezas utilizadas podem ser obtidas segundo as fontes indicadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Grandezas utilizadas no cálculo do consumo desagregado.

VARIÁVEL	FONTE
Demanda média da instalação ( $P_{MÉDIA}$ )	Analisador de energia
Demanda máxima da instalação ( $P_{MÁXIMA}$ )	Analisador de energia
Potência instalada por uso final ( $P'_{INSTALADA}$ )	Planilha
Fator de demanda por uso final ( $F'_{DEMANDA}$ )	Publicações especializadas
Fator de carga por uso final ( $F'_{CARGA}$ )	Estudos anteriores, valores típicos, etc.

Nesse ponto, convém tecer alguns comentários sobre a metodologia exposta acima.

Sem dúvida, a maneira mais adequada de desagregar o consumo de energia elétrica por usos finais é através de medição direta dos circuitos de alimentação individuais do sistema de iluminação, do sistema de ar condicionado e das tomadas de uso geral para equipamentos. Quando a medição individual for tecnicamente inviável, deve-se adotar o procedimento de cálculo anterior, que fornece uma estimativa do consumo desagregado. Nesse caso, a fidelidade dos resultados obtidos é influenciada por:

- Fatores de demanda típicos obtidos em publicações especializadas.
- Fatores de carga dos usos finais.
- Hipótese de igualar os fatores de carga por usos finais com o fator de carga global da instalação.

Embora a estimativa do consumo desagregado seja realizada a partir de alguns valores médios obtidos em normas, publicações especializadas, ou ainda, consolidados pela prática, os resultados obtidos pela aplicação da metodologia constituem um indicador razoável do potencial de conservação de energia elétrica real da instalação.

### **3.3 INDICADORES DO USO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Os indicadores do uso de energia elétrica constituem uma importante ferramenta para a realização de diagnósticos energéticos. Através de informações obtidas na fase de levantamento de dados, é possível determinar um conjunto de indicadores que retratam o perfil de consumo da instalação sob análise.

Esses indicadores, quando aplicados a diagnósticos energéticos, permitem um macro estudo das características de consumo da instalação, possibilitando a determinação do potencial de conservação de energia elétrica através de comparações com valores típicos obtidos para instalações com características semelhantes.

Os indicadores do uso de energia elétrica também podem ser utilizados no acompanhamento dos resultados das medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica implementadas, permitindo estudar a evolução da instalação, no que diz respeito à sua eficiência, a partir da análise da série histórica desses indicadores. Dessa forma, é possível planejar ações futuras e corrigir as ações em andamento, minimizando custos e maximizando resultados.

Além disso, o acompanhamento dos indicadores do uso de energia elétrica propicia a criação de um banco de dados com valores típicos para cada tipo de atividade e de instalação, possibilitando a realização de análises energéticas preliminares mais rápidas e de menor custo, através da comparação dos valores do banco de dados com os

indicadores da instalação obtidos via procedimento de inspeção de ambientes (preenchimento de planilhas).

Os indicadores sugeridos para a realização de diagnósticos energéticos, calculados a partir de informações obtidas na fase de levantamento de dados, podem ser divididos em duas categorias: indicadores genéricos, aplicados a qualquer instalação, e indicadores para análise de instalações de ensino.

### **3.3.1 INDICADORES GENÉRICOS**

#### **3.3.1.1 FATOR DE CARGA**

O fator de carga é um indicador bastante importante em análises energéticas, revelando, de forma global, como a energia elétrica está sendo utilizada. Quanto mais próximo de 1, maior a regularidade no uso de energia elétrica. Dependendo das características de consumo da instalação e da modalidade tarifária contratada, baixos valores do fator de carga apontam para um possível potencial de redução de custos (mudança de modalidade tarifária).

#### **3.3.1.2 CONSUMO MENSAL POR ÁREA ÚTIL**

O indicador consumo mensal por área útil é calculado através da divisão do consumo mensal total da instalação pela sua área útil. Ele é utilizado na comparação de instalações que possuam atividades semelhantes, sendo expresso em kWh/mês.m<sup>2</sup>.

#### **3.3.1.3 CONSUMO MENSAL EM ILUMINAÇÃO POR ÁREA ILUMINADA**

O indicador consumo mensal em iluminação por área iluminada, expresso em

$\text{kWh/mês.m}^2$ , é utilizado em comparações com valores típicos obtidos para diversos tipos de instalações e atividades desenvolvidas. Ele reúne num único indicador as características elétricas da tecnologia empregada (potência instalada) com os hábitos de uso do sistema (tempo de operação), uma vez que ele considera o consumo de energia elétrica do uso final iluminação.

#### **3.3.1.4 CONSUMO MENSAL EM AR CONDICIONADO POR ÁREA CLIMATIZADA**

O indicador consumo mensal em ar condicionado por área climatizada, expresso em  $\text{kWh/mês.m}^2$ , é definido da mesma forma que o indicador anterior, porém considerando o uso final ar condicionado, sendo aplicado em análises comparativas com valores típicos de instalações semelhantes.

#### **3.3.1.5 POTÊNCIA INSTALADA EM ILUMINAÇÃO POR ÁREA ILUMINADA**

O indicador potência instalada em iluminação por área iluminada ( $\text{W/m}^2$ ) é parecido com o indicador consumo em iluminação por área iluminada, porém um pouco mais específico, uma vez que ele considera apenas a tecnologia empregada no sistema de iluminação sem considerar o respectivo hábito de uso. A análise desse indicador permite estimar o potencial de conservação de energia elétrica no uso final iluminação através de comparações com valores característicos de outras tecnologias de iluminação. Além disso, valores relativamente altos desse indicador podem indicar um superdimensionamento do sistema de iluminação sob análise, com níveis de iluminamento acima dos valores recomendados pela norma.

### **3.3.1.6 POTÊNCIA INSTALADA EM ILUMINAÇÃO POR NÚMERO DE INTERRUPTORES**

O indicador potência instalada em iluminação por número de interruptores (W) foi definido com o objetivo de analisar os acionamentos de sistemas de iluminação. Em muitas instalações, principalmente nas mais antigas, o acionamento do sistema de iluminação é geral, ou seja, um único interruptor controla um conjunto muito grande de luminárias (todas as luminárias das áreas de circulação de um andar, por exemplo). Tal fato proporciona um considerável desperdício de energia em instalações onde existam ambientes com ocupação parcial ou intermitente, não sendo possível desligar as luminárias que não estejam sendo utilizadas.

### **3.3.1.7 POTÊNCIA INSTALADA EM AR CONDICIONADO POR ÁREA CLIMATIZADA**

O indicador potência instalada em ar condicionado por área climatizada ( $W/m^2$ ) é definido de forma análoga ao indicador potência instalada em iluminação por área iluminada, porém considerando o uso final ar condicionado.

### **3.3.1.8 PORCENTAGEM DE LUMINÁRIAS DEFEITUOSAS**

O indicador porcentagem de luminárias defeituosas tem por objetivo analisar o estado de conservação do sistema de iluminação. Valores desse indicador acima dos 5% revelam, geralmente, a falta de um programa de manutenção efetivo, ou ainda, um superdimensionamento do sistema de iluminação.

### 3.3.2 INDICADORES PARA ANÁLISES DE INSTALAÇÕES DE ENSINO

#### 3.3.2.1 CONSUMO MENSAL POR DOCENTE EQUIVALENTE

O consumo mensal por docente equivalente (kWh/DE.mês) é um indicador importante em diagnósticos energéticos de instalações de ensino, uma vez que o docente corresponde ao elemento aglutinador e catalisador das atividades desenvolvidas dentro da instituição. O conceito de docente equivalente tem por objetivo uniformizar todos os diferentes regimes de trabalhos existentes na instalação (integral, parcial, etc.) em regime de trabalho de 40 horas semanais. Ele é definido por [7]:

$$DE = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot h_i}{40} \quad (12)$$

onde:

$N_i$  : número de docentes do regime de trabalho  $i$ .

$h_i$  : número de horas do regime de trabalho  $i$ .

$n$  : número de regimes de trabalho diferentes.

É importante observar que o conceito de docente equivalente pode ser estendido e modificado para qualquer tipo de profissional, independentemente do tipo de instalação considerada.

#### 3.3.2.2 CONSUMO MENSAL POR ALUNO EQUIVALENTE

O mesmo raciocínio utilizado na definição do indicador consumo mensal por docente equivalente pode ser aplicado ao indicador consumo mensal por aluno equivalente, expresso em kWh/AE.mês [7]:

$$AE = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot h_i}{40} \quad (13)$$

onde:

$N_i$  : número de alunos do regime de estudo  $i$ .  
 $h_i$  : número de horas do regime de estudo  $i$ .  
 $n$  : número de regimes de estudo diferentes.

Nesse caso, o conceito de aluno equivalente tem por objetivo padronizar os diversos regimes de estudo existentes na instalação para um período de 40 horas semanais.

### 3.3.2.3 CONSUMO MENSAL POR USUÁRIO EQUIVALENTE

O indicador consumo mensal por usuário equivalente fornece a quantidade de energia gasta mensalmente por cada usuário equivalente da instalação, expresso em kWh/UE.mês. O conceito de usuário equivalente tem por objetivo uniformizar, para um período de 40 horas semanais, todos os regimes de trabalho das várias categorias de usuários que fazem uso da instalação. No caso de instituições de ensino, os usuários podem ser segmentados em docentes, alunos e funcionários (administrativos, de manutenção, etc.). Dessa forma, o número de usuários equivalentes pode ser calculado pela equação abaixo [7]:

$$UE = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^D \cdot h_i^D}{40} + \sum_{j=1}^p \frac{N_j^A \cdot h_j^A}{40} + \sum_{k=1}^q \frac{N_k^F \cdot h_k^F}{40} \quad (14)$$

onde:

$N_i^D$  : número de docentes do regime de trabalho  $i$ .  
 $N_j^A$  : número de alunos do regime de estudo  $j$ .



- $N_k^F$  : número de funcionários do regime de trabalho  $k$ .  
 $h_i^D$  : número de horas do regime de trabalho  $i$ .  
 $h_j^A$  : número de horas do regime de estudo  $j$ .  
 $h_k^F$  : número de horas do regime de trabalho  $k$ .  
 $n$  : número de regimes de trabalho existentes para docentes.  
 $p$  : número de regimes de estudo existentes para alunos.  
 $q$  : número de regimes de trabalho existentes para funcionários.

### 3.4 ANÁLISE DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

A análise do sistema de iluminação é essencial para a realização de diagnósticos energéticos. Além de ser um dos usos finais mais fáceis de se aplicar ações de uso racional e eficiente de energia elétrica, a iluminação também corresponde ao segmento com maior participação do consumo global de instalações comerciais e de ensino. Nos EUA, a iluminação é responsável por, respectivamente, 69% e 53% do consumo em escolas e faculdades [27]. No Brasil, estudos realizados em dez instalações da Universidade de São Paulo apontaram para uma participação do uso final iluminação de 66% no consumo global [7].

#### 3.4.1 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Existe uma grande quantidade de ações que promovem o aumento da eficiência e da eficácia de um sistema de iluminação. As principais delas são:

- Emprego da tecnologia de iluminação mais adequada às atividades desenvolvidas.
- Máximo aproveitamento possível da iluminação natural.
- Segmentação dos acionamentos do sistema de iluminação.

- Uso de detetores de presença.
- Uso de equipamentos gerenciadores de energia (controladores de carga).
- Implementação de um programa de manutenção efetivo.
- Educação dos usuários.

O emprego de uma tecnologia de iluminação adequada às atividades desenvolvidas é essencial para a eficiência e a eficácia do sistema. Sistemas de iluminação mal projetados podem reduzir a performance e prejudicar a saúde dos usuários, além de desperdiçar energia elétrica. Em instalações antigas, é comum observar sistemas com níveis de iluminamento acima dos valores da norma, indicando um superdimensionamento do sistema original ou uma substituição direta da tecnologia original por outra mais moderna. Nesse caso específico, geralmente lâmpadas incandescentes são substituídas por lâmpadas mistas, fluorescentes ou de mercúrio na mesma quantidade, provocando um aumento exagerado do nível de iluminamento, fato que pode ser interpretado como desperdício de energia. Portanto, a substituição de tecnologias de iluminação deve ser realizada mediante um novo projeto de iluminação, considerando as características físicas e de ocupação atuais da instalação. Nesse caso, o potencial de conservação pode ser determinado a partir da potência instalada atual em luminárias operantes e das potências instaladas previstas para as diversas alternativas sob análise, através da equação:

$$PC = 100 \cdot \left[ 1 - \underset{i=1}{\overset{n}{\text{mín}}} \left( \frac{P_i}{P_{ATUAL}} \right) \right] \quad [\%] \quad (15)$$

ou

$$PC = C_{ILUMINAÇÃO} \cdot \left[ 1 - \underset{i=1}{\overset{n}{\text{mín}}} \left( \frac{P_i}{P_{ATUAL}} \right) \right] \quad [\text{kWh}] \quad (16)$$

onde:

- $PC$  : potencial de conservação devido à mudança de tecnologia de iluminação.
- $P_i$  : potência instalada do sistema projetado a partir da tecnologia  $i$ .
- $P_{ATUAL}$  : potência instalada em luminárias operantes do sistema de iluminação atual.
- $n$  : número de diferentes tecnologias de iluminação propostas.
- $C_{ILUMINAÇÃO}$  : consumo desagregado em iluminação atual.

Outra medida bastante efetiva em relação a economia de energia elétrica é o aproveitamento da iluminação natural. Na maioria das instalações é possível reduzir o consumo do sistema de iluminação em áreas próximas a janelas, clarabóias, paredes e tetos envidraçados, etc.. Dependendo do local, a iluminação natural é intensa o suficiente para desligar por completo o sistema de iluminação artificial. Nesse caso, é recomendável haver uma segmentação dos acionamentos (interruptores) das luminárias próximas às áreas que recebem iluminação natural. Muitas vezes, a iluminação natural não é aproveitada adequadamente devido ao fato do acionamento do sistema de iluminação ser geral, não permitindo desativar apenas as luminárias desnecessárias.

Nos casos onde a iluminação natural não é suficiente para proporcionar sozinha um nível de iluminamento adequado, o uso de luminárias de fluxo luminoso controlável (luminárias "dimerizáveis") representa uma ótima solução. Nesse caso, a potência entregue às lâmpadas poderá ser controlada de maneira manual ou automática, dependendo do equipamento utilizado. Um cálculo preciso do potencial de conservação de energia elétrica proporcionado por essas medidas é bastante difícil de ser efetuado devido a uma série de fatores que interferem na eficácia das medidas, como, por exemplo, a disposição e preocupação dos usuários em desligar as luminárias próximas a janelas e os níveis de iluminamento proporcionados diariamente pela luz natural. Dessa forma, é sugerido considerar valores para o potencial de conservação típicos para essas

medidas, obtidos em diagnósticos energéticos de instalações semelhantes ou consolidados pela prática, sempre com a preocupação de se estimar valores conservativos.

Considerações semelhantes podem ser feitas em relação ao uso de detetores de presença. A eficácia dessa medida está diretamente relacionada com a frequência na qual os usuários abandonam os ambientes controlados. Dessa forma, cálculos precisos do potencial de conservação de energia elétrica proporcionados pelo uso de detetores de presença só podem ser realizados em ambientes onde se conheça de antemão os horários de ociosidade. Nesse caso, o potencial de conservação pode ser calculado pela equação:

$$PC = 100 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Dt_{OCIOSIDADE} i}{Dt_{TOTAL} i} \quad [\%] \quad (17)$$

ou

$$PC = \sum_{i=1}^n P_{LUMINÁRIAS} i \cdot Dt_{OCIOSIDADE} i \quad [\text{kWh}] \quad (18)$$

onde:

- $PC$  : potencial de conservação devido ao uso de detetores de presença.
- $Dt_{OCIOSIDADE} i$  : período de tempo no qual o ambiente  $i$  permanece desocupado.
- $Dt_{TOTAL} i$  : período de trabalho do ambiente  $i$ .
- $P_{LUMINÁRIAS} i$  : potência instalada nas luminárias controladas do ambiente  $i$ .
- $n$  : número ambientes controlados por detetores de presença.

Nos casos onde o comportamento dos usuários não for previsível, sugere-se adotar, também, valores conservativos obtidos em estudos similares.

Reduções consideráveis do consumo de energia elétrica podem ser obtidas através do uso de gerenciadores de energia. Com esses equipamentos é possível programar agendas completas com períodos de utilização apropriados do sistema de iluminação. Uma de suas aplicações típicas é o controle do consumo de energia elétrica

durante o horário de ponta e durante períodos de pouca atividade. Por exemplo, o gerenciador de energia pode ser programado para apagar uma luminária a cada três nos corredores de uma instalação durante o horário de ponta e, durante a noite, ascender uma a cada dez para a circulação dos funcionários da manutenção. A atuação do gerenciador de energia também pode atingir a iluminação de estacionamentos, rampas de acesso, ruas e áreas exteriores em geral. Nos casos onde o controle é do tipo liga/desliga, o potencial de conservação de energia elétrica pode ser calculado de forma idêntica ao calculado para o uso de detetores de presença. Para cargas que permitem um controle progressivo (discretizado em várias demandas intermediárias), o potencial de conservação pode ser calculado pela equação:

$$PC = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p (P_{LUMINÁRIA}^i - P_{LUMINÁRIA}^i j) Dt_{OPERAÇÃO j} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

onde:

- $PC$  : potencial de conservação devido ao uso de gerenciadores.
- $P_{LUMINÁRIA}^i$  : demanda normal da luminária  $i$ .
- $P_{LUMINÁRIA}^i j$  : demanda reduzida da luminária  $i$  durante período  $Dt_{OPERAÇÃO j}$ .
- $Dt_{OPERAÇÃO j}$  : período no qual a luminária opera com demanda  $P_{LUMINÁRIA}^i j$ .
- $n$  : número de luminárias controladas.
- $p$  : número de demandas reduzidas (20%, 40%, 60%, etc.) possíveis para a operação das luminárias controladas.

Outra importante medida que promove a eficiência e a eficácia do sistema de iluminação é a implementação de programas de manutenção efetivos. Equipes de manutenção devidamente treinadas devem verificar sistematicamente as condições de operação do sistema, seguindo uma agenda preestabelecida de forma a vistoriar todos os ambientes da instalação dentro de um ciclo de manutenção apropriado, visando

assegurar a qualidade da iluminação e satisfação dos usuários. Nesse caso, as equipes de manutenção são responsáveis pela substituição dos grupos de lâmpadas com vida média expirada e pela calibragem dos dispositivos de controle das luminárias (sensores de luminosidade, detetores de presença, etc.). Além disso, é muito importante a interação entre usuários e funcionários de manutenção, possibilitando o repasse de informações sobre a eficácia do sistema. Existem casos onde a falta de comunicação entre a equipe de manutenção com os usuários induziu-os a interferirem na atuação dos dispositivos de controle do sistema, fazendo com que estes não apresentassem os resultados de economia de energia esperados [34].

A educação dos usuários também pode proporcionar reduções do consumo de energia elétrica através da adoção de hábitos racionais de uso da energia elétrica. Nesse sentido, devem ser realizados programas de conservação dentro da instalação, através de cartazes publicitários (Figura 3.4), palestras e programas educativos que conscientizem e engajem os usuários no combate ao desperdício de energia elétrica, podendo e devendo ser estendidos aos demais energéticos, à conservação de água e à reciclagem do lixo, buscando o desenvolvimento sustentável.



Figura 3.4: Exemplo de publicidade para educação de usuários.

### 3.5 ANÁLISE DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O uso final ar condicionado possui, na média, uma participação expressiva no consumo de energia elétrica de instituições de ensino. Nos EUA, 14% do consumo total de energia elétrica das escolas são destinados à climatização de ambientes, alcançando os 39% em faculdades. No Brasil, estimativas apontam que o uso final ar condicionado seja responsável por aproximadamente 20% do consumo de energia elétrica no setor terciário [27].

Os sistemas de ar condicionado geralmente apresentam potenciais de conservação de energia elétrica consideráveis, consequência de projetos mal dimensionados, aquisições de equipamentos inadequados e falta de programas regulares de manutenção.

#### 3.5.1 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO SISTEMA DE AR CONDICIONADO

O potencial de conservação de energia elétrica do uso final ar condicionado pode ser calculado a partir da comparação entre o consumo atual com o consumo esperado para sistemas mais eficientes. O consumo atual é obtido a partir da desagregação do consumo global da instalação, dado em kWh/mês. O consumo estimado para um sistema eficiente pode ser calculado pela equação:

$$Consumo = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot Dt_i}{1000 \cdot EER_i} \quad [\text{kWh}] \quad (20)$$

onde:

- Consumo* : consumo mensal do uso final ar condicionado.  
 $C_i$  : capacidade do aparelho de ar condicionado  $i$  [Btu/h]  
 $Dt_i$  : tempo de operação, em horas, do aparelho de ar condicionado  $i$ .  
 $EER_i$  : eficiência do aparelho de ar condicionado  $i$  [Btu/h/W].  
 $n$  : número de aparelhos de ar condicionado da instalação.

O cálculo exato da carga térmica de um ambiente (Btu/h) depende de muitos fatores, como, por exemplo, área útil do ambiente, pé direito, quantidade de portas e janelas, orientação solar, quantidade de pessoas, condições climáticas, quantidade e potência média de aparelhos elétricos, material do piso, teto e paredes, condições de isolamento térmica, etc.. Dessa forma, o cálculo da capacidade térmica necessária para climatizar um determinado ambiente torna-se bastante complexo e, dependendo do tamanho da instalação, inviável dentro do escopo de um diagnóstico energético.

Uma estimativa aproximada da carga térmica de ambientes pode ser realizada com a ajuda da Tabela 3.2, extraída da referência [35]<sup>28</sup>.

Tabela 3.2: Carga térmica aproximada de ambientes.

ÁREA [m <sup>2</sup> ]	CARGA TÉRMICA [Btu/h]								
	AMBIENTE SOB OUTRO PAVIMENTO			AMBIENTE SOB TELHADO COM FORRO			AMBIENTE SOB LAJE DESCOBERTA		
	SOMBRA	SOL MANHÃ	SOL TARDE*	SOMBRA	SOL MANHÃ	SOL TARDE*	SOMBRA	SOL MANHÃ	SOL TARDE*
15	6.000	8.000	10.000	7.000	10.000	12.000	8.000	11.000	14.000
20	6.000	8.000	11.000	8.000	12.000	14.000	11.000	14.000	14.000
30	6.000	8.000	12.000	10.000	14.000	16.000	14.000	18.000	17.000
40	7.000	10.000	13.000	12.000	14.000	17.000	16.000	18.000	22.000
60	10.000	14.000	17.000	16.000	20.000	23.000	22.000	30.000	30.000
70	10.000	14.000	18.000	18.000	22.000	30.000	23.000	30.000	30.000
90	12.000	16.000	20.000	22.000	30.000	30.000	30.000	35.000	40.000

\* Também válido para ambientes que recebem radiação solar o dia inteiro.

<sup>28</sup> Procedimentos de cálculo mais exatos são contemplados na referência [12].



Na tabela anterior, a carga térmica, dada em Btu/h, é determinada em função da área útil do ambiente, da sua orientação solar e do tipo de cobertura. Os valores exibidos devem sofrer um acréscimo de 600 Btu/h para cada ocupante do ambiente que exceder o número de dois.

É importante observar que a metodologia de cálculo apresentada estima somente a redução do consumo de energia elétrica conseguida através de intervenções no sistema de ar condicionado atual, não considerando a diminuição da carga térmica proporcionada pelo uso mais racional e eficiente de equipamentos consumidores de energia elétrica dentro dos ambientes climatizados.

O cálculo da energia elétrica conservada devida à redução da carga térmica irradiada pelos equipamentos elétricos de um ambiente pode ser calculado a partir do EER dos aparelhos de ar condicionado, através da equação:

$$E_{ECONOMIZADA} = 3,4121 \cdot \frac{P_{REDUÇÃO} \cdot Dt}{EER} \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

onde:

$E_{ECONOMIZADA}$  : energia economizada em ar condicionado.  
 $P_{REDUÇÃO}$  : redução da demanda média do equipamento em kW.  
 $Dt$  : tempo de operação com demanda reduzida [horas].  
 $EER$  : eficiência do aparelho de ar condicionado.

A equação anterior pode ser aplicada no cálculo da redução do consumo do sistema ar condicionado proporcionada pelo aumento da eficiência do sistema de iluminação. Nesse caso, o produto  $P_{REDUÇÃO} \cdot Dt$  é igual à energia economizada no uso final iluminação.

É importante observar que a equação anterior é válida apenas para sistemas bem dimensionados, onde a carga térmica do ambiente é inferior à capacidade do

aparelho de ar condicionado. Em ambientes onde não ocorra essa situação, reduções da carga térmica (substituição do sistema de iluminação atual por um mais eficiente, por exemplo) não implicam, necessariamente, numa redução do consumo do aparelho de ar condicionado, uma vez que ele continuará demandando sua potência nominal continuamente enquanto a carga térmica do ambiente não for inferior à sua capacidade.

Outra forma de racionalizar o consumo de energia elétrica do uso final ar condicionado é através do uso de sistemas de termoacumulação. Os sistemas de ar condicionado baseados no acúmulo de calor permite o deslocamento do consumo do horário de ponta para horários fora de ponta, proporcionando reduções no custo médio da energia elétrica. Nesse caso, o potencial de redução de custos pode ser calculado através de simulações tarifárias considerando a redução da demanda contratada na ponta e do deslocamento da demanda e do consumo para horários fora de ponta.

### **3.6 ANÁLISE DE MICROCOMPUTADORES PESSOAIS**

Seguindo as diretrizes do programa Energy Star, os microcomputadores pessoais e periféricos mais modernos já incorporam funções de gerenciamento que possibilitam reduções consideráveis no consumo de energia elétrica desses equipamentos. Através de um gerenciador de energia incorporado, um “green PC” pode operar no modo de baixo consumo após um determinado tempo de ociosidade, programável pelo usuário.

A atuação do gerenciador de energia é facilmente visualizada na Figura 3.5, onde são exibidas duas curvas de carga diárias obtidas em ensaio para um “green PC” típico (microprocessador Pentium e monitor SVGA de 14”) nas situações com e sem a atuação do gerenciador.

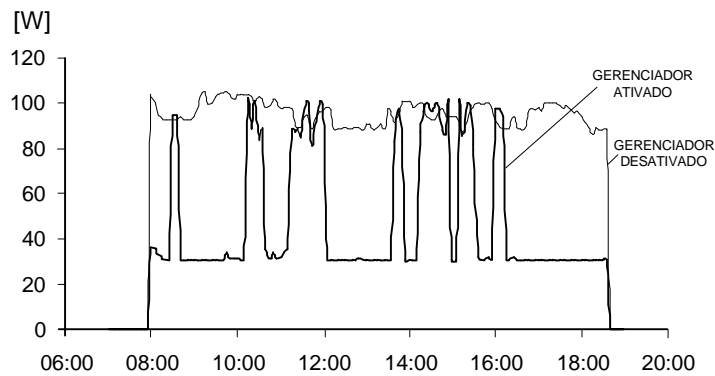


Figura 3.5: Curvas de carga de um “green PC” típico.

A área entre as duas curvas de carga representa a energia economizada diariamente devida à atuação do gerenciador de energia. Em diversos intervalos de tempo, a demanda de energia foi reduzida drasticamente através da atuação do gerenciador, atingindo valores inferiores a 30% da demanda normal.

### 3.6.1 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE MICROCOMPUTADORES “GREEN PCs”

O potencial de conservação de energia elétrica de um “green PC” pode se definido por:

$$PC = \frac{E_{ECONOMIZADA}}{E_{SEM\ GERENCIAMENTO}} = \frac{E_{SEM\ GERENCIAMENTO} - E_{COM\ GERENCIAMENTO}}{E_{SEM\ GERENCIAMENTO}} \quad (22)$$

onde:

- $PC$  : potencial de conservação.
- $E_{ECONOMIZADA}$  : energia poupada devida à atuação do gerenciador.
- $E_{SEM\ GERENCIAMENTO}$  : consumo de energia do PC sem a atuação do gerenciador.
- $E_{COM\ GERENCIAMENTO}$  : consumo de energia do PC com a atuação do gerenciador.

Para o caso de se programar apenas um modo de conservação<sup>29</sup> (modo "off", por exemplo), a relação entre os consumos de energia do PC com e sem a atuação do gerenciador pode ser expressa por:

$$\frac{E_{COM\ GERENCIAMENTO}}{E_{SEM\ GERENCIAMENTO}} = \frac{P_{SEM\ GERENCIAMENTO} \cdot (\Delta t_{TOTAL} - \Delta t_{OCIOSO}) + P_{COM\ GERENCIAMENTO} \cdot \Delta t_{OCIOSO}}{P_{SEM\ GERENCIAMENTO} \cdot \Delta t_{TOTAL}} \quad (23)$$

onde:

- $P_{SEM\ GERENCIAMENTO}$  : demanda de energia do PC sem a atuação do gerenciador.  
 $P_{COM\ GERENCIAMENTO}$  : demanda de energia do PC com a atuação do gerenciador.  
 $\Delta t_{OCIOSO}$  : tempo de operação no qual o PC permanece ocioso.  
 $\Delta t_{TOTAL}$  : tempo de operação total do PC.

Reagrupando a equação anterior, obtém-se:

$$E_{COM\ GERENCIAMENTO} = E_{SEM\ GERENCIAMENTO} \cdot \left( 1 - \frac{\Delta t_{OCIOSO}}{\Delta t_{TOTAL}} + \frac{P_{COM\ GERENCIAMENTO}}{P_{SEM\ GERENCIAMENTO}} \cdot \frac{\Delta t_{OCIOSO}}{\Delta t_{TOTAL}} \right) \quad (24)$$

Definindo o fator de ociosidade como:

$$F_{OCIOSIDADE} = \frac{\Delta t_{OCIOSO}}{\Delta t_{TOTAL}} \quad (25)$$

e o fator de redução de demanda como:

$$F_{REDUÇÃO\ DE\ DEMANDA} = \frac{P_{COM\ GERENCIAMENTO}}{P_{SEM\ GERENCIAMENTO}} \quad (26)$$

<sup>29</sup> Para dois modos de conservação programados, o consumo de energia durante o período de ociosidade é composto por duas parcelas, uma do modo "stand by" e outra do modo "off".

obtem-se:

$$E_{COM\ GERENCIAMENTO} = E_{SEM\ GERENCIAMENTO} \cdot [1 + F_{OCIOSIDADE} \cdot (F_{REDU\ C\ A\ O\ DE\ DEMANDA} - 1)] \quad (27)$$

Aplicando a equação 27 à equação 22, resulta a expressão final do potencial de conservação de energia em “green PCs”<sup>30</sup>:

$$PC = F_{OCIOSIDADE} \cdot (1 - F_{REDU\ C\ A\ O\ DE\ DEMANDA}) \cdot 100 \quad [\%] \quad (28)$$

Segundo o equacionamento anterior, o resultado da atuação do gerenciador de energia depende de dois fatores básicos: características intrínsecas do PC (fator de redução de demanda) e hábito de uso (fator de ociosidade).

O fator de redução de demanda depende dos componentes internos do PC e de seus periféricos, sendo o monitor de vídeo o componente mais determinante.

Em relação ao hábito de uso, geralmente, quanto maior a ociosidade, maior a economia de energia. No entanto, a atuação do gerenciador de energia depende, também, da frequência de utilização do equipamento, não considerada no equacionamento anterior. Em situações onde a frequência de utilização é elevada, é possível que o período de ociosidade exigido para a entrada no modo de baixo consumo de energia, tipicamente entre 5 e 30 minutos, seja muito próximo do tempo de ociosidade do equipamento. Nessa caso, o desempenho do gerenciador fica bastante comprometido, fazendo com o modo de conservação de energia não consiga atuar

---

<sup>30</sup> Para a atuação de um único modo de conservação.

tempo suficiente para proporcionar reduções significativas no consumo de energia elétrica do equipamento.

É importante observar que a equação 28 fornece o potencial de conservação de energia elétrica de “green PCs” operando em ambientes não climatizados. Para ambientes servidos por sistemas de ar condicionado, a parcela de energia economizada devida à redução da carga térmica irradiada pelo equipamento pode ser calculada pela equação:

$$E_{ECONOMIZADA} = 3,4121 \cdot \frac{F_{OCIOSIDADE} \cdot (1 - F_{REDUÇÃO DE DEMANDA}) \cdot E_{GREEN PC}}{EER} \quad [\text{kWh}] \quad (29)$$

Além da economia de energia elétrica, a atuação do gerenciador também proporciona uma vida útil maior ao equipamento, em especial ao monitor de vídeo<sup>31</sup>, um periférico caro e que demora bastante tempo para se tornar obsoleto. Considerando que no modo de baixo consumo não ocorra envelhecimento do equipamento, o aumento de sua vida útil pode, então, ser estimado através de seu fator de ociosidade:

$$\text{Aumento da Vida Útil} = 100 \cdot F_{OCIOSIDADE} \quad [\%] \quad (30)$$

Na prática, para calcular precisamente o potencial de conservação de um "green PC", é necessário o conhecimento de seu fator de ociosidade, determinado, por exemplo, através de medição direta realizada por um analisador de energia, fornecendo, também, seu fator de redução de demanda.

<sup>31</sup> No modo “off”, um monitor padrão VESA está praticamente desligado, não comprometendo o resto de sua vida útil.

Em casos onde um analisador de energia não esteja disponível, pode-se adotar um fator de redução de demanda típico. Para um PC com microprocessador da família x486 ou superior, monitor de vídeo SVGA de 14'' e gerenciador programado para o estado de conservação máxima ("off"), o valor típico é 0,39. Para a mesma torre, porém com monitor de 17'', o valor é, aproximadamente, 0,28. Em relação à determinação do fator de ociosidade, bons resultados são conseguidos através do preenchimento de uma planilha de horários, registrando os períodos de ociosidade do equipamento.

É importante observar que apesar da grande maioria dos microcomputadores modernos já incorporarem as funções de gerenciamento de energia, o que se observa, na prática, é que poucos usuários fazem uso desse recurso, talvez por desconhecimento ou pelo fato das funções virem desativadas já de fábrica. De qualquer forma, a programação do gerenciador de energia é uma tarefa fácil e rápida, fortemente recomendada, com custo de investimento nulo.

### **3.7 ANÁLISE DE OUTROS EQUIPAMENTOS**

A determinação do potencial de conservação de energia elétrica de um equipamento específico deve ser realizada a partir do estudo detalhado de seu ciclo de operação. Através da compreensão de seu funcionamento, é possível estudar a viabilidade de aplicação de algumas medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica. Geralmente, as principais ações são:

- Utilização de temporizadores eletrônicos e de sistemas de controle de carga.
- Implementação de programas efetivos de manutenção.
- Substituição de equipamentos antigos por equipamentos novos mais eficiente.

Em diversos equipamentos, o uso de temporizadores eletrônicos e sistemas de controle de carga podem propiciar um consumo de energia elétrica mais racional. Equipamentos que operam durante períodos de tempo mais longos do que os necessários podem apresentar consideráveis potenciais de conservação de energia elétrica. Nesse caso, a operação prolongada do equipamento pode ser causada por despreocupação dos usuários em economizar energia ou mesmo por falta de um controle mais adequado do próprio aparelho. Por causa disso, alguns equipamentos permanecem ligados 24 horas por dia (Figura 3.6.a) enquanto poderiam operar durante períodos de tempo bastante reduzidos (Figura 3.6.b). O potencial de conservação de energia elétrica é maior ainda em equipamentos que permitam o seu desligamento por pequenos intervalos de tempo (de 1 a 3 horas) sem prejudicar as suas performances (Figura 3.6.c). Essa característica é especialmente útil quando o equipamento pode ser desligado durante o horário de ponta do sistema elétrico (Figura 3.6.d), uma vez que a tarifa é mais cara nesse horário.

É importante observar que existem equipamentos que permitem um controle discreto sobre o seu consumo de energia elétrica, operando com potências intermediárias entre zero e sua demanda máxima.

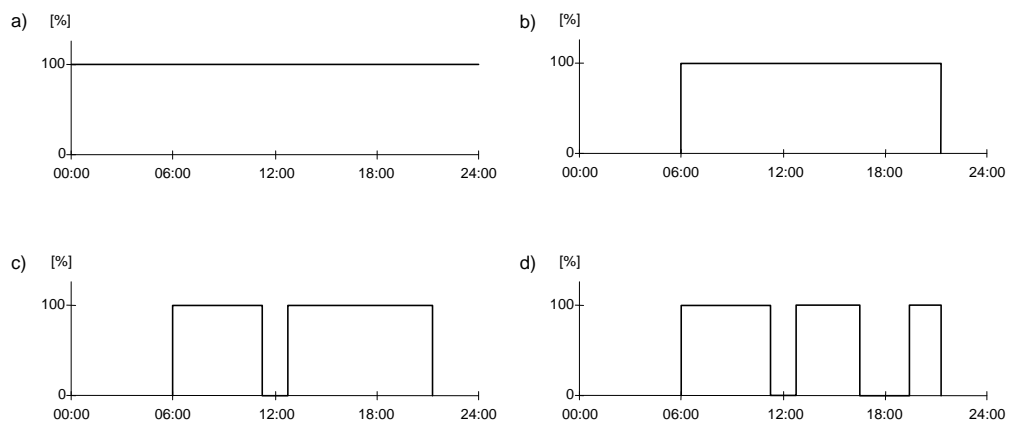


Figura 3.6: Ciclos de operação de um equipamento genérico.



Independentemente do tipo de equipamento, o potencial de conservação de energia elétrica com o uso de temporizadores e de sistemas de controle de carga pode ser calculado pela equação:

$$PC = \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot Dt_i}{P_{MÉDIA} \cdot Dt_{TOTAL}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (31)$$

ou

$$PC = \sum_{i=1}^n (P_{MÉDIA} - P_i) \cdot Dt_i \quad [\text{kWh}] \quad (32)$$

onde:

$PC$	: potencial de conservação.
$P_i$	: demanda reduzida do equipamento no período $Dt_i$ .
$P_{MÉDIA}$	: demanda média do equipamento em operação contínua.
$Dt_i$	: período no qual o equipamento opera com demanda $P_i$ .
$Dt_{TOTAL}$	: período de operação atual do equipamento.
$n$	: número de períodos de operação diferentes.

Outra importante ação no sentido de reduzir o consumo de energia elétrica dos equipamentos de uma instalação é a implementação de programas efetivos de manutenção. Geralmente, a falta de limpeza e manutenção provoca reduções consideráveis na performance e no rendimento de boa parte dos equipamentos de uma instalação. O potencial de conservação para a adoção de um programa efetivo de manutenção pode ser estimado comparando o consumo atual do equipamento sob análise (através de medições com um analisador de energia) com o consumo nominal (dados de placa do equipamento) ou com valores típicos, obtidos em outros ensaios.

Quando forem comprovados consumos de energia elétrica excessivos em relação a valores típicos, é conveniente realizar análises de alternativas de substituição dos equipamentos atuais por equipamentos novos mais eficientes. Nesse caso, a reforma dos equipamentos atuais representa uma boa opção, que também deve ser considerada na análise.

### **3.8 ANÁLISE ECONÔMICA**

Embora proporcionem grandes economias de energia elétrica, algumas medidas de uso racional e eficiente podem não ser economicamente viáveis. Todo proprietário ou administrador, por mais que esteja preocupado com questões ambientais e de preservação de recursos naturais, deseja, muitas vezes, garantir o retorno de capital ou justificar o investimento ao implementar medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica. Portanto, qualquer ação que promova a racionalização e a eficiência do uso de energia elétrica deve ser analisada também do ponto de vista econômico. Nesse caso, além da viabilidade, a prioridade de cada ação também pode ser determinada pela análise econômica das alternativas consideradas.

Existem diversas formas de analisar a atratividade econômica de investimentos. Para o caso de medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica são sugeridos os indicadores tempo de retorno, equivalentes uniformes anuais e custo da energia conservada, entre outros, disponíveis em várias publicações, como, por exemplo, as referências [36], [37] e [38].

### **3.9 ANÁLISE TARIFÁRIA**

O principal objetivo desta análise é determinar a modalidade tarifária e os valores de contrato mais adequados para que o consumidor minimize sua despesa com o consumo de energia elétrica.

Embora a mudança da modalidade tarifária e dos valores de contrato não proporcione diretamente uma redução do consumo de energia elétrica da instalação, ela pode proporcionar uma economia de recursos financeiros (R\$) caso políticas de uso racional e eficiente de energia elétrica sejam adotadas, uma vez que a estrutura tarifária atual onera o custo da energia em horários do dia e períodos do ano onde as condições de fornecimento são mais críticas. Aliás, esse foi um dos principais objetivos do Governo Federal quando, em 1982, implantou o sistema tarifário com modalidades tarifárias diferenciadas baseadas nos custos marginais de operação e de expansão do sistema elétrico.

A análise tarifária deve ser realizada sempre que as características de consumo da instalação sofrerem modificações, sejam elas causadas por mudanças de hábitos de uso ou por alterações na potência instalada de algum de seus usos finais.

No caso de diagnósticos energéticos, a análise tarifária deve ser realizada para dois cenários diferentes. O primeiro considerando o sistema atual, visando descobrir se a modalidade tarifária e os valores de contrato atuais são adequados às características de consumo da instalação. São comuns situações onde a instalação é penalizada com multas por excesso de reativos (baixo fator de potência) e por ultrapassagem da demanda contratada, dependendo da modalidade tarifária. Outra situação frequente é o contrato de um valor de demanda bem acima da demanda registrada, onde a instalação paga por uma energia que não está efetivamente utilizando.

O outro cenário a ser analisado deve considerar os valores de demanda esperados caso na instalação sejam implementadas as ações recomendadas para o uso racional e eficiente de energia elétrica. Nesse caso, a economia de recursos financeiros prevista pela análise tarifária deve ser contabilizada no potencial de redução de custos total da instalação.

### **3.9.1 SIMULAÇÕES TARIFÁRIAS**

O custo médio da energia elétrica (R\$/kWh) de uma instalação depende da modalidade tarifária, dos valores de contrato e das suas próprias características de consumo.

A partir das equações 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 do Apêndice, pode-se elaborar uma planilha de cálculo (em algum programa de planilha eletrônica) que determine os valores dos importes e das multas para cada modalidade tarifária possível de ser aplicada à instalação, permitindo identificar a modalidade e os valores de contrato que minimizem o custo médio da energia elétrica. Um exemplo de planilha desse tipo é exibido na Figura 3.7, onde os resultados da análise tarifária (campos de cor branca) são calculados a partir dos dados de entrada (campos de cor cinza) obtidos nas contas de energia elétrica da instalação. É importante observar que a planilha de cálculo deve considerar as restrições relativas ao valor da demanda faturada e ao limite de ultrapassagem da demanda contratada, conforme a legislação vigente.

Outro fato importante é a escolha do valor da demanda contratada, que influencia profundamente os resultados da análise tarifária. Através de uma análise estatística, é possível estimar a demanda registrada de períodos futuros, possibilitando a elaboração de um cronograma de reajustes dos valores de contrato que minimizem o custo médio da energia elétrica.

MODALIDADE TARIFÁRIA	DEMANDA CONTRATADA [kW]		PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA								
			DEMANDA [R\$/kW]		ULTRAPASSAGEM [R\$/kW]		ENERGIA [R\$/MWh]				
	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA SECA	FORA DE PONTA SECA	PONTA ÚMIDA	FORA DE PONTA ÚMIDA	
AZUL											
VERDE											
CONVENCIONAL					*****						

ICMS [%]	
----------	--

MÊS	CONSUMO				DEMANDA [kW]			
	ATIVO [kWh]		REATIVO [kvarh]		REGISTRADA		FATURADA	
	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA	PONTA	FORA DE PONTA
TOTAL								
MÉDIA								

MÊS	TARIFA CONVENCIONAL					TARIFA AZUL						TARIFA VERDE					
	CUSTO [R\$]					CUSTO [R\$]						CUSTO [R\$]					
	CONSUMO	DEMANDA	FER	FDR	TOTAL	CONSUMO	DEMANDA	ULTRAPASSAGEM	FER	FDR	TOTAL	CONSUMO	DEMANDA	ULTRAPASSAGEM	FER	FDR	TOTAL
TOTAL																	
MÉDIA																	

Figura 3.7: Exemplo de planilha de cálculo para análises tarifárias.

Considerando confiáveis os resultados da análise estatística, ou seja, os valores obtidos para as contas de meses passados poderão e deverão ser repetidos nos meses futuros, pode-se calcular o potencial de redução de custos através da comparação entre a soma do custo total de cada fatura analisada e a soma dos custos simulados dessas mesmas faturas.

Este é um procedimento bastante adequado para instalações que apresentam uma taxa elevada de crescimento do consumo de energia elétrica.

### 3.9.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA E PREVISÃO DE DEMANDA

A análise estatística tem por objetivo prever a demanda futura de uma instalação a partir da análise de suas contas de energia elétrica. Através desta técnica, é possível, também, elaborar um cronograma de reajustes dos valores do contrato de fornecimento, minimizando o custo médio da energia elétrica.

A análise estatística sugerida considera, primeiramente, a aproximação dos valores da demanda registrada por uma curva adequada (regressão linear, por exemplo), conforme o perfil de crescimento do consumo da instalação. A partir dessa curva, são obtidos os valores aproximados da demanda registrada, fornecendo os valores da variável  $x$ , definida pela equação:

$$x = \frac{D_{REGISTRADA}}{D_{APROXIMADA}} \quad (33)$$

onde:

$D_{REGISTRADA}$  : demanda registrada obtida na conta de energia elétrica.  
 $D_{APROXIMADA}$  : demanda aproximada fornecida pela curva de aproximação.

Através do cálculo da média e do desvio padrão da amostra de valores da variável  $x$ , é obtida a sua distribuição normal, segundo a equação paramétrica abaixo [39]:

$$z = \frac{x - m}{d} \quad (34)$$

onde:

$z$  : variável paramétrica da distribuição normal.

$m$  : média da amostra de  $x$ .

$d$  : desvio padrão da amostra de  $x$ .

Uma vez conhecida a distribuição normal da variável  $x$ , é possível determinar a probabilidade de ocorrência de demandas registradas dentro dos limites de ultrapassagem definidos pela legislação vigente. Por exemplo, para um mês futuro onde a curva de aproximação fornece uma demanda estimada de 10.000 kW, supondo que a média e o desvio padrão da distribuição de  $x$  sejam, respectivamente, 1 e 0,1 e que o limite de ultrapassagem seja 5%, a probabilidade de não ocorrência de ultrapassagem de demanda seria calculado para  $x$  igual a 1,05 (10.500/10.000) e  $z$  igual a 0,5 ((1,05 - 1)/0,1). Para este valor de  $z$ , a probabilidade é de 69,14% [39], conforme tabelas obtidas em publicações especializadas ou programação da equação de distribuição normal na própria planilha eletrônica. Caso 69% não seja um valor considerado confiável, o caminho inverso poderá ser percorrido, através do cálculo da variável  $x$  a partir de uma probabilidade preestabelecida.

## **4 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – ESTUDO DE CASO: A CIDADE UNIVERSITÁRIA ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA (USP)**

Este capítulo tem por objetivo demonstrar a aplicação prática da metodologia apresentada para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais.

O caso exposto corresponde ao diagnóstico energético da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira (CUASO), realizado em 1996 pela equipe do GEPEA - Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - dentro do projeto Conservusp, financiado parcialmente pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Devido ao volume e à extensão dos estudos desenvolvidos, boa parte dos dados coletados são apresentados de forma sintética, sendo omitidas algumas informações utilizadas nas análises, como, por exemplo, tabelas, gráficos e curvas de carga, porém, sem comprometer o entendimento e os detalhes da aplicação prática da metodologia exposta.

### **4.1 O UNIVERSO DE ESTUDO: CUASO**

Localizada na cidade de São Paulo, a Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - CUASO - é o maior campus da Universidade de São Paulo. Com área construída próxima de 730.000 m<sup>2</sup>, a CUASO comporta 18 Unidades de Ensino e



Pesquisa, 4 Centros e Institutos Especializados, 1 Hospital e 9 Órgãos Centrais de Direção e Serviço [40].

Empregando 2.941 docentes e 9.066 não docentes, a CUASO, em 1995, ofereceu à sociedade 104 cursos de graduação para 26.638 alunos regulares, 117 cursos de mestrado e 109 cursos de doutorado para 12.157 alunos de pós-graduação, outorgando 806 títulos de mestrado e 609 títulos de doutorado, com produção científica média de 3,3 trabalhos por docente [40].

Para manter toda essa infra-estrutura, a CUASO teve, em 1995, um orçamento executado de aproximadamente R\$ 284 milhões [40], dos quais cerca de R\$ 5 milhões<sup>32</sup> foram gastos com o consumo de energia elétrica.

## **4.2 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA**

A metodologia de diagnóstico energético para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica de usos finais foi aplicada a 28 unidades consumidoras da CUASO.

Por falta de recursos físicos (equipamentos analisadores de energia), recursos humanos e tempo hábil, o levantamento de dados completo (inspeção de ambientes e medição direta) foi realizado somente em 2 unidades consumidoras: o edifício da Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica e o edifício da Zoologia do Instituto de Biociências. A escolha dessas duas unidades foi baseada em estudos preliminares que apontaram essas instalações como as maiores consumidoras de energia elétrica por área útil [7].

---

<sup>32</sup> Calculado para valores atuais da tarifa de energia elétrica.

Nas unidades analisadas restantes, não foi possível realizar medições diretas das respectivas cabinas primárias. Todos os dados levantados por inspeção de ambientes foram coletados pelas equipes de manutenção das próprias instalações, através do preenchimento de planilhas especialmente desenvolvidas para este estudo, contando com a colaboração da Reitoria da USP (RUSP) e da Prefeitura da Cidade Universitária (PCO), responsáveis pela distribuição e encaminhamento das planilhas para 52 unidades consumidoras. Desse total, 26 unidades devolveram as planilhas devidamente preenchidas, formando uma amostra de 50% do universo de estudo. Essas unidades foram:

CECAE	Coordenadoria Executiva de Cooperação Universitária.
CEPEUSP	Centro de Práticas Esportivas da USP.
EEF	Escola de Educação Física.
FAU	Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
FCF	Faculdade de Ciências Farmacêuticas.
FEA	Faculdade de Economia e Administração.
FUVEST	Fundação Universitária para o Vestibular.
IEB	Instituto de Estudos Brasileiros.
IGC	Instituto de Geociências da USP.
IME	Instituto de Matemática e Estatística.
-	Comissão Central de Informática (IME).
IO	Instituto Oceanográfico.
IP	Instituto de Psicologia.
MAC	Museu de Arte Contemporânea.
PCO	Prefeitura do Campus de São Paulo.

- Comissão Especial de Regimes de Trabalho (Reitoria da USP - RUSP).
- Consultoria Jurídica (RUSP).
- Coordenadoria de Administração Geral (RUSP).
- Pró-reitoria de Cultura e Extensão Universitária da USP (RUSP).
- Pró-reitoria de Graduação da USP (RUSP).
- Pró-reitoria de Pesquisa da USP (RUSP).
- Pró-reitoria de Pós-graduação (RUSP).
- Chefia de Gabinete da USP (RUSP).
- Gabinete do Reitor (RUSP).
- Gabinete do Vice-reitor (RUSP).
- Secretaria Geral da USP (RUSP).

## **4.3 RESULTADOS OBTIDOS**

### **4.3.1 EDIFÍCIO DA ENGENHARIA DE ELETRICIDADE DA EPUSP**

#### **4.3.1.1 LEVANTAMENTO DE DADOS**

O edifício da Engenharia de Eletricidade da Escola Politécnica da USP é composto por cinco blocos: bloco A, bloco B, bloco C, bloco D e bloco G. A instalação é alimentada em 13,8 kV pela rede de distribuição da CUASO. A transformação em baixa tensão é realizada por 5 transformadores de potência, distribuídos em 4 cabinas primárias.

Cada transformador da instalação foi monitorado durante uma semana típica, permitindo estudar separadamente as respectivas curvas de carga. Vale observar que não foi possível a monitoração simultânea dos 5 transformadores, uma vez que somente dois analisadores de energia estavam disponíveis na ocasião.

Através de soma algébrica, foi obtida a curva de carga semanal da instalação, exibida na Figura 4.1. A Figura 4.2 mostra a curva de carga diária, enquanto que a Tabela 4.1 exibe os valores médios da demanda e do fator de potência para cada dia da semana monitorada.

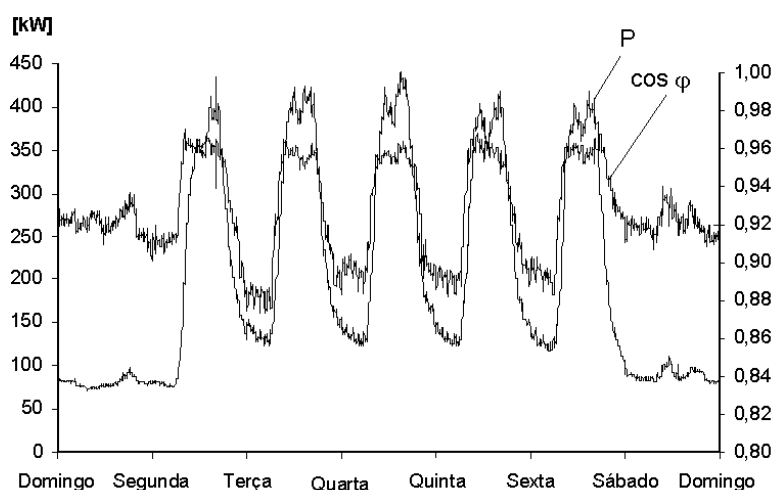


Figura 4.1: Edifício da Engenharia de Eletricidade: curva de carga semanal.

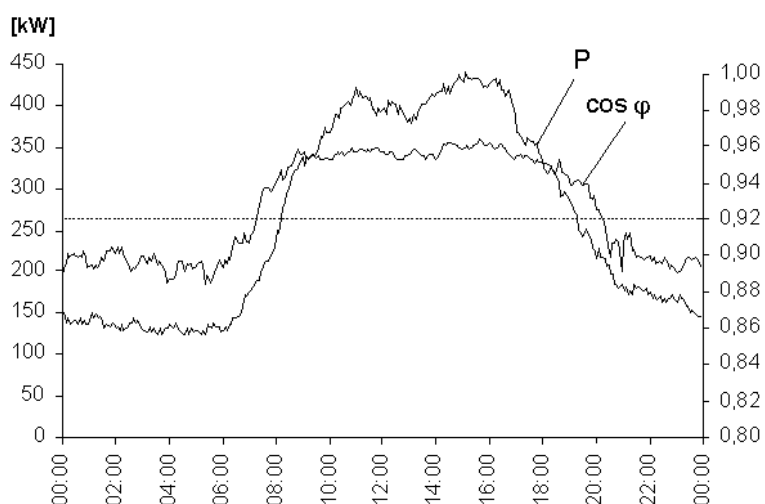


Figura 4.2: Edifício da Engenharia de Eletricidade: curva de carga de um dia típico.

Segundo a curva de carga da Figura 4.1, o consumo de energia elétrica apresenta certa uniformidade durante os dias úteis. As atividades na instalação são iniciadas por volta das 06:00 horas, começando a ser encerradas às 18:00 horas e sendo efetivamente finalizadas às 22:00 horas. Durante o horário do almoço, ocorre uma redução da demanda de aproximadamente 15% (Figura 4.2). Durante a madrugada dos dias úteis, a demanda oscila levemente em torno de 135 kW, 60% a mais do que a demanda da madrugada dos dias de fim de semana (Tabela 4.1).

O fator de potência da instalação permanece abaixo de 0,92 durante a madrugada dos dias úteis, atingindo valores da ordem de 0,88 indutivo. Durante o fim de semana, o fator de potência oscila em torno de 0,92 (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Edifício da Engenharia de Eletricidade: demanda e fator de potência médios.

DIA	00:00 ÀS 06:00 HORAS		06:00 ÀS 18:00 HORAS		18:00 ÀS 00:00 HORAS	
	P [kW]	COS $\phi$	P [kW]	COS $\phi$	P [kW]	COS $\phi$
Domingo	80,9	0,92	78,7	0,92	84,0	0,92
2ª feira	79,2	0,91	308,1	0,96	202,2	0,92
3ª feira	135,9	0,88	345,1	0,95	205,3	0,92
4ª feira	135,0	0,90	349,7	0,95	212,6	0,92
5ª feira	133,4	0,89	334,6	0,96	205,0	0,92
6ª feira	128,1	0,89	332,0	0,96	165,9	0,94
Sábado	88,2	0,92	91,9	0,92	86,6	0,92

É importante observar que mesmo apresentando fator de potência abaixo de 0,92 no horário entre as 20:00 e as 06:00 horas (Figura 4.2), a instalação seria multada apenas durante o período entre as 20:00 e as 00:00 horas caso fosse faturada separadamente do resto do campus, uma vez que a legislação vigente permite o excesso de reativos indutivos durante a madrugada.

A análise das curvas de carga individuais de cada transformador analisado permitiu identificar a causa do baixo fator de potência durante as madrugadas dos dias

úteis, bem como a elevada demanda desse período, cerca de 30% da demanda máxima diária. Um dos fatores que contribuem para esse quadro é o perfil de consumo do Laboratório de Sistemas Integráveis (LSI), responsável por 31% do consumo mensal da instalação. Durante a madrugada dos dias úteis, o LSI é responsável por 50% da demanda, proveniente do sistema de ar condicionado central, de alguns aparelhos de janela e de computadores que permanecem ligados, contribuindo para o abaixamento do fator de potência da instalação. O restante da demanda é proveniente de exaustores do Laboratório de Microeletrônica (LME) e de parte do sistema de iluminação, que durante a madrugada é predominantemente fluorescentes com reatores eletromagnéticos, contribuindo também para o baixo fator de potência encontrado.

A queda de 40% da demanda durante o fim de semana em relação à demanda da madrugada dos dias úteis é proporcionada pelo desligamento de aparelhos de ar condicionado de janela, de exaustores e de computadores presentes na instalação.

Em relação ao carregamento dos transformadores, nenhum dos 5 existentes na instalação operam acima de 50% da respectiva capacidade nominal. A demanda aparente máxima registrada durante a semana analisada foi de 462 kVA, um valor muito pequeno quando comparado com a soma das potências aparentes nominais dos transformadores, cerca de 2.075 kVA. A Tabela 4.2 fornece a capacidade nominal de cada transformador da instalação, a máxima demanda registrada durante o período analisado e o carregamento máximo verificado.

Quando operando relativamente abaixo de sua capacidade nominal, um transformador além de desperdiçar energia (corrente de magnetização nos enrolamentos e perdas no núcleo) também contribui para o abaixamento do fator de potência da instalação. Conforme a Tabela 4.2, existe um potencial de conservação de energia elétrica relacionado com a má alocação de transformadores, que embora seja

significativo, não é tratado neste trabalho por não ser um uso final propriamente dito. É importante observar, também, que estudos de carregamento de transformadores, bastante discutidos em outros textos, devem ser realizados após a implementação de medidas de uso racional e eficiente de energia elétrica, permitindo a otimização da rede elétrica da instalação perante às suas novas características de consumo.

Tabela 4.2: Edifício da Engenharia de Eletricidade: carregamento dos transformadores.

TRANSFORMADOR	CAPACIDADE [kVA]	DEMANDA [kVA]	CARREGAMENTO [%]
Central 1	500	202	40
Central 2	300	139	46
Bloco D	275	21	8
LSI - Laboratório de Sistemas Integráveis	500	141	28
LME - Laboratório de Microeletrônica	500	39	8
Total	2.075	462	22

A partir dos dados levantados por medição direta e através da aplicação da metodologia de cálculo apresentada, foi possível determinar as grandezas elétricas que caracterizam o consumo da instalação, exibidas na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Edifício da Engenharia de Eletricidade: características de consumo.

GRANDEZA	VALOR CALCULADO
Demanda média dos dias úteis	247,0 [kW]
Demanda média dos dias de fim de semana	85,3 [kW]
Consumo total	146.794 [kWh/mês]
Demanda máxima registrada	441,5 [kW]
Fator de carga	0,462
Consumo por área útil *	8,3 [kWh/m <sup>2</sup> ]

\* Área útil = 17.697 [m<sup>2</sup>]

Conforme a tabela anterior, o consumo de energia elétrica dos dias de fim de semana corresponde a 35% ( $100 \times 85,3 / 247$ ) do consumo dos dias úteis, um valor relativamente alto considerando-se o número bastante reduzido de atividades

desenvolvidas na instalação nos finais de semana. O fator de carga da instalação é baixo (0,462) evidenciando a falta de racionalidade do uso de energia elétrica na instalação, revelada, também, pelo elevado consumo por área útil (8,3 kWh/m<sup>2</sup>).

Através do levantamento de dados via inspeção de ambientes, foram obtidas informações sobre os sistemas de iluminação e ar condicionado e sobre os equipamentos de escritório presentes na instalação.

O resumo das características do sistema de iluminação é exibido na Tabela 4.4, onde todos os ambientes da instalação foram classificados segundo a sua função ou atividade desenvolvida (sala de aula, laboratório, etc.) para um estudo mais didático e minucioso.

Tabela 4.4: Edifício da Engenharia de Eletricidade: sistema de iluminação.

TIPO DE AMBIENTE	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALADA [kW]	[W / m <sup>2</sup> ]	ILUMINAMENTO [LUX]		LÂMPADAS RUINS [%]
				MÉDIO	RECOMENDADO	
Salas de aula	3.013	67,5	22,4	469	500	6
Salas de professor	4.274	104,9	24,5	415	500	6
Laboratórios	6.116	164,4	26,9	404	500	22
Administração	1.050	24,2	23,1	329	500	18
Depósitos	197	8,2	41,4	340	100	0
Áreas comuns	2.483	27,6	11,1	299	100	6
Oficina	564	14,6	26,0	800	500 a 1.000	34
Total	17.697	420,6	23,8	-	-	7

A tabela anterior apresenta as características de um sistema de iluminação ineficiente e inadequado. Em termos de valores médios, a potência instalada por área útil iluminada é muito alta (23,8 W/m<sup>2</sup>, alcançando a casa dos 41 W/m<sup>2</sup> para os depósitos) quando comparada com outros sistemas mais eficientes (10 W/m<sup>2</sup> para um nível de iluminamento próximo de 500 lux). Tal fato é devido ao uso intenso de tecnologias ineficientes (Figura 4.3) e à falta de aproveitamento da iluminação natural, causada principalmente pela arquitetura inadequada dos ambientes (escassez de janelas



e áreas envidraçadas). O nível de iluminamento nas salas de professores e laboratórios é quase 20% inferior ao especificado pela norma, atingindo os 34% para os ambientes da administração. Tal déficit é causado, em parte, pela existência de lâmpadas defeituosas nesses ambientes, revelando a falta de manutenção do sistema de iluminação. Por outro lado, os depósitos e as áreas comuns apresentam valores 240% e 199% superiores aos valores da norma, fato que pode ser traduzido com desperdício de energia.

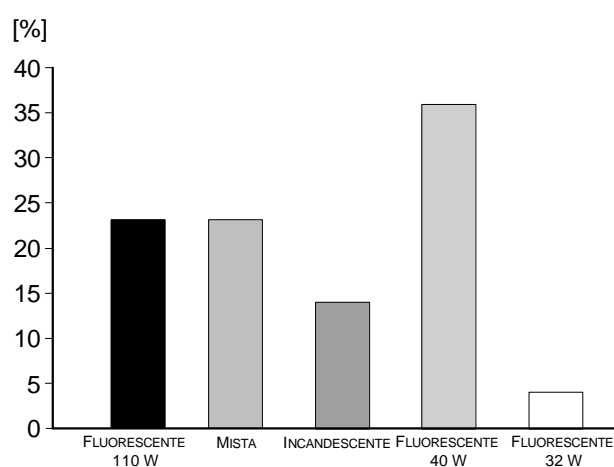


Figura 4.3: Edifício da Engenharia de Eletricidade: desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.

A figura anterior apresenta a segmentação da potência instalada em iluminação nas várias tecnologias encontradas na instalação. Conforme a figura, as tecnologias ineficientes são amplamente utilizadas, com participações de 23% e 14% para as lâmpadas mistas e incandescentes, respectivamente. As lâmpadas fluorescentes convencionais representam 59% da potência instalada em iluminação, restando apenas 4% para as lâmpadas fluorescentes eficientes de 32 W.

Quanto ao sistema de ar condicionado da instalação, ele é composto por 57 aparelhos de janelas e 10 aparelhos do tipo central em operação. A Tabela 4.5 exhibe a potência instalada em ar condicionado.

Tabela 4.5: Edifício da Engenharia de Eletricidade: potência instalada em ar condicionado.

TIPO DE EQUIPAMENTO	ÁREA CLIMATIZADA [m <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALADA [kW]	[W/m <sup>2</sup> ]
Central	-	85,6	-
Janela	-	134,7	-
Total	3.896	220,3	56,5

Segundo a tabela, 39% da potência instalada em ar condicionado é proveniente de equipamentos do tipo central. Através de medições realizadas nas entradas e saídas de ar, foi verificada que a diferença de temperatura entre a mistura (ar externo + retorno) e saída de ar apresentam valores abaixo do ideal (11 °C) em 6 aparelhos, com temperaturas de 3, 5, 7, 8, 8 e 9 °C, respectivamente. Tal fato aponta a necessidade de verificação do circuito frigorífico, analisando as condições dos compressores, válvulas de expansão termostáticas, carga de gás, etc..

Outro uso final também analisado minuciosamente foi o segmento de microcomputadores pessoais, presente em grande quantidade na instalação (Tabela 4.6).

Tabela 4.6: Edifício da Engenharia de Eletricidade: potência instalada em microcomputadores pessoais.

NÚMERO DE MICROCOMPUTADORES			* POTÊNCIA INSTALADA [kW]		
CONVENCIONAL	"GREEN PC"	TOTAL	CONVENCIONAL	"GREEN PC"	TOTAL
308	213	521	29,3	20,2	49,5

\* Demanda estimada para um PC típico (torre, monitor 14", teclado e "mouse") igual a 95 W.

Segundo a tabela anterior, 41% dos microcomputadores utilizados na instalação possuem gerenciador de energia incorporados de fábrica (computadores denominados de "green PCs"). Durante a inspeção de ambientes, foi verificado que os usuários não faziam uso desse recurso, talvez por desconhecimento ou falta de preocupação. Porém, a tendência é de que um número cada vez maior de usuários façam

uso dessa função, uma vez que o sistema operacional Windows 95, bastante utilizado, possui uma interface de fácil programação do gerenciador de energia do microcomputador.

#### 4.3.1.2 DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO EM USOS FINAIS

A partir das informações levantadas por medição direta e inspeção de ambientes, foi aplicada a metodologia apresentada para a desagregação do consumo global nos usos finais: iluminação, ar condicionado, microcomputadores e demais equipamentos. Os valores das grandezas utilizadas na desagregação do consumo global são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Edifício da Engenharia de Eletricidade: desagregação do consumo global.

GRANDEZA	VALOR CALCULADO
<b>SISTEMA DE ILUMINAÇÃO</b>	
Potência instalada	391,2 [kW]
Fator de demanda	0,515
Fator de carga	0,462
Consumo	67.016 [kWh/mês]
	46 [%]
<b>SISTEMA DE AR CONDICIONADO</b>	
Potência instalada	220,3 [kW]
Fator de demanda	0,750 [kW]
Fator de carga	0,462
Consumo	54.960 [kWh/mês]
	37 [%]
<b>MICROCOMPUTADORES PESSOAIS</b>	
Potência instalada	49,5 [kW]
Fator de demanda	0,750 [kW]
Fator de carga	0,462
Consumo	12.349 [kWh/mês]
	8 [%]
<b>OUTROS EQUIPAMENTOS</b>	
	12.469 [kWh/mês]
	9 [%]

É importante tecer alguns comentários a respeito dos valores utilizados nos cálculos da desagregação do consumo global. Os consumos individuais dos usos finais iluminação, ar condicionado e microcomputadores pessoais foram calculados a partir da equação 11, ou seja, os fatores de carga dos usos finais foram considerados iguais ao fator de carga da instalação. O fator de demanda do sistema de iluminação foi calculado considerando que a instalação pertence à classificação "escolas e semelhantes", conforme a referência [41], ou seja, fator de demanda igual a 1 para os primeiros 12 kW e igual a 0,5 para o resto da potência instalada. Para o uso final ar condicionado, foi atribuído um valor de 0,75 ao fator de demanda, conforme a referência [41]. Para o uso final microcomputadores pessoais, foi estimado um valor de 0,75 para o fator de demanda, ou seja, considerou-se que três a cada quatro equipamentos permanecem ligados na instalação. As potências instaladas em equipamentos danificados ou sem condições de operação não foram considerados no cálculo da potência instalada de cada uso final. A participação no consumo global dos demais equipamentos foi calculada descontando-se os consumos dos outros usos finais ao consumo global da instalação. A Figura 4.4 exibe a participação no consumo global de cada uso final presente na instalação.

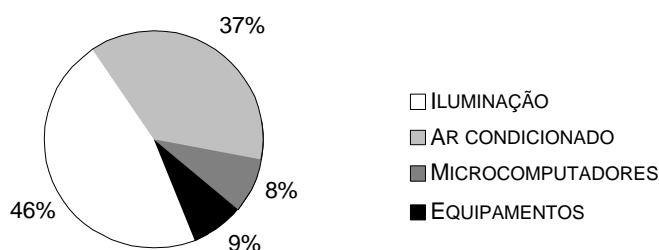


Figura 4.4: Edifício da Engenharia de Eletricidade: consumo desagregado em usos finais.

Os consumos calculados para os usos finais da instalação apresentam valores típicos de instalações de ensino. A iluminação é responsável por praticamente a metade

do consumo global da instalação, enquanto que a climatização de ambientes consome pouco mais que um terço. O segmento equipamentos é responsável por 17%, dos quais 8% são consumidos por microcomputadores pessoais, restando 9% para os outros equipamentos, principalmente motores, osciloscópios e demais equipamentos usados em aulas de laboratório, aparelhos da copa, fotocopiadoras, etc..

#### 4.3.1.3 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO USO FINAL ILUMINAÇÃO

O potencial de conservação de energia elétrica do uso final iluminação pode ser estimado através de simulações que consideram a substituição do sistema de iluminação atual por outro de tecnologia mais adequada e eficiente, levando em conta, também, a possibilidade do uso de dispositivos de gerenciamento de energia.

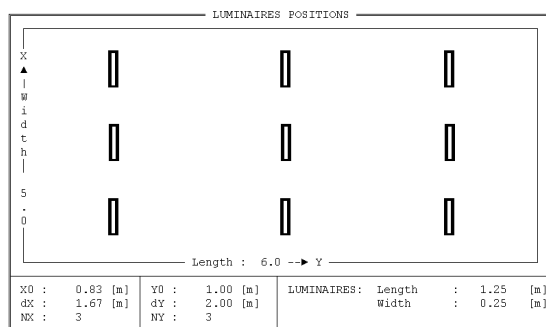
O sistema de iluminação usado como referência foi projetado para ambientes padrão de dimensões físicas iguais às médias dos valores levantados para os ambientes da instalação. A Tabela 4.8 exibe as características físicas desses ambientes.

Tabela 4.8: Edifício da Engenharia de Eletricidade: características físicas de ambientes padrão.

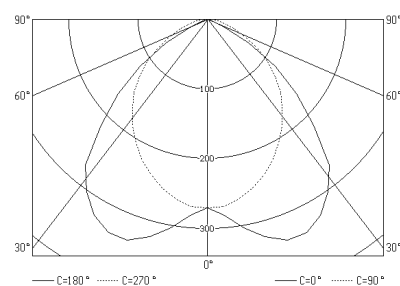
AMBIENTE	DIMENSÕES [m]	ALTURA DA LUMINÁRIA [m]	PLANO DE TRABALHO [m]	ILUMINAMENTO RECOMENDADO[lux]
Salas de professores	6 x 5	2,5	1,0	500
Salas da administração	7 x 3	2,5	1,0	500
Salas de aula	12 x 8	2,5	1,0	500
Laboratórios	10 x 7	2,5	1,0	500
Banheiros	7 x 3	2,5	1,0	100
Corredores	25 x 3	2,5	1,0	100

Através do programa de cálculo luminotécnico Calculux, versão 2.30, distribuído pela Philips, foram simulados diversos sistemas de iluminação para cada ambiente padrão. A Figura 4.5 e Figura 4.6 exibem simulações para o caso dos ambientes classificados como sala de professores.

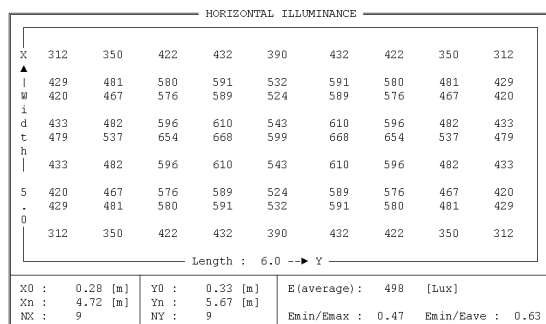
A Figura 4.5.a exibe o arranjo de 9 luminárias de lâmpada única no ambiente simulado. A Figura 4.5.b mostra a curva fotométrica da luminária considerada, adequada ao uso de lâmpadas de 32 e 36 W. A Figura 4.5.c e Figura 4.5.d apresentam os iluminamentos em diversos pontos do ambiente obtidos a partir do uso de lâmpadas de 32 e 36 W, respectivamente. O sistema formado por lâmpadas de 32 W apresenta potência instalada por área iluminada de  $9,6 \text{ W/m}^2$  para reatores eletrônicos e  $14,1 \text{ W/m}^2$ , para reatores eletromagnéticos. O iluminamento médio é igual a 498 lux, com iluminamento mínimo igual a 47% do iluminamento máximo e 63% do iluminamento médio. Para o sistema formado por lâmpadas de 36 W, a potência instalada por área iluminada é de  $10,8 \text{ W/m}^2$  para reatores eletrônicos e de  $14,1 \text{ W/m}^2$  para reatores eletromagnéticos. O iluminamento médio é de 618 lux, com iluminamento mínimo também igual a 47% do iluminamento máximo e 63% do iluminamento médio.



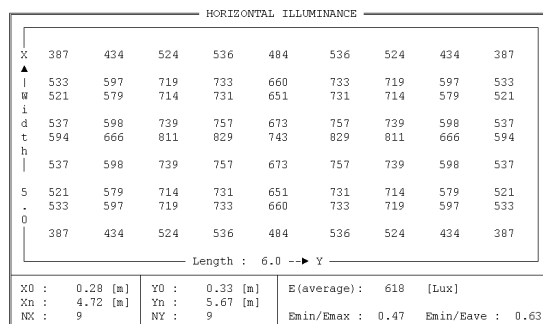
a) arranjo das luminárias



b) luminária de 1 lâmpada - curva fotométrica



c) iluminamento para lâmpadas de 32W



d) iluminamento para lâmpadas de 36W

Figura 4.5: Edifício da Engenharia de Eletricidade: simulação do sistema de iluminação composto por luminárias de uma lâmpada.

As mesmas simulações realizadas para as luminárias de lâmpada única foram realizadas para as luminárias de duas lâmpadas. A Figura 4.6.a exibe o novo arranjo das luminárias, totalizando 12 lâmpadas. Esse acréscimo no número de lâmpadas proporciona um aumento de 33% no valor da potência instalada por área iluminada sem no entanto proporcionar um aumento do nível de iluminação médio (Figura 4.6.c e Figura 4.6.d), cerca de 487 e 604 lux para as lâmpadas de 32 e 36 W, respectivamente.

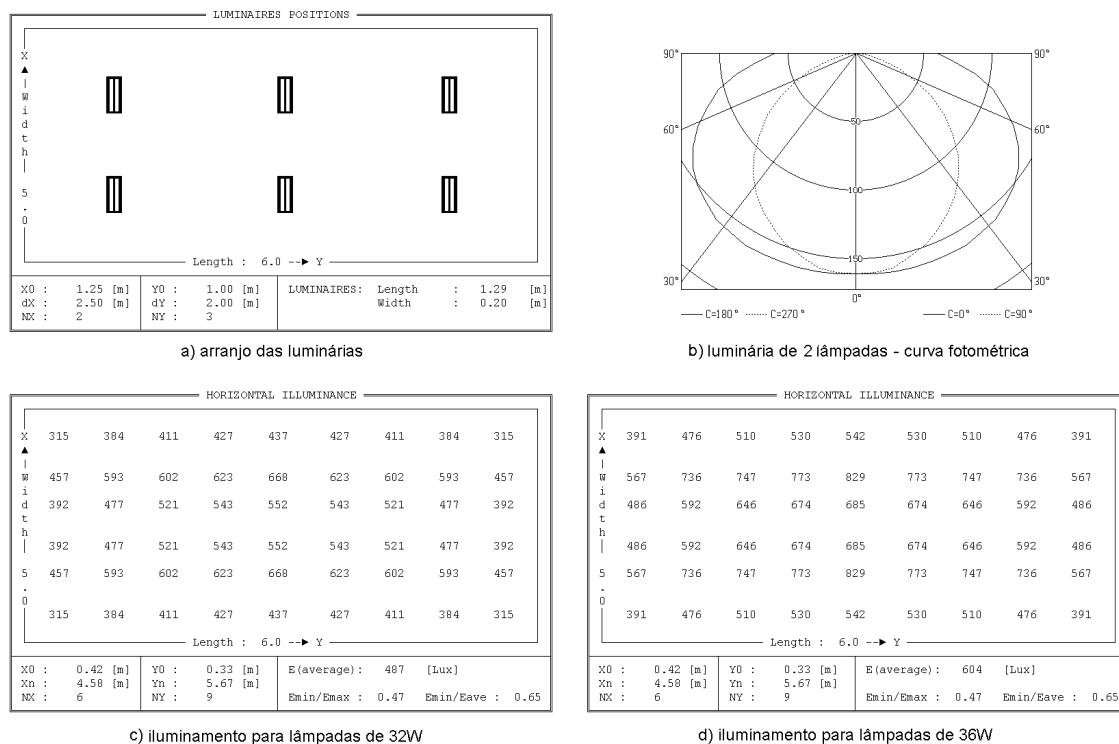


Figura 4.6: Edifício da Engenharia de Eletricidade: simulação do sistema de iluminação composto por luminárias de duas lâmpadas.

Comparando-se as simulações realizadas, conclui-se que do ponto de vista técnico, o melhor sistema de iluminação é o formado por 9 luminárias de uma única lâmpada de 32 W com reator eletrônico.

Os demais ambientes padrão também foram simulados da mesma forma que os ambientes classificados como salas de professores. Os resultados obtidos dessas simulações estão resumidos na Tabela 4.9.

É importante observar que embora a lâmpada de 36 W (3.350 lux) apresente uma eficiência 10% superior à lâmpada de 32 W (2.700 lux)<sup>33</sup>, nas salas de professores, corredores e banheiros é recomendado o uso de lâmpadas de 32 W. Isso ocorre pelo fato das lâmpadas de 32 W emitirem fluxo luminoso inferior, possibilitando um nível de iluminação médio mais próximo do valor desejado (sala de professores) ou uma melhor distribuição da luz em ambientes com baixo nível de iluminação requerido (corredores e banheiros).

Tabela 4.9: Edifício da Engenharia de Eletricidade: características físicas do sistema de iluminação projetado para os ambientes padrão.

AMBIENTE	[W/m <sup>2</sup> ]	E <sub>MÉDIO</sub> [lux]	E <sub>MÍNIMO</sub> / E <sub>MÁXIMO</sub>	E <sub>MÍNIMO</sub> / E <sub>MÉDIO</sub>	EQUIPAMENTOS
Salas de professores	9,6	498	0,47	0,63	9 luminárias 1x32W, reator eletrônico
Salas da administração	10,3	502	0,44	0,61	6 luminárias 1x36W, reator eletrônico
Salas de aula	9,0	586	0,46	0,59	24 luminárias 1x36W, reator eletrônico
Laboratórios	9,3	591	0,40	0,56	18 luminárias 1x36W, reator eletrônico
Banheiros	3,0	162	0,29	0,62	2 luminárias 1x32W, reator eletrônico
Corredores	3,0	150	0,73	0,86	7 luminárias 1x32W, reator eletrônico

Outro fator a ser considerado é o fato do sistema de iluminação projetado ser composto por dois tipos de lâmpadas que podem ser acidentalmente substituídas uma pela outra durante os serviços de manutenção. Caso a infra-estrutura de manutenção da instalação não seja confiável nesse aspecto, é recomendado o uso de um único tipo de lâmpada, eliminando o risco de substituições inadequadas.

Na Tabela 4.10, são comparados os valores da potência instalada e do nível de iluminação do sistema de iluminação atual e do sistema de iluminação simulado. Conforme a tabela, em todos os tipos de ambientes é estimada uma redução bastante sensível da potência instalada, com valores superiores a 50%, alcançando uma média de

<sup>33</sup> As lâmpadas de 32 e 36 W analisadas possuem tonalidade "cor 21".



65% e um máximo de 93%. É previsto, também, um aumento entre 20 e 53% do nível de iluminação nos ambientes que apresentam valores abaixo do recomendado pela norma e uma redução entre 26 e 56% nos ambientes com níveis de iluminação exagerados.

Tabela 4.10: Edifício da Engenharia de Eletricidade: comparação entre os sistemas de iluminação atual e projetado.

TIPO DE AMBIENTE	[W / m <sup>2</sup> ]		POTÊNCIA INSTALADA [kW]			ILUMINAMENTO [LUX]		
	ATUAL	SIMULADO	ATUAL	SIMULADO	DIFERENÇA [%]	ATUAL	SIMULADO	DIFERENÇA [%]
Salas de aula	22,4	9,0	67,5	27,1	-60	469	586	25
Salas de professor	24,5	9,6	104,9	41,0	-61	415	498	20
Laboratórios	26,9	9,3	164,4	56,9	-65	404	591	46
Administração	23,1	10,3	24,2	10,8	-55	329	502	53
Depósitos	41,4	3,0	8,2	0,6	-93	340	150	-56
Áreas comuns	11,1	3,0	27,6	7,4	-73	299	150	-50
Oficina	26,0	9,3	14,6	5,2	-64	800	591	-26
Total	23,8	8,4	420,6	149,0	-65	-	-	-

Além de proporcionar uma iluminação mais adequada às atividades desenvolvidas na instalação, o sistema simulado consumiria apenas 38% da energia elétrica consumida pelo sistema atual, cerca de 25.525 kWh/mês (consumo atual em iluminação vezes potência instalada do sistema simulado dividido pela potência instalada em luminárias operantes do sistema atual).

Outra medida que apresenta considerável potencial de conservação de energia elétrica é a segmentação dos acionamentos do sistema de iluminação. Na maioria das salas de professores, o acionamento é geral, ou seja, apenas um interruptor (no máximo dois) controla o acionamento das luminárias, não permitindo um adequado aproveitamento da iluminação natural.

Diante disso, foi realizado um ensaio na sala A2-43 da instalação, sede do GEPEA. A sala é dividida por biombos em seis ambientes. Em cada ambiente foram

instaladas duas luminárias de duas lâmpadas fluorescentes de 36 W com acionamento individual. Todos os seis interruptores foram monitorados durante uma semana típica, fornecendo o perfil de utilização dos ambientes.

A Figura 4.7 exibe o número de luminárias acionadas na sala durante um dia típico. A linha tracejada corresponde ao sistema de iluminação com acionamento geral, onde as luminárias permanecem acesas durante todo o período de trabalho. A linha contínua corresponde ao sistema com acionamentos individuais para cada ambiente da sala, permitindo desligar as luminárias dos ambientes desocupados. Conforme a figura, durante muito pouco tempo todos os ambientes permanecem ocupados (12 luminárias acesas). Através de integração numérica, foi verificado que o consumo de energia elétrica do sistema com acionamentos individuais corresponde a 51% do consumo do sistema com acionamento geral, uma economia, nesse caso, de 49%, demonstrando a eficácia da medida.

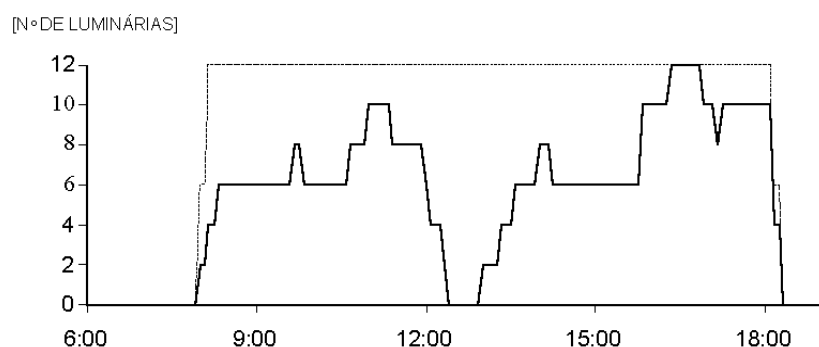


Figura 4.7: Edifício da Engenharia de Eletricidade: hábito de uso da sala A2-43.

No caso do sistema simulado, as salas de professores seriam responsáveis por 28% ( $100 \times 41 / 149$ ; Tabela 4.10) do consumo do uso final iluminação. Adotando-se um valor conservativo de 25% para a economia proporcionada pela medida, o consumo de energia elétrica seria reduzido a 23.738 kWh/mês, uma economia adicional de 3% em relação ao consumo do sistema de iluminação atual.

É importante salientar que a segmentação do acionamento do sistema de iluminação pode ser considerada uma medida de baixo custo de implementação quando realizada através do uso de materiais externos (conduítes e caixas de interruptores), apresentando um tempo de retorno bastante atraente.

O aumento da eficiência do sistema de iluminação proporciona, também, uma redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado, em virtude da redução da carga térmica dos ambientes climatizados. Para um sistema de ar condicionado eficiente com EER igual a 10, a energia adicional conservada pelo aumento da eficiência do sistema de iluminação seria, segundo a equação 21:

$$E_{ECONOMIZADA} = 3,4121 \cdot \frac{P_{REDUÇÃO} \cdot Dt}{EER} = 3,4121 \cdot \frac{0,22 \cdot 43.278}{10} = 3.249 kWh / mês \quad (35)$$

onde foi considerada apenas a área climatizada da instalação, 22% da área iluminada, e  $P_{REDUÇÃO} \cdot Dt$  igual a energia economizada mensalmente em iluminação.

#### 4.3.1.4 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO USO FINAL AR CONDICIONADO

O potencial de conservação do uso final ar condicionado foi estimado a partir do cálculo da carga térmica dos ambientes servidos pelo sistema de ar condicionado atual, através de consulta à Tabela 3.2.

A área climatizada total da instalação é 3.896 m<sup>2</sup>, com área média de 59 m<sup>2</sup> por ambiente climatizado, para uma quantidade total de 66 ambientes. Considerando as características físicas da instalação, foram adotadas as seguintes condições para a análise:

- 4 usuários por ambiente (acréscimo de 1.200 Btu/h por ambiente).
- 50% dos ambientes são classificados como "ambiente sob outro pavimento", permanecendo o dia inteiro na sombra (10.000 Btu/h).
- 50% dos ambientes são classificados como "ambiente sob laje descoberta", recebendo radiação solar o dia todo (30.000 Btu/h).

Dessa forma, a carga térmica total que o sistema de ar condicionado deve retirar dos ambientes climatizados é estimada em 1,4 MBtu/h (11.200 x 33 + 31.200 x 33). Considerando um sistema de ar condicionado eficiente com EER igual a 10 e que os equipamentos permanecem em operação 8 horas por dia apenas durante os dias úteis, com exceção do LSI (28,9% da área climatizada), que permanece em operação 24 horas por dia, o consumo de energia elétrica mensal seria:

$$Consumo = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot Dt_i}{1000 \cdot EER_i} = \frac{0,289 \cdot 1,4 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 22 + 0,711 \cdot 1,4 \cdot 10^6 \cdot 8 \cdot 22}{1000 \cdot 10} = 38.882 \text{ kWh/mês} \quad (36)$$

Comparando este valor com o consumo atual do uso final ar condicionado, 54.960 kWh/mês, é obtido um potencial de conservação de energia elétrica de 29% (16.078 kWh/mês).

É importante observar que o consumo mensal por área climatizada proporcionado pelo sistema simulado é de 9,98 kWh/mês.m<sup>2</sup>, um valor conservativo diante do obtido para grandes estabelecimentos comerciais na cidade de São Paulo, cerca de 8 kWh/mês.m<sup>2</sup> [27].

#### 4.3.1.5 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO USO FINAL MICROCOMPUTADORES

O uso final microcomputadores pessoais também apresenta um potencial de

conservação de energia elétrica considerável devido ao seu uso intensivo na instalação. Para um fator de redução de demanda de 0,39 e um fator de ociosidade de 0,40 (o computador permanece ocioso 40% do tempo) a aplicação da equação 28 resulta em um potencial de conservação de 24%. Segundo a Tabela 4.6, 41% da potência instalada total em microcomputadores correspondem a "green PCs", responsáveis por um consumo de 5.063 kWh/mês. Portanto, o potencial de conservação de energia elétrica no uso final microcomputadores pessoais é de 1.215 kWh/mês, cerca de 1% do consumo atual da instalação.

A redução do consumo de energia elétrica do uso final microcomputadores também proporciona uma economia de energia do uso final ar condicionado. Para um sistema de ar condicionado eficiente com EER igual a 10, a energia conservada seria:

$$E_{ECONOMIZADA} = 3,4121 \cdot \frac{P_{REDUÇÃO} \cdot Dt}{EER} = 3,4121 \cdot \frac{1.215}{10} = 415 kWh \quad (37)$$

onde foi considerada a operação dos gerenciadores de energia de todos os "green PCs" da instalação.

#### 4.3.1.6 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO TOTAL

No caso específico do edifício da Engenharia de Eletricidade, o potencial de conservação de energia elétrica total da instalação pode ser calculado através da soma dos potenciais de conservação individuais dos usos finais iluminação, ar condicionado e microcomputadores pessoais (Tabela 4.11).

Tabela 4.11: Edifício da Engenharia de Eletricidade: potencial de conservação de energia elétrica.

USO FINAL	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO	
	[kWh/MÊS]	[%]
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO		
Tecnologia de iluminação	41.491	28,3
Segmentação do acionamento	1.787	1,2
Total	43.278	29,5
SISTEMA DE AR CONDICIONADO		
Redimensionamento do sistema de ar condicionado	16.078	11,0
Redução do consumo do sistema de iluminação	3.249	2,2
Redução do consumo dos PCs	415	0,3
Total	19.742	13,5
MICROCOMPUTADORES PESSOAIS		
Programação dos "green PCs"	1.215	0,8
TOTAL DA INSTALAÇÃO	64.235	43,8

## 4.3.2 EDIFÍCIO DA ZOOLOGIA DO IB

### 4.3.2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

O edifício da Zoologia do Instituto de Biociências da USP é alimentado em 13,8 kV pela rede de distribuição da CUASO. Através do processo de medição direta realizado durante uma semana típica em sua cabina primária, foram obtidas as curvas de carga semanal (Figura 4.8) e diária (Figura 4.9) da instalação. Os valores médios da demanda e do fator de potência dos dias analisados são exibidos na Tabela 4.12.

Segundo a Figura 4.8, o perfil de consumo de energia elétrica da instalação pode ser considerado uniforme, apesar da redução da demanda no horário do almoço da quarta-feira e do baixo consumo verificado durante a sexta-feira.

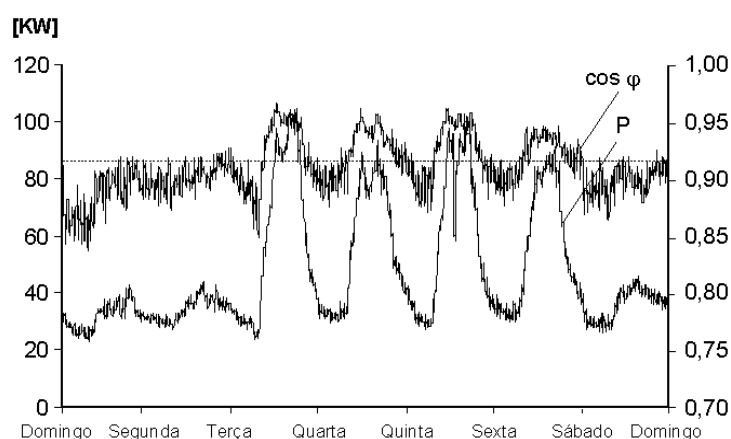


Figura 4.8: Edifício da Zoologia: curva de carga semanal.

No horário das 12:25 às 13:10 horas da quarta-feira, a demanda foi reduzida em 25% em relação à média das demandas dos outros dias úteis sem considerar a sexta-feira, evidenciando um possível potencial de conservação de energia elétrica nesse período. Devido ao curto período de medição considerado, não foi possível determinar as causas desse fenômeno nem a possibilidade de novas ocorrências, não permitindo confirmar a existência de um potencial de conservação real. Por outro lado, a redução do consumo verificada na sexta-feira foi devida aos feriados da semana seguinte, Semana Santa.

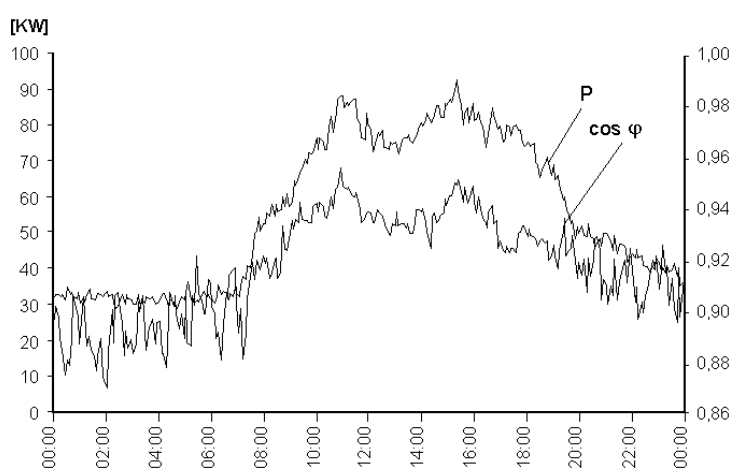


Figura 4.9: Edifício da Zoologia: curva de carga de um dia típico.

Segundo a Figura 4.9, as atividades na instalação são iniciadas por volta das 07:00 horas e começam a ser encerradas às 17:00 horas, sendo efetivamente finalizadas

perto das 22:00 horas. Os períodos de maior demanda são das 10:30 às 12:00 horas e das 15:00 às 16:30 horas. Durante a madrugada, a demanda é de aproximadamente 30 kW, um valor relativamente alto para o número reduzido de usuários que ocupam a instalação nesse período. Através do levantamento de dados por inspeção de ambientes, foi verificado que essa demanda é proveniente do sistema de iluminação dos corredores e áreas de circulação e de equipamentos (refrigeradores, estufas, exaustores, etc.) que permanecem em operação durante a madrugada.

Em relação ao carregamento de transformadores, a mesma situação encontrada no edifício da Engenharia de Eletricidade foi encontrada no edifício da Zoologia. A instalação compartilha o mesmo transformador com outros dois edifícios ("Minas Gerais" e "Administração"). A demanda aparente máxima registrada no secundário do transformador durante o período de medição foi de 164 kVA, bastante inferior à capacidade nominal de 500 kVA, um carregamento máximo de 33%.

O fator de potência da instalação permanece acima do valor mínimo de 0,92 apenas durante o horário de trabalho dos dias úteis, atingindo um valor máximo de 0,96 nesse período. Durante a noite e a madrugada dos dias úteis e durante os dias de fim de semana, o fator de potência médio oscila entre 0,89 e 0,91 (Tabela 4.12).

Tabela 4.12: Edifício da Zoologia: demanda e fator de potência médios.

DIA	00:00 ÀS 06:00 HORAS		06:00 ÀS 18:00 HORAS		18:00 ÀS 00:00 HORAS	
	P [kW]	COS $\phi$	P [kW]	COS $\phi$	P [kW]	COS $\phi$
Domingo	31,1	0,90	36,0	0,90	37,2	0,91
2ª feira	30,1	0,89	78,5	0,94	52,1	0,91
3ª feira	33,4	0,90	71,4	0,94	52,4	0,92
4ª feira	32,6	0,90	75,9	0,94	50,0	0,91
5ª feira	34,4	0,90	70,7	0,93	49,9	0,91
6ª feira	31,1	0,89	38,1	0,90	39,2	0,90
Sábado	29,0	0,87	32,6	0,89	35,5	0,90



Através da aplicação da metodologia apresentada, foi possível calcular as grandezas elétricas que caracterizam o consumo da instalação, exibidas na Tabela 4.13.

Tabela 4.13: Edifício da Zoologia: características de consumo.

GRANDEZA	VALOR CALCULADO
Demanda média dos dias úteis	58,0 [kW]
Demanda média dos dias de fim de semana	33,8 [kW]
Consumo total	37.114 [kWh/mês]
Demanda máxima registrada	105,9 [kW]
Fator de carga	0,487
Consumo por área útil *	7,6 [kWh/m <sup>2</sup> ]

\* Área útil = 4.860 [m<sup>2</sup>]

Conforme a tabela anterior, o consumo de energia elétrica nos dias de fim de semana corresponde a 58% do consumo dos dias úteis, um valor bastante elevado, explicado pelo acionamento do sistema de iluminação das áreas de circulação, composto por lâmpadas de baixa eficiência (lâmpadas mistas), e pela operação contínua de uma grande quantidade de equipamentos (refrigeradores, estufas, exaustores, etc.). O baixo fator de carga da instalação (0,487) e o elevado consumo por área útil (7,6 kWh/m<sup>2</sup>) apontam para um provável desperdício de energia elétrica, existindo um possível potencial de conservação.

As principais características do sistema de iluminação podem ser observadas na Tabela 4.14 e na Figura 4.10.

Devido à grande utilização de tecnologias não eficientes (Figura 4.10), a potência instalada em iluminação por área iluminada apresenta um valor bastante elevado, com média de 19,2 W/m<sup>2</sup>, atingindo 26,0 W/m<sup>2</sup> para os ambientes da administração (Tabela 4.14). Mesmo assim, os níveis de iluminamento medidos nas salas de aula, salas de professores e salas da administração (46% da área útil total) são sensivelmente inferiores aos valores recomendados pela norma, em virtude da pouca utilização da luz natural (falta de janelas e áreas envidraçadas).

Tabela 4.14: Edifício da Zoologia: sistema de iluminação.

TIPO DE AMBIENTE	Nº DE SALAS	ÁREA [m <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA [W]	W/m <sup>2</sup>	ILUMINAMENTO [LUX]		PRINCIPAIS TIPOS DE LÂMPADAS UTILIZADAS
					MEDIDO	RECOMENDADO	
Salas de aula e pós-graduação	21	719	14.269	19,8	390	500	fluorescente 40, 110W
Salas de professores	76	1.257	27.151	21,6	268	500	fluorescente 40W incandescente 100W
Laboratórios	45	1.274	15.291	12,0	456	500	fluorescente 40, 110 W
Administração	14	262	6.806	26,0	346	500	fluorescente 40, 46, 110W incandescente 60, 100W
Áreas comuns	37	1.348	29.682	22,0	179	100	mista 160, 250W
Total	193	4.860	93.199	19,2	-	-	-

Apesar de utilizarem a mesma tecnologia de iluminação, as salas de aula e os laboratórios apresentam níveis de iluminação e potências instaladas por área útil bastante diferentes. As salas de aula apresentam uma potência instalada por área útil 65% superior à dos laboratórios, fornecendo um nível de iluminação 14% inferior. Tal fato decorre da grande área envidraçada dos laboratórios que aumenta de forma acentuada o seu nível de iluminação, através do aproveitamento da iluminação natural. Em relação às áreas de circulação, observa-se a utilização de uma tecnologia bastante ineficientes (lâmpadas mistas) resultando numa elevada potência instalada por área útil (22 W/m<sup>2</sup>) e num nível de iluminação 79% superior ao sugerido pela norma.

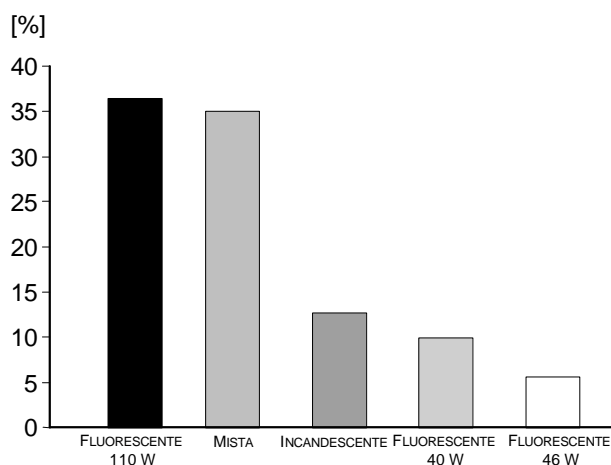


Figura 4.10: Edifício da Zoologia: desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.

É importante observar que nenhuma tecnologia de iluminação eficiente (lâmpadas fluorescentes de 32 e 36 W ou compactas, por exemplo) é utilizada na instalação, revelando a existência de um grande potencial de conservação de energia elétrica nesse uso final.

O estado de conservação do sistema de iluminação pode ser considerado não satisfatório, uma vez que 19% da potência instalada correspondem a lâmpadas inoperantes (Tabela 4.15). O caso mais grave ocorre para as lâmpadas mistas, predominantes nas áreas de circulação, com 42% da potência instalada composta por lâmpadas queimadas. Esse fato, associado com a elevada potência instalada por área útil ( $22 \text{ W/m}^2$ , Tabela 4.14), leva a crer que em algum determinado instante o sistema de iluminação original das áreas de circulação sofreu uma grande intervenção. Provavelmente, a tecnologia de iluminação originalmente utilizada era a incandescente, substituída diretamente pela tecnologia mista, uma vez que as lâmpadas servem no mesmo tipo de soquete. Porém, como o fluxo luminoso das lâmpadas mistas é superior ao fluxo das lâmpadas incandescentes, o nível de iluminamento final resultou muito elevado e, com o passar do tempo e a queima de lâmpadas (42% da potência instalada), atingiu o valor atual de 179 lux, um valor acima do recomendado, mascarando a falta de manutenção do sistema. Tal fato revela a importância de se projetar novos sistemas de iluminação de forma completa. Existem casos onde a substituição direta (luminária por luminária) de um sistema antigo por um sistema novo com tecnologia mais eficiente resulta em aumento do consumo de energia elétrica e níveis de iluminamento exagerados, prejudicando, também, o desempenho dos usuários.

Em relação ao uso final ar condicionado, as características dos sistemas presentes na instalação são apresentadas na Tabela 4.16.

Tabela 4.15: Edifício da Zoologia: estado de conservação do sistema de iluminação.

TIPO DELÂMPADA	POTÊNCIA INSTALADA EM LÂMPADAS		
	TOTAL [kW]	BOAS [%]	INOOPERANTES [%]
Fluorescente 110W	33,4	96	4
Fluorescente 46W	4,7	96	4
Fluorescente 40W	10,3	88	12
Mista 160 e 250W	32,5	58	42
Incandescente 100, 150 e 200W	12,3	90	10
Total	93,2	81	19

Tabela 4.16: Edifício da Zoologia: potência instalada em ar condicionado.

TIPO DE EQUIPAMENTO	ÁREA CLIMATIZADA [m <sup>2</sup> ]	POTÊNCIA INSTALADA [kW]	W / m <sup>2</sup>
Janela	516	40,0	77,5

Segundo a tabela acima, o sistema de ar condicionado da instalação é formado exclusivamente por aparelhos de janela. A potência por área climatizada é muito elevada, cerca de 88% superior valor da referência [27], obtido para edifícios comerciais com consumos superiores a 5.000 kWh/mês (41,2 W/m<sup>2</sup>). Tal fato é decorrente do uso de equipamentos de janela com capacidade superior à necessária para o ambiente e às próprias dimensões reduzidas dos ambientes climatizados.

Durante o levantamento de dados via inspeção de ambientes, foi verificado que todos os aparelhos estavam com os filtros de ar sujos, apontando a falta de manutenção e limpeza desses equipamentos. Além disso, a carcaça externa de alguns aparelhos estavam recebendo diretamente a radiação solar, não possuindo nenhuma proteção que servisse de anteparo contra os raios solares. Nessa situação, o condensador do equipamento recebe um calor extra que dificulta a troca de calor com o ambiente externo, diminuindo a sua eficiência. Outra não conformidade encontrada foi a obstrução do fluxo de ar do condensador em três aparelhos, prejudicando as trocas de calor e aumentando o consumo de energia elétrica.

A instalação comporta, também, uma grande quantidade de equipamentos diversos, como, por exemplo, "freezers", geladeiras, estufas, esterilizadores de ar e exaustores. Através da medição e da inspeção dos dados de placa desses equipamentos, foram obtidas as informações da Tabela 4.17.

Tabela 4.17: Edifício da Zoologia: potência instalada em equipamentos.

TIPO DE EQUIPAMENTO	QUANTIDADE	POTÊNCIA MÉDIA [W]	POTÊNCIA MÉDIA TOTAL [W]	CONSUMO MENSAL [kWh/MÊS]	[%]
"Freezer"	6	120	720	518	7
Geladeira	28	120	3.360	2.419	34
Estufa	27	150	4.050	2.916	41
* Estufa "caseira"	1	1.200	1.200	864	12
Esterilizador de ar	11	30	330	238	4
Exaustor	2	110	220	158	2
Total			9.880	7.113	100

\* Estufa caseira composta por 6 lâmpadas incandescentes de 200W.

Conforme a tabela anterior, as geladeiras e as estufas são responsáveis por 87% do consumo dos equipamentos cadastrados, com participações de 34% e 53%, respectivamente. É importante observar que todos os equipamentos considerados na tabela operam em regime contínuo, consumindo mensalmente 7,1 MWh, cerca de 19% do consumo global da instalação.

#### 4.3.2.2 DESAGREGAÇÃO DO CONSUMO EM USOS FINAIS

A partir dos dados obtidos por medição direta e inspeção de ambientes, foi aplicada a metodologia de cálculo apresentada, resultando nos consumos desagregados por uso final exibidos na Tabela 4.18.

Tabela 4.18: Edifício da Zoologia: desagregação do consumo global.

GRANDEZA	VALOR CALCULADO
<b>SISTEMA DE ILUMINAÇÃO</b>	
Potência instalada	75,5 [kW]
Fator de demanda	0,579
Fator de carga	0,487
Consumo	15.328 [kWh/mês] 41 [%]
<b>SISTEMA DE AR CONDICIONADO</b>	
Potência instalada	40,0 [kW]
Fator de demanda	0,750 [kW]
Fator de carga	0,487
Consumo	10.519 [kWh/mês] 28 [%]
<b>OUTROS EQUIPAMENTOS</b>	
	11.267 [kWh/mês] 31 [%]

A desagregação do consumo global foi calculada da mesma forma que no caso do edifício da Engenharia de Eletricidade, através da equação 11. Novamente, foram considerados nos cálculos das potências instaladas e dos fatores de demanda dos usos finais apenas os equipamentos em condições de operação. A participação no consumo global do segmento equipamentos foi calculada descontando-se os consumos dos usos finais iluminação e ar condicionado ao consumo global da instalação. A Figura 4.11 exibe a participação no consumo global de cada uso final presente na instalação.

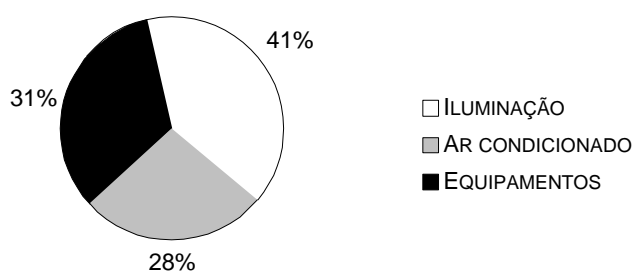


Figura 4.11: Edifício da Zoologia: consumo desagregado em usos finais.

É importante observar que a categoria equipamentos contempla os aparelhos cadastrados da Tabela 4.17 (participação de 63% no segmento) e os demais equipamentos sem classificação específica.

O consumo desagregado em usos finais calculado para a instalação não é muito típico de uma instituição de ensino. Eram esperados valores entre 50 e 75% para o segmento iluminação, ao invés dos 41% calculados. Tal fato pode ser explicado considerando-se a forte dependência da instalação em relação a uma quantidade razoável de equipamentos específicos (geladeiras, estufas, etc.) para o desenvolvimento de suas atividades, proporcionando uma maior participação do segmento equipamentos (31%).

#### 4.3.2.3 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO USO FINAL ILUMINAÇÃO

No caso do uso final iluminação, o potencial de conservação de energia elétrica pode ser calculado da mesma forma que o potencial do edifício da Engenharia de Eletricidade, através de simulações para ambientes padrão da instalação. A Tabela 4.19 exhibe as principais características do sistema de iluminação projetado para os ambientes padrão da instalação.

Tabela 4.19: Edifício da Zoologia: características do sistema de iluminação projetado para os ambientes padrão.

AMBIENTE	DIMENSÕES [m]	[W/m <sup>2</sup> ]	E <sub>MÉDIO</sub> [lux]	E <sub>MÍNIMO</sub> / E <sub>MÁXIMO</sub>	E <sub>MÍNIMO</sub> / E <sub>MÉDIO</sub>	EQUIPAMENTOS
Salas de aula, professores e administração	6 x 3	10,7	495	0,54	0,68	6 luminárias 1x32W, reator eletrônico
Laboratórios	6 x 5	9,6	498	0,47	0,63	9 luminárias 1x32W, reator eletrônico
Corredores	80 x 3	2,9	165	0,26	0,54	22 luminárias 1x32W, reator eletrônico

Na Tabela 4.20 são comparados os valores da potência instalada e do nível de iluminamento do sistema de iluminação atual com os valores do sistema de iluminação simulado.

Tabela 4.20: Edifício da Zoologia: comparação entre os sistemas de iluminação atual e projetado.

TIPO DE AMBIENTE	[W / m <sup>2</sup> ]		POTÊNCIA INSTALADA [kW]			ILUMINAMENTO [LUX]		
	ATUAL	SIMULADO	ATUAL	SIMULADO	DIFERENÇA [%]	ATUAL	SIMULADO	DIFERENÇA [%]
Salas de aula, professores e administração	21,5	10,7	48,2	23,9	-50	316	495	57
Laboratórios	12,0	9,6	15,3	12,2	-20	456	498	9
Corredores	22,0	2,9	29,7	3,9	-87	179	165	-8
Total	19,2	8,2	93,2	40,1	-57	-	-	-

Caso implementado, o sistema de iluminação projetado proporcionaria níveis de iluminação adequados, segundo a norma técnica, às várias atividades desenvolvidas na instalação. O acréscimo do nível de iluminamento atingiria a casa dos 57% para os ambientes classificados como salas de aula, salas de professores e salas da administração, necessitando, em média, uma potência instalada 57% inferior à do sistema atual. Com esses valores, o consumo de energia elétrica em iluminação seria reduzido a 8.142 kWh/mês, cerca de 53% do consumo do sistema atual (potência instalada do sistema projetado dividido pela potência instalada em luminárias operantes do sistema atual).

Além da substituição da tecnologia de iluminação atual por uma mais eficiente, outra ação que proporcionaria economias significativas de energia é a racionalização do uso do sistema de iluminação durante as madrugadas dos dias úteis e dos dias de fim de semana.



Segundo a Figura 4.8, a potência ativa demandada durante as madrugadas oscila entre de 30 e 40 kW. Neste período, o fator de potência é menor que 0,92, variando de 0,88 a 0,91. Estes valores indesejáveis são causados pelas cargas reativas que operam em regime contínuo no edifício: geladeiras, “freezers”, aparelhos de ar condicionado e exaustores. Tal fato é evidenciado pelas oscilações da curva do fator de potência, causadas pelo acionamento aleatório dos compressores das geladeiras, “freezers” e aparelhos de ar condicionado.

Uma aproximação do perfil de consumo da instalação durante as madrugadas pode ser determinada a partir de uma análise da demanda de potência ativa e do fator de potência da instalação. Para esta análise, é suposto que durante as madrugadas os únicos equipamentos consumidores de energia elétrica em operação são as lâmpadas mistas do sistema de iluminação das áreas de circulação, os aparelhos de operação contínua (“freezers”, geladeiras, estufas, exaustores e esterilizadores de ar) e alguns aparelhos de ar condicionado.

A Tabela 4.21 exhibe a potência ativa total e o fator de potência dos equipamentos considerados nesta análise. A potência ativa total foi obtida a partir da Tabela 4.17, enquanto que o fator de potência médio foi obtido segundo a fonte dada pelo campo “fonte dos dados” da própria tabela.

Tabela 4.21: Edifício da Zoologia: potência ativa total e fator de potência dos equipamentos que trabalham em regime de operação contínua.

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA TOTAL [W]	Cos $\phi$	FONTE DOS DADOS
“Freezer”	720	0,66	Medido
Geladeira	3360	0,73	Medido
Estufa	5250	1,00	Estimado
Esterilizador de ar	330	1,00	Dados do fabricante
Exaustor	220	0,65	Medido
Lâmpada mista	$P_{L\grave{A}MPADA}$	0,95	Dados do fabricante
Ar condicionado	$P_{AR\ COND.}$	0,80	Medido

Na tabela anterior, as potências ativas em lâmpadas mistas e em aparelhos de ar condicionado correspondem às incógnitas desta análise.

Na Tabela 4.12, a potência ativa e o fator de potência médios para as madrugadas (das 00:00 às 06:00 horas) dos dias úteis normais correspondem a:

$$P = 31,67 \text{ kW}$$

$$\cos j = 0,89$$

A partir desses valores da potência ativa e do fator de potência, obtém-se a potência reativa:

$$Q = 15,93 \text{ kvar}$$

“P” e “Q” correspondem, respectivamente, a soma das potências ativas e reativas de todos os equipamentos em operação no edifício durante a madrugada, dados pelas equações:

$$P = P_{\text{freezer}} + P_{\text{geladeira}} + P_{\text{estufa}} + P_{\text{esterilizador}} + P_{\text{exaustor}} + P_{\text{lâmpada}} + P_{\text{ar condicionado}} \quad (38)$$

$$Q = Q_{\text{freezer}} + Q_{\text{geladeira}} + Q_{\text{estufa}} + Q_{\text{esterilizador}} + Q_{\text{exaustor}} + Q_{\text{lâmpada}} + Q_{\text{ar condicionado}} \quad (39)$$

ou seja:

$$31,67 = 9,88 + P_{\text{lâmpada}} + P_{\text{ar condicionado}} \quad (40)$$

$$15,93 = 4,22 + Q_{\text{lâmpada}} + Q_{\text{ar condicionado}} \quad (41)$$

Segundo os fatores de potência das lâmpadas e dos aparelhos de ar condicionado (Tabela 4.21), tem-se:

$$Q_{\text{lâmpada}} + Q_{\text{ar condicionado}} = 0,33 \cdot P_{\text{lâmpada}} + 0,75 \cdot P_{\text{ar condicionado}} \quad (42)$$

Através da resolução das equações 40, 41 e 42, foram obtidos os seguintes valores:

$$P_{\text{lâmpada}} = 11,03 \text{ kW}$$

$$P_{\text{ar condicionado}} = 10,76 \text{ kW}$$

Durante a madrugada dos dias úteis, é estimado que 12% (Tabela 4.14) da potência instalada em iluminação permanece acionada. Isso corresponde a 37% da potência instalada em áreas comuns. Este resultado é coerente com o fato de que apenas 58% (Tabela 4.15) das lâmpadas mistas estejam em condições de operação. Tal fato implica em que a máxima demanda possível das lâmpadas das áreas de circulação seja de aproximadamente 17 kW. Portanto, cerca de 65% das lâmpadas boas das áreas de circulação permanecem acesas durante a madrugada, fato que está de acordo com a hipótese inicialmente considerada.

O fator de carga típico de um aparelho de ar condicionado de janela é 0,55. Uma vez que a potência instalada total em ar condicionado é 40 kW, a demanda média quando todos os equipamentos estiverem em operação será 22 kW. Portanto, durante a madrugada, 49% dos equipamentos permanecem ligados, demandando, em média, 10,8 kW.

É importante observar que as informações fornecidas pela análise anterior são aproximações do perfil de consumo da instalação durante as madrugadas dos dias úteis. Das duas conclusões anteriores, apenas a primeira, relativa à operação do sistema de iluminação, foi comprovada através de entrevistas com funcionários da instalação.

Uma vez que a operação de aparelhos de ar condicionado durante a madrugada não foi comprovada, o seu possível potencial de conservação de energia elétrica não foi considerado no cálculo do potencial global, merecendo, no entanto, um estudo mais detalhado.

A racionalização da operação do sistema de iluminação pode ser conseguida através da implementação de um sistema de gerenciamento programável ou até mesmo pela segmentação dos acionamentos (interruptores) das luminárias das áreas de circulação e pela educação dos funcionários do período da madrugada.

A parcela de energia elétrica economizada em ar condicionado devida ao aumento da eficiência do sistema de iluminação foi calculada a partir da redução do consumo em iluminação (7.186 kWh/mês), considerando um sistema de ar condicionado eficiente, com EER igual a 10, ou seja:

$$E_{ECONOMIZADA} = 3,4121 \cdot \frac{P_{REDUÇÃO} \cdot Dt}{EER} = 3,4121 \cdot \frac{0,11 \cdot 7.186}{10} = 270 \text{ kWh / mês}$$

onde foi considerada apenas a área climatizada, 11% da área iluminada.

#### **4.3.2.4 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO USO FINAL AR CONDICIONADO**

O potencial de conservação do uso final ar condicionado foi estimado da mesma forma que no edifício da Engenharia Elétrica, através da determinação da carga térmica dos ambientes climatizados.

A instalação possui 13 ambientes climatizados, totalizando uma área de 516 m<sup>2</sup>, uma média aproximada de 40 m<sup>2</sup> por ambiente climatizado. Considerando as características físicas da instalação, foram adotadas as seguintes condições para a análise:

- 4 usuários por ambiente (acréscimo de 1.200 Btu/h por ambiente).
- 33% dos ambientes são classificados como "ambiente sob outro pavimento", permanecendo o dia inteiro na sombra (7.000 Btu/h).
- 67% dos ambientes são classificados como "ambiente sob laje descoberta", recebendo radiação solar o dia todo (22.000 Btu/h).

Dessa forma, a carga térmica total que o sistema de ar condicionado deve retirar dos ambientes climatizados é estimada em 237,3 kBtu/h (8.200 x 0,33 x 13 + 23.200 x 0,67 x 13). Considerando um sistema de ar condicionado eficiente com EER igual a 10 e que os equipamentos permanecem em operação 8 horas por dia apenas durante os dias úteis, o consumo de energia elétrica mensal seria:

$$Consumo = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot Dt_i}{1000 \cdot EER_i} = \frac{237,3 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 22}{1000 \cdot 10} = 4.176 \text{ kWh} / \text{mês}$$

Comparando este valor com o consumo atual do uso final ar condicionado, 10.519 kWh/mês, é obtido um potencial de conservação de energia elétrica de 60% (6,343 kWh/mês). O indicador consumo mensal em ar condicionado por área climatizada obtido para o sistema simulado é de 8,09 kWh/mês.m<sup>2</sup>, o mesmo encontrado para grandes edifícios comerciais na cidade de São Paulo [27].

#### 4.3.2.5 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DO USO FINAL EQUIPAMENTOS

Os principais equipamentos que operam em regime contínuo na instalação correspondem a “freezers”, geladeiras, estufas, esterilizadores de ar e exaustores. Entre

esses equipamentos, as estufas apresentam o maior consumo médio mensal, cerca de 3,78 MWh/mês, ou 34% do consumo em equipamentos da instalação, consequência direta do uso contínuo desses equipamentos.

Devido à inércia térmica, as estufas permanecem ligadas 24 horas por dia para que os docentes possam reiniciar seus trabalhos no começo da manhã, sem a necessidade de espera do tempo de preaquecimento do equipamento. O estado de conservação das estufas é regular onde, em particular, a estufa caseira composta de uma caixa de madeira sem isolamento térmica e de seis lâmpadas incandescentes de 200 W é muito ineficiente.

A adoção de temporizadores eletrônicos programáveis resolveria o problema da inércia térmica das estufas, proporcionando grandes economias de energia. A energia conservada devida à implementação dessa medida pode se calculada através da redução do tempo de operação das estufas, através da equação:

$$E_{ECONOMIZADA} = C_{ATUAL} - P_{MÉDIA} \cdot Dt = 3.780 - 5,25 \cdot 9 \cdot 30 = 2.363 \text{ kWh / mês}$$

onde foi adotado um período de 9 horas (1 hora de preaquecimento das estufas e 8 horas de operação à temperatura constante) por dia e 30 dias por mês e uma demanda média de 5,25 kW (Tabela 4.17).

Embora apenas alguns docentes trabalhem nos fins de semana, foram considerados 30 dias com o intuito de se obter resultados mais conservativos. Dessa forma, a adoção de temporizadores eletrônicos proporcionaria uma redução mensal no consumo de energia elétrica de, no mínimo, 2.363 kWh.

#### 4.3.2.6 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO TOTAL

O potencial de conservação de energia elétrica global do edifício da Zoologia pode ser calculado através da soma dos potenciais de conservação individuais dos usos finais iluminação, ar condicionado e equipamentos (Tabela 4.22).

Tabela 4.22: Edifício da Zoologia: potencial de conservação de energia elétrica.

USO FINAL	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO	
	[kWh/MÊS]	[%]
SISTEMA DE ILUMINAÇÃO		
Tecnologia de iluminação	7.186	19,4
Desligamento das luminárias das 22:00 às 06:00 horas	2.647	7,1
Total	9.833	26,5
SISTEMA DE AR CONDICIONADO		
Redimensionamento do sistema de ar condicionado	6.343	17,1
Redução do consumo do sistema de iluminação	270	0,7
Total	6.613	17,8
EQUIPAMENTOS		
Temporizadores para as estufas	2.363	6,4
TOTAL DA INSTALAÇÃO	18.809	50,7

### 4.3.3 DEMAIS UNIDADES ANALISADAS

#### 4.3.3.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

As informações fornecidas pelas 26 unidades que devolveram as planilhas devidamente preenchidas foram introduzidas num banco de dados especialmente desenvolvido para este estudo, capaz de fornecer as informações relevantes ao diagnóstico energético.

A Tabela 4.23 exibe as características físicas das 26 unidades analisadas.

É importante observar que unidades pertencentes a um mesmo edifício foram agrupadas de maneira a formar uma única instalação equivalente (IME e RUSP).

Segundo a tabela, as instalações apresentam sistemas de iluminação artificial em toda sua área útil (área útil igual a área iluminada). O mesmo não ocorre para o sistema de refrigeração, presente, em média, em 17% da área total das instalações.

Tabela 4.23: CUASO: características físicas.

UNIDADE	NÚMERO DE AMBIENTES	ÁREA [m <sup>2</sup> ] ÚTIL TOTAL	ÁREA [m <sup>2</sup> ]		PÉ DIREITO MÉDIO [m]	NÚMERO DE INTERRUPTORES
			ILUMINADA	REFRIGERADA		
CECAE	17	285	285	0	3,6	26
CEPEUSP	72	7.432	7.432	227	3,3	128
EEF	108	5.479	5.479	802	3,2	224
FAU	101	14.716	14.716	1.137	3,8	269
FCF	348	11.739	11.739	2.565	3,3	626
FEA	521	24.883	24.883	5.041	3,3	1.100
FUVEST	3	224	224	0	4,5	20
IEB	12	2.758	2.758	90	3,0	109
IGC	297	8.616	8.616	2.191	3,3	627
IME	263	10.087	10.087	983	3,1	336
IO	194	12.992	12.992	3.458	3,4	436
IP	339	8.060	8.060	453	3,3	513
MAC	40	3.948	3.948	50	3,4	65
PCO	27	8.718	8.718	1.100	4,2	207
RUSP	326	12.906	13.049	3.938	2,8	851
Total	2.668	132.843	132.986	22.035	-	5.537

A Tabela 4.24 apresenta os números de docentes, alunos e usuários equivalentes das unidades analisadas.

Embora todas as unidades consumidoras sejam classificadas como edificações de ensino superior, algumas delas não apresentam docentes nem alunos. Isso ocorre por causa da grande diversidade das atividades desenvolvidas no campus, que vão desde trabalhos basicamente acadêmicos até funções administrativas e de infra-estrutura.

A Figura 4.12 apresenta a segmentação da potência instalada em iluminação das diversas tecnologias utilizadas nas unidades analisadas.



Tabela 4.24: CUASO: populações.

UNIDADE	DOCENTE EQUIVALENTE	ALUNO EQUIVALENTE	USUÁRIO EQUIVALENTE
CECAE	0	0	19
CEPEUSP	0	0	131
EEF	29	338	438
FAU	104	938	1.160
FCF	76	707	897
FEA	189	2.470	2.742
FUVEST	0	0	8
IEB	4	0	34
IGC	50	290	432
IME	158	1.039	1.276
IO	30	86	247
IP	72	688	851
MAC	8	0	78
PCO	0	0	571
RUSP	0	14	577
Total	720	6.570	9.461

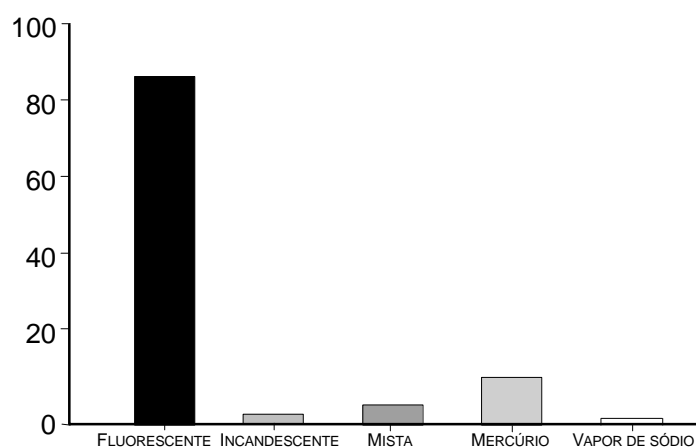


Figura 4.12: CUASO: desagregação da potência instalada em iluminação por tecnologia utilizada.

Conforme a figura, há um uso predominante de lâmpadas fluorescentes, com participação de 85% da potência instalada em iluminação. As lâmpadas de mercúrio correspondem ao segundo tipo mais utilizado, com participação de 9%, restando 6% divididos entre as lâmpadas incandescentes, mistas e de vapor de sódio. A Tabela 4.25 exibe a potência instalada total e a potência instalada em luminárias defeituosas para as

diversas tecnologias presentes nas instalações. A Tabela 4.26 apresenta a segmentação da potência instalada da tecnologia fluorescente (com exceção das compactas) nos vários modelos utilizados nas unidades analisadas.

Segundo a Tabela 4.25, algumas unidades apresentam um programa de manutenção ineficaz, com potência instalada em luminárias defeituosas acima de 10% da potência instalada total em iluminação. Essas unidades são o IO (18,3%), o MAC (10,7%) e o CEPEUSP (10,4%). Uma das possíveis causas da quantidade elevada de luminárias defeituosas no IO pode ser a grande participação das lâmpadas fluorescentes de 46 W, com 65,5% da potência instalada em lâmpadas fluorescentes (Tabela 4.26), cerca de 57,8% ( $0,882 \times 65,5$ ) da potência instalada em iluminação.

A potência instalada em lâmpadas de 46 W defeituosas corresponde a 17,2% ( $0,297 \times 57,8\%$ ) da potência instalada em iluminação. Uma vez que não foram encontrados no mercado catálogos e modelos substitutos para esse tipo de lâmpada, é provável que o conserto de uma luminária de 46 W exija a sua completa substituição por um dos modelos disponíveis no mercado, explicando a grande quantidade de luminárias defeituosas existentes e evidenciando a necessidade do projeto e da implementação de um novo sistema de iluminação para a instalação.

Outro fato que chama a atenção é o uso reduzido de lâmpadas fluorescentes compactas, substitutas diretas de lâmpadas incandescentes. Das 26 unidades analisadas, somente o IP utiliza esse tipo de tecnologia, bastante eficiente.

Conforme a Tabela 4.26, quase a metade da potência instalada em iluminação fluorescente corresponde, na média, a lâmpadas de 40 W. A participação das lâmpadas fluorescentes eficientes de 32 e 36 W, substitutas da lâmpada de 40 W, é bem pequena, com 3,9 e 1,3% do total, respectivamente. As únicas unidades que fazem uso desse tipo de tecnologia são a FAU (14,4%), o IP (42,6%) e o MAC (61%).

Tabela 4.25: CUASO: potência instalada em iluminação por tipo de lâmpadas.

UNIDADE	TOTAL		FLUORESCENTE		FLUORESCENTE COMPACTA		INCANDESCENTE		MISTA		VAPOR DE MERCÚRIO		VAPOR DE SÓDIO	
	TOTAL [kW]	RUINS [%]	TOTAL [%]	RUINS [%]	TOTAL [%]	RUINS [%]	TOTAL [%]	RUINS [%]	TOTAL [%]	RUINS [%]	TOTAL [%]	RUINS [%]	TOTAL [%]	RUINS [%]
CECAE	5,3	0,0	94,3	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CEPEUSP	120,9	10,4	25,3	8,8	0,0	0,0	0,4	0,0	16,5	0,0	57,8	14,2	0,0	0,0
EEF	107,6	0,1	57,8	0,0	0,0	0,0	2,6	5,3	2,2	0,0	35,7	0,0	1,7	0,0
FAU	90,2	0,0	97,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FCF	213,2	5,9	97,7	6,0	0,0	0,0	0,5	0,0	1,2	6,3	0,0	0,0	0,6	0,0
FEA	339,6	0,0	89,9	0,1	0,0	0,0	4,4	0,0	4,3	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0
FUVEST	3,5	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IEB	30,7	0,8	95,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0
IGC	220,0	1,3	91,6	1,4	0,0	0,0	4,2	0,0	0,7	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0
IME	251,9	0,1	100,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IO	175,3	18,3	88,2	19,6	0,0	0,0	1,9	7,1	7,6	11,2	0,0	0,0	2,3	0,0
IP	136,5	1,0	98,9	0,9	0,9	0,0	0,1	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MAC	36,3	10,7	97,9	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PCO	128,2	0,2	39,0	0,0	0,0	0,0	0,5	28,6	8,6	0,0	51,8	0,0	0,0	0,0
RUSP	257,5	0,2	94,2	0,2	0,0	0,0	0,9	4,4	0,0	0,0	2,3	0,0	2,6	0,0
Total	2.116,7	3,2	85,2	3,0	0,1	0,0	1,7	2,3	3,3	2,7	9,1	5,1	0,6	0,0

Tabela 4.26: CUASO: segmentação da potência instalada em lâmpadas fluorescentes.

UNIDADE	LF 15W [%]		LF 20W [%]		LF 32W [%]		LF 36W [%]		LF 40W [%]		LF 46W [%]		LF 65W [%]		LF 85W [%]		LF 110W [%]	
	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS	TOTAL	RUINS
CECAE	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CEPEUSP	0,0	0,0	1,7	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	98,3	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EEF	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,6	0,0	22,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FAU	0,0	0,0	0,0	0,0	14,4	0,3	0,0	0,0	29,3	0,0	56,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FCF	0,3	0,0	0,3	20,7	0,6	0,0	0,0	0,0	47,0	1,1	36,3	6,4	0,0	0,0	14,2	21,5	1,3	0,0
FEA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	47,7	0,0	52,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FUVEST	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IEB	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,7	0,0	76,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IGC	0,0	0,0	66,2	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
IME	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,5	0,0	0,0	0,0	66,6	0,1	0,0	0,0
IO	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0	0,4	0,9	5,9	65,5	29,7	0,0	0,0	0,0	0,0
IP	0,0	0,0	0,4	0,0	25,5	0,0	17,1	3,6	0,0	0,0	38,6	0,2	16,9	1,6	1,4	0,0	0,0	0,0
MAC	0,0	0,0	1,8	0,0	61,0	18,0	0,0	0,0	24,4	0,0	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PCO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,9	0,0	70,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
RUSP	0,0	0,0	1,0	0,0	0,2	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	98,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	0,1	0,0	8,3	1,9	3,9	5,5	1,3	3,4	22,1	0,3	46,2	1,0	6,9	24,5	11,0	3,3	0,2	0,0

A potência instalada em ar condicionado nas 26 unidades analisadas é apresentada na Tabela 4.27.

Tabela 4.27: CUASO: potência instalada em ar condicionado.

UNIDADE	QUANTIDADE			POTÊNCIA INSTALADA			TEMPO [h/mês]	
	TOTAL	CENTRAL	JANELA	TOTAL [kW]	CENTRAL [%]	JANELA [%]	CENTRAL	JANELA
CECAE	0	0	0	0,0	0	0	0	0
CEPEUSP	5	0	5	11,1	0	100	0	154
EEF	35	0	35	81,8	0	100	0	113
FAU	19	1	18	41,7	22	78	88	210
FCF	95	4	91	336,2	8	92	335	163
FEA	175	20	155	914,2	48	52	214	181
FUVEST	0	0	0	0,0	0	0	0	0
IEB	2	1	1	10,7	84	16	720	720
IGC	130	9	121	388,0	21	79	176	257
IME	44	0	44	175,6	0	100	0	177
IO	53	2	51	164,7	26	74	198	146
IP	22	2	20	52,8	34	66	448	171
MAC	3	0	3	3,8	0	100	0	132
PCO	4	0	4	13,9	0	100	0	205
RUSP	120	1	119	476,2	2	98	88	180
Total	707	40	667	2.670,7	24	76	-	-

Em termos de valores médios da amostra considerada, 76% da potência instalada em ar condicionado correspondem a aparelhos de janela, ficando 24% a cargo de aparelhos do tipo central. Um fato que chama a atenção, é o tempo de operação mensal do sistema de ar condicionado do IEB, com 720 horas mensais. Isso significa que o sistema opera continuamente, mesmo em dias de fim de semana, apontando para um provável potencial de conservação de energia elétrica nesse uso final.

A potência instalada em microcomputadores pessoais das unidades analisadas é exibida na Tabela 4.28. A categoria "outros equipamentos" contempla todos os equipamentos consumidores de energia elétrica que não pertencem aos usos finais iluminação, ar condicionado e microcomputadores pessoais.

Tabela 4.28: CUASO: potência instalada em microcomputadores e equipamentos.

UNIDADE	MICROCOMPUTADORES			OUTROS EQUIPAMENTOS		
	QUANTIDADE	P INSTALADA [kW]	TEMPO [h/MÊS]	QUANTIDADE	P INSTALADA [kW]	TEMPO [h/MÊS]
CECAE	27	2,7	151	187	13,6	66
CEPEUSP	14	1,4	147	1.128	553,0	88
EEF	86	8,6	105	1.244	377,9	61
FAU	135	13,5	176	2.421	424,4	100
FCF	180	18,0	136	4.890	1.997,9	80
FEA	551	55,1	189	6.823	1.748,9	107
FUVEST	11	1,1	110	124	12,6	57
IEB	21	2,1	129	730	119,5	75
IGC	169	16,9	185	9.490	1.450,9	109
IME	426	42,6	184	4.037	567,2	97
IO	143	14,3	193	3.768	778,6	112
IP	176	17,6	150	3.998	277,7	81
MAC	24	2,4	134	991	53,8	74
PCO	49	4,9	211	1.768	1.517,5	126
RUSP	541	54,1	197	7.583	1.140,8	109
Total	2.553	255,3	-	49.182	11.034,3	-

É importante observar que a grande maioria dos microcomputadores pessoais não apresentam dados de placa sobre os valores médios da demanda e do consumo. Diante desse fato, foi adotado um valor de 100 W para a demanda média de cada microcomputador.

A Tabela 4.29 apresenta a potência instalada em cada usos final das unidades analisadas.

Uma vez que não existem contas de energia elétrica individuais e que não foi possível a realização do levantamento de dados via medição direta de cabinas primárias, o consumo de energia elétrica de cada unidade analisada foi estimado através do produto entre a demanda média do uso final e o respectivo tempo de operação (Tabela 4.30).

Tabela 4.29: CUASO: potências instaladas em usos finais.

UNIDADE	POTÊNCIA INSTALADA [kW]				
	TOTAL	ILUMINAÇÃO	AR CONDICIONADO	MICROCOMPUTADORES	EQUIPAMENTOS
CECAE	21,6	5,3	0,0	2,7	13,6
CEPEUSP	686,4	120,9	11,1	1,4	553,0
EEF	575,9	107,6	81,8	8,6	377,9
FAU	569,8	90,2	41,7	13,5	424,4
FCF	2.565,3	213,2	336,2	18,0	1.997,9
FEA	3.057,8	339,6	914,2	55,1	1.748,9
FUVEST	17,2	3,5	0,0	1,1	12,6
IEB	163,0	30,7	10,7	2,1	119,5
IGC	2.075,8	220,0	388,0	16,9	1.450,9
IME	1.037,3	251,9	175,6	42,6	567,2
IO	1.132,9	175,3	164,7	14,3	778,6
IP	484,6	136,5	52,8	17,6	277,7
MAC	96,3	36,3	3,8	2,4	53,8
PCO	1.664,5	128,2	13,9	4,9	1.517,5
RUSP	1.928,6	257,5	476,2	54,1	1.140,8
Total	16.077,0	2.116,7	2.670,7	255,3	11.034,3

Tabela 4.30: CUASO: consumos calculados.

UNIDADE	TOTAL		ILUMINAÇÃO		AR CONDICIONADO		PCs		EQUIPAMENTOS	
	[MWh/mês]		[MWh/mês]	[%]	[MWh/mês]	[%]	[MWh/mês]	[%]	[MWh/mês]	[%]
CECAE	3,2		1,9	59	0,0	0	0,4	13	0,9	28
CEPEUSP	89,6		39	44	1,7	2	0,2	0	48,7	54
EEF	71,9		38,7	54	9,2	13	0,9	1	23,1	32
FAU	85,0		32,5	38	7,6	9	2,4	3	42,4	50
FCF	293,9		72,2	25	59,4	20	2,4	1	159,8	54
FEA	499,7		122,2	25	180,0	36	10,4	2	187,1	37
FUVEST	2,1		1,3	61	0,0	0	0,1	6	0,7	34
IEB	27,9		11	39	7,7	28	0,3	1	9,0	32
IGC	332,6		78,2	24	93,1	28	3,1	1	158,1	48
IME	184,5		90,6	49	31,1	17	7,8	4	55,0	30
IO	167,8		51,6	31	26,3	16	2,8	2	87,2	52
IP	87,7		48,6	55	14,0	16	2,6	3	22,5	26
MAC	16,5		11,7	71	0,5	3	0,3	2	4,0	24
PCO	241,2		46,1	19	2,8	1	1,0	0	191,2	79
RUSP	312,3		92,5	30	84,8	27	10,7	3	124,3	40
Total	2.415,9		738,1	31	518,2	21	45,4	2	1.114,1	46

Devido a imprecisões intrínsecas desse procedimento de cálculo (potências médias de equipamentos e respectivos tempos de operação), os resultados fornecidos

são apenas estimativas, que podem ser relativamente discrepantes aos valores reais em virtude da confiabilidade dos dados levantados. Por outro lado, como vantagem, esse tipo de cálculo fornece automaticamente a desagregação do consumo global em usos finais, uma vez que ele obtém o consumo global a partir da soma dos consumos individuais dos usos finais considerados.

Segundo a Tabela 4.30, o consumo de energia elétrica em usos finais das unidades analisadas não correspondem aos valores típicos de instituições de ensino. Na média, o segmento com maior participação no consumo global é o de microcomputadores pessoais e equipamentos, com 48%, restando 31% e 21% para os usos finais iluminação e ar condicionado, respectivamente. Provavelmente, os valores das potências médias e dos tempos de operação dos aparelhos da categoria equipamentos foram superestimados na hora do preenchimento das planilhas. O contrário deve ter ocorrido com o sistema de iluminação, principalmente em relação aos tempos de operação do sistema durante a madrugada, que devem ter sido subestimados.

Considerando que o consumo médio da CUASO é de 4.379 MWh/mês (Tabela 4.33) e que os valores do consumos globais das unidades analisadas (Tabela 4.30) sejam próximos dos valores reais, a participação das 26 unidades analisadas (50% do total de unidades) correspondem a 55% do consumo de todas as unidades mais o sistema de iluminação pública do campus.

A Tabela 4.31 apresenta os indicadores calculados para as unidades analisadas.

#### **4.3.3.2 POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

O potencial de conservação de energia elétrica global da CUASO pode ser estimado através do potencial de conservação de cada uso final das unidades analisadas.



A estimativa do potencial de conservação das 26 unidades analisadas pode ser estendida às demais unidades que não foram analisadas, uma vez que a amostra considerada é bastante representativa, sendo responsável por 55% do consumo de todas as unidades do campus.

O potencial de conservação de energia elétrica de cada uso final considerado foi estimado através da comparação dos indicadores energéticos obtidos para as 26 unidades analisadas com valores típicos de sistemas eficientes.

Para esta análise, foram adotados os seguintes valores de referência, considerados conservativos:

- Potência instalada em iluminação por área iluminada: 8,5 W/m<sup>2</sup>.
- Consumo em ar condicionado por área climatizada: 10,0 kWh/mês.m<sup>2</sup>.
- Potencial de conservação de microcomputadores pessoais: 25%.

Para o uso final iluminação, a economia de energia elétrica em relação ao consumo total da instalação foi calculada através da equação:

$$PC = \frac{(P_{INSTALADA ATUAL} - P_{REFERÊNCIA}) \cdot C_{ILUMINAÇÃO ATUAL}}{P_{INSTALADA ATUAL} \cdot C_{TOTAL}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (43)$$

Para o uso final ar condicionado, a economia de energia elétrica foi calculada em relação ao consumo total da instalação através da equação:

$$PC = \frac{C_{AR CODICIONADO ATUAL} - C_{REFERÊNCIA} \cdot A_{CLIMATIZADA}}{C_{TOTAL}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (44)$$

Tabela 4.31: CUASO: indicadores calculados.

UNIDADE	kWh / m <sup>2</sup> .mês	kWh / DE.mês	kWh / AE.mês	kWh / UE.mês	W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / m <sup>2</sup>	W <sub>AR CONDICIONADO</sub> / m <sup>2</sup>	W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	m <sup>2</sup> ÁREA ILUMINADA / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	% L <sub>RUINS</sub> / L <sub>TOTAL</sub>
CECAE	11	-	-	169	19	-	204	11	0,0
CEPEUSP	12	-	-	684	16	49	945	58	10,4
EEF	13	2479	213	164	20	102	480	24	0,1
FAU	6	817	91	73	6	37	335	55	0,0
FCF	25	3867	416	328	18	131	341	19	5,9
FEA	20	2644	202	182	14	181	309	23	0,0
FUVEST	10	-	-	267	16	-	175	11	0,0
IEB	10	6984	-	822	11	119	282	25	0,8
IGC	39	6652	1147	770	26	177	351	14	1,3
IME	18	1168	178	145	25	179	750	30	0,1
IO	13	5595	1952	679	13	48	402	30	18,3
IP	11	1219	128	103	17	117	266	16	1,0
MAC	4	2063	-	212	9	76	558	61	10,7
PCO	28	-	-	422	15	13	619	42	0,2
RUSP	24	-	22310	541	20	121	303	15	0,2
Total	18	3356	368	255	16	121	382	24	3,2

kWh / m <sup>2</sup> .mês	: consumo mensal por área útil.
kWh / DE.mês	: consumo mensal por docente equivalente.
kWh / AE.mês	: consumo mensal por aluno equivalente.
kWh / UE.mês	: consumo mensal por usuário equivalente.
W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / m <sup>2</sup>	: potência instalada em iluminação por área iluminada.
W <sub>AR CONDICIONADO</sub> / m <sup>2</sup>	: potência instalada em ar condicionado por área climatizada.
W <sub>ILUMINAÇÃO</sub> / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	: potência instalada em iluminação por número de interruptores.
m <sup>2</sup> ÁREA ILUMINADA / N <sub>INTERRUPTORES</sub>	: área iluminada por número de interruptores.
% L <sub>RUINS</sub> / L <sub>TOTAL</sub>	: porcentagem de lâmpadas ruins em relação ao total de lâmpadas.

onde:

$C_{AR\ CONDICIONADO\ ATUAL}$	: consumo do sistema de ar condicionado atual.
$C_{TOTAL}$	: consumo total da instalação.
$C_{REFERÊNCIA}$	: consumo por área climatizada de referência (simulado).
$A_{CLIMATIZADA}$	: área climatizada da instalação.

Para os microcomputadores pessoais, foi estimada uma participação de 50% de microcomputadores "green PC", resultando, para um potencial de conservação de 25% para cada "green PC", um potencial de conservação global do uso final de 12,5%.

A partir das considerações anteriores, foram calculados os potenciais de conservação de energia elétrica das unidades analisadas, apresentados na Tabela 4.32.

Tabela 4.32: CUASO: potenciais de conservação de energia elétrica.

UNIDADE	CONSUMO ATUAL [MWh/mês]	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [%]			ECONOMIA TOTAL DE ENERGIA	
		ILUMINAÇÃO	AR CONDICIONADO	PCs	[%]	[MWh/mês]
CECAE	3,2	32,8	0,0	1,6	34,4	1,1
CEPEUSP	89,6	20,4	-0,6	0,0	19,8	17,7
EEF	71,9	30,9	1,6	0,2	32,7	23,5
FAU	85,0	-15,9	-4,4	0,4	-19,9	-16,9
FCF	293,9	13,0	11,5	0,1	24,6	72,3
FEA	499,7	9,6	25,9	0,3	35,8	178,9
FUVEST	2,1	29,0	0,0	0,6	29,6	0,6
IEB	27,9	9,0	24,4	0,1	33,5	9,3
IGC	332,6	15,8	21,4	0,1	37,3	124,1
IME	184,5	32,4	11,5	0,5	44,4	81,9
IO	167,8	10,6	-4,9	0,2	5,9	9,9
IP	87,7	27,7	10,8	0,4	38,9	34,1
MAC	16,5	3,9	0,0	0,2	4,1	0,7
PCO	241,2	8,3	-3,4	0,1	5	12,1
RUSP	312,3	17,0	14,5	0,4	31,9	99,6
Total	2.415,9	14,3	12,3	0,2	26,8	647,5

Conforme a tabela anterior, existe um considerável potencial de conservação de energia elétrica nas 26 unidades do campus, com um valor médio de 26,8%,

atingindo os 44,4% no caso do IME. Entre as unidades analisadas, a FAU chama a atenção por apresentar um consumo de energia elétrica inferior ao simulado considerando sistemas eficientes. Não é possível determinar as causas desses valores apenas com as informações disponíveis, sendo necessária uma visita as instalações da FAU para uma análise mais detalhada, fato que foge do escopo deste estudo. Porém, existe a possibilidade dos dados coletados pela equipe de manutenção da instalação terem sido subestimados ou, até mesmo, que os sistemas de iluminação e ar condicionado realmente serem ineficazes, justificando os seus baixos consumos de energia elétrica.

#### **4.3.4 ANÁLISE DAS CONTAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA CUASO**

A CUASO é alimentada pela Eletropaulo em tensão de 88 kV. O ponto de entrega é a subestação de transformação da Cidade Universitária, de propriedade da concessionária, que transforma a tensão de 88 kV em 13,8 kV para ser distribuída às 54 cabinas primárias do campus. A medição e o faturamento são realizados no ponto de entrega (88 kV), embora exista um processo de descentralização da medição, onde estão sendo instalados medidores individuais em cada cabina primária do campus. Essa é uma questão discutível, existindo esforços por parte da reitoria em se manter a medição centralizada para que a CUASO possa usufruir os benefícios de ser uma grande consumidora de energia elétrica.

Outra questão bastante polêmica é o fato da CUASO ser faturada segundo a tarifa convencional A4, mesmo sendo alimentada acima de 25 kV e apresentando uma demanda superior a 500 kW, o que não está de acordo com legislação vigente.

A análise das contas de energia elétrica da CUASO foi realizada a partir do estudo de 24 faturas expedidas pela concessionária, abrangendo o período entre janeiro de 1995 e dezembro de 1996 (Tabela 4.33).

Tabela 4.33: CUASO: contas de energia elétrica.

DATA	CONSUMO		DEMANDA [kW]		IMPORTE [R\$]		IMPORTE DE REATIVOS EXCEDENTES [R\$]		TOTAL [R\$]
	ATIVO [kWh]	REATIVO [kvar]	REGISTRADA	FATURADA	CONSUMO	DEMANDA	CONSUMO	DEMANDA	
01/95	3.812.221	987.260	11.168	11.168	337.520,42	67.552,05	0,00	0,00	405.072,47
02/95	3.451.119	874.930	10.600	10.600	305.549,74	64.116,35	0,00	0,00	369.666,09
03/95	4.489.119	1.174.129	10.852	10.852	397.450,55	65.642,46	0,00	0,00	463.093,01
04/95	3.785.608	1.024.522	9.759	10.254	335.164,20	62.024,69	0,00	0,00	397.188,89
05/95	4.013.153	1.309.078	10.680	10.872	355.310,22	65.762,22	0,00	0,00	421.072,44
06/95	4.160.604	1.019.971	9.461	10.254	368.365,01	62.024,69	0,00	0,00	430.389,70
07/95	3.669.896	915.876	9.048	10.254	324.919,48	62.024,69	0,00	0,00	386.944,17
08/95	4.528.706	1.167.540	10.674	10.674	400.955,44	64.566,38	0,00	0,00	465.521,82
09/95	3.912.972	1.045.157	10.433	10.433	346.440,56	63.105,00	0,00	0,00	409.545,56
10/95	4.532.807	1.243.081	11.320	11.320	401.318,53	68.469,05	0,00	0,00	469.787,58
11/95	3.989.644	1.601.153	11.976	11.976	353.228,82	72.437,04	0,00	0,00	425.665,86
12/95	3.580.740	1.664.010	10.859	10.859	317.025,92	65.682,98	3.483,80	721,79	386.914,49
01/96	3.896.268	1.988.089	11.206	11.206	344.961,64	67.780,70	11.627,92	2.284,74	426.655,00
02/96	4.361.284	2.312.297	11.485	11.485	386.132,50	69.471,93	17.551,48	3.157,82	476.313,73
03/96	4.479.723	2.294.189	12.336	12.336	396.618,66	74.620,04	13.369,17	2.515,28	487.123,15
04/96	4.672.579	2.447.259	12.256	12.256	413.693,44	74.132,51	13.944,72	2.498,85	504.269,52
05/96	4.593.415	2.399.709	9.989	10.666	406.684,55	64.515,57	13.708,47	0,00	484.908,59
06/96	3.827.137	1.987.522	11.157	11.157	338.841,03	67.488,54	11.421,61	2.274,89	420.026,07
07/96	4.193.398	2.066.387	9.669	10.666	371.268,47	64.515,57	8.250,41	0,00	444.034,45
08/96	4.704.995	2.225.477	10.880	10.880	416.563,44	65.808,80	9.256,97	1.462,42	493.091,63
09/96	4.171.071	2.058.713	10.487	10.666	369.291,72	64.515,57	8.206,48	324,42	442.338,19
10/96	5.009.489	2.505.847	12.137	12.137	443.522,25	73.413,31	14.950,19	2.474,61	534.360,36
11/96	4.486.907	2.294.878	11.210	12.410	397.254,71	75.062,81	13.390,61	0,00	485.708,13
12/96	4.153.013	2.253.462	11.505	11.505	367.692,93	69.592,91	16.713,31	3.163,31	457.162,46
<b>Médias:</b>									
1995	3.993.882	1.168.892	10.569	10.793	353.604,07	65.283,97	290,32	60,15	419.238,51
1996	4.379.107	2.236.152	11.193	11.447	387.710,45	69.243,19	12.699,28	1.679,70	471.332,61
95/96	4.186.495	1.702.522	10.881	11.120	370.657,26	67.263,58	6.494,80	869,92	445.285,56

Segundo a tabela, o consumo médio mensal de energia elétrica da CUASO foi de 3.994 MWh em 1995 e de 4.379 MWh em 1996, um aumento de quase 10% para um período relativamente curto de um ano. A demanda registrada média também aumentou, passando de 10.569 kW em 1995 para 11.193 kW em 1996, um aumento de 6%.

Esse crescimento da demanda e do consumo juntamente com as multas por excesso de reativos provocaram um aumento de 12% no custo médio mensal da energia elétrica, que passou de R\$ 419.238,51 em 1995 para R\$ 471.332,61 em 1996.

As causas do baixo fator de potência registrado entre dezembro de 1995 e dezembro de 1996 não foram identificadas com certeza, havendo, porém, suspeitas de que ele tenha sido causado pelo desligamento de alguns bancos de capacitores instalados na própria rede de distribuição do campus.

A curva de carga de um dia útil da CUASO é exibida na Figura 4.13, obtida a partir da memória de massa fornecida pela concessionária.

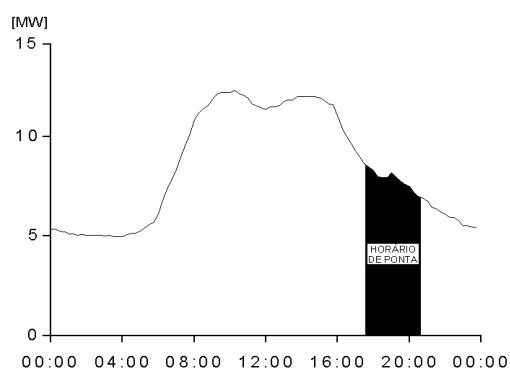


Figura 4.13: CUASO: curva de carga de um dia útil (12/1996).

Conforme a figura, a curva de carga da CUASO apresenta uma modulação natural de 32%, ou seja, a demanda máxima registrada no horário de ponta é igual a 68% da demanda máxima registrada no horário fora de ponta. Tal fato aponta a possibilidade de redução do custo médio da energia elétrica através da contratação de uma tarifa horo-sazonal adequada.

Através da aplicação da metodologia estatística para análise de contas de energia elétrica, foi determinado, por regressão linear, a curva da demanda registrada aproximada da CUASO para o período entre janeiro e dezembro de 1995. Os valores obtidos pela curva foram extrapolados para o ano de 1996, conforme a Figura 4.14.

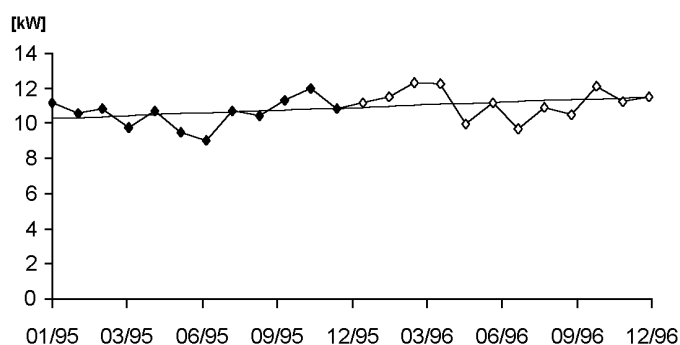


Figura 4.14: CUASO: regressão linear da demanda registrada.

Na figura anterior, os pontos em preto correspondem aos valores utilizados na regressão, correspondentes ao ano de 1995. Os pontos em branco correspondem aos valores registrados durante o ano de 1996. A reta de regressão calculada possui coeficientes angular e linear de 1,7670 e -51.040 (em watts), respectivamente. A média e o desvio padrão da variável  $x$  (demanda registrada sob demanda aproximada), calculados para os valores de 1995, são 1,0000 e 0,0749, respectivamente.

Conhecido estes valores, foi determinado o cronograma de reajuste dos valores da demanda contratada para a tarifa horo-sazonal azul, considerando uma modulação de carga de 32% no horário de ponta. A partir desses valores, foram realizadas simulações tarifárias, via planilha eletrônica, para as contas de 1996, comparando-se os valores efetivamente faturados segundo a tarifa convencional (atual) com os valores simulados segundo a tarifa horo-sazonal azul (sugerida). Os resultados fornecidos pelas simulações tarifárias são apresentados na Tabela 4.34.

É importante enfatizar que os valores de 1995 foram utilizados para estimar o crescimento do consumo ocorrido em 1996, apontando os valores de demanda contratada mais adequados para a não ocorrência de ultrapassagem, para as probabilidades de 80, 85 e 90%, dos limites ditados pela legislação vigente (5% no caso da CUASO). Dessa forma, foram adotadas duas alterações nos valores da demanda

contratada, uma em janeiro e outra em julho de 1996. O potencial de redução do custo médio de energia elétrica pôde, então, ser estimado através da comparação do custo total obtido para 1996 pela tarifa atual (convencional) e do custo total obtido pela tarifa simulada (azul) para o mesmo período.

É importante observar, ainda, que a tarifa horo-sazonal verde não foi simulada por não ser aplicável à CUASO, uma vez que ela é atendida em tensão superior a 69 kV.

Na Tabela 4.34, foram simulados os valores de contrato para três diferentes probabilidades de não ocorrência de ultrapassagem da demanda contratada: 80% ( $z = 0,84$ ), 85% ( $z = 1,04$ ) e 90% ( $z = 1,28$ ). A coluna "demanda registrada" corresponde aos valores realmente registrados para o primeiro mês de cada período analisado (janeiro de 1996 e julho de 1996). As colunas "demanda prevista" e "demanda contratada" correspondem, respectivamente, às demandas aproximadas pela regressão linear e às demandas sugeridas para a não ocorrência de ultrapassagem do limite de 5% da demanda contratada, dentro da probabilidade considerada. As simulações foram realizadas considerando valores arredondados das demandas sugeridas (coluna "demanda simulada"). Os custos apresentados para as tarifas convencional e horo-sazonal azul foram calculados através da soma dos custos de cada mês do período considerado. O valor percentual dos custos da energia elétrica segundo a tarifa azul foram calculados em relação aos custos da tarifa convencional.

É importante mencionar que os valores simulados para a demanda no horário de ponta corresponderam a 68% dos valores simulados para o horário fora de ponta.

Após estas considerações, conclui-se que a modalidade tarifária horo-sazonal azul teria proporcionado uma economia de 6,4% em 1996, caso tivesse sido adotado o cronograma de reajustes dos valores de contrato simulado para uma probabilidade de não ultrapassagem da demanda de 85%.



Tabela 4.34: CUASO: resultados das simulações tarifárias.

PERÍODO	DEMANDA				CONVENCIONAL		AZUL		[%]
	REGISTRADA	PREVISTA	CONTRATADA	SIMULADA	TOTAL [R\$]	ULTRAPASSAGEM [R\$]	TOTAL [R\$]		
P = 80%; z = 0,84.									
01/96 - 06/96	11.206	10.920	11.054	11.050	2.799.296,06	39.844,74	2.578.439,35	92,1	
07/96 - 12/96	9.669	11.241	11.379	11.400	2.856.695,22	0,00	2.720.746,91	95,2	
1996	-	-	-	-	5.655.991,28	39.844,74	5.299.186,26	93,7	
P = 85%; z = 1,04.									
01/96 - 06/96	11.206	10.920	11.210	11.200	2.799.296,06	18.168,51	2.562.355,65	91,5	
07/96 - 12/96	9.669	11.241	11.540	11.550	2.856.695,22	0,00	2.731.137,39	95,6	
1996	-	-	-	-	5.655.991,28	18.168,51	5.293.493,04	93,6	
P = 90%; z = 1,28.									
01/96 - 06/96	11.206	10.920	11.396	11.400	2.799.296,06	0,00	2.554.060,63	91,2	
07/96 - 12/96	9.669	11.241	11.732	11.750	2.856.695,22	0,00	2.747.317,03	96,2	
1996	-	-	-	-	5.655.991,28	0,00	5.301.377,66	93,7	

Observação: Os preços da demanda e do consumo adotados foram extraídos da referência [42].

### 4.3.5 CONCLUSÕES

Os resultados dos diagnósticos energéticos realizados são bastante encorajadores. No caso do edifício da Engenharia de Eletricidade, o potencial de conservação de energia elétrica total é estimado em 44%. Para o edifício da Zoologia, o potencial de conservação é ainda maior, cerca de 51%. Para as outras 26 unidades analisadas, é estimado um potencial de conservação médio de 26,8%. Considerando-se que a amostra analisada é bastante representativa (55% do consumo total do campus) e extrapolando os resultados para as demais unidades não analisadas, o potencial de conservação de energia elétrica total do campus (sem considerar a iluminação pública, responsável por aproximadamente 3% do consumo total<sup>34</sup>) seria 27%. Além disso, a mudança de modalidade tarifária no contrato de fornecimento junto à concessionária possibilitaria uma economia de 6%.

<sup>34</sup> Informação obtida informalmente junto à PCO.

A Tabela 4.35 resume os potenciais de conservação de energia elétrica estimados através da metodologia apresentada.

Tabela 4.35: CUASO: potenciais de conservação de energia elétrica.

PARCELA	CONSUMO ATUAL [%]	POTENCIAL DE CONSERVAÇÃO [MWh/mês]	[%]
Edifício da Engenharia Elétrica da EPUSP	3,4	64,2	1,5
Edifício da Zoologia do IB	0,8	18,7	0,4
26 unidades analisadas	55,2	647,5	14,8
Demais unidades não analisadas	37,6	441,1	10,1
Iluminação pública	3	Não calculado	
<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>1.171,5</b>	<b>26,8</b>

Observação: Os consumos atuais foram calculados considerando o consumo total médio de 1996 (4.379.107 kWh/mês).

É importante salientar, ainda, que os resultados anteriores foram estimados a partir de valores conservativos, ou seja, eles devem representar valores mínimos dos potenciais de conservação realmente existentes na CUASO.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma metodologia para a determinação do potencial de conservação de energia elétrica em usos finais, aplicada a diagnósticos energéticos de instalações de ensino e de instalações comerciais em geral.

A metodologia é prática e de fácil aplicação, baseada na experiência obtida durante a implementação do Projeto Conservusp, realizado em 1996 na CUASO. Ela contempla procedimentos que vão desde a coleta de dados até a determinação do potencial de conservação de cada uso final considerado, passando pela análise de indicadores energéticos que permitem estimar potenciais de conservação a partir de comparações com valores típicos obtidos em outros diagnósticos. Além disso, também é considerada uma análise estatística das contas de energia que permite a redução do custo médio da energia elétrica.

Foi apresentado, também, um estudo de caso abrangente, com exemplos de aplicação direta da metodologia desenvolvida. Os resultados obtidos são bastante significativos, apontando para um potencial de conservação de energia elétrica mínimo de 27% para toda a CUASO, existindo unidades com potenciais de conservação próximos a 50%. Além disso, os dados levantados sobre as características físicas, populacionais e de consumo do campus, juntamente com as informações resultantes da aplicação da metodologia, formam um conjunto de dados bastante amplo e consistente, que pode servir de subsídio a uma série de outros estudos não limitados à área de concentração em questão.

É importante observar que os resultados do diagnóstico energético realizado na CUASO dentro do Projeto Conservusp, serviram de argumento para a criação e

implementação de um programa para a promoção do uso racional e eficiente de energia elétrica na USP. Em maio de 1997, a reitoria da universidade baixou a portaria que cria o Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia Elétrica na USP, um programa multidisciplinar com o objetivo de estabelecer diretrizes, propor atuações, avaliar e gerenciar o uso da energia elétrica nas unidades e campi da USP.

Desde a criação do programa, já foram implementadas algumas medidas, entre elas:

- Aquisição de um sistema de gerenciamento e controle do consumo de energia elétrica na CUASO (em fase de licitação), que irá monitorar 37 pontos de medição, devendo, no futuro, monitorar e controlar todas as cabinas primárias do campus. Através desse sistema, será possível analisar e acompanhar o perfil de consumo das unidades, possibilitando a realização de uma grande variedade de estudos, permitindo, inclusive, segmentar a conta global da CUASO nas respectivas parcelas de consumo de cada unidade.
- Estudos para a classificação da CUASO como uma consumidora em alta-tensão.
- Campanha publicitária contra o desperdício de energia, através de cursos e palestras e da distribuição de folhetos e adesivos educativos.

Além do Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia Elétrica na USP em desenvolvimento, existe uma série de outros possíveis desdobramentos que não devem ser esquecidos e nem ignorados frente às vantagens indiscutíveis da implementação de algumas das estratégias sugeridas neste trabalho. Fica, então, o desafio de alavancar recursos para colocar em prática essas medidas, visando transformar a universidade num referencial sobre o uso racional e eficiente de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GLEISER, M. **A dança do universo** - dos mitos de criação até o big-bang. São Paulo, Companhia das Letras, 1997.
- [2] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 1997** - ano base 1996. Brasília, 1997.
- [3] ELETROBRÁS. **Plano 2015** – plano nacional de energia elétrica 1993 – 2015. v.1. Rio de Janeiro, 1994.
- [4] NELSON, T. Global CFL sales at all-time high. **IAEEL newsletter**, v.5, n. 15, p.1, 3, 1996.
- [5] GELLER, H. **O uso eficiente da eletricidade** - uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Eficiência Energética, 1994.
- [6] BOLETIM PROCEL: combate ao desperdício de energia elétrica. n.43, Mar./Abr. 1997.
- [7] ROMÉRO, M. A. **Método de avaliação do potencial de conservação de energia elétrica em campi universitários**: o caso da Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira. São Paulo, 1994. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- [8] PEREIRA, A. C. **Proposta de conservação de energia elétrica aplicada ao campus de São Carlos – USP**. São Carlos, 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- [9] ABILUX; AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA; ELETROBRÁS; PROCEL. **Uso racional de energia elétrica em edificações – iluminação**. 2.ed. São Paulo, 1992.
- [10] LEONELLI, P.; MONTEIRO, R.; ARAÚJO, I.; POLIS, H.; GELLER, H. Evolução do mercado para produtos eficientes de iluminação. **Eletricidade Moderna**, n.281, p.60-76, Ago. 1997.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Iluminação de interiores - NBR 5413**: NB-57. Rio de Janeiro, 1991.
- [12] CREDER, H. **Instalações de ar condicionado**. 5.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1996.
- [13] BORG, N. T5 lamps boost fluorescent lighting efficiency. **IAEEL newsletter**, v. 6, n.17. p.4-6, 1997.

- [14] LUNDBERG, F. Sixty percent less energy with LED traffic lights. **IAEEL newsletter**, v. 4, n.12, p.8-10, 1995.
- [15] LUNDBERG, F. Green light for green LEDs!. **IAEEL newsletter**, v. 5, n.16, p.7, 1996.
- [16] UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Lighting upgrade manual**. 7.ed. Feb. 1995. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.epa.gov/program.html>> [10/03/97].
- [17] MILLS, E.; PIETTE, M. A. Advanced energy-efficient lighting systems: progress and potentials. **Energy**, v.18, n.2, p.75-97, 1993.
- [18] CADET: Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. **Saving energy with efficient lighting in commercial buildings**. - maxi brochure 01. Netherlands.
- [19] RUBINSTEIN, F.; SIMINOVITCH, M; VERDERBER, R. Fifty percent energy savings with automatic lighting controls. **IEEE transactions on industry applications**, v. 29, n.4, p. 768-73, 1993.
- [20] LUNDBERG, F. Electronic ballasts: relief for senses. **IAEEL newsletter**, v. 5, n.13, p.1, 3, 11, 1996.
- [21] WILKINS, A. J. Health and efficiency in lighting practice. **Energy**, v.18, n.2, p.123-9, 1993.
- [22] AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA. **Manual de administração de energia - 2**. São Paulo, 1997.
- [23] ARI: Air Conditioning and Refrigeration Institute. **Consumer guide to efficient central climate control systems**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.ari.org/cgi-bin/book.exe?28875|0|U|BROCH\cg\o1.html#perspective>> [15/09/97].
- [24] ARI: Air Conditioning and Refrigeration Institute. **Life, liberty and pursuit of comfort with ductless split air-conditioning systems**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.ari.org/cgi-bin/book.exe?28884|0|U|BROCH\du\o1.html>> [15/09/97].
- [25] ARI: Air Conditioning and Refrigeration Institute. **Heat, cool, save energy with a heat pump**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.ari.org/cgi-bin/book.exe?28880|0|U|BROCH\HP\online.html>> [15/09/97].
- [26] ARI: Air Conditioning and Refrigeration Institute. **Thermal energy storage**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.ari.org/cgi-bin/book.exe?28881|0|U|BROCH\tes\online.html>> [15/09/97].

- [27] LAMBERTS, R.; LOMARDO, L. L. B.; AGUIAR, J. C.; THOMÉ, M. R. V. **Eficiência energética em edificações: estado da arte**. Mar. 1996.
- [28] UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **U.S. EPA Energy Star Buildings Upgrade Manual**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.epa.gov/appdstar/buildings/manual/>> [09/02/98].
- [29] UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Office equipment program: computers**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.epa.gov/appdstar/esoe/pclist.html>> [05/12/97].
- [30] UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Summary of printer and fax machine specifications**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.epa.gov/appdstar/esoe/printsum.html>> [05/12/97].
- [31] UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Office equipment program: copiers**. [on line] Available from Word Wide Web: <URL: <http://www.epa.gov/appdstar/esoe/copylist.html>> [05/12/97].
- [32] BYERS, T. J. Green PCs. **Electronics Now**, p.31-41, 48, May 1995.
- [33] SAIDEL, M. A.; ALVAREZ, A. L. M. Potencial de conservação de energia em computadores pessoais. **Eletricidade Moderna**, n.283, p.70-80, Out. 1997.
- [34] MILLS, E. A neglected opportunity. **IAEEL newsletter**, v.3, n.7, p.1, 3, 1994.
- [35] AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA. **Auto-avaliação dos pontos de desperdício de energia elétrica no setor público**. São Paulo, 1989.
- [36] EHRLICH, P. J. **Engenharia econômica** - avaliação e seleção de projetos de investimentos. São Paulo, Atlas, 1989.
- [37] SATHAYE, J.; GADGIL, A. Aggressive cost-effective electricity conservation. **Energy policy**, v.20, n.1, p.163-172, 1992.
- [38] LEVINE, M. D.; KOOMEY, J. G.; PRICE, L.; GELLER, H.; NADEL, S. Electricity end-use efficiency: experience with technologies, markets, and policies throughout the world. **Energy**, v.20, n.1, p.37-61, 1995.
- [39] COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. São Paulo, Edgard Blücher, 1977.
- [40] UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Anuário estatístico 1996**. São Paulo, 1997.
- [41] ELETROPAULO. **PND - 2.4** - determinação da demanda em prédios residenciais e comerciais.
- [42] BOLETIM informação sobre uso racional de energia. v.10, n.42; Abr./Mai. 1997.

## **APÊNDICE**

### **NOÇÕES SOBRE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA**



# 1 ESTRUTURA TARIFÁRIA

Em 1982, com o objetivo de promover o uso racional e eficiente de energia elétrica e de reduzir a necessidade de investimentos na expansão do setor elétrico, o Governo Federal introduziu o sistema tarifário baseado nos custos marginais de operação e de expansão do sistema elétrico. Com modalidades tarifárias diferenciadas para as várias categorias de consumidores, a nova estrutura tarifária passou a onerar mais o custo da energia elétrica durante os horários do dia e os períodos do ano nos quais o fornecimento é mais crítico. Dessa forma, o faturamento passou a ser horo-sazonal, ou seja, custos que variam conforme o horário do dia e o período do ano, dependendo da categoria na qual o consumidor é classificado.

A Tabela 1 exhibe a classificação em grupos dos consumidores conforme suas características de consumo.

Tabela 1: Classificação dos consumidores de energia elétrica.

GRUPO	SUBGRUPO	TENSÃO DE FORNECIMENTO [kV]
A	A1	$\geq 230$
	A2	88 a 138
	A3	69
	A3a	30 a 44
	A4	2,3 a 25
	AS	Subterrâneo
B	B1	<2,3
	B2	<2,3
	B3	<2,3
	B4	<2,3

Segundo a estrutura tarifária vigente, existem três modalidades tarifárias diferentes: a tarifa convencional e as tarifas horo-sazonais azul e verde. Cada uma

apresenta um estrutura de preços distinta que visa atender a determinados subgrupos de consumidores.

## 1.1 TARIFA CONVENCIONAL

A tarifa convencional apresenta um preço único para a demanda e um preço único para o consumo. Ela pode ser aplicada a consumidores dos subgrupos A2, A3, A3a, A4 e AS com demandas inferiores a 500 kW e a consumidores do grupo B. No caso do grupo B, apenas o consumo é faturado.

A demanda utilizada nos cálculos de faturamento será a maior entre as abaixo:

- Maior demanda registrada, verificada por medição, durante o ciclo de faturamento.
- Demanda contratada, quando houver, exclusive nos casos de unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal.
- 85% da maior demanda registrada nos últimos 11 meses, exclusive nos casos de unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal.
- 10% da maior demanda, verificada por medição, nos últimos 11 meses para unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal.

O faturamento da tarifa convencional é dado pela equação:

$$F = \frac{(DF \cdot TD + C \cdot TC)}{1 - ICMS} + ER \quad (1)$$

onde:

- $F$  : faturamento total.  
 $DF$  : demanda faturada.  
 $TD$  : tarifa da demanda.  
 $C$  : consumo.  
 $TC$  : tarifa do consumo.  
 $ER$  : multa por excesso de reativos (baixo fator de potência).  
 $ICMS$  : Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação.

O valor da multa por excesso de reativos podem ser calculados pela equação:

$$ER = FDR + FER \quad (2)$$

com:

$$FDR_{(p)} = \left[ \max_{t=1}^n \left( DA_t \cdot \frac{0,92}{ft} \right) - DF \right] \cdot TDA_{(p)} \quad (3)$$

$$FER_{(p)} = \left[ \sum_{t=1}^n \left( CA_t \cdot \frac{0,92}{ft} - 1 \right) \right] \cdot TCA_{(p)} \quad (4)$$

onde:

- $FDR_{(p)}$  : faturamento da demanda reativa excedente do posto horário  $p$ .  
 $FER_{(p)}$  : faturamento da energia reativa excedente do posto horário  $p$ .  
 $t$  : intervalo de tempo (1 hora) entre medições do fator de potência.  
 $n$  : número de intervalos de integralização no período de faturamento.  
 $DA_t$  : demanda de potência ativa verificada no intervalo de integralização  $t$ .  
 $CA_t$  : consumo de ativos verificado no intervalo de integralização  $t$ .  
 $ft$  : fator de potência calculado no intervalo de integralização  $t$ .  
 $TDA_{(p)}$  : tarifa de demanda do posto horário  $p$ .  
 $TCA_{(p)}$  : tarifa de consumo do posto horário  $p$ .

## 1.2 TARIFA AZUL

A tarifa azul é composta de dois preços para a componente demanda, conforme os horários de ponta e fora de ponta<sup>1</sup>, e de quatro preços para a componente consumo, variáveis em função do segmento horo-sazonal (horários de ponta e fora de ponta e períodos seco e úmido<sup>2</sup>).

A tarifa azul é obrigatória para consumidores dos grupos A1, A2, A3 e demais consumidores do grupo A que contratem ou assegurem demanda igual ou superior a 500 kW ou que apresentem, nos últimos 11 meses, 3 ou mais registros de demandas iguais ou superiores a 500 kW. Consumidores com demanda inferior a 500 kW podem optar pela tarifa azul se apresentarem, nos últimos 11 meses, 3 ou mais registros de demandas iguais ou superiores a 50 kW, ou ainda, se contratarem, no mínimo, uma demanda igual a 50 kW.

A demanda utilizada nos cálculos de faturamento será a maior entre as abaixo:

- Maior demanda registrada, verificada por medição, durante o ciclo de faturamento.
- Demanda contratada, quando houver, exclusive nos casos de unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal.
- 10% da maior demanda, verificada por medição, nos últimos 11 meses para unidades consumidoras classificadas como rural ou sazonal.

---

<sup>1</sup> O horário de ponta corresponde ao período de três horas consecutivas determinado pela concessionária local, compreendido entre as 17:00 e 22:00 horas dos dias úteis. O horário fora de ponta corresponde ao período complementar dos dias úteis mais os dias de fim de semana.

<sup>2</sup> O período seco compreende os meses de maio a novembro de um mesmo ano. O período úmido compreende os meses de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

A multa por ultrapassagem da demanda contratada será aplicada quando forem ultrapassados os seguintes limites:

- 5% para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV.
- 10% para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda contratada superior a 100 kW.
- 20% para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda contratada de 50 a 100 kW.

O faturamento da tarifa azul é dado pela equação:

$$F = \frac{(DF_P \cdot TD_P + DF_{FP} \cdot TD_{FP} + C_P \cdot TC_P + C_{FP} \cdot TC_{FP})}{1 - ICMS} + UD + ER \quad (5)$$

onde:

- $F$  : faturamento total.
- $DF_P$  : demanda faturada no período de ponta.
- $DF_{FP}$  : demanda faturada no período fora de ponta.
- $TD_P$  : tarifa da demanda no período de ponta.
- $TD_{FP}$  : tarifa da demanda no período fora de ponta.
- $C_P$  : consumo no período de ponta.
- $C_{FP}$  : consumo no período fora de ponta.
- $TC_P$  : tarifa do consumo no período de ponta.
- $TC_{FP}$  : tarifa do consumo no período fora de ponta.
- $UD$  : multa por ultrapassagem da demanda contratada.

A parcela UD devida à multa por ultrapassagem de demanda, quando existir, poderá ser calculada pela equação:

$$UD = (DF_P - DC_P) \cdot TU_P + (DF_{FP} - DC_{FP}) \cdot TU_{FP} \quad (6)$$

onde:

$DC_P$  : demanda contratada no período de ponta.

$DC_{FP}$  : demanda contratada no período fora de ponta.

$TU_P$  : tarifa de ultrapassagem no período de ponta.

$TU_{FP}$  : tarifa de ultrapassagem no período fora de ponta.

A multa por excesso de reativos (ER) pode ser calculada pelas equações 2, 3 e 4, também aplicadas à tarifa convencional.

### **1.3 TARIFA VERDE**

A tarifa verde é composta de um preço único para a componente demanda e de quatro preços para a componente consumo, variáveis em função do segmento horo-sazonal.

A aplicação da tarifa verde é opcional para consumidores do grupo A alimentados por tensão inferior a 69 kV que apresentarem, nos últimos 11 meses, 3 ou mais registros de demandas medidas iguais ou superiores a 50 kW, ou ainda, se contratarem, no mínimo, demanda igual a 50 kW.

A demanda utilizada nos cálculos de faturamento é determinada da mesma maneira que na tarifa horo-sazonal azul.

A multa por ultrapassagem da demanda contratada será aplicada quando forem ultrapassados os seguintes limites:

- 10% para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda contratada superior a 100 kW.
- 20% para as unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV e com demanda contratada de 50 a 100 kW.

O faturamento da tarifa verde é dado pela equação:

$$F = \frac{(DF \cdot TD + C_p \cdot TC_p + C_{FP} \cdot TC_{FP})}{1 - ICMS} + UD + ER \quad (7)$$

Nesse caso, a multa por ultrapassagem da demanda contratada é calculada pela equação:

$$UD = (DF - DC) \cdot TU \quad (8)$$

onde:

$DC$  : demanda contratada.  
 $TU$  : tarifa de ultrapassagem.

A multa por excesso de reativos (ER) pode ser calculada pelas equações 2, 3 e 4, também aplicadas às tarifas convencional e horo-sazonal azul.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COMPANHIA ENERGÉTICA DE BRASÍLIA. **Fornecimento de energia elétrica - legislação.** Set. 1996.
- CESP. **Estrutura tarifária horo-sazonal:** manual de tarifa azul e de tarifa verde. São Paulo, 1990.
- COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Tarifas horo-sazonais azul e verde:** manual de orientação ao consumidor. 1988.