



Universidade Federal de Minas Gerais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica

ESTUDO DE ASPECTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE  
EDIFICAÇÕES COM UMA ABORDAGEM DE  
AUTOMAÇÃO PREDIAL

Laura Caixeta Braga

BELO HORIZONTE, 31 DE AGOSTO DE 2007

Laura Caixeta Braga

ESTUDO DE ASPECTOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE  
EDIFICAÇÕES COM UMA ABORDAGEM DE  
AUTOMAÇÃO PREDIAL

Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação  
em Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia  
da Universidade Federal de Minas Gerais, como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Sinais e Sistemas

Orientadora: Profa. Carmela Maria Polito Braga

Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2007

Folha de Aprovação a ser anexada

*Aos meus pais, Mauro e Inez, e  
ao meu marido, Hugo.*

## ***Agradecimentos***

*Agradeço à minha orientadora, Professora Carmela Maria Polito Braga, pela honra de ter sido sua orientada. Seu constante apoio, incentivo, e competência foram essenciais para a realização deste trabalho. Agradeço, também, ao Professor Anísio Rogério Braga pelo aprendizado, amizade, orientação, e pelas valiosas sugestões dadas.*

*Agradeço, também, aos membros da Banca examinadora que, com suas valiosas sugestões, muito contribuíram para este trabalho.*

*Gostaria de agradecer a todos que de alguma maneira contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, em particular à diretoria da Escola de Engenharia, ao Departamento de Planejamento Físico e Obras da UFMG, e ao Setor de Serviços Gerais responsável pelo PCA. Obrigada, também, aos professores, funcionários e colegas do CPDEE, em especial aos amigos Davidson, Rodrigo, Erlon e Karla.*

*Agradeço a ELETROBRAS pelo suporte financeiro dado por meio do projeto de Capacitação Laboratorial em Eficiência Energética e Integração de Técnicas de Automação Residencial e Predial, e pela bolsa de estudos.*

*Sou extremamente grata aos meus pais, Mauro e Inez, pelo apoio, compreensão, encorajamento e exemplo que recebi durante toda a minha vida. O incentivo e carinho de vocês foram essenciais neste caminho. Agradeço, também, a minha irmã, Marina, e a todos meus familiares e amigos que me apoiaram durante este trajeto.*

*Em especial, agradeço ao meu marido, Hugo, pelo amor, paciência, companheirismo e apoio irrestrito durante a realização deste trabalho.*

## RESUMO

Uma proposta metodológica para o estudo das cargas típicas instaladas em edificações, das contas de energia e de dados coletados por meio de analisadores de qualidade de energia. A partir deste estudo procede-se a modelagem do padrão de consumo de edificações por meio de uma estrutura multicanal e uma proposta para controle, por meio de Controle Estatístico de Processos, é avaliada. A metodologia é aplicada em uma edificação pública educacional, e, então é proposto um projeto conceitual para a automação da edificação, objetivando implementar regras de uso racional de energia para garantir que o processo de racionalização do consumo energético seja integrado, provendo a instalação de equipamentos eficientes e o uso racional da energia nos ambientes.

## **ABSTRACT**

A methodological proposal for the study of the typical loads installed in constructions, of the bills of energy and of data collected through energy analyzers is presented. The energy consumption pattern of buildings is modeled through a non linear structure and a proposal for monitoring building's energy usage, through Statistical Control of Processes, is evaluated. The methodology is applied in a public educational building, and, then a conceptual project for its automation is proposed, seeking to implement rules of rational energy usage to guarantee that the process of rationalization of the energy consumption is integrated, providing the installation with efficient equipment and assuring a rational usage of energy.

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>7</b>
1.1.	ESTRUTURA DO TRABALHO	11
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>TÉCNICAS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL</b>	<b>13</b>
2.1.	EDIFÍCIOS INTELIGENTES E DOMÓTICA	13
2.2.	AUTOMAÇÃO PREDIAL	15
2.2.1.	<i>Rede de Comunicação Local</i>	17
2.2.2.	<i>Protocolos de Comunicação</i>	21
2.3.	SISTEMAS COMERCIAIS DEDICADOS À AUTOMAÇÃO PREDIAL E RESIDENCIAL	23
2.4.	CONTROLE DOS SUBSISTEMAS DOMÓTICOS	24
2.4.1.	<i>Iluminação</i>	24
2.4.2.	<i>Climatização</i>	27
2.4.3.	<i>Detecção e Combate a Incêndio</i>	28
2.4.4.	<i>Segurança</i>	30
2.4.5.	<i>Controle de Acesso</i>	30
2.4.6.	<i>Comunicação</i>	31
2.4.7.	<i>Gestão de Insumos</i>	32
2.5.	COMENTÁRIOS FINAIS	34
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>TÉCNICAS DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA E ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA</b>	<b>35</b>
3.1.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL	35
3.1.1.	<i>PROCEL</i>	39

---

3.2.	O USO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES	42
3.2.1.	<i>Normas de Eficiência Energética em Edificações: a experiência mundial</i>	43
3.2.2.	<i>Regulamentação Brasileira para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edificações</i>	46
3.3.	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS SISTEMAS DE USO FINAL	52
3.3.1.	<i>Sistema de Iluminação</i>	52
3.3.2.	<i>Sistema de Climatização e Conforto Ambiental</i>	64
3.3.3.	<i>Sistema de Abastecimento Hidráulico</i>	72
3.3.4.	<i>Sistema de Aquecimento de Água</i>	74
3.4.	ÍNDICE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	76
3.5.	QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA	79
3.6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
<b>CAPÍTULO 4 PROCEDIMENTOS DE CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE DEMANDAS DE EDIFICAÇÕES</b>		<b>83</b>
4.1.	PROPOSTA METODOLÓGICA	84
4.2.	APLICAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA NO ESTUDO DE CASO: A EDIFICAÇÃO PCA	85
4.2.1.	<i>Análise das Instalações da Edificação</i>	88
4.2.2.	<i>Análise das Cargas Típicas Existentes na Edificação</i>	92
4.2.3.	<i>Análise das Contas de Energia Elétrica</i>	100
4.2.4.	<i>Dados de Medições</i>	106
4.3.	MODELO DO PADRÃO DE CONSUMO DA EDIFICAÇÃO E PROPOSTA DE MONITORAMENTO CONTÍNUO DO PERFIL DE CONSUMO COM CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS	113
4.4.	MODELO ENCONTRADO PARA A EDIFICAÇÃO PCA	118
4.5.	GENERALIZAÇÃO DE USO DA METODOLOGIA DE MODELAGEM MULTICANAL E CEP PARA MONITORAMENTO DE VARIÁVEIS DOMÓTICAS	121
4.6.	COMENTÁRIOS FINAIS	122

---

<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR</b>	
	<b>MEIO DE AUTOMAÇÃO PREDIAL: ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA</b>	
<b>EDUCACIONAL</b>	<b>123</b>	
5.1.	CAMPUS 2000	123
5.2.	POTENCIAL DE RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	125
5.3.	POTENCIAL DE RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	127
5.4.	SISTEMA DE AUTOMAÇÃO	129
5.4.1.	<i>Sistema Dedicado à Automação Predial</i>	133
5.4.2.	<i>Solução Clássica: Utilizando Controlador Lógico Programável</i>	137
5.5.	CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS PROPOSTAS	139
5.5.1.	<i>Viabilidade</i>	141
5.6.	COMENTÁRIOS FINAIS	142
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>144</b>
<b>APÊNDICE A: CARTAS DE CONTROLE DE SHEWHART</b>		<b>152</b>
<b>APÊNDICE B: CÁLCULO DA RELAÇÃO DE BENEFÍCIO-CUSTO</b>		<b>156</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 POTENCIAL DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA COM O USO DE SENSORES DE PRESENÇA	25
TABELA 3-1: INVESTIMENTOS REGULADOS EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E P&D - 1998-2000	36
TABELA 3-2: INVESTIMENTOS REGULADOS PELA LEI PARA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E P&D	37
TABELA 3-3: RESULTADOS ANUAIS OBTIDOS PELO PROCEL 1986-2005	40
TABELA 3-4: ILUMINÂNCIAS RECOMENDADAS POR CLASSE DE TAREFAS VISUAIS	54
TABELA 3-5: CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS	56
TABELA 3-6: CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS	60
TABELA 3-7: FATOR DE POTÊNCIA E DISTORÇÃO HARMÔNICA NOS REATORES: ELETROMAGNÉTICO E ELETRÔNICO	62
TABELA 3-8: EER DE ALGUNS APARELHOS DE AR CONDICIONADO	70
TABELA 3-9: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA VERSUS QUALIDADE DE ENERGIA	81
TABELA 4-1: USO DO ESPAÇO NOS BLOCOS 1, 2 E 3 DO PCA.	93
TABELA 4-2: POTÊNCIA INSTALADA NOS BLOCOS 1, 2 E 3 DO PCA	94
TABELA 4-3: CONSUMO DESAGREGADO POR SISTEMA DE USO FINAL	97
TABELA 4-4: INDICADORES DE USO DE ENERGIA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	98
TABELA 4-5: APARELHOS DE AR CONDICIONADO	99
TABELA 4-6: INDICADORES DE USO DE ENERGIA NO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO	100
TABELA 4-7: CORRELAÇÃO ENTRE O CONSUMO E A TEMPERATURA MÉDIA MENSAL	106
TABELA 5-1: RESUMO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PROPOSTO PARA OS BLOCOS 2 E 3	126
TABELA 5-2: SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL E PROPOSTO	127
TABELA 5-3: COMPARAÇÃO ENTRE O SISTEMA DE AR-CONDICIONADO ATUAL E PROPOSTO PARA O BLOCO 3	129
TABELA 5-4: CUSTO DOS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	139
TABELA 5-5: CUSTO DOS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS PARA O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DO AR	140
TABELA 5-6: CUSTO DOS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS – SOLUÇÃO DEDICADA À AUTOMAÇÃO PREDIAL	140
TABELA 5-7: CUSTO DOS EQUIPAMENTOS PROPOSTOS – SOLUÇÃO CLÁSSICA	141

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1: ARQUITETURA DO SSCP .....	16
FIGURA 2-2: TOPOLOGIA DE REDE DISTRIBUÍDA .....	18
FIGURA 2-3: SISTEMAS DE CABEAMENTO ESTRUTURADOS EIA/TIA 568 .....	21
FIGURA 3-1 – LÂMPADA MISTA .....	57
FIGURA 3-2 – LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR .....	58
FIGURA 3-3 – LUMINÁRIA CONVENCIONAL E REFLEXIVA .....	63
FIGURA 3-4: SISTEMA DE AR CONDICIONADO CENTRAL .....	68
FIGURA 3-5 – SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA PLUVIAL .....	73
FIGURA 3-6 – SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA .....	75
FIGURA 4-1: DISPOSIÇÃO DOS BLOCOS DO PCA .....	88
FIGURA 4-2: LAYOUT DO BLOCO 1 .....	89
FIGURA 4-3: LAYOUT DO BLOCO 2 .....	90
FIGURA 4-4: LAYOUT DO BLOCO 3 .....	91
FIGURA 4-5: TIPOS DE CARGA INSTALADA POR BLOCO (%).....	96
FIGURA 4-6: CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DO PCA .....	101
FIGURA 4-7: CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL POR BLOCO .....	102
FIGURA 4-8: CONSUMO MENSAL VERSUS NÚMERO DE DIAS LETIVOS E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (2003).....	103
FIGURA 4-9: CONSUMO MENSAL VERSUS NÚMERO DE DIAS LETIVOS E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (2004).....	104
FIGURA 4-10: CONSUMO MENSAL VERSUS NÚMERO DE DIAS LETIVOS E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (2005).....	104
FIGURA 4-11: CONSUMO MENSAL VERSUS NÚMERO DE DIAS LETIVOS E TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (2006).....	105
FIGURA 4-12: ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO FLUKE 434 .....	107
FIGURA 4-13: FATOR DE POTÊNCIA DURANTE OS DIAS DA SEMANA.....	109
FIGURA 4-14: FATOR DE POTÊNCIA DURANTE O FINAL DE SEMANA .....	109
FIGURA 4-15: POTÊNCIA DEMANDADA DURANTE UMA SEMANA.....	111
FIGURA 4-16: POTÊNCIA HORÁRIA DEMANDADA .....	112

---

FIGURA 4-17: CARTA DE CONTROLE DE SHEWHART PARA MÉDIA .....	114
FIGURA 4-18: ESTRUTURA MULTICANAL .....	116
FIGURA 4-19: CARTA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PERFIL DE CONSUMO DO PCA – PROJETO/MODELAGEM DA MÉDIA HORÁRIA E DOS LIMITES DE CONTROLE RESPECTIVOS .....	119
FIGURA 4-20: CARTA DE CONTROLE ESTATÍSTICO DO PERFIL DE CONSUMO DO PCA – VALIDAÇÃO DO MODELO OBTIDO .	120
FIGURA 5-1: LAYOUT PREVISTO PARA O BLOCO 2 APÓS A REFORMA .....	124
FIGURA 5-2: LAYOUT PREVISTO PARA O BLOCO 3 APÓS A REFORMA .....	125
FIGURA 5-3: ARQUITETURA DO SISTEMA DE MEDIÇÃO DE ENERGIA .....	132
FIGURA 5-4: ARQUITETURA DE HARDWARE DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO DEDICADO .....	136
FIGURA 5-5: ARQUITETURA DE HARDWARE DO SISTEMA DE AUTOMAÇÃO CLÁSSICO .....	138
FIGURA A-1: CARTA DE CONTROLE .....	153

## **CAPÍTULO 1     INTRODUÇÃO**

O desejado crescimento econômico de brasileiro esbarra na disponibilidade de geração de sua matriz energética, limitada por restrições de ordem financeira e ambientais. Com o crescimento global das demandas energéticas e uma disponibilidade restrita de recursos naturais, um cenário de prosperidade econômica está cada vez mais atrelado a investimentos em eficiência energética. Entretanto, para que estes investimentos sejam corretamente direcionados, é prioritário o entendimento do que seja eficiência energética. Cenários de crise energética conduzem ao racionamento do consumo, e, talvez por este motivo, ainda hoje, é usual confundir-se racionalização com racionamento. Consumir energia de maneira racional, com eficiência, significa buscar o máximo desempenho de uma instalação, com o mínimo consumo de energia. Como consequência, o consumo consciente e inteligente de energia reduz os gastos com este insumo; maximiza os investimentos já efetuados no sistema, ampliando, ao longo do tempo, os recursos renováveis e não renováveis ainda disponíveis; induz à modernização das empresas e reflete-se no aumento da produtividade e da competitividade de produtos fabricados.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN), cerca de 40% de toda a energia elétrica consumida no Brasil (BEN, 2007) é utilizada em edificações. Entretanto, a inexistência de uma normatização específica é um dos fatores preponderantes para que o projeto de edificações brasileiras ainda não seja adequado ao

uso eficiente de energia. As normas vigentes no Brasil, as NBRs 6401 e 5413, lidam somente com o dimensionamento de sistemas de climatização e iluminação respectivamente, sem considerar eficiência energética. Estas normas são antiquadas e sua aplicação ocasiona um dimensionamento energético excessivo, acarretando, conseqüentemente, a ineficiência (Lamberts & Westphal, 2000). Neste cenário, é de extrema importância caracterizar, monitorar e tornar mais eficiente o consumo energético em edificações. O aumento de eficiência, decorrente da adoção de um regulamento energético voltado para edificações, é de tal importância que, desde o início da década de 80, é uma das condições de ingresso na Comunidade Européia. A redução de consumo anual alcançada nos Estados Unidos, como decorrência de sua primeira norma energética implementada no início da década de 70, chegou a 40% em edifícios residenciais; 59% em edifícios de escritórios; e 48% em edifícios escolares (Beraldo, 2006).

Um edifício, para ser considerado eficiente em termos energéticos precisa apresentar, simultaneamente, as seguintes características (Méier, 2002):

- Ser dotado de equipamentos eficientes e materiais apropriados à sua localização e características;
- Fornecer os serviços e o conforto necessários para a atividade fim específica;
- Ser operado com uma meta de demanda energética parcimoniosa, i.e., uma demanda mínima comparada com a de edificações semelhantes com a mesma finalidade.

Portanto, o trabalho para tornar uma edificação eficiente deve ser focado e orientado por ações que tenham impacto no desempenho energético e no conforto

necessário ou desejável. A substituição de equipamentos desperdiçadores de energia por outros mais eficientes viabiliza, em termos tecnológicos, uma utilização mais eficiente de energia. Mas, essa medida não impede que os equipamentos sejam utilizados de uma maneira inadequada. Um exemplo de uso inadequado é o acionamento de sistemas, quando estes não são utilizados em uma determinada atividade ou serviço. Um tipo de uso inadequado, que contribui para a degradação contínua dos sistemas, eventualmente culminando na falha ou interrupção de serviços, é o adiamento de medidas de manutenção. Exemplos destas medidas são limpezas regulares de lâmpadas e luminárias, substituição de reatores em final de vida útil e a troca de filtros do sistema de climatização.

Com o emprego de técnicas de automação predial é possível garantir uma utilização racional de energia e um provimento contínuo de dados que, analisados adequadamente, viabilizam o gerenciamento e a operação parcimoniosos dos serviços ou funções da edificação, bem como a sua alta integridade. O controle automático de diversos sistemas existentes em uma edificação pode ser total ou parcial, neste último caso podendo ser denominado semi-automático. Quanto mais otimizadas forem as funções operacionais e administrativas, utilizando sensores e lógicas de decisão que integrem as funcionalidades de seus subsistemas (elétrico, hidráulico, iluminação, segurança, climatização, entretenimento, telefonia), mais a edificação se aproxima do moderno conceito de Edifício Inteligente. Vale notar que o termo inteligente é muito vago e em geral significa uma miríade de funcionalidades, cujo apelo é freqüentemente mais comercial do que técnico. Não existe um limite bem definido, que permita caracterizar um edifício como inteligente. O mais sensato, para não omitir o termo inteligente, é caracterizar “graus” de inteligência para classificar, de forma lingüística,

uma dada edificação como dotada de uma *inteligência básica* (automação de 25% dos sistemas), *inteligência moderada* (automação de 50% dos sistemas) ou *inteligência sofisticada* (automação acima de 80% dos sistemas).

Compreendendo o apelo comercial do termo inteligência quando se trata de edificações, entende-se que um edifício inteligente deva ser primeiramente eficiente. Eficiente quanto ao uso de equipamentos adequados, de menor consumo e quanto ao uso racional de insumos, visando assegurar, por meio de técnicas de automação, a prevalência de atitudes parcimoniosas de consumo.

O presente trabalho, embora aplicável a qualquer tipo de edificação, é dedicado ao estudo de edificações de uma Instituição Pública de Ensino (IPE) pública brasileira. Tipicamente, as edificações possuem 44% de seu consumo energético destinado à iluminação e 20%, ao sistema de ar condicionado (Lamberts, 2000). Tais fatos sugerem um alto potencial de economia no consumo energético nas IPE, já que estas possuem sistemas de iluminação e de condicionamento de ar tipicamente ineficientes. Estudos realizados por Ghisi indicam que o potencial de economia no sistema de iluminação de uma IPE pode chegar a 63% (Ludgero, 2005).

O estudo de caso, objeto deste trabalho, foi realizado em um dos edifícios da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, EEUFMG. Trata-se de uma análise do perfil de consumo da edificação e estudos de potenciais de conservação de energia, tanto via *retrofitting* de sistemas, quanto por meio do uso de técnicas de automação das regras de uso de energia nos ambientes e monitoramento do perfil de consumo. Com a adoção das medidas propostas, almeja-se assegurar que o consumo de energia seja realizado de maneira mais eficiente e parcimoniosa.

Finalmente destaca-se, a partir do estudo de caso aqui abordado, o caráter embrionário deste trabalho no que se refere a proposição de estruturas e procedimentos com potencial tecnológico para se alcançar maior grau de utilização de práticas de eficiência energética em edificações por meio da automação e controle de processos.

### **1.1. Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho está estruturado conforme descrito a seguir. Inicialmente, um capítulo introdutório no qual se apresenta o problema estudado e se descreve a estrutura de sua apresentação. No capítulo 2, são discutidos os conceitos de edifício inteligente e de domótica, abordando a integração dos principais sistemas existentes em edificações, para proporcionar uma visão ampla das possibilidades em automação predial. As técnicas e tecnologias mais utilizadas nos subsistemas domóticos, controle dos sistemas de segurança e controle de acesso, iluminação, climatização, entretenimento, insumos, comunicação, monitoramento e gestão de insumos das edificações prediais, são também descritas neste capítulo.

Em seguida, no capítulo 3, são apresentadas as técnicas comumente utilizadas para aumentar a eficiência no consumo energético dos principais sistemas existentes em edificações. São analisadas ainda as metodologias para a comparação do uso energético nas edificações e para análise da qualidade da energia.

No capítulo 4 descrevem-se os procedimentos de caracterização de edificações, por meio dos dados levantados via inspeção dos ambientes, medição direta e aferição das contas de energia elétrica. É proposta, ainda, uma metodologia para

modelar a demanda de edificações. A caracterização da edificação abordada pelo estudo de caso e os dados obtidos pelo emprego da metodologia de modelagem da demanda energética são apresentados. Com o emprego de tal metodologia, o padrão de consumo da edificação é avaliado e estimado, assim como sua variabilidade inerente.

No capítulo 5 são apresentadas propostas de efficientização energética com o uso de automação predial para a edificação estudada. São detalhados os custos orçados para a aquisição e instalação dos sistemas propostos visando racionalizar o consumo de energia da edificação.

O capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho e as sugestões de trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO 2      TÉCNICAS DE AUTOMAÇÃO PREDIAL**

Este capítulo objetiva prover uma visão geral dos conceitos e técnicas utilizados em automação predial para que a proposta do trabalho de integrar essas técnicas, com objetivos de eficiência energética, aos sistemas de iluminação e ventilação do PCA possa ser bem compreendida. Discutem-se os conceitos de edifício inteligente e domótica, abordando as dimensões de um projeto de automação predial em termos da integração dos diversos sistemas de funcionalidades existentes: segurança e controle de acesso, iluminação, climatização, entretenimento, insumos, comunicação. As técnicas e tecnologias mais utilizadas, envolvendo monitoramento e controle de edificações prediais, são também descritas.

### **2.1.      Edifícios Inteligentes e Domótica**

A conceituação dos edifícios inteligentes é alvo de polêmicas desde o surgimento do termo, há quase três décadas. Apesar das diversas definições existentes serem demasiadamente vagas e, em geral, significarem uma miríade de funcionalidades cujo apelo é muita vezes mais comercial que tecnicamente objetivo, a terminologia não aparenta ter perdido fôlego.

O termo ‘edifício inteligente’ surgiu no começo da década de 80, nos Estados Unidos. Nessa época, o uso do termo inteligente referia-se apenas à automação dos sistemas de serviços de uma edificação. Com o tempo, a consciência de que qualidades ambientais afetam o bem-estar e o conforto dos seres humanos, influenciando, assim, sua satisfação e produtividade, agregou-se à definição a capacidade de suprir as necessidades de seus ocupantes (Wong, Li, & Wang, 2005) (Clements-Croome, 1997). Posteriormente, habilidades como capacidade de aprendizado e adequação ao meio ambiente também foram agregadas ao conceito.

Esse processo paulatino de construção do conceito ao longo do tempo talvez seja um dos principais responsáveis pela polêmica que, até hoje, cerca o conceito de edifício inteligente. Não há evidências de que essa situação se altere nos próximos anos. Por esse motivo, no presente trabalho, optou-se por preservar a polêmica, apresentando a terminologia, sem defender uma corrente específica de pensamento, e, também, evitando ceder à tentação de propor um significado próprio para esse conceito.

Acredita-se que não exista um limite bem definido que permita caracterizar um edifício como inteligente. O que tornaria uma classificação discreta – ser ou não inteligente – frequentemente incorreta e imprecisa. O mais sensato seria caracterizar “graus” de inteligência para classificar, uma dada edificação como dotada de uma inteligência básica (automação de 25% dos sistemas), inteligência moderada (automação de 50% dos sistemas) ou inteligência sofisticada (automatização acima de 80% dos sistemas).

Entende-se que um edifício inteligente deva ser primeiramente eficiente. Eficiente quanto ao uso de equipamentos adequados, de menor consumo, e quanto ao

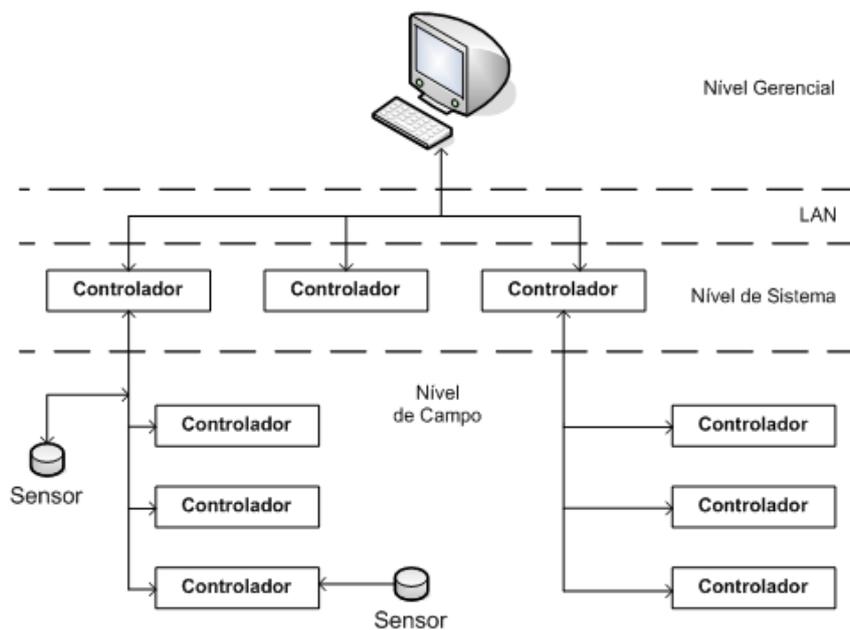
uso racional de insumos, visando assegurar por meio de técnicas de automação a prevalência de atitudes parcimoniosas de consumo.

Ao lado do conceito de edificação inteligente é usual a denominação “Domótica”, para os sistemas de automação residencial e predial. O termo “Domótica” resulta da junção da palavra latim “Domus”, lugar que se habita, com a palavra Robótica. É entendido como um conjunto de serviços proporcionados por sistemas instrumentados e dotados de elementos para acionamentos (interruptores, bombas hidráulicas, disjuntores, relés) que viabilizam a monitoração e supervisão contínua de edificações (Bolzani C. A., 2004).

## **2.2. Automação Predial**

A automação predial proporciona o controle automático dos diversos sistemas existentes em uma edificação de modo a prover soluções às necessidades dos ocupantes. Este controle pode ser total ou parcial, nesse último caso podendo ser denominado semi-automático. Quanto mais otimizadas forem as funções operacionais e administrativas, por meio de sensores e lógicas de decisão de modo que promovam a integração das funcionalidades de seus subsistemas (elétrico, hidráulico, iluminação, segurança, climatização, entretenimento, telefonia), mais a edificação se aproxima do conceito de Edifício Inteligente. A integração dos diversos sistemas existentes pode ser traduzida na capacidade de compartilhar informações, para serem usadas de maneira coordenada, ágil e direcionada a um melhor aproveitamento de recursos (Reis, 2002). Quanto mais sofisticada a automação, mais capazes são os sistemas de compartilhar informações, de maneira harmônica.

O controle automático dos diversos sistemas de uso final é realizado por dispositivos controladores e processadores que, em conjunto, são denominados Sistema de Supervisão e Controle Predial (SSCP). Tais dispositivos são dispostos em uma arquitetura de rede organizada, sob o ponto de vista de concepção de sistemas, em vários níveis de controladores e processadores, conforme mostra a Figura 2-1 (Myres, 1996).



**Figura 2-1: Arquitetura do SSCP**

O primeiro nível, denominado Gerencial, é o responsável pela supervisão do SSCP, sendo constituído por microprocessadores dotados de um software supervisor, que realiza o monitoramento e a gestão todas as funções vitais do edifício. O segundo nível, que pode ou não existir dependendo do grau de sofisticação necessário, é denominado Nível de Sistema. Este nível é composto por controladores, interligados entre si, responsáveis, cada um, por um determinado setor que integra dados vindos de outros controladores. O terceiro patamar, chamado de nível de campo, é composto por

controladores de pequeno porte, utilizados para o controle dos sistemas de serviço da instalação, como o de iluminação, o de ventilação e o de condicionamento de ar, por exemplo. No nível inferior estão sensores e dispositivos de medição.

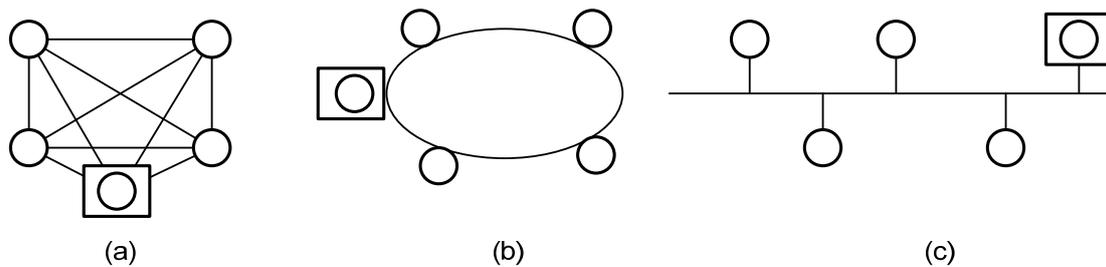
### 2.2.1. Rede de Comunicação Local

A troca de informações ocorrida entre os dispositivos de um sistema de automação predial é realizada por meio de uma rede de comunicação local (LAN, em inglês *Local Area Network*). Esta necessária troca de dados pode ocorrer de maneira centralizada ou distribuída. Os sistemas com arquitetura centralizada possuem todos os dispositivos – sensores e atuadores – interligados ao nó central de conexão. Em contrapartida, as redes baseadas em arquitetura distribuída não dependem do envio de dados à central. Os próprios controladores locais recebem dados dos sensores e enviam informações aos atuadores.

Redes de comunicação distribuídas são largamente utilizadas em sistemas de automação predial e residencial (Bolzani C. , 2004). Uma das razões da popularidade destas redes é a sua característica descentralizada que alivia o tráfego de dados na rede, evitando que um nó fique saturado pela descarga de muitas informações. As possíveis topologias de conexão distribuída são ilustradas na Figura 2-2.

Nas redes, com arquitetura distribuída, os dispositivos podem estar: em malha (Figura 2-2 a), quando existe ligação entre os pontos de controle e entre eles e a central; em anel (Figura 2-2 b), quando a informação passa por todos os pontos da rede; e em barramento (BUS) (Figura 2-2 c), onde cada ponto de controle é interligado ao

mesmo barramento, estabelecendo uma ponte de conexão entre pontos que estão por ele interligados.



**Figura 2-2: Topologia de Rede Distribuída**

- 1) Arquitetura em malha
- 2) Arquitetura em anel
- 3) Arquitetura em barramento

As redes de comunicação devem ser projetadas de acordo com a tecnologia dos equipamentos e com o meio físico a ser utilizado. A conexão física pode ser feita por condutores elétricos, tais como pares trançados ou cabo coaxial, fibra óptica, ou por meios que não apresentem condutores fixos definidos (Bolzani C. , 2004).

Condutores elétricos são freqüentemente utilizados devido a seu baixo custo e facilidade de instalação. Dentre este tipo de meio, os mais utilizados são os cabos coaxiais e os pares trançados, ambos capazes de transmitir sinais de dados, áudio e vídeo.

A fibra óptica conduz luz infravermelha, utilizada para transmissão de dados em alta velocidade. Redes com fibras ópticas possuem diversas vantagens, como alta velocidade de transmissão de dados, confiabilidade e imunidade a interferências

eletromagnéticas. Entretanto, por possuírem custo elevado, são indicadas para os locais nos quais o elevado tráfego de dados torna o seu uso economicamente viável.

Redes sem fio transmitem dados com uso de luz infravermelha ou radiofrequência. Por não dependerem da instalação de cabos, ou infra-estrutura, estas redes tornam-se cada vez mais populares. Entretanto, possuem desvantagens por sofrerem interferência eletromagnética e por terem seu alcance limitado pelo local em que são instaladas.

A escolha do meio físico a ser utilizado em uma rede local deve ser pautada em normas ou padrões que especifiquem as características do cabeamento e estabeleçam um procedimento para a elaboração de projetos de cabeamento. As principais normas existentes neste tema são (Pinheiro, 2004):

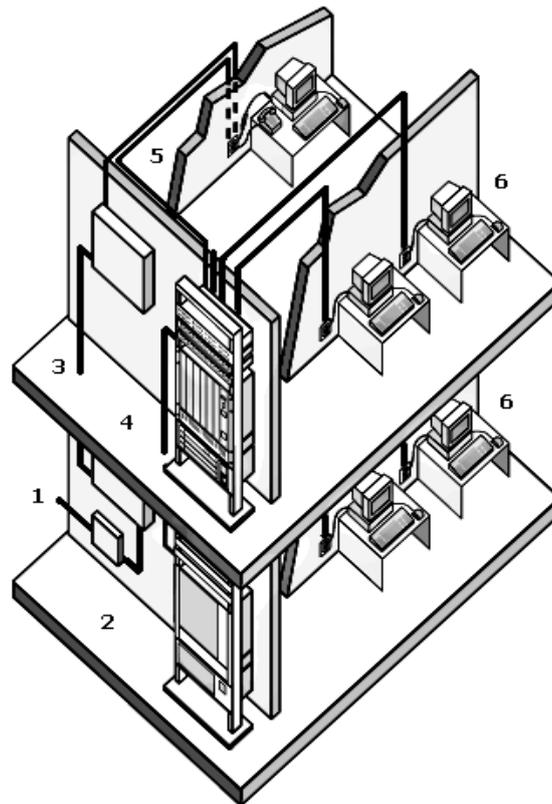
- EIA/TIA 568 e 569: norma que discorre sobre as características físicas dos cabos, especificando categorias de cabeamento para cabos coaxiais, par trançado e fibra óptica.
- ISO/IEC 11801: norma ISO equivalente à da EIA/TIA.
- NBR 14565: a norma brasileira descreve o procedimento básico para elaboração de projetos de cabeamento de telecomunicações para rede interna estruturada.

Dentre as soluções de cabeamento existentes, uma opção interessante é o sistema de cabeamento estruturado. Este sistema permite o tráfego de sinais de voz, vídeo, dados, sinalização e controle, e é projetado de modo a prover uma infra-estrutura modular, flexível e com capacidade de expansão programada.

O projeto de sistemas de cabeamento estruturado deve ser realizado de acordo com a norma EIA/TIA 568A, que orienta sua subdivisão em seis subsistemas

(Figura 2-3), para os quais são determinadas especificações de instalação, desempenho e teste. Os subsistemas são:

- Entrada do Edifício: local onde é realizada a interface entre a rede externa e a interna.
- Sala de Equipamentos: local onde está instalado o distribuidor principal de telecomunicações, que faz a interconexão entre os equipamentos de rede e voz aos Armários de Telecomunicações através do Cabeamento “Backbone”.
- Cabeamento “Backbone”: sistema de cabeamento que interliga os Armários de Telecomunicações (instalados nos diversos andares do edifício) à Sala de Equipamentos. A arquitetura utilizada deve ser em estrela.
- Armário de Telecomunicações: serve como um centro de telecomunicações alojando as terminações dos cabos do sistema de cabeamento horizontal, os hardwares de conexão, suas armações, racks, e outros equipamentos.
- Cabeamento Horizontal: sistema de cabeamento que interliga os equipamentos de redes, situados no Armário de Telecomunicações, às Áreas de Trabalho (onde estão as estações de trabalho). A topologia utilizada é em estrela, sendo assim, cada estação de trabalho é interligada, por um único cabo dedicado ao painel de conexão instalado no Armário de Telecomunicações.
- Área de Trabalho: local no qual estão situados os equipamentos de trabalho, que podem ser: computador, telefone, sistema de impressão, sistema de videoconferência, sistema de controle.



**Figura 2-3: Sistemas de Cabeamento Estruturados EIA/TIA 568**

- 1) Entrada do Edifício
- 2) Sala de Equipamentos
- 3) Cabeamento “Backbone”
- 4) Armário de Telecomunicações
- 5) Cabeamento Horizontal
- 6) Área de Trabalho

### 2.2.2. Protocolos de Comunicação

Protocolos de comunicação são conjuntos de regras que determinam como é realizada a troca de informações em uma rede. Devido ao elevado volume de dados transferidos de um ponto a outro de uma LAN, é necessário que existam regras físicas e lógicas estabelecendo como devem ocorrer tais trocas de informações. Nesse sentido, os

protocolos caracterizam a qualidade com que é realizada a transmissão de dados em uma rede.

Os protocolos podem ser abertos, baseados em padrões internacionais, ou proprietários. A necessidade de existir versatilidade nos sistemas de automação predial incentivou a tentativa de se estabelecer um protocolo comum de comunicação, que encorajasse um padrão de sistemas abertos e o desenvolvimento de produtos inter-operacionais. Alguns dos protocolos mais usados são:

- BUILDING AUTOMATION AND CONTROL NETWORK (BACnet): protocolo aberto desenvolvido pela ASHRAE em 1995, com o propósito de padronizar a comunicação entre os produtos dos diversos fabricantes de controles, permitindo o compartilhamento de dados e a interoperabilidade dos equipamentos (Bushby, 1997).
- EUROPEAN INSTALLATION BUS (EIB): protocolo industrial originalmente desenvolvido pela SIEMENS, atualmente utilizado por diversas companhias. É um padrão proprietário, com topologia flexível que permite modificações nas funções desempenhadas pelos dispositivos (SIEMENS, 2007). Utiliza como meio físico o par trançado ou telefônico.
- CONSUMER ELECTRONICS BUS (CEBus): protocolo regulamentado pela EIA 600 (EIA - ELECTRONIC INDUSTRIE ALLIANCE), voltado especificamente para automação residencial. É um padrão de controle distribuído, no qual cada dispositivo possui um circuito integrado contendo hardware de comunicação, linguagem e protocolo. Faz uso de linhas de energia elétrica, par trançado, fibra óptica, infravermelho e radiofrequência (EIA, 2007).
- LONTALK: protocolo aberto, definido pela norma ANSI EIA 709.1. Foi desenvolvido pela ECHELON CORPORATION, para redes de controle distribuído usando a tecnologia LonWorks (IEC, 2007). Utiliza como

meio físico: cabos coaxiais, par trançado, fibra óptica, telefônico, rede elétrica, radio frequência e infravermelho (ECHELON, 2007).

- X-10: protocolo desenvolvido pela empresa escocesa PICO ELETRONICS LTDA. Utiliza a rede elétrica para transmitir sinais de controle modulados na frequência da corrente a seus dispositivos (Bolzani C. , 2004). Os sistemas de automação baseados neste protocolo são de baixo custo e de fácil instalação. São susceptíveis a ruídos na rede elétrica, nos momentos de acionamento de cargas, como motores de liquidificadores, por exemplo.

### **2.3. Sistemas Comerciais Dedicados à Automação Predial e Residencial**

Sistemas de supervisão e automação prediais monitoram e controlam o estado lógico de equipamentos (ligado/desligado) a partir de regras estabelecidas previamente ou, em sistemas mais sofisticados, podem controlar continuamente variáveis ambientais, mantendo-as dentro de um intervalo de valor desejado. Geralmente esses sistemas agregam, ainda, funções de comunicação, segurança, entretenimento e de gestão de insumos.

Existem diversos sistemas comerciais dedicados à automação dos sistemas de automação prediais e residenciais. São soluções completas com módulos de hardware, dispendo de arquiteturas centralizadas ou distribuídas – com módulos interligados em rede – e pacotes de software, a serem configurados para uma aplicação específica (SIEMENS, 2007) (CRESTRON, 2007):

Algumas empresas brasileiras já se inseriram neste mercado em expansão e possuem produtos competitivos, oferecendo as funcionalidades e as facilidades de

configuração de um sistema particular nos ambientes de software e integradas com o usuário (ADALL, 2007) (NEOCONTROL, 2007).

## **2.4. Controle dos Subsistemas Domóticos**

Nas próximas seções serão discutidas algumas técnicas e funcionalidades usuais aos sistemas de controle domóticos: iluminação, climatização, entretenimento, insumos, comunicação.

### **2.4.1. Iluminação**

O sistema de iluminação pode ser controlado de maneira a fornecer um ambiente agradável, flexível, adequado à necessidade visual dos usuários e energeticamente eficiente. Em residências, este controle pode criar diferentes cenas de iluminação, dando uma maior flexibilidade à instalação. Em edificações públicas e comerciais, o acionamento automático da iluminação é muito utilizado com o intuito de impor hábitos de consumo impedindo, por exemplo, que a iluminação de um determinado ambiente permaneça acionada quando é desocupado. Outro possível ganho está no aproveitamento da luz natural, utilizando a artificial somente para complementar a luminosidade proveniente do sol, sempre que possível.

Para serem controlados de maneira automática os sistemas de iluminação devem ser integrados a sensores de presença e de luminosidade e a atuadores, como minuterias e interruptores de cartão (Bolzani C. , 2004). Os dispositivos mais utilizados

para controlar sistemas de iluminação são os detectores de presença. Sua popularidade é devida principalmente ao fato de proporcionarem economias significativas no consumo de energia elétrica. Alvarez (1998) apresenta potenciais de economia de até 75% conforme mostrado na Tabela 2-1.

**TABELA 2-1 Potencial de Redução do Consumo de Energia com o Uso de Sensores de Presença**

<b>Aplicação</b>	<b>Potencial de Economia (%)</b>
Escritórios	20 – 50
Banheiros	30 – 75
Corredores	30 – 40
Áreas de estoque	45 – 65
Salas de reuniões	45 – 65
Salas de Conferências	45 – 65
Depósitos	50 – 75

Fonte: (Alvarez, 1998)

Existem três tipos básicos de sensores de presença: os sensíveis à radiação infravermelha que detectam fontes de calor; os sensíveis ao ultra-som que detectam deslocamento de ar; e aqueles que utilizam ambas as tecnologias. Ao detectar movimento, o sensor envia um sinal elétrico indicando esta ocorrência. Em uma lógica de controle simples esta informação pode ser utilizada como o único fator determinante do acionamento do sistema de iluminação. Caso sejam programadas lógicas mais sofisticadas, esta informação pode ser utilizada apenas como um dos dados de entrada, não garantindo o acionamento deste sistema.

As minuterias são interruptores temporizados. Ao ativar uma minuteria o respectivo circuito de iluminação é acionado durante um intervalo programável de tempo predeterminado e, logo após, é desligado.

Interruptores a cartão são compostos por um interruptor micro processado e um cartão. Ao inserir o cartão no interruptor, um comando de entrada é enviado ao controlador que habilita o circuito controlado por este dispositivo. Estes interruptores foram desenvolvidos especialmente para controlar e racionalizar o consumo de energia, e são muito utilizados em hotéis.

O uso dos dispositivos supracitados viabiliza o consumo parcimonioso de energia elétrica, ao cruzar os dados provenientes destes dispositivos com as regras de uso pré-estabelecidas pelos gestores da edificação. Uma estratégia muito utilizada é o chamado gerenciamento programável, ou “*scheduling control*”, que consiste na especificação dos períodos nos quais a iluminação de uma determinada edificação deve permanecer ligada e os períodos nos quais deve permanecer desligada (Myres, 1996). Para exemplificar o funcionamento deste tipo de controle, ilustra-se um edifício no qual o período de trabalho termina às 18:00 horas. O sistema de gerenciamento pode ser programado para, às 18:10 horas, avisar aos usuários que as luzes serão apagadas dentro de cinco minutos. Esse aviso pode ser feito por três piscadas na iluminação. Caso os funcionários desejem permanecer por mais tempo deverão acionar o interruptor do sistema de iluminação. A partir deste momento, o sistema pode determinar um intervalo de tempo no qual o ambiente será iluminado. Quando este tempo expirar o ciclo pode ser reiniciado.

Outro método de reduzir o consumo do sistema de iluminação é o aproveitamento da luz natural, utilizando a iluminação artificial como fonte de

luminosidade secundária e não principal. A integração entre a luz natural e artificial pode ser parcial – utilizando a luz artificial sempre que a luminosidade natural for inferior a um determinado patamar – ou total – complementando a luminosidade natural para que seja atingido o nível de luminosidade necessário. No primeiro caso, o sistema de controle monitora a luminosidade solar por meio de uma fotocélula, cuja medida é comparada a um valor de referência. O aproveitamento total da luz natural é viabilizado com o uso de reatores eletrônicos dimerizáveis. Estes reatores permitem variar o fluxo luminoso das luminárias de maneira que quanto maior a parcela de luz natural incidente no ambiente, menor seja o uso da iluminação artificial.

#### 2.4.2. Climatização

Os sistemas de climatização compostos apenas por aparelhos ventiladores podem ser controlados somente a partir de sistemas do tipo liga e desliga, que podem ser utilizados em estratégias de controle semelhantes às descritas para o sistema de iluminação.

Já os sistemas de ar condicionado viabilizam o controle das condições de conforto ambiental (umidade, temperatura e nível de CO<sub>2</sub>), além de manter níveis seguros de contaminantes no ar interno nas edificações. Estes sistemas operam atuando sobre dispositivos capazes de variar as condições climáticas do ambiente controlado de acordo com a diferença entre os valores de temperatura, umidade e pressão medidos no ambiente e aqueles pré-estabelecidos para essas variáveis. Os controladores podem, ainda, em estratégias mais requintadas, levar em consideração os valores previstos de temperatura e estados de portas e janelas (abertas / fechadas), por exemplo. Deve-se

destacar que o fato de um ambiente possuir aparelho de ar condicionado com controle de temperatura, não significa que haja conforto ambiental. Por vezes o ambiente pode, inclusive, tornar-se seco, com baixa umidade. O controle das condições de conforto ambiental implica, necessariamente, o controle simultâneo da temperatura e da umidade e a renovação de ar no ambiente.

Uma maneira de tornar mais eficiente um sistema de ar condicionado refrigerado a água, é armazenar água gelada, prática denominada de termo-acumulação. Este método permite – a partir de modificações no horário em que a água é resfriada – deslocar a demanda de energia do sistema de ar condicionado dos horários de ponta de carga, reduzindo a demanda total da edificação nestes horários. Neste processo – que ocorre, geralmente, durante a madrugada, horário em que as edificações possuem, tipicamente, uma demanda energética reduzida – a água é resfriada e armazenada na forma de gelo em reservatórios adequados. Durante o dia, e principalmente durante o horário de ponta, apenas os ventiladores de circulação de ar e as bombas de circulação de água são acionados.

#### 2.4.3. Detecção e Combate a Incêndio

O sistema de detecção e combate a incêndio é de extrema importância à segurança dos ocupantes da edificação. Por este motivo, deve funcionar de forma independente. Geralmente, este sistema é composto por uma central de comando, sensores e atuadores. A central recebe e envia dados aos controladores micro processados, que estão conectados a todos os sensores e atuadores. Preferencialmente, os dados e as ações provenientes deste sistema, devem estar integrados, via rede, aos

demais subsistemas domóticos, provendo informação de suas ações de emergência à supervisão da edificação e permitindo outras ações conseqüentes nestes subsistemas.

A detecção automática de incêndio pode ser realizada por sensores de temperatura – térmicos ou termo-velocimétricos – e de fumaça. Os detectores de fumaça reconhecem a presença de partículas ou fuligem no ar. Os sensores de temperatura do tipo térmico detectam calor – possuem uma lâmina bi-metálica que, ao atingir temperatura crítica, comuta um contato. Os sensores termo-velocimétricos detectam variação de temperatura – possuem dois termistores que, na ocorrência de um incêndio, registram temperaturas distintas, levando o detector ao estado de alarme. Devem existir, também, acionadores manuais, instalados de maneira distribuída na instalação, que, ao serem acionados, comuniquem seu estado.

A central de comando deve monitorar continuamente os estados de todos os sinais delatores de incêndio e o nível da caixa de água de suprimento dos difusores, ou sprinklers. Na ocorrência de incêndio, a central deve agir da seguinte maneira:

- Identificar no software supervisor a posição geográfica dos dispositivos em alerta;
- Acionar os sinais luminosos, dispostos estrategicamente na instalação, direcionando às melhores rotas de fuga;
- Desenergizar o setor afetado impedindo curtos-circuitos que possam contribuir para o alastramento do incêndio.
- Posicionar os elevadores que estejam ocupados, no andar que dê acesso à rota de fuga, e, posteriormente, pará-lo no andar imediatamente abaixo ao atingido. Esta medida evita o alastramento do incêndio pelo poço do elevador.

- Acionar o sistema de insuflamento de ar nas escadas de emergência, impedindo que sejam invadidas por fumaça.
- Acionar, por telefone ou rádio, os setores responsáveis pelo combate ao incêndio.

#### 2.4.4. Segurança

Um sistema de segurança deve garantir a vigilância das diversas áreas do edifício impedindo o acesso de pessoas não autorizadas. É usualmente composto por centrais de alarmes, câmaras de segurança, sensores de presença e sistemas de identificação dos usuários. Este sistema deve atuar de maneira integrada com os outros sistemas existentes, permitindo, por exemplo, acionar lâmpadas, fazer ligações e trancar portas e janelas.

#### 2.4.5. Controle de Acesso

O comando para liberar ou restringir acesso às diversas áreas de uma edificação é dado pelo sistema de controle de acesso. Para realizar esta função, a central de controle cadastra usuários – regulares ou visitantes – e armazena, em um banco de dados, suas respectivas definições de nível e duração de acessos, mantendo um registro histórico de permanência nas dependências do edifício.

A identificação dos usuários pode ser realizada por meio de unidades leitoras de crachás magnéticos, senhas ou equipamentos de identificação biométrica –

equipamentos capazes de reconhecer e distinguir pessoas comparando uma de suas características físicas, que pode ser, por exemplo, voz, íris, impressão digital ou assinatura com seu banco de dados.

A integração do controle de acessos com a central de alarmes permite estabelecer alarmes associados a eventos, como portas deixadas abertas inadvertidamente por usuários autorizados, de modo a evitar alarmes falsos ou mesmo facilitação de intrusão.

Uma sofisticação do sistema de identificação é a sua utilização para controlar equipamentos ou mercadorias, emitindo um alarme sonoro, quando passarem por um determinado local. O alarme é gerado sempre que mercadorias dotadas de um elemento capaz de interferir em um campo magnético entrem em contato com um destes campos. Este sistema é muito utilizado em bibliotecas.

#### 2.4.6. Comunicação

O controle do sistema de comunicação deve permitir um adequado trânsito de dados, voz e imagens na edificação. Deve ser projetado para permitir várias situações impostas pelo usuário, possibilitando a elaboração de qualquer tipo de layout de ambiente. Idealmente, esse sistema deve desencadear ações, em caso de situações de emergência, como, por exemplo, acionar o serviço de corpo de bombeiros em caso de incêndios.

Este sistema de controle deve possuir vários recursos, que permitam desde ligações internas e externas, possibilitando a transferência do recebimento de chamadas;

espera automática de desocupação de um ramal com o qual se deseja comunicar; secretária eletrônica centralizada, entre outros.

#### 2.4.7. Gestão de Insumos

A gestão de água de uma edificação pode ser realizada por meio do controle de seu sistema hidráulico, monitorando o nível de água do reservatório de abastecimento, o estado da bomba (ligada ou desligada) e o número de horas de sua operação. De tal maneira que seja possível modular a demanda de energia elétrica, para o acionamento desse sistema, estabelecendo que as bombas só devam ser ligadas em determinados períodos, a menos que o nível de água do reservatório fique abaixo do crítico (Montebeller, 2006).

Ao automatizar uma instalação predial ou residencial, é possível determinar a maneira como os diversos equipamentos existentes serão utilizados, garantindo que o consumo de energia seja realizado de forma racional.

Além de possibilitar o uso racional da edificação, o sistema de automação predial pode fornecer informações importantes a respeito da dinâmica de consumo e de demanda de energia dos diversos sistemas. A análise adequada desses dados viabiliza gerenciar e operar a edificação de maneira parcimoniosa, além de garantir a alta integridade dos serviços ou funções da edificação.

A gestão dos recursos energéticos depende de dados de medição das diversas grandezas elétricas definidoras de qualidade e de consumo. A partir destes dados, o sistema de gerenciamento deve produzir meios que permitam acompanhar as condições técnicas e econômicas das instalações de maneira adequada.

As principais funções de um sistema de gerenciamento de energia elétrica são: a medição global e setorial da energia elétrica – de maneira a viabilizar rateios e verificar índices de qualidade – e o controle de variáveis elétricas, como potência demandada, fator de potência e outras variáveis determinantes da qualidade de energia. A arquitetura de um sistema de gerenciamento é normalmente composta pelos seguintes dispositivos:

- Medidores de Energia: equipamentos capazes de medir dados de consumo e qualidade de energia.
- Unidades de Verificação de Estado: dispositivos que fornecem ao Gerenciador informações de estado (aberto / fechado) de contatos elétricos, permitindo assim um acompanhamento detalhado das condições de operação da instalação.
- Gerenciador de Energia: equipamento responsável pela aquisição e registro em memória de dados de consumo energético proveniente de medidores de energia.

O controle da demanda pode ser realizado a partir de informações provenientes do Gerenciador de Energia. Para que isso seja possível é necessário que ações de intervenção sobre as cargas do sistema possam ser executadas manualmente, a partir de alarmes disparados, ou, automaticamente, por meio de ações do sistema de controle automático da edificação. O controle deve ser realizado dentro de uma janela de tempo de 15 minutos, que é o período de tempo utilizado pela distribuidora de energia para faturamento de demanda. Ao receber dados que indiquem risco de ultrapassagem da demanda contratada, o sistema pode executar um algoritmo de desligamento de cargas, de acordo com prioridades previamente estabelecidas.

## 2.5. Comentários Finais

O emprego da automação viabiliza impor hábitos de consumo impedindo, e.g., que a iluminação e/ou ventilação de um determinado ambiente permaneça acionada quando é desocupado, ou que o sistema de ar-condicionado funcione com portas e janelas abertas. A automação permite, ainda, monitorar permanentemente o consumo da edificação e realizar a gestão energética da instalação de maneira integrada.

As técnicas existentes para se automatizar os diversos sistemas de uma edificação são diversas. As opções variam das mais simples, como o uso de sensores de presença para acionar lâmpadas, aos sistemas mais sofisticados e integrados, que cruzam dados provenientes de diversos tipos de sensores, para então realizar uma ação. A escolha da técnica mais adequada e da tecnologia a ser utilizada depende, tanto da edificação, quanto da estratégia de controle desejada. Entretanto, sofisticação nem sempre é sinônimo de inteligência, pois o automatismo, por si só, não garante que uma edificação seja operada de maneira inteligente. Assim, o controle automático dos diversos sistemas prediais representa simplesmente uma oportunidade para se determinar forçosamente o modo de operação destes sistemas, e, para se obter dados sobre esta operação. A inteligência está na escolha de como a edificação será operada, na sua adequação aos serviços ali desenvolvidos, e no uso dos dados obtidos para garantir a manutenção dos sistemas e a utilização parcimoniosa dos insumos necessários ao funcionamento.

## **CAPÍTULO 3    TÉCNICAS DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA E ANÁLISE DA QUALIDADE DE ENERGIA**

Apresentam-se neste capítulo técnicas e tecnologias utilizadas para aumentar a eficiência no consumo energético dos principais sistemas de uso final existentes em edificações (iluminação, climatização, abastecimento hidráulico e aquecimento de água). São abordadas também metodologias para a comparação do uso energético nas edificações para a análise da qualidade da energia.

### **3.1.    Eficiência Energética no Brasil**

A questão da eficiência energética passa a ser tratada pelo governo federal brasileiro em 1981, devido à crise do setor petrolífero. Neste ano, é criado o programa CONSERVE, voltado para o consumo energético industrial. Em 1984, são iniciadas as ações do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que visa a avaliação e divulgação do desempenho energético de equipamentos fabricados no país. O programa funciona até 2001, com caráter voluntário. Já em 1985, com o agravamento da conjuntura do setor elétrico, é criado o Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL), sob a coordenação da ELETROBRÁS. A criação desses programas provoca mudanças

significativas na forma com que as atividades relacionadas com eficiência energética eram conduzidas no país (Jannuzzi, 2002).

No ano de 1998, é instituída a obrigatoriedade de as concessionárias de energia elétrica existentes no país aplicarem recursos em eficiência energética. A Tabela 3-1 apresenta um sumário das resoluções emitidas no período de 1988 a 2000, que determinavam como deveriam ser realizados tais investimentos. É possível perceber, pela análise da tabela, uma grande concentração de tais investimentos no lado da oferta, em áreas de interesse das próprias concessionárias.

**TABELA 3-1: Investimentos Regulados em Eficiência Energética e P&D - 1998-2000**

% Receita Anual	Áreas para Investimentos
(a) $\geq 1,00\%$	Eficiência no uso final, do lado da oferta, e P&D  Detalhes dos limites sugeridos e prioridades de investimento  - No máximo 0,125% poderá ser investido em projetos de iluminação pública e marketing; - No mínimo 0,025% deve ser investido para cada um dos setores: industrial, residencial e prédios públicos (Resolução nº242/98). Esta resolução foi mais tarde modificada, estabelecendo que, no mínimo, 0,075% deve ser investido nos três setores, mas, a concessionária tem de apresentar ao menos um projeto para cada setor (Resolução nº261/99 e 271/00).
(b) $\geq 1,00\%$	Eficiência no uso final
(c) $\geq 0,25\%$	P&D  Áreas sugeridas: eficiência energética, energia renovável, geração de energia elétrica, meio ambiente e pesquisa estratégica (Manual da ANEEL para elaboração de programas de P&D).
(d) (a)-(b)-(c)	Eficiência pelo lado da oferta  Melhoria do fator de carga (investimento de, no mínimo, 30% e 10% para as concessionárias das regiões S, SE e CO e para as da região N e NE, respectivamente - Resolução nº242/98. Estes percentuais foram modificados para 15% e 5%, respectivamente, pelas resoluções nº261/99 e 271/00).

Fonte: (Jannuzzi, 2002)

Os investimentos em ações voltadas ao uso final da energia foi mínimo, durante esta primeira fase, e, conseqüentemente, não ocorreu uma evolução técnica e tecnológica capaz de proporcionar o desenvolvimento de equipamentos e sistemas mais eficientes.

Em julho de 2000, com a promulgação da Lei nº 9.991, são eliminados as exigências para investimentos em projetos de eficiência energética do lado da oferta, alocando-os somente para uso final e para projetos de pesquisa e desenvolvimento. A Tabela 3-2 apresenta a configuração adotada em 2001, para a alocação de recursos para eficiência energética e pesquisa e desenvolvimento. (Jannuzzi, 2002)

**TABELA 3-2: Investimentos Regulados pela Lei para Eficiência Energética e P&D**

Setor	Data	Eficiência Energética	P&D <sup>c</sup>		
			Total	Concessionária	CT-ENERG
Geração e Transmissão	≥2000	-	≥1,00% <sup>d</sup>	≥0,50%	≥0,50%
	≤2005	≥0,50%	≥0,50%	≥0,25%	≥0,25%
Distribuição	≥2006	≥0,25%	≥0,75%	≥0,375%	≥0,375%

<sup>(a)</sup> Para as distribuidoras, os investimentos deverão ser, exclusivamente, no uso final.

<sup>(b)</sup> Excluem-se, por isenção, as empresas que gerem energia exclusivamente a partir de instalações eólicas, solares, de biomassa e PCHs.

<sup>(c)</sup> Do montante total, metade fica para os programas das concessionárias, supervisionados pela ANEEL e metade vai para o CT-ENERG.

<sup>(d)</sup> Até 2005, prevalece a cota de 0,25% referente ao contrato para a CGEET, CGEEP e GERASUL.

Fonte: (Jannuzzi, 2002)

A partir de 2002, com o agravamento da crise energética brasileira, vários outros instrumentos legais foram estabelecidos com o intuito de se reduzir o consumo deste insumo. Na legislação de eficiência energética cita-se (ANEEL, 2007):

- Decreto nº 3818, de 15 de Maio de 2001: dispõe sobre medidas emergenciais de redução do consumo de energia elétrica no âmbito da Administração Pública Federal.
- Resolução nº 001, de 16 de Maio de 2001: determina que as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, localizadas nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste adotem a redução de fornecimento de energia elétrica, às unidades consumidoras por elas atendidas.
- Resolução nº 004, de 22 de Maio de 2001: dispõe sobre diretrizes dos regimes especiais da tarifação, limites de uso e fornecimento de energia elétrica e medidas de redução de seu consumo.
- Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001: dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências.
- Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001: regulamenta a Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências.
- Decreto nº 4.131, de 14 de fevereiro 2002: dispõe sobre medidas emergenciais de redução do consumo de energia elétrica no âmbito da Administração Pública Federal.
- Decreto nº 4.261, de 6 de junho de 2002: atribui competência ao Ministério de Minas e Energia, altera o Decreto no 3.520, de 21 de junho de 2000, que dispõe sobre a estrutura e funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE. Dá nova redação ao parágrafo único do art. 1º do Decreto no 4.131, de 14 de fevereiro de 2002, extingue a Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica - GCE e dá outras providências.

- Resolução nº 492, de 3 de setembro de 2002: estabelece os critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética.

### 3.1.1. PROCEL

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, criado em 1985, pelos Ministérios de Minas e Energia e da Indústria e Comércio, propõe-se a “promover a racionalização da produção e do consumo de energia elétrica, para que se eliminem os desperdícios e se reduzam os custos e os investimentos setoriais” (PROCEL, 2007).

Entre os anos de 1986 a 1997, foram aprovados um total de R\$ 235,5 milhões para serem investidos nos projetos financiados pelo programa. Entretanto, nem todos recursos puderam ser utilizados, devido a dificuldades de gerenciamento. Durante este período, o programa passou por várias discontinuidades, sendo que, em 1998, foi cogitada a hipótese de sua extinção (Jannuzzi, 2002). Entretanto, desde o início dos anos 2000, o programa tornou-se referência em eficiência energética no Brasil.

Segundo dados da ELETROBRAS, foram investidos R\$ 860 milhões durante os primeiros 20 anos do programa. A economia alcançada durante este período foi de 22 bilhões de quilowatt-hora, o que proporcionou investimentos postergados no sistema elétrico brasileiro da ordem de R\$ 15 bilhões (PROCEL, 2007). A Tabela 3-3 mostra o investimento anual e a energia poupada nos programas do PROCEL.

**TABELA 3-3: Resultados anuais obtidos pelo PROCEL 1986-2005**

	1986/ 2001	2002	2003	2004	2005
Investimentos Totais Realizados (R\$ milhões)	582,80	42,30	41,00	94,15	98,00
Energia Economizada (GWh/ano)	14.135	1.270	1.817	2.373	2.158
Redução de Demanda na Ponta (MW)	3.871	309	453	622	585
Investimentos Postergados (R\$ milhões)	7.307	1.339	2.007	2.492	1.786

Os principais projetos em desenvolvimento pelo PROCEL são:

- Selo PROCEL: certificação concedida anualmente, desde 1994, aos equipamentos que apresentam os melhores índices de eficiência energética dentro de sua categoria. Tem o propósito de estimular a fabricação de produtos mais eficientes em termos energéticos, bem como o de orientar o consumidor a adquirir equipamentos que apresentam melhores níveis de eficiência energética.
- Prédios Públicos: programa com o intuito de promover eficiência energética em prédios públicos (federais, estaduais e municipais) a partir da implantação de projetos-piloto com potencial de replicação em larga escala. Iniciado em 1997.
- PROCEL nas Escolas: programa de educação ambiental, com o objetivo de combater o desperdício de energia. Atua em instituições de ensino. Em escolas de educação básica e ensino técnico é realizada a capacitação dos professores, para que estes se tornem agentes multiplicadores capazes de orientar a mudança de hábitos de consumo, e a formação de uma cultura de combate ao desperdício de energia. No ensino superior, o programa atua apoiando a formação de profissionais em áreas relacionadas à eficiência energética.

- PROCEL Edifica: programa voltado para a promoção da conservação e do uso eficiente da energia elétrica em edificações, reduzindo os desperdícios e impactos sobre o meio ambiente.
- Gestão Energética Municipal: programa cujo objetivo é gerenciar o uso da energia elétrica nos municípios, controlando seu desempenho e eficiência. Para facilitar a troca de informações entre os municípios foi criada a Rede Cidades Eficientes, inspirada no programa Energie-Cités, de municípios europeus.
- RELUZ (Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente): programa voltado para a iluminação pública, que pretende alcançar 77% do potencial de conservação de energia da rede nacional de iluminação pública.
- PROCEL Sanear: programa voltado para o uso eficiente de energia elétrica e água em sistemas de saneamento ambiental.
- PROCEL Indústria: programa com o objetivo de estimular o setor industrial a reduzir o desperdício de energia elétrica, voltado principalmente para sistemas motrizes.

Em relação às linhas de atuação dos programas PROCEL, eles podem ser divididos em três grandes grupos: os que buscam a eficiência energética a partir de práticas que promovam a substituição tecnológica dos equipamentos consumidores de energia elétrica, os que investem na conscientização dos usuários destes equipamentos por meio de campanhas educativas, e, os que trabalham em ambas as linhas.

### 3.2. O uso de Energia em Edificações

Segundo dados do PROCEL as edificações existentes nos setores residencial, público e comercial são responsáveis por aproximadamente 48% do consumo de energia elétrica no Brasil. O potencial de redução deste consumo com a adoção de medidas de eficiência energética pode chegar a 30%, nas edificações existentes, e a 50%, nas novas edificações (PROCEL, 2007). Isto demonstra a importância de se caracterizar e tornar as edificações brasileiras eficientes, em termos energéticos. A diferença entre os potenciais de conservação de edificações novas e existentes é devida, freqüentemente, à negligência de projetistas e construtores, que não consideram o uso de técnicas e tecnologias direcionadas à eficiência energética. O consumo de energia em edificações é influenciado por diversas características construtivas, tais como os materiais utilizados na construção e sua orientação geográfica, que determinam as trocas de calor entre os ambientes internos e externos à edificação e o nível de insolação e aproveitamento de ventos.

Para que uma edificação consuma energia de forma parcimoniosa, é necessário que sejam projetadas e construídas com este intuito. As construções devem utilizar materiais adequados e técnicas construtivas que considerem o uso de fontes naturais, eficiência energética e conforto ambiental. Entretanto, um consumo eficiente não é garantido com a construção de uma edificação projetada com este intuito. É necessário, também, que a instalação seja operada de maneira racional. O uso inadequado de equipamentos ou sistemas pode ser ilustrado pelo comportamento inconsciente ou desinformado de usuários ou operadores, que permitem o acionamento de equipamentos mesmo quando não estão sendo utilizados. Outro exemplo é a não

realização, de maneira contínua, da averiguação da adequação das instalações ao tipo de uso dos diversos sistemas existentes, visto que as edificações são dinâmicas e, durante sua vida útil, sofrem diversas modificações.

Os fatores que determinam a eficiência energética das edificações são diversos. Entretanto, ao garantir que as edificações sejam construídas e operadas de maneira a consumir energia de maneira parcimoniosa, utilizando recursos naturais e integrando-as com o meio ambiente, é possível direcionar a urbanização ao desenvolvimento sustentável.

### 3.2.1. Normas de Eficiência Energética em Edificações: a experiência mundial

As primeiras regulamentações a respeito do desempenho energético em edificações surgiram, nos países desenvolvidos, como consequência da primeira crise do setor petrolífero, na década de 70. Deste então, diversos países alcançaram reduções significativas no consumo energético de suas instalações, ao por em prática estas normas. Entre estes países, citam-se os Estados Unidos, a França e Portugal.

Assim como o que ocorre no Brasil, os edifícios europeus são responsáveis por grande parte – cerca de 40% – do consumo energético total da Europa. Devido a esta grande participação, a temática do desempenho térmico e energético nas edificações é tratada pela União Europeia (UE) desde o início da década de 80. Possuir um regulamento energético para a arquitetura das construções que satisfaça as determinações da União Europeia é uma das condições de ingresso na Comunidade e, caso não possuam um regulamento próprio, os países-membros devem utilizar o regulamento geral desenvolvido pela UE.

Na França, a primeira lei nesta área, criada em 1974, determina limites máximos para as perdas de calor nas edificações. Desde então, foram introduzidos limites para os ganhos de calor e encontram-se regulamentados aspectos de insolação, ventilação e isolamento térmico, bem como as características do sistema de aquecimento de ar e de água. A introdução das normas energéticas francesas reduziu em 75% o consumo de energia em novas edificações deste país, entre as décadas de 70 a 90 (Beraldo, 2006).

Em Portugal, a idéia de um regulamento energético surge nos anos 80, com o intuito de anteceder a regulamentação geral da União Européia, de maneira a adequar seu regulamento às condições climáticas e aos sistemas construtivos portugueses. A primeira regulamentação válida para todo o país é instituída em 1991. O regulamento português se diferencia das demais regulamentações européias por especificar limites para o comportamento térmico e energético das edificações também no verão. Desta maneira a solução adotada deve atender, simultaneamente, os condicionantes impostos para o inverno e para o verão.

Desde 1988, com a diretriz 89/106/CEE, a União Européia estabelece metodologias comuns para o cálculo do desempenho térmico das edificações. Até o ano de 2002, as normas da UE tratavam somente a questão das perdas térmicas nas edificações, não estabelecendo metas de redução no consumo com refrigeração, dado o ganho térmico das edificações no período de verão. Em janeiro de 2003, entra em vigor a diretriz 2002/91/CE (“Energy Performance of Buildings Directive”, EPBD, 2003) determinando que os países membros revisassem, no prazo de quatro anos, suas normas de eficiência energética para edificações. Tal diretriz contemplava, ainda, a necessidade de serem considerados os aspectos referentes à refrigeração e aos sistemas de

condicionamento de ar. Ao término deste período, em 2006, uma nova diretriz, a 2006/32/CE, é estabelecida. Esta diretriz estabelece um sistema de certificação, para os edifícios novos e existentes, baseado em uma metodologia comum de cálculo, integrando todos os elementos que determinam a eficiência energética e não apenas a qualidade do isolamento do edifício. Esta abordagem integrada tem em conta elementos tais como as instalações de aquecimento e de arrefecimento, as instalações de iluminação, a localização e a orientação do edifício e a recuperação do calor (Jornal Oficial da União Europeia, 2006).

Os Estados Unidos alcançaram, com sua primeira norma energética datada de 1973, uma redução no consumo anual de energia em residência unifamiliar de 11,3%, multifamiliar em 42,7%, em edifícios de escritório, 59,7%, em lojas, 40,1%, edifícios escolares em 48,1% (Beraldo, 2006). A atual regulamentação norte-americana estabelece que a questão da eficiência energética seja trabalhada na esfera estadual. Sendo assim, cada estado deve possuir uma legislação própria, baseada nas recomendações técnicas propostas em 1989, pela ASHRAE. Uma das normas estaduais americanas, muito bem detalhada, é a do Estado da Califórnia. Implementada em 1992, conforme as determinações da “California Energy Commission”, e baseada na ASHRAE/IPE 90.1 de 1989, a norma divide o estado em 16 áreas geográficas, para as quais fornece dados climáticos típicos, pacotes prescritivos e orçamento energético. A regulamentação da Califórnia correlaciona a iluminação artificial com a iluminação natural e apresenta soluções construtivas por zona climática. O desempenho de determinada edificação é verificado ao comparar seu consumo energético com o de um edifício padrão.

### 3.2.2. Regulamentação Brasileira para Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edificações

A Lei de Eficiência Energética brasileira – como é conhecida a Lei nº 10.295 – determina o estabelecimento de “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país” (PROCEL, 2007). A concepção destes patamares é de responsabilidade do Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), constituído nos termos do Decreto 4.059, também de 2001. O comitê é formado por representantes dos seguintes Ministérios e Agências Reguladoras e por membros da Sociedade Civil, sendo assim constituído:

- Ministério de Minas e Energia, que o preside;
- Ministério da Ciência e Tecnologia;
- Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior;
- Agência Nacional de Energia Elétrica;
- Agência Nacional do Petróleo;
- Um representante de Universidade brasileira, especialista em matéria de energia;
- Um cidadão brasileiro, especialista em matéria de energia.

O CGIEE, além de determinar os níveis máximos de consumo específico de energia, estabelece que, no prazo de até um ano, a partir da regulamentação específica de cada produto, deve ser elaborado um programa de metas, para uma progressiva evolução da eficiência energética das edificações. Entre os equipamentos

regulamentados estão geladeiras, lâmpadas, reatores, equipamentos de ar condicionado, motores e aquecedores solares.

Dentro desta determinação, está sendo elaborada uma proposta de regulamentação que visa determinar e classificar a racionalização do consumo de energia em edificações comerciais públicas e de serviços. Essa regulamentação, que esteve em fase de consulta pública no mês de agosto de 2007, deve entrar em vigor, em caráter voluntário, ainda no ano de 2007 e, após um período de cinco anos, deverá ser obrigatória (PROCEL INFO, 2007). Com a obrigatoriedade da classificação, os edifícios que não se enquadrarem no nível mínimo de eficiência não receberão a etiqueta e poderão sofrer algum tipo de punição, além de ficarem marcados como ineficientes.

A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos determina metodologias a serem aplicadas na aferição do consumo energético dos sistemas de iluminação, condicionamento de ar e de desempenho térmico da envoltória (fachadas e cobertura). Estas três categorias serão classificadas em níveis de eficiência, que variam de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A classificação geral do edifício é obtida através da média ponderada da classificação obtida no sistema de iluminação (peso de 30%), na envoltória (peso de 30%) e no sistema de condicionamento de ar (peso de 40%).

A adoção de soluções que promovam a eficiência energética nos demais sistemas da edificação, não computados na regulamentação, poderá elevar o índice de eficiência da edificação. Dentre as possíveis soluções de racionalização de consumo, que comprovadamente aumentam a eficiência energética da edificação, são citadas na proposta de regulamentação:

- Uso racional da água por meio de economizadores de torneira do uso de sanitários com sensores e do aproveitamento de água pluvial;
- Uso de fontes alternativas de energia, como aquecimento solar de água, painéis fotovoltaicos e gás natural;
- Sistemas de co-geração.

Para ser elegível à etiquetagem a edificação deve possuir circuito elétrico dividido por sistema de uso final, exceto no caso de hotéis com desligamento automático para quartos e das edificações com múltiplas unidades autônomas de consumo. Outros requisitos mínimos necessários a uma classificação máxima de eficiência são (PROCEL EDIFICA, 2007) a utilização de:

- Fontes alternativas de energia para o aquecimento de água, caso exista demanda. Dentre as fontes energéticas aceitáveis estão as que utilizam bomba de calor, aquecimento por reuso de calor; aquecimento solar com coletor e reservatório térmico, e aquecedores a gás com máxima classificação de eficiência pelo PBE/INMETRO.
- Controle inteligente de tráfego para elevadores, caso exista mais de um elevador com mesma finalidade e em um mesmo hall.
- Bombas de água centrífugas, quando existentes, classificadas com o índice máximo pelo PBE/INMETRO.

#### 3.2.2.1. Iluminação

A metodologia descrita pela Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

determina o cálculo do índice de eficiência no sistema de iluminação de acordo com a densidade de potência instalada por metro quadrado, com o nível de iluminância de projeto e com os tipos de controle existentes no sistema de iluminação. Para ser elegível à classificação, todos ambientes existentes devem possuir níveis de luminosidade de acordo com a norma brasileira de Iluminância de Interiores (NBR 5413). O nível de eficiência da edificação (A, B, C, D e E) é determinado de acordo com a densidade de potência instalada no sistema de iluminação e com os critérios de controle existentes.

A densidade de potência instalada é calculada para cada ambiente separadamente e confrontada com os limites máximos aceitáveis para cada nível de eficiência. Os valores de eficiência encontrados para cada ambiente são ponderados, com suas respectivas áreas, para estimar o equivalente numérico final do sistema de iluminação e, portanto, o nível de eficiência do sistema de iluminação do edifício. Entretanto, para ser classificada em um determinado nível de eficiência, a edificação deve ainda satisfazer todos os pré-requisitos de controle do nível em questão. Os critérios de controle são:

- Divisão de Circuitos (níveis A, B e C): a instalação deve possuir dispositivos de controle manual para o acionamento independente da iluminação interna em cada ambiente.
- Contribuição da luz natural (níveis A e B): a instalação deve possuir controle manual ou automático para o acionamento da fileira de luminária mais próxima à janela, no caso de ambientes com janela voltada para o exterior, ou para pátio coberto, ou, ainda, para pátio de cobertura translúcida com mais de uma fileira de luminárias paralelas à janela.

- Desligamento automático do sistema de iluminação (nível A): a instalação deve possuir, em ambientes maiores que 250 m<sup>2</sup>, controle automático para desligamento da iluminação. Este controle pode ser horário, ou acionado por um sinal de controle indicando que a área está desocupada.

#### 3.2.2.2. Sistema de Aquecimento e Resfriamento de Ar

A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos determina que a adequação do sistema de climatização às necessidades do ambiente deve ser comprovada pelo cálculo das cargas térmicas do sistema de aquecimento e de resfriamento de ar, de acordo com normas e manuais de engenharia de comprovada aceitação nacional ou internacional.

Em sistemas que possuem eficiência reconhecida pelo PBE, a eficiência do sistema será a determinada pelo próprio PBE. No caso dos sistemas de condicionamento de ar não regulamentados, bem como seus sistemas de resfriamento de líquido, condensadores e torres de arrefecimento, a classificação será determinada de acordo com requisitos mínimos de eficiência energética.

A regulamentação estabelece ainda que todo o sistema de condicionamento de ar deve ser equipado com sistemas que controlem automaticamente seu acionamento. O nível de controle exigido é tão mais sofisticado quanto maior for a edificação.

Estabelece-se que, para ser etiquetada, uma edificação deve possuir, em seu sistema de condicionamento de ar, ao menos um dos seguintes tipos de controle:

- Controles que podem acionar e desativar o sistema sob diferentes condições de rotina de operação, para sete tipos de dias diferentes por semana, incluindo um controle manual que permita a operação temporária do sistema por até duas horas.
- Sensor de ocupação que seja capaz de desligar o sistema, quando nenhum ocupante é detectado por um período de até 30 minutos.
- Temporizador de acionamento manual, capaz de ser ajustado para operar o sistema por até duas horas.
- Integração com o sistema de segurança e alarmes da edificação, de forma a desligar o sistema de condicionamento de ar, quando o sistema de segurança for ativado.

### 3.2.2.3. Envoltória

A Regulamentação para Etiquetagem Voluntária do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos descreve uma metodologia para classificar a eficiência da envoltória baseada em um indicador de consumo, obtido por meio de uma equação desenvolvida a partir da determinação da zona bioclimática em que a edificação se encontra e de acordo com área de projeção dos edifícios.

### **3.3. Eficiência Energética nos Sistemas de Uso Final**

Nas próximas seções serão discutidas as técnicas utilizadas para aumentar a eficiência dos diversos sistemas de uso final existentes em uma edificação: iluminação, climatização, entretenimento, insumos, comunicação.

#### **3.3.1. Sistema de Iluminação**

Cerca de 20% de toda a energia elétrica consumida no Brasil, refere-se à iluminação. No caso de edificações, este percentual pode chegar a 40% do consumo de energia elétrica da instalação (PROCEL, 2001) (Geller, 1944). Segundo Geller, as tecnologias utilizadas na iluminação de edificações são tipicamente ineficientes, o que faz com que exista um grande potencial de redução com o uso de equipamentos mais eficientes.

Nas instalações de ensino esse cenário não é diferente. Um estudo feito em 1994, na Universidade de São Paulo, constatou que a energia consumida com iluminação representava 65,5% do consumo total de seu campus, e possuía um potencial de redução de 40% (Ghisi, 1997). Outro estudo, realizado em 1997, na Universidade Federal de Santa Catarina, apurou uma participação de 63% da iluminação no total do consumo e um potencial de economia também de aproximadamente 40% (Ghisi, 1997).

##### **3.3.1.1. Fatores que Determinam a Qualidade do Sistema de Iluminação**

Uma iluminação eficiente em termos energéticos é aquela que possui um mínimo consumo de energia elétrica, mantidos os padrões de conforto visual necessários. De tal maneira que a qualidade de um sistema de iluminação deve ser analisada em relação a sua adequação às atividades a serem desenvolvidas, mantendo níveis de luminosidade suficientes e bem distribuídos e não apresentando áreas de ofuscamento ou de sombras.

No Brasil, os valores de luminosidade média mínimos a serem considerados em um projeto luminotécnico são determinados pela norma NBR 5413 – Iluminância de interiores da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. Apesar de não serem referências absolutas, i.e. os valores devem ser ajustados de acordo com a idade média dos observadores e com os índices de refletância dos planos que delimitam o ambiente (as cores de suas paredes, teto e chão), estes valores são utilizados como um primeiro indicativo da qualidade dos sistemas de iluminação. A **TABELA 3-4** apresenta alguns valores normalizados para a iluminância de ambientes em que são realizadas tarefas específicas.

Outros fatores determinantes do conforto visual, que devem ser utilizados como indicativos auxiliares da qualidade de um sistema de iluminação, são: uniformidade da luminosidade e existência de pontos de ofuscamento.

**TABELA 3-4: Iluminâncias Recomendadas por Classe de Tarefas Visuais**

<b>Classe</b>	<b>Iluminância (LUX)</b>	<b>Atividade</b>
	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros.
Iluminação geral para áreas com uso interupto ou com tarefas visuais simples	50 – 75 – 100	Orientação simples para permanência curta.
	100 – 150 – 200	Recintos não usados para trabalho contínuo.
	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.
	1.000 – 3.000 – 5.000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas.
Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2.000 – 3.000 – 5.000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno.
	5.000 – 7.500 – 10.000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica.
	10.000 – 15.000 – 20.000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia.

Fonte: NBR 5413

### 3.3.1.2. Componentes do Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação é composto por luminárias, lâmpadas e reatores. As luminárias modificam a distribuição espacial do fluxo luminoso das lâmpadas, de forma a direcionar e distribuir a luz, sendo capazes de maximizar ou minimizar o fluxo luminoso de acordo com suas características. Os reatores são os equipamentos que realizam a ignição das lâmpadas de descarga.

#### **Lâmpadas**

A lâmpada é o elemento irradiador de luz presente no sistema de iluminação. Algumas características da fonte luminosa, como sua fidelidade de reprodução de cores e temperatura de cor, determinam a qualidade do sistema de iluminação. A fidelidade com que uma fonte de luz é capaz de reproduzir as cores dos objetos que ilumina é dada por seu Índice de Reprodução de Cor, IRC. Este índice varia em uma escala de 0 a 100, de modo que quanto mais alto o IRC melhor as cores se aparentam a um observador humano (Alvarez, 1998). A tabela 3-5 apresenta valores típicos de IRC para diversos tipos de lâmpadas.

A aparência da fonte de luz é dada pela temperatura de cor característica, ou, em lâmpadas de descarga, a temperatura de cor correlata. Uma temperatura de cor acima de 4000 K descreve uma fonte de luz azulada, enquanto que uma temperatura de cor inferior a 3000 K é característica de fontes mais avermelhadas (PROCEL, 2007).

**TABELA 3-5: Características das Lâmpadas**

<b>Tipo</b>	<b>IRC</b>
Incandescente Comum	100
Incandescente Halógena	100
Mista	50 a 70
Fluorescente Tubular T-10	70
Fluorescente Tubular T-8	85
Fluorescente Tubular T-5	Superior a 85
Fluorescente Compacta	85
Vapor de Mercúrio	45
Vapor de Sódio de Alta Pressão	23
Multivapores Metálicos	80 a 85

Fonte: (PROCEL, 2002)

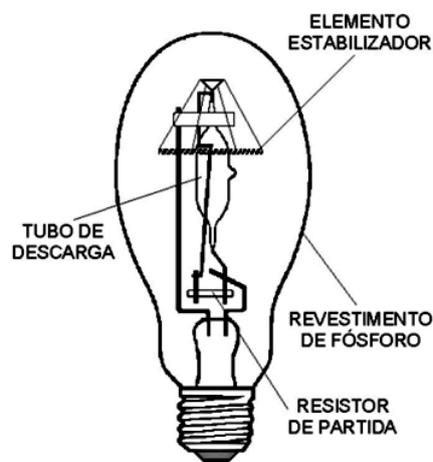
As lâmpadas podem ser classificadas conforme seu princípio de funcionamento em:

- Incandescente, que pode ser convencional ou halógena;
- Mista,
- Descarga, de baixa ou alta pressão.

As lâmpadas incandescentes convencionais são constituídas por uma resistência elétrica de tungstênio confinada em um recipiente fechado de vidro em que se fez vácuo. A emissão de luz ocorre com o fluxo de corrente elétrica pela lâmpada. Esta transformação de energia elétrica em energia térmica e luminosa ocorre de maneira ineficiente. Somente cerca de 5% da potência elétrica consumida pela lâmpada é convertida em luz visível, sendo 95% dissipados em calor. A lâmpada incandescente halógena difere-se da convencional por apresentar um elemento halógeno, em geral iodo

ou bromo, que, ao reagir quimicamente com as partículas do filamento, evita a deposição de resíduos nas paredes internas do bulbo, permitindo, assim, que o rendimento luminoso da lâmpada seja mantido constante durante grande parte da sua vida média. As lâmpadas incandescentes são utilizadas em aplicações que necessitem de luz intensa, bem direcionada, e com bons índices de reprodução de cor (Ghisi, 1997).

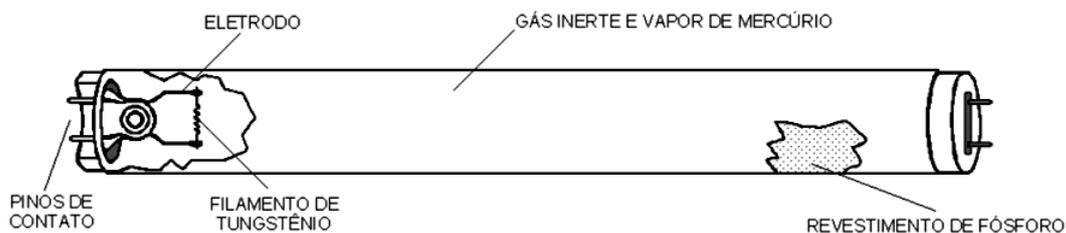
A lâmpada mista é composta por vapor de mercúrio em alta pressão, confinado em um tubo de descarga. Sua ignição é realizada por um filamento conectado em série com o tubo, conforme mostra a Figura 3-1. Estas lâmpadas foram muito utilizadas na substituição das incandescentes na iluminação pública, por possuírem um maior fluxo luminoso e menor consumo energético, se comparadas com as incandescentes (Alvarez, 1998). Entretanto, elas estão sendo substituídas pelas de vapor de sódio, que possuem um menor consumo energético.



**Figura 3-1 – Lâmpada Mista**

As lâmpadas fluorescentes tubulares, que funcionam à base de descarga à baixa pressão, consistem em um bulbo cilíndrico de vidro revestido de material

fluorescente, contendo vapor de mercúrio à baixa pressão e eletrodos de tungstênio. São acionadas por reatores que fornecem a tensão necessária ao início da descarga. Estas lâmpadas, Figura 3-2, emitem menos calor e possuem um maior fluxo luminoso, se comparadas com as incandescentes comuns. Podem ser classificadas em T-20, T-12, T-8, ou T-5, de acordo com a espessura de seu bulbo, sendo que quanto maior o número maior a espessura. As lâmpadas T-12 e T-10 (20, 40 e 110 W) normalmente utilizam, na pintura de seu bulbo um pó fluorescente comum, resultando em uma luz de baixo rendimento e deficiente na reprodução de cores, quando comparada com as T-8 (16, 18, 32 e 36 W). As mais compactas e eficientes são as T-5 (14, 28, 54 e 80 W) (PROCEL, 2002).



**Figura 3-2 – Lâmpada Fluorescente Tubular**

Na década de 80, começaram a ser fabricadas lâmpadas fluorescentes compactas, com o objetivo de substituir as incandescentes, por terem uma maior eficiência, possuírem uma maior vida média e produzirem menos calor. Os modelos comerciais utilizam um tubo de vidro do tipo T4 ou T5, com revestimento de trifósforo e filamentos nas suas extremidades. Existem diversas formas construtivas para o tubo de descarga, sendo duas as mais comuns: um tubo único curvado em “U” e dois tubos independentes, unidos por uma ponte.

Um tipo de lâmpada de descarga à alta pressão muito utilizada na iluminação pública é a lâmpada de mercúrio. Seu uso proporciona uma grande economia de energia quando comparadas as lâmpadas incandescentes. Entretanto, estas lâmpadas possuem um IRC baixo, e um alto tempo de re-acendimento e estabilização, em torno de 5 minutos.

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão possuem alta eficiência luminosa, e grande durabilidade. Entretanto, por possuírem um baixo IRC, estas lâmpadas são indicadas para aplicações que não exijam fidelidade de cor. As principais potências encontradas são: 70, 100, 150, 250, 400 e 1.000 W. Devido à grande eficiência destas lâmpadas, o Ministério de Minas e Energia, através do PROCEL, criou um programa de troca das lâmpadas, mistas e mercúrio, existentes na iluminação pública, por lâmpadas de vapor de sódio (PROCEL, 2007).

As lâmpadas de multivapores metálicos, conhecidas comercialmente como metálicas, possuem bons índices de IRC, alto rendimento luminoso e grande vida útil, sendo amplamente utilizadas na iluminação de ambientes externos e internos com grande altura de teto. A tabela 3-6 relaciona a eficiência luminosa e a vida útil típica das lâmpadas descritas.

**TABELA 3-6: Características das Lâmpadas**

<b>Tipo</b>	<b>Eficiência Luminosa (lm/W)</b>	<b>Vida Média (horas)</b>
Incandescente Comum	10 a 15	1.000
Incandescente Halógena	15 a 25	2.000
Mista	18 a 25	6.000 a 8.000
Fluorescente Tubular T-10 <sup>1</sup>	33 a 62	10.000
Fluorescente Tubular T-8 <sup>2</sup>	39 a 73	10.000 a 20.000
Fluorescente Tubular T-5 <sup>2</sup>	Superior a 95	20.000
Fluorescente Compacta	50 a 80	8.000 a 10.000
Vapor de Mercúrio	45 a 55	15.000
Vapor de Sódio de Alta Pressão	80 a 140	18.000 a 24.000
Multivapores Metálicos	65 a 90	6.000 a 20.000

### **Reatores**

Reatores são equipamentos necessários para o funcionamento das lâmpadas de descarga, possuindo duas funções principais: realizar a ignição e limitar a corrente elétrica que alimenta a lâmpada. Entre os dois tipos principais de reatores existentes, eletromagnéticos e eletrônicos, os eletrônicos são os mais eficientes, dissipando cerca de 30% menos de energia que os eletromagnéticos (Alvarez, 1998).

---

<sup>1</sup> Acoplada a um reator eletromagnético

<sup>2</sup> Acoplada a um reator eletrônico

Reatores eletromagnéticos são, em geral, classificados de acordo com o tipo de ignição, que pode ser com pré-aquecimento – utilizando “starter” – ou de partida rápida. Os reatores para lâmpadas fluorescentes que realizam pré-aquecimento dos filamentos são simples indutores, que operam em conjunto com um dispositivo de chaveamento, que pode ser do tipo mecânico (chave liga/desliga) ou térmico (“*starter*”). Os reatores de partida rápida não utilizam “*starter*”. Portanto, para se garantir a partida da lâmpada, esta topologia deve aplicar um valor de tensão suficientemente elevado, para realizar a partida da lâmpada. Estes reatores utilizam um transformador, cujos enrolamentos encontram-se magneticamente acoplados com um indutor, para realizar o aquecimento adequado dos filamentos, de forma a reduzir a tensão de ignição da lâmpada para valores próximos da tensão de alimentação. Os reatores eletromagnéticos possuem normalmente grandes perdas elétricas e elevada carga térmica. A fabricação destes reatores foi interrompida nos Estados Unidos, Europa e Japão em 2005, devido a exigências dos programas de conservação de energia desses países (OSRAM, 2007).

Os reatores eletrônicos não possuem transformadores ou indutores para limitar a corrente de descarga na lâmpada, o que reduz bastante suas dimensões e suas perdas. Seu funcionamento se baseia em um sistema eletrônico que opera como uma chave, permitindo, ou não, a alimentação da lâmpada. Estes reatores trabalham em alta frequência, entre 20 e 50 kHz, e, conseqüentemente, liberam harmônicas na rede elétrica. Entretanto, existem reatores de alto desempenho, que, por possuírem filtros acoplados, apresentam uma taxa reduzida de harmônicas. A tabela 3-7 mostra uma comparação entre o fator de potência, FP, e a taxa de distorção harmônica, THD, de reatores eletromagnéticos e eletrônicos.

**TABELA 3-7: Fator de Potência e Distorção Harmônica nos Reatores: Eletromagnético e Eletrônico**

	Reator Eletromagnético		Reator Eletrônico	
	FP normal	Alto FP	FP normal	Alto FP
FP	0,4 – 0,7	0,8 – >0,9	0,4 – 0,7	>0,9
THD (%)	6 – 18	15 – 27	75 – 200	16 – 42

Fonte: Manual de Iluminação Eficiente PROCEL

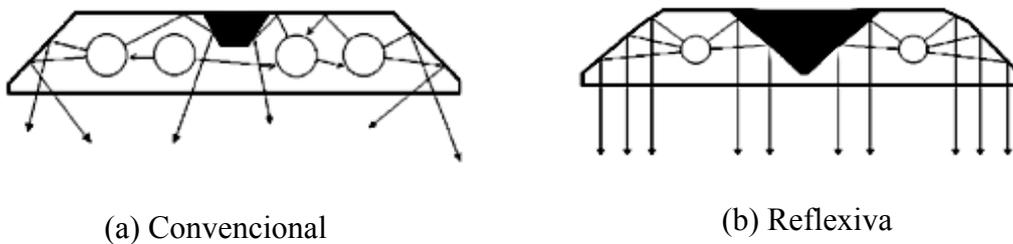
O uso da eletrônica em reatores possibilitou o desenvolvimento de equipamentos mais elaborados, que viabilizam um aproveitamento maior da iluminação natural. Os reatores dimerizáveis permitem um ajuste do fluxo luminoso emitido pela lâmpada, de acordo com o nível de iluminação natural. Ao conectar estes reatores a sensores de intensidade luminosa, este ajuste pode ser realizado de maneira automática, o que permite a redução, em até 70%, da energia elétrica consumida, se comparados os reatores eletrônicos com os eletromagnéticos (OSRAM, 2007)

### **Luminárias**

As luminárias são responsáveis por distribuir, de maneira adequada, o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. Por este motivo, a escolha de luminárias deve considerar sua eficiência luminosa, sua capacidade de controle de ofuscamento, a distribuição desejada de luz no ambiente e o coeficiente de utilização. A eficiência luminosa é caracterizada pela porcentagem da luz irradiada pela lâmpada que é, efetivamente, emitida. O coeficiente de utilização, por sua vez, descreve a porcentagem dos lumens emitidos pela lâmpada que atinge a superfície de trabalho. Este coeficiente

depende das dimensões dos ambientes, do tipo de luminária e das refletâncias das superfícies do ambiente. O ofuscamento pode ser evitado embutindo a luminária, mas tal medida pode resultar em perdas de 20 a 70% do fluxo luminoso (Alvarez, 1998).

Os principais componentes de uma luminária, que podem modificar drasticamente seu desempenho, são: refletores, refratores, difusores, lentes e lamelas. Uma lente de acrílico translúcido pode absorver até 65% da luz emitida pela lâmpada, o que reduz drasticamente sua eficiência luminosa (Alvarez, 1998). As luminárias antigas não eram projetadas de maneira a aproveitar, ao máximo, o fluxo luminoso. Somente as luminárias mais modernas foram desenvolvidas com este intuito. Estas luminárias, as reflexivas, são dotadas de refletores espelhados, de modo a reduzir as perdas por reflexão, além de possuírem um maior espaço entre as lâmpadas, evitando que o fluxo emitido por uma lâmpada seja absorvido pela outra (Alvarez, 1998). A Figura 3-3 ilustra os fluxos luminosos provenientes de luminárias reflexivas e convencionais.



**Figura 3-3 – Luminária Convencional e Reflexiva**

### 3.3.2. Sistema de Climatização e Conforto Ambiental

Um sistema de climatização de ambientes deve ser capaz de adequar os condicionantes climáticos a padrões favoráveis ao metabolismo dos indivíduos, propiciando conforto térmico. Entretanto, a definição de quais são as condições climáticas características de uma situação de conforto é uma tarefa árdua. Isto porque a sensação de conforto térmico depende da perda do calor gerado pelo metabolismo de cada ser humano (Schiffer & Frota, 2003).

#### 3.3.2.1. Cargas Térmicas de uma Edificação

As cargas térmicas de uma edificação podem ser de ordem climática, humana ou arquitetônica. As climáticas são aquelas provenientes, por exemplo, da insolação e das condições de temperatura e umidade do ar externo. A humana é devida ao calor gerado pelos ocupantes da edificação e depende do número de pessoas usuárias do ambiente e da atividade por elas desenvolvida. As arquitetônicas são aquelas geradas pela troca de calor com o ambiente externo – devido, por exemplo, às falhas de vedação – ou pelo calor proveniente de equipamentos, como o dissipado pelo sistema de iluminação, por computadores ou máquinas.

Para dimensionar um sistema de resfriamento ou aquecimento de um determinado ambiente é necessário conhecer a carga térmica característica deste ambiente, que representa a quantidade de calor a ser extraída ou fornecida ao ar para mantê-lo sob as condições desejáveis de temperatura e umidade.

### 3.3.2.2. Ventilação

Ao movimentar o ar em um ambiente, as trocas térmicas entre o corpo humano e o meio ambiente são facilitadas, evitando a condensação superficial, o que proporciona melhoria na sensação de conforto térmico. Ao circular, o ar interno é trocado pelo externo, o que retira o excesso de calor produzido por pessoas e outras fontes internas, bem como o excesso de umidade do ar interno. Esta renovação do ar mantém o ambiente livre de impurezas e odores indesejáveis (Lamberts, Dutra, & Pereira, Eficiência Energética na Arquitetura)

Segundo (Beraldo, 2006), ventiladores podem ser definidos como geradores de fluxo que trabalham no estado gasoso, provocando a diferença de pressão necessária para circular o ar. Para trabalharem com um maior rendimento, estes geradores de fluxo devem ser devidamente instalados recebendo manutenção apropriada, além de estarem dimensionados de acordo com as reais necessidades do ambiente.

A ventilação mecânica pode ser realizada por exaustores ou ventiladores. Os primeiros são normalmente utilizados em ambientes em que exista alguma fonte de contaminação do ar.

### 3.3.2.3. Sistemas de Condicionamento do Ar

Sistemas de condicionamento de ar tratam o ar adequando suas variáveis de pureza, umidade, temperatura e movimentação, independentemente das condições climáticas exteriores. Estes sistemas podem ser classificados de acordo com a forma que realizam a necessária troca de calor com o ar. Quando o ar a ser insuflado no ambiente

climatizado perde calor de maneira direta, os sistemas são chamados de expansão direta. Quando a troca de calor é feita por meio de um fluido intermediário, são chamados de expansão indireta.

Os sistemas de expansão direta podem ainda ser de vazão de ar constante ou variável. Sistemas com vazão de ar constante possuem consumos de energia também constante, mesmo durante períodos em que são requisitadas cargas térmicas baixas. Por este motivo, os sistemas de vazão constante estão sendo cada vez menos utilizados (Sommer). Em contrapartida, os sistemas com volume de ar variável (VAV), são cada vez mais utilizados, devido à economia no consumo de energia elétrica proporcionada por sua adequação às variações de carga térmica. Estes sistemas podem ser subdivididos em aparelhos de janela, *splits* e *self contained*, que atendem instalações de pequena e média capacidade, ou ainda em *chillers* com compressores alternativos, centrífugos ou parafuso, para instalações de média e alta capacidade.

Aparelhos de ar-condicionado tipo janela são os mais simples e compactos, possuindo seu uso restringido a pequenos ambientes, que não possuam grandes exigências na qualidade e movimentação de ar ou no nível de ruído. Estes equipamentos possuem controle de temperatura realizado por um termostato, que desliga o compressor quando a temperatura desejada é atingida. São fabricados normalmente com capacidades variando de 7.500 a 30.000 BTU/h ou 2,2 a 8,8 kW (Alvarez, 1998), devendo ser instalados em uma parede externa, diretamente no ambiente condicionado.

Condicionadores tipo *split* são divididos em duas unidades distintas: condensador, que é instalado em uma área externa ao ambiente a ser climatizado, e evaporador. Estes últimos podem ser alocados diretamente no ambiente climatizado, ou em uma casa de máquinas, da qual saem dutos de insuflamento que ventilam o ar

refrigerado para os ambientes. O condensador bombeia o fluido refrigerante para o evaporador, que refrigera o ar a ser ventilado. Estes equipamentos apresentam um menor nível de ruído, quando comparados com os do tipo janela, e são produzidos com capacidades que variam de 7.500 a 60.000 BTU/h ou 2,2 a 17,6 kW (Alvarez, 1998).

O sistema chamado *self contained* é geralmente dotado de uma rede de dutos que atendem a maiores capacidades. Podem ser de condensação a ar ou a água. Os de condensação a ar apresentam as mesmas características dos condicionadores compactos *multisplit*. Já os aparelhos de condensação a água requerem uma linha alimentadora de água, que é utilizada na refrigeração do ar externo. Esta água é normalmente re-circulada, por meio de bombas, e, em seguida, resfriada em uma torre de resfriamento. Os condicionadores *self contained* são encontrados com capacidade variando de 5 a 18 TR ou 17,6 a 64,3 kW (Lamberts, Dutra, & Pereira).

Os principais equipamentos existentes nos sistemas de expansão indireta (ilustrados na Figura 3-4) são:

- Chillers: equipamentos utilizados para resfriar água. São máquinas compostas por compressores, condensadores, evaporadores e dispositivos de expansão. Os principais tipos de compressores encontrados são: alternativos, centrífugos, caracol, de parafusos ou de palhetas.
- Fan-coils: equipamentos que refrigeram o ar insuflado no ambiente. Possuem uma serpentina de tubos aletados e um ventilador que faz circular o ar continuamente por entre a serpentina que está com a água gelada. Ao circular, o ar troca calor com a água do sistema.
- Torres de resfriamento: equipamentos utilizados para remover o calor da água que circula pelo condensador do *chiller*. Essas torres trocam calor

com o ar atmosférico. Ventiladores executam a circulação de ar atmosférico por sobre a água do condensador na torre de resfriamento.

- Bombas de água gelada: equipamentos utilizados para movimentar a água e proporcionar pressão na tubulação de água.
- Ventiladores e exaustores: máquinas de fluxo destinadas a insuflar e remover o ar do ambiente condicionado.

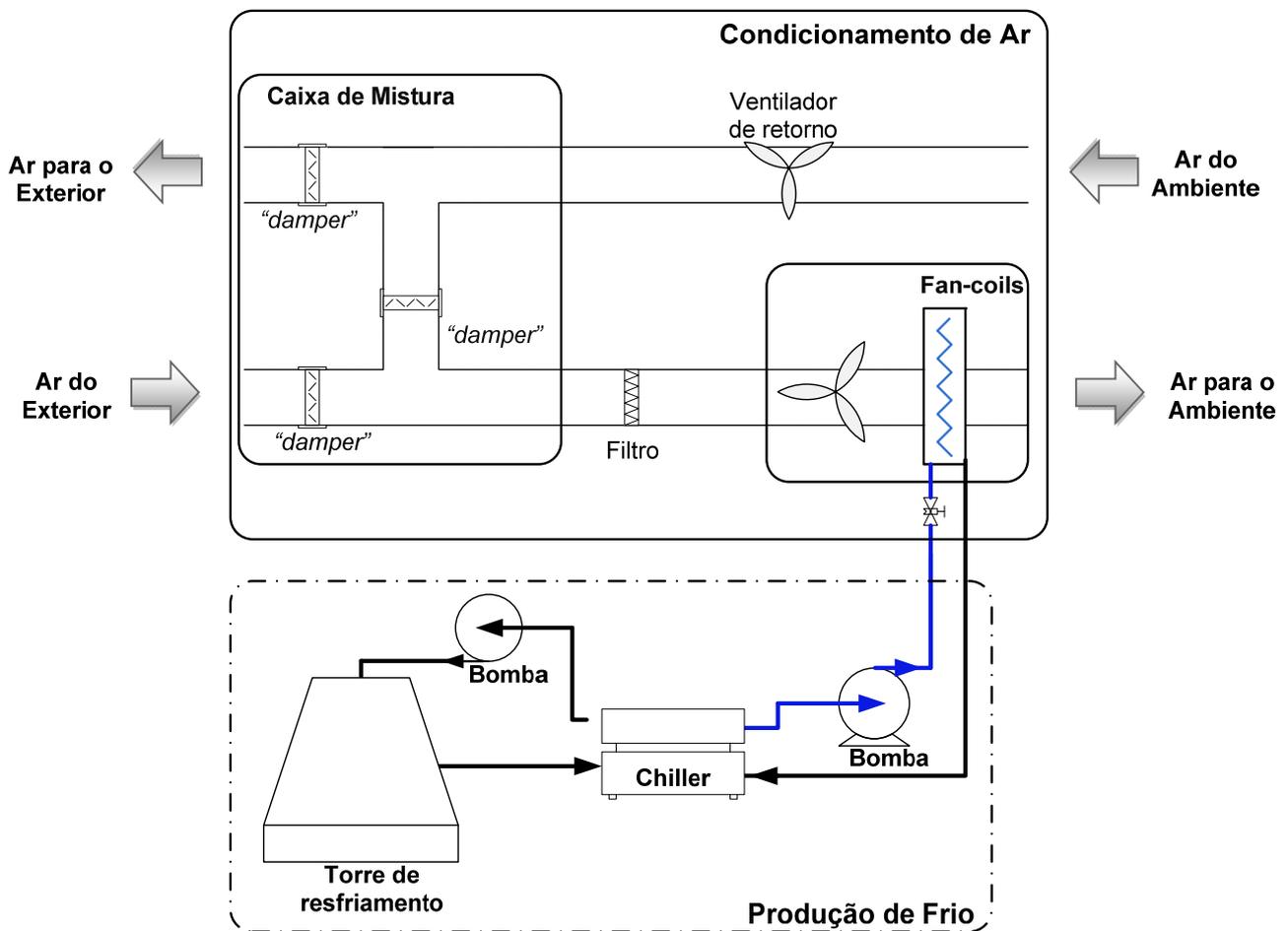


Figura 3-4: Sistema de Ar Condicionado Central

Nos sistemas de expansão indireta, conforme mostrado na Figura 3-4, o ar interno aos ambientes climatizados é refrigerado em trocadores de calor, por meio da circulação de um fluido que possua propriedades térmicas adequadas para o resfriamento satisfatório do ar. Normalmente, é utilizada água gelada para este fim. Estes equipamentos, após resfriarem a água, provocam sua circulação até diversos equipamentos climatizadores, compostos por um ventilador e uma serpentina, por onde circula a água. A unidade de resfriamento de água é comumente chamada de *chiller* e os climatizadores, equipamentos análogos aos evaporadores, de *fan coils*. O controle da temperatura ambiente é realizado pela variação na taxa de vazão de água gelada na serpentina. Os condicionadores de ar de expansão indireta podem ser empregados como termo acumulador, utilizando o *chiller* para acumular água gelada

### **Cálculo de Eficiência do Sistema de Condicionamento do Ar**

Em edifícios já construídos, o consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado depende da tecnologia de refrigeração empregada, do correto dimensionamento do sistema, das condições de isolamento térmica dos ambientes e equipamentos, da manutenção e dos hábitos de uso.

A taxa de eficiência energética – ENERGY EFFICIENCY RATE (EER) – Eq. 3-1, fornece a relação entre o fluxo de calor retirado do ambiente e a potência elétrica demandada (Alvarez, 1998).

$$EER = \frac{\text{Capacidade de Refrigeração}}{\text{Demanda Média do Aparelho}} \left( \frac{BTU/h}{W} \right) \quad \text{Eq. 3-1}$$

Os valores de EER típicos de aparelhos de ar condicionado são mostrados na tabela 3-8.

**TABELA 3-8: 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 contained a ar	90.000	Scroll	7,3
Self contained a água	100.800	Scroll	10,6
Central (chiller)	430.800	Alternativo	9,6
Central (chiller)	2.395.200	Alternativo	9,3

Fonte: (PROCEL, 2001)

O potencial de conservação de energia elétrica de sistemas de condicionamento de ar pode ser calculado a partir da comparação entre o consumo real e o consumo esperado para sistemas mais eficientes. O consumo esperado é estimado utilizando a capacidade térmica do aparelho, o número de horas de operação, sua

eficiência e o número de aparelhos da instalação, conforme mostra a Eq. 3-2 (Alvarez, 1998).

$$Consumo = \sum_{i=1}^n \frac{C_t \cdot t}{1000 \cdot EER} (kWh) \quad \text{Eq. 3-2}$$

Onde

$C_t$ : capacidade térmica dada em  $(BTU/h)$ ;

$t$ : número de horas de operação;

$EER$ : eficiência dada em  $(BTU/h/W)$ ;

$n$ : número de aparelhos.

A energia economizada ao utilizar equipamentos mais eficientes pode ser encontrada pela Eq. 3-3.

$$E_{economizada} = 3,4 \cdot \frac{P_{redução} \cdot t}{EER} (kWh) \quad \text{Eq. 3-3}$$

Onde:

$P_{redução}$ : redução da demanda média do equipamento, em kW;

$t$  : número de horas de operação com demanda reduzida;

$EER$  : eficiência do sistema.

Além da substituição por sistemas mais eficientes, algumas medidas capazes de aumentarem a eficácia dos equipamentos atuais são (PROCEL, 2001):

- Implementação de um programa de manutenção periódica, evitando a acumulação de sujeiras nas superfícies trocadoras de calor e a obstrução do fluxo de ar de saída dos evaporadores.

- Instalação de proteções que evitem a insolação direta dos condensadores, e a conseqüente elevação da temperatura de condensação do fluido circulante no condensador.
- Instalação de materiais que sejam bons isolantes térmicos nos telhados e paredes da edificação, reduzindo, assim, a troca de calor com o meio externo.
- Instalação de persianas exteriores ou brises que realizem o envelopamento da edificação, impedindo sua insolação direta.
- Instalação de juntas de vedação em portas e janelas.

### 3.3.3. Sistema de Abastecimento Hidráulico

A eficiência energética do sistema de abastecimento hidráulico de uma edificação pode ser aumentada com a substituição da água potável por água pluvial, nas atividades em que esta troca é possível. A água pluvial pode ser utilizada em irrigação de áreas verdes, torres de resfriamento de sistemas de ar-condicionado, sistema de controle de incêndio, lavagens de pisos e veículos e descarga em toaletes.

Para ser utilizada, a água deve ser devidamente coletada, tratada e armazenada. Um exemplo de sistema de utilização da água pluvial em edificações é ilustrado na Figura 3-5. A água proveniente da chuva, coletada por calhas instaladas normalmente no teto das edificações, é inicialmente descartada, pois os primeiros litros de precipitação possuem concentrações elevadas de poluentes. Após este descarte, a água coletada deve ser devidamente tratada e armazenada em uma caixa d'água – instalada acima dos pontos de consumo – ou, em uma cisterna dedicada à água pluvial

(conforme ilustrado na Figura 3-5). Caso exista uma cisterna, à medida em que é consumida, a água é bombeada para outro reservatório, de volume reduzido, que deve ser instalado acima dos pontos de consumo.

A definição quanto ao uso e ao tipo de sistema de tratamento a ser utilizado depende da qualidade da água e de seu destino final. De maneira geral, considerando os usos mais comuns, são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação natural, filtração simples e desinfecção com cloro ou com luz ultravioleta (Nunes, 2006).



**Figura 3-5 – Sistema de Aproveitamento da Água Pluvial**

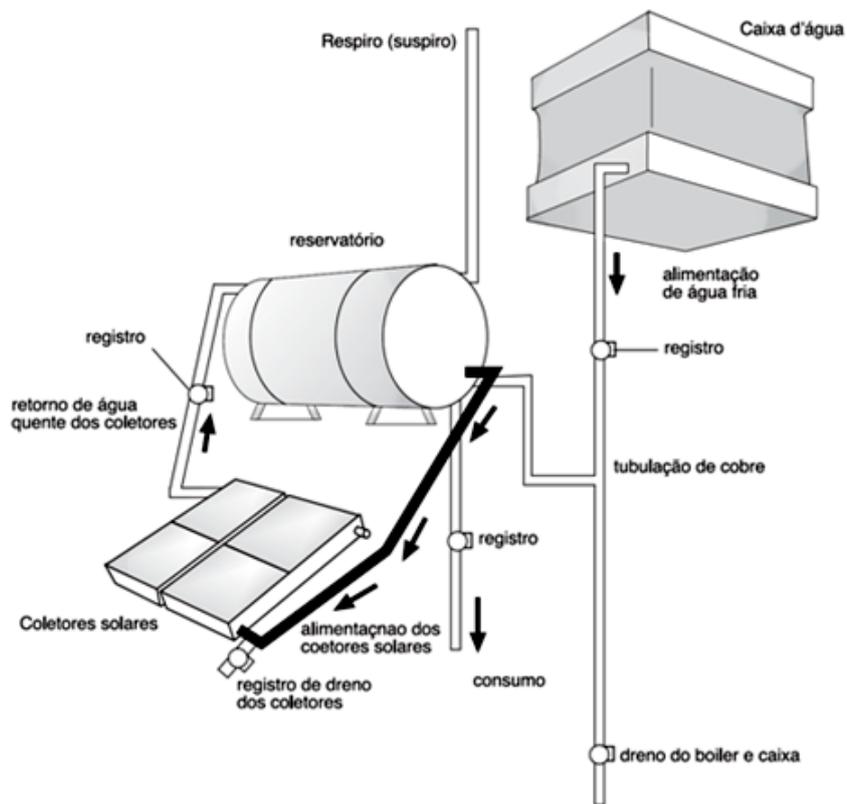
Fonte: (Technik do Brasil, 2007)

### 3.3.4. Sistema de Aquecimento de Água

No Brasil, o consumo de energia elétrica dedicado ao aquecimento de água corresponde, em média, a 26% da energia elétrica consumida, no setor residencial, 20%, no setor industrial e 4%, no setor comercial (Salcedo, 2004). Essa expressiva participação na matriz energética brasileira sinaliza um grande potencial de economia caso se adotem sistemas de aquecimento que utilizem outras fontes de energia, como gás ou luz solar.

Os sistemas de aquecimento de água por energia solar se destacam, em termos de eficiência energética, por utilizarem uma fonte natural de energia. Quando bem dimensionados, estes sistemas são capazes de gerar uma economia anual média de 80% no consumo de energia elétrica (Nunes, 2006).

A Figura 3-6 mostra o diagrama esquemático de um sistema típico de aquecimento solar de água. Este sistema consiste basicamente de coletores, trocadores de calor, reservatórios térmicos, equipamentos auxiliares de aquecimento e sistema de distribuição de água quente. Os trocadores de calor transferem o calor proveniente da radiação solar incidente sobre a superfície absorvedora dos coletores para a água, que é, em seguida, armazenada no reservatório térmico.



**Figura 3-6 – Sistema de Aquecimento Solar de Água**

Segundo dados do Instituto para o Desenvolvimento, Meio Ambiente e Paz, Vitae Civilis, o uso de aquecedores solares em edificações é obrigatório pelas leis existentes em Israel, Espanha, México e Portugal. No Brasil, as cidades de Birigui, no Estado de São Paulo, e Varginha, em Minas Gerais, possuem leis similares. A utilização de incentivos fiscais também é muito utilizada, para fomentar o uso da energia solar térmica. Neste âmbito, já existe uma lei na cidade de Porto Alegre e estão em tramitação projetos de lei, nas cidades de Americana, Campinas, Belo Horizonte, Curitiba, Juiz de Fora, Peruíbe, Piracicaba, São José dos Campos e São Paulo. Existe ainda um projeto de lei federal que dispõe sobre a obrigatoriedade da previsão do uso de aquecedores solares de água, em projetos de construção de habitações populares, e que autoriza o Poder

Executivo a criar Políticas Públicas e Programas de Incentivo, para implantação e uso desses equipamentos em instalações prediais (Vitae Civilis, 2007).

Em Belo Horizonte, existem cerca de 1.000 edifícios residenciais dotados com sistemas de aquecimento solar de água (em agosto de 2007). Devido a ações de incentivo da Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG, praticamente todos os lançamentos de condomínios de classe média usam o equipamento como um dos apelos de venda.

### **3.4. Índice de Desempenho Energético**

O índice de desempenho energético – também chamado de Indicador de Uso de Energia ou Consumo Específico – permite analisar o consumo de uma determinada edificação, confrontando-o com os valores típicos obtidos em outras instalações, mesmo que estas se difiram na localização e no tamanho. Para tanto, é necessário normalizar as variáveis que caracterizam o uso de energia, reduzindo-as a uma base comum. Tais índices podem auxiliar o monitoramento do consumo energético em edificações, isto porque, ao analisar a evolução histórica do consumo é possível planejar a manutenção preditiva de equipamentos e sistemas. Os índices podem, ainda, ser utilizados na avaliação de resultados alcançados com a adoção de medidas de eficiência energética.

Dentre os diversos índices de desempenho energético, os de uso de energia por área – ou AEUI, Area Energy Use Index – e o de uso de energia por pessoa – PEUI Person Energy Use Index, são os mais utilizados (Souza, 2005). Ambos os índices são comumente chamados, no Brasil, de consumo específico. Apesar de serem os mais

populares, não devem ser considerados os melhores. A escolha dos índices deve ser feita pela particularidade de cada análise (Lamberts & Westphal, 2000).

Os principais indicadores utilizados na literatura são:

- **Fator de carga**: razão entre a demanda média durante um intervalo de tempo e a demanda máxima registrada no mesmo período. Quanto mais próxima de 1, mais racional ou consistente é o uso da energia.
- **Consumo mensal de energia elétrica por área útil**: razão entre o consumo mensal total da instalação e a área útil. É utilizado na comparação de instalações que possuam atividades semelhantes.
- **Consumo mensal em iluminação por área iluminada**: razão entre o consumo mensal do sistema de iluminação pela área útil iluminada. Utilizado em comparações com valores típicos obtidos para diversos tipos de instalações e atividades desenvolvidas.
- **Consumo mensal em ar condicionado por área climatizada**: razão entre o consumo mensal do sistema de ar condicionado pela área útil climatizada. Aplicado em análises comparativas com valores típicos de instalações semelhantes.
- **Potência instalada no sistema de iluminação por área iluminada**: razão entre a potência instalada no sistema de iluminação e a área útil iluminada. Sua análise permite estimar o potencial de conservação de energia elétrica no uso final de iluminação, por meio de comparações com valores característicos de outras tecnologias de iluminação.
- **Potência instalada em ar condicionado por área climatizada**: razão entre a potência instalada no sistema de ar condicionado e a área útil climatizada. Sua análise permite estimar o potencial de conservação de energia elétrica no uso final ar condicionado, por meio de comparações com valores característicos. Referenciado em watts por metro quadrado.

No caso específico de Instituições de Ensino, Alvarez sugere três indicadores específicos, que são variações do índice de uso de energia por pessoa PEUI.

Os indicadores específicos são (Alvarez, 1998):

- **Consumo mensal por docente equivalente.** O conceito de docente equivalente tem por objetivo uniformizar todos os diferentes regimes de trabalhos existentes (integral, parcial, etc.). É definido por Eq. 3-4:

$$DE = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot h_i}{40} \quad \text{Eq. 3-4}$$

onde:

$N_i$ : número de docentes no regime de trabalho  $i$ ;

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

$n$ : número de regimes de trabalho diferentes.

- **Consumo mensal por aluno equivalente**, definido pela Eq. 3-5:

$$AE = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot h_i}{40} \quad \text{Eq. 3-5}$$

onde:

$N_i$ : número de alunos no regime de estudo  $i$ ;

$h_i$ : número de horas do regime de estudo  $i$ ;

$n$ : número de regimes de estudo diferentes.

- **Consumo mensal por usuário equivalente**, definido pela Eq. 3-6:

$$UE = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot h_i}{40} \quad \text{Eq. 3-6}$$

onde:

$N_i$ : número de funcionários no regime de trabalho  $i$ ;

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

$n$ : número de regimes de trabalho diferentes.

### 3.5. Qualidade da Energia Elétrica

O Termo “Qualidade da Energia Elétrica” está relacionado com um conjunto de alterações, manifestadas por desvios de tensão, corrente, ou frequência, que resultem em falha ou operação inadequada de um equipamento elétrico. Os principais fenômenos, que comprometem a qualidade da energia elétrica, são classificados em:

- Transitórios impulsivos ou oscilatórios: fenômenos eletromagnéticos oriundos de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica. São classificados em: impulsivos, causados por descargas atmosféricas; e oscilatórios causados por chaveamentos.
- Variações de Tensão – de curta ou longa duração: quedas na tensão de suprimento, geralmente, causadas pela energização de grandes cargas que requerem altas correntes de partida, ou por falhas intermitentes nas conexões dos cabos de sistema. Dependendo do local da falha e das condições do sistema, o resultado pode ser uma queda de tensão temporária ("*sag*"), uma elevação de tensão ("*swell*"), ou mesmo uma interrupção completa do sistema elétrico.

- Desequilíbrios de Tensão: desvio, da média das correntes ou tensões trifásicas, dividido pela média das correntes ou tensões trifásicas, expressado em percentual. São causadas pela distribuição não perfeitamente equilibrada de cargas monofásicas, fazendo surgir no circuito tensões de seqüência negativa.
- Distorções de Forma de Onda: desvio, em regime permanente, da forma de onda puramente senoidal, na frequência fundamental, e é caracterizada principalmente pelo seu conteúdo espectral. Existem cinco tipos principais de distorções da forma de onda: harmônicos, interharmônicos, nível de corrente contínua, "notching" e ruídos.
- Oscilações de Tensão: variações sistemáticas dos valores eficazes da tensão de suprimento.
- Variações na Frequência do Sistema: desvios no valor da frequência fundamental.

Os programas de eficiência energética, freqüentemente, incentivam o uso de equipamentos que, apesar de possuírem baixo consumo energético, interferem na rede elétrica de maneira reduzir a qualidade da energia elétrica. A Tabela 3-9 confronta a perda de qualidade na energia e os benefícios proporcionados pelo uso de lâmpadas fluorescentes compactas, banco de capacitores e "dimmers" – equipamentos que controlam o fluxo luminoso de lâmpadas.

Ao analisar a Tabela 3-9, que contrapõe os benefícios e malefícios de equipamentos típicos de programas de eficiência energética, é possível ver que o principal distúrbio causado é a emissão harmônica, medida pelo indicador THD (Total Harmonic Distortion). As distorções harmônicas são deformações nas formas de onda de tensão e corrente, causadas por cargas com características não-lineares instaladas no sistema de energia. Dentre os problemas causados pela distorção harmônica estão:

operação incorreta de equipamentos de controle e proteção; aumento da corrente do neutro de transformadores; aumento das perdas em transformadores, motores, cabos e capacitores, entre outros; interferência em sistema de comunicação; redução do Fator de Potência; e, sobretensão, devido à circulação de correntes harmônicas.

**TABELA 3-9: Eficiência Energética versus Qualidade de Energia**

<b>Equipamento</b>	<b>Benefício - Eficiência Energética</b>	<b>Efeito - Qualidade de Energia</b>
Lâmpadas Fluorescentes	Economia de energia.	Gera harmônico; Reduz o fator de potência da instalação.
Banco de Capacitores	Melhoria do fator de potência	Gera transitório; Amplifica harmônicos.
Controle da Iluminação através de Dimmers	Melhoria do fator de carga	Reduz fator de potência; Gera harmônico; Melhora a tensão de regime permanente.

Fonte: (PROCEL, 2001)

A substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, mantendo o fluxo luminoso, reduz a potência consumida pelo sistema de iluminação. Entretanto, os dispositivos acionadores das lâmpadas fluorescentes injetam níveis substanciais de harmônicos na rede, reduzindo o fator de potência da instalação.

A instalação de bancos de capacitores é a forma mais utilizada para realizar a compensação de potência reativa. Esta instalação deve ser bem executada, analisando possíveis conseqüências na qualidade de energia. Os problemas de energia relacionados com o uso de bancos de capacitores são:

- Aumento do conteúdo harmônico presente no sistema, bem como seus malefícios sobre os diversos equipamentos;
- Estabelecimento de condições de ressonância com conseqüentes sobre tensões harmônicas;
- Queima prematura dos bancos de capacitores devido ao aquecimento das unidades capacitivas sob condições harmônicas.

### **3.6. Considerações Finais**

As técnicas de promoção da eficiência energética estudadas são baseadas na substituição tecnológica dos equipamentos consumidores de eletricidade existentes e na conscientização dos usuários. Entretanto, as campanhas de conscientização são incapazes de impedir que ocorram usos inadequados. Estas campanhas se mostram insuficientes e incapazes de garantir um uso eficiente de energia, principalmente em edificações públicas.

Além de serem limitadas no sentido de não poderem garantir que a energia será consumida de maneira inteligente, as técnicas de eficientização são voltadas para redução de custos com energia e não para a eficiência propriamente dita. Estas técnicas ainda carecem de plataformas que viabilizem um monitoramento facilitado do consumo energético e de metodologias integradas de gestão de insumos.

## **CAPÍTULO 4 PROCEDIMENTOS DE CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DE DEMANDAS DE EDIFICAÇÕES**

A caracterização de uma edificação envolve vários sistemas, e.g. elétrico, hidráulico, condicionamento de ar, além do tipo de uso e taxas de ocupação. Uma análise preliminar das instalações físicas da edificação, incluindo levantamento de cargas e estudo do consumo a partir das contas de energia, permite uma compreensão geral do uso típico dos ambientes e do consumo mensal relacionado. Medições do consumo em intervalos menores, por meio de um analisador de energia, permitem conhecer o comportamento do perfil de consumo diário e semanal da edificação, além de permitir identificar possíveis padrões de comportamento.

A proposição de uma metodologia para caracterizar o padrão de consumo da edificação requer o estabelecimento de um modelo que represente o comportamento dos diversos sistemas e de um procedimento para análise e projeto. O modelo para sistemas domóticos requer uma estrutura matemática com flexibilidade suficiente para acomodar os comportamentos não lineares, inerentes a estes sistemas, mas, ao mesmo tempo, com um número reduzido de parâmetros, se comparado com o volume de dados necessários para estimá-los. O modelo deve ser capaz de representar, por exemplo, o comportamento de consumo energético anual de uma edificação por seu comportamento cíclico semanal, o que representa uma compactação de dados de 50 semanas para uma.

#### **4.1. Proposta Metodológica**

A metodologia proposta neste trabalho aborda o levantamento e a análise de dados de interesse, a proposição de um modelo matemático que represente o perfil de consumo de uma instalação – com o uso de técnicas de identificação de sistemas – e na escolha de uma técnica para o monitoramento do consumo de energia da instalação.

Os procedimentos para a caracterização e modelagem da demanda de edificações são divididos em duas etapas, uma de identificação e outra de proposição. A primeira etapa, Etapa 1, consiste em identificar:

- Os equipamentos e sistemas instalados e seu estado de manutenção;
- Comportamento característico dos usuários da instalação;
- Distribuição da demanda e do consumo de energia por sistema de uso final;
- Índices de uso de energia de cada sistema de uso final;
- Variáveis que influenciam o consumo da instalação;

A segunda etapa, Etapa 2, consiste em propor:

- Modelo para representar o perfil de consumo da instalação;
- Técnica para o monitoramento contínuo do consumo;
- Substituição dos equipamentos ineficientes;
- Sistema de automação dos principais sistemas consumidores de energia elétrica da instalação para prover o uso racional.

#### **4.2. Aplicação da Proposta Metodológica no Estudo de Caso: a edificação PCA**

A Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG – foi fundada em 1927 como Universidade de Minas Gerais (o nome atual só foi adotado em 1965) pela união de quatro instituições de ensino superior, organizadas sob a forma de Faculdades Livres, então existentes na cidade de Belo Horizonte: Direito, Engenharia, Medicina, Odontologia e Farmácia (Dias, 1997). Em seus primórdios, a UMG não foi uma instituição pública, embora contasse com o apoio financeiro do Governo do Estado de Minas Gerais, apoio este que, em grande parte era destinado a subsidiar as mensalidades dos estudantes carentes, uma vez que o ensino não era gratuito. A UMG era uma instituição de corte essencialmente profissional.

A criação da UMG significou a retomada de ideais expressos 150 anos antes pelos Inconfidentes. Foi, certamente, também inspirada pela fundação da primeira Universidade no país, a Universidade do Brasil, na então capital do país, a cidade do Rio de Janeiro. Tal fato ocorreu em 1922 e foi motivado pela necessidade de conceder o título de Doutor *Honoris Causa* ao Rei Alberto da Bélgica, que visitou o Brasil durante as solenidades de comemoração do centenário da independência.

Durante as quatro primeiras décadas de seu funcionamento, a UMG não passou de uma estrutura formal, para abrigar as faculdades que a integravam, cujo número cresceu, na segunda metade dos anos 40 e no início dos anos 60 (Dias, 1997). Na realidade, pode-se dizer que até o final dos anos 40 do século passado, a UMG era apenas uma federação de escolas isoladas, que, na década de 50 e primeira metade dos anos 60, começou a se organizar como Universidade. Em 1947, ocorreu a incorporação da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, primeiro passo importante para que a

Instituição fosse, de fato, se formatando como uma Universidade (Dias, 1997). Tal fato, seguido, no mesmo ano, pela incorporação da Faculdade de Ciências Econômicas, trouxe para o cenário da UMG a preocupação com a realização de estudos visando à obtenção de conhecimentos científicos e informações não necessariamente vinculadas à formação de um determinado profissional. Ou seja, significou agregar a atividade de pesquisa aos fazeres da Universidade. A Faculdade de Filosofia integrava várias e diversas áreas do conhecimento, podendo-se dizer que ela própria constituía uma Universidade: Filosofia, História, Geografia, Sociologia, Psicologia, Jornalismo, Ciências Biológicas, Física, Geologia, Letras, Pedagogia, Matemática e Química.

Em 1949, ocorre a federalização da UMG, mantendo-se ainda seu antigo nome. Trata-se de um evento definidor da história da Instituição. O Governo Federal torna-se o responsável pela manutenção da Universidade e o ensino passa a ser gratuito. Anterior à federalização foi o ideal da construção do *campus* universitário na região da Pampulha, alterando-se o planejamento original de fixar-se a UMG no bairro de Santo Agostinho. O sonho começa com a incorporação, ao patrimônio da UMG, de uma área de aproximadamente 3,4 milhões de metros quadrados, na região da Pampulha, em Belo Horizonte. Entre esse fato e o início da construção de uma cidade universitária, entretanto, transcorrem-se cerca de duas décadas. Talvez seja simbólico, dada a profunda transformação que a UMG sofreria nos anos 60, que o prédio da Reitoria no novo *Campus* tenha se inaugurado no início dessa década.

Em fevereiro de 1964, com um claro projeto de modernização da UMG, inspirado nos ideais de Darcy Ribeiro, o Professor Aluizio Pimenta assume a Reitoria da Universidade (Resende & Neves, 1998). Este reitor antecipa-se a medidas que viriam a ser tomadas pela Reforma Universitária de 1968 e cria os Institutos Centrais, de Física,

Matemática e Química, que, rapidamente, são fundidos no Instituto de Ciências Exatas — ICEx. Adota, ainda, medidas que incentivam a institucionalização da Pesquisa e da Pós-Graduação na Universidade. Em 1965, a Instituição tem seu nome, enfim, alterado, incorporando o vocábulo federal, que deixa nítida a dependência administrativa a que se vinculava desde 1949. Começa, então, a ganhar contornos nítidos a atual UFMG.

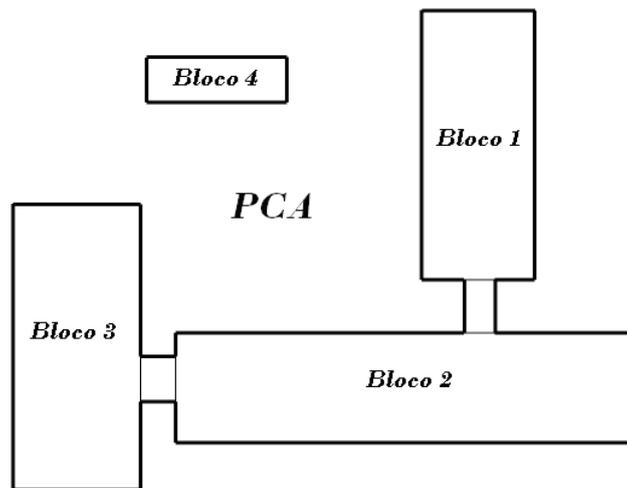
Para abrigar o Instituto de Ciências Exatas, foi construído o Pavilhão Central de Aulas — PCA, edificação foco do presente trabalho. A história do PCA é conturbada. Houve problemas no dimensionamento de sua estrutura, que acabaram redundando em ameaças graves de desabamento, tendo ocorrido mesmo a queda de uma viga, em 1968. Medidas paliativas foram sendo adotadas, o que permitiu que, durante mais de 20 anos, suas instalações abrigassem atividades didáticas, teóricas e práticas, ministradas nos campos da Computação, da Estatística, da Física, da Matemática e da Química, além de salas de professores e dependências administrativas de boa parte desses departamentos.

As instalações elétricas do PCA também apresentavam fragilidades evidentes, que levaram a seguidas ameaças de incêndios. Em 1987, essas ameaças tornaram-se realidade: o bloco do prédio que abrigava laboratórios de ensino de química foi completamente destruído. Em consequência, esse bloco ficou desativado durante anos. Na década de 90, com a construção, em frente ao PCA, das novas instalações do ICEx, transferem-se para essa nova edificação todas as dependências desse Instituto.

As instalações do edifício PCA estão atualmente incorporadas as dependências da Escola de Engenharia e abrigam, hoje, os departamentos de: Engenharia Nuclear, Elétrica, Eletrônica e Produção.

#### 4.2.1. Análise das Instalações da Edificação

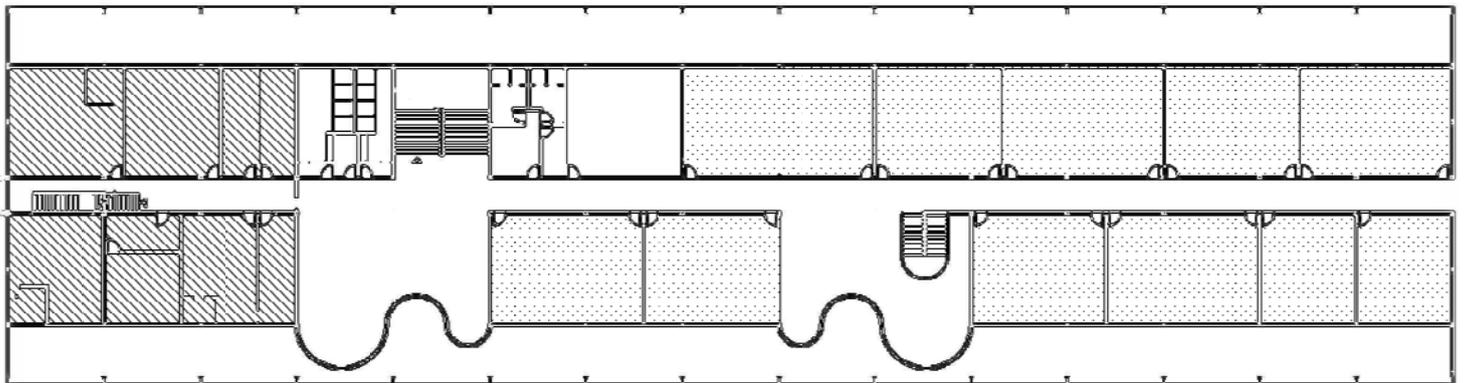
A edificação PCA abriga, em 8.830 m<sup>2</sup> de área de ocupação, 33 salas de aula, 55 salas de professores e 35 laboratórios. A edificação é composta por quatro blocos conforme ilustra a Figura 4-1.



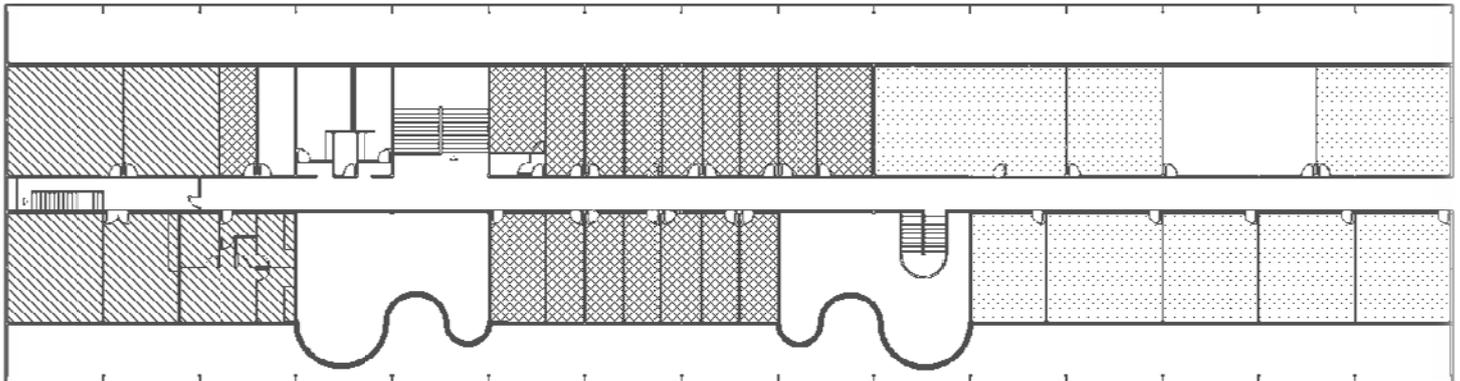
**Figura 4-1: Disposição dos Blocos do PCA**

O Bloco 1 (Figura 4-2), que estava desativado desde 1987, foi completamente recuperado e re-inaugurado em 2001. Em seu primeiro andar estão localizadas salas de aula e laboratórios; no segundo existem salas de professores e de bolsistas, laboratórios e áreas administrativas do departamento de Engenharia Nuclear. Este bloco apresenta equipamentos mais eficientes em termos de consumo energético do que os dos demais prédios.

BLOCO 1 - PRIMEIRO PAVIMENTO



BLOCO 2 SEGUNDO PAVIMENTO

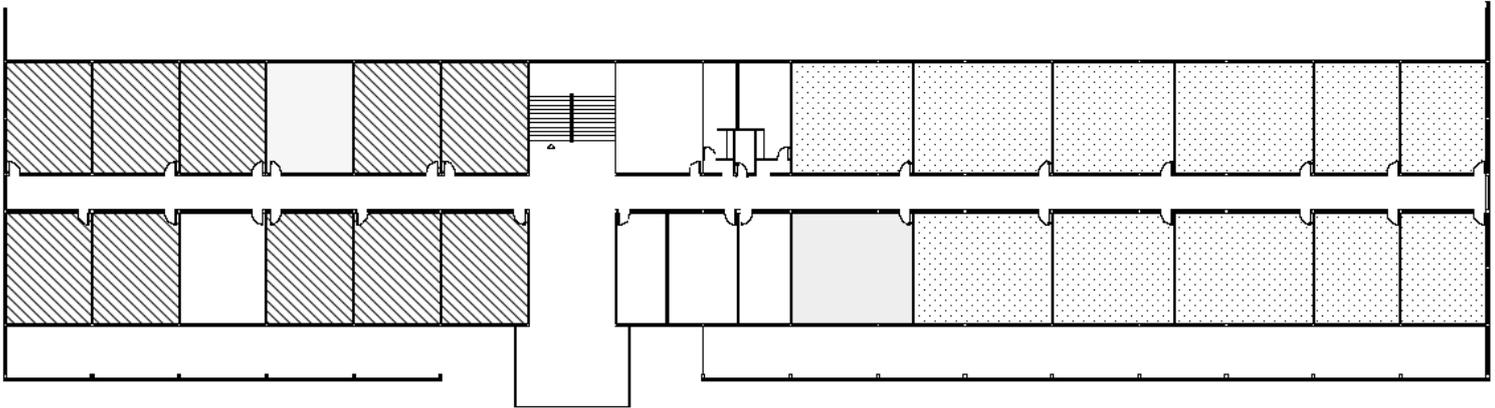


AULA    
  LABORATÓRIOS    
  PROFESSORES / ADMINISTRATIVOS

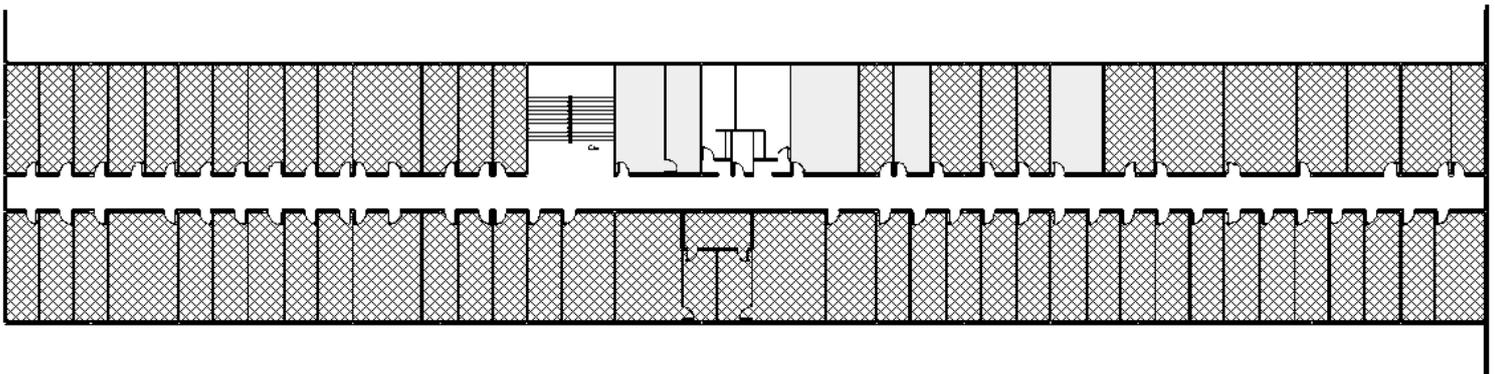
**Figura 4-2: Layout do Bloco 1**

Os ambientes existentes no Bloco 2 (Figura 4-3) são: salas de aula, de professores e de bolsistas, secretarias dos colegiados dos cursos de Elétrica, Controle e Automação e Produção e os laboratórios de Alta Tensão; Eletrônica de Potência; Controle de Processos e Instrumentação; Eletrônica Geral; Automação; Acionamentos Elétricos; Aterramentos Elétricos; Medidas Elétricas; Circuitos Elétricos.

BLOCO 2 - PRIMEIRO PAVIMENTO



BLOCO 2 - SEGUNDO PAVIMENTO



AULA     
  LABORATÓRIOS     
  PROFESSORES / ADMINISTRATIVOS

**Figura 4-3: Layout do Bloco 2**

O Bloco 3 (Figura 4-4) abriga salas de aula e de uso de computadores, áreas administrativas e uma biblioteca. Enquanto que, o quarto bloco é usado como espaço de convivência, ali funcionando diretórios acadêmicos e grêmios, e como ambiente de prestação de serviços de terceiros aos usuários – cantina e empresas de xérox.



#### 4.2.2. Análise das Cargas Típicas Existentes na Edificação

O levantamento de dados foi realizado, com o auxílio de um eletricitista cedido pelo Departamento Físico de Obras da UFMG, durante o primeiro semestre de 2005, nos blocos com fins didáticos (1, 2 e 3) da edificação PCA. O quarto bloco, apesar de registrar um consumo expressivo de energia, não teve suas instalações elétricas aferidas e seu consumo energético será discutido de acordo com as faturas de energia, na seção seguinte.

Os principais dados aferidos no levantamento foram: características físicas da edificação; quantidade e descrição dos principais equipamentos consumidores de energia elétrica encontrados; estado de conservação de circuitos e equipamentos; e nível de iluminação de diversos ambientes. Devido à dificuldade de realizar um levantamento extremamente minucioso, alguns dados foram obtidos a partir de amostras, pelo uso de ambientes típicos, ou por informações fornecidas pelos usuários. Este é o caso, por exemplo, da caracterização dos tipos de reatores – eletromagnéticos, eletrônicos, fator de potência característico – e de ambientes, aos quais não se teve acesso.

Os diversos ambientes existentes no edifício PCA foram agrupados como Setores Administrativos (a); Salas de Aula (b); Salas de Micros (c); Salas de Professores e de Bolsistas (d); Laboratórios (e); Biblioteca (f); Cantina (g); e Outras Áreas como, banheiros, almoxarifados, oficinas e copas e de circulação (h).

A Tabela 4-1 mostra a participação de cada ambiente na área útil do PCA e identifica quais os tipos de cargas existentes em cada um destes espaços. Com o intuito de facilitar a análise sistemática do edifício, as cargas encontradas foram divididas em

quatro grandes grupos: Iluminação (1); Climatização (2) – composto por aparelhos de condicionamento de ar e ventiladores; Equipamentos de Informática (3) – composto por microcomputadores e impressoras; e Outros (4).

**TABELA 4-1: Uso do Espaço nos Blocos 1, 2 e 3 do PCA.**

Ambiente	(%)*	Cargas Presentes			
		(1)	(2)	(3)	(4)
(a) – Setores Administrativos	10,9	x	x	x	
(b) – Salas de Aula	23,0	x	x		
(c) – Salas de Computadores	6,4	x	x	x	
(d) – Salas de Professores	10,5	x	x	x	
(e) – Laboratórios	15,1	x	x	x	x
(f) – Biblioteca	3,9	x	x	x	
(g) – Cantina	5,0	x			x
(h) – Outros	25,2	x			x

\* Percentagem sob a área total.

Os ambientes dos grupos (a), (c), (d) e (f) possuem o mesmo tipo de cargas principais. Nas salas de aula dos blocos 1 e 2 existem, além da iluminação, aparelhos ventiladores. As cargas existentes no terceiro bloco, que representam aproximadamente 12% da área ocupada por salas de aula, possuem aparelhos de ar-condicionado do tipo janela. Apesar de existirem cargas específicas nas copas e oficinas, como máquinas de café, refrigeradores e microondas, elas não foram tratadas separadamente, por não apresentarem um consumo significativo.

A partir da carga aferida durante o levantamento, foi possível calcular a potência instalada em cada um dos blocos: 112,4 kW (Bloco 1); 182,1 kW (Bloco 2) e 143,6 kW (Bloco 3). Os valores encontrados de potência instalada por sistema de uso

final, discriminados na Tabela 4-2, identificam a participação de cada sistema na carga total da edificação.

Os blocos 1 e 2 possuem cerca de 30 e 40%, respectivamente, de sua carga instalada nos sistema de iluminação e climatização. Já no terceiro bloco, estes sistemas representam, respectivamente, cerca de 20 e 50%. A alta contribuição do sistema de climatização de ambientes, na carga total instalada no terceiro bloco, é explicada pelo fato de que grande parte de sua área construída ser composta por salas reservadas ao uso de microcomputadores – ambientes que possuem carga de climatização tipicamente elevada. A significância deste valor pode ser vislumbrada ao analisar a relação entre a potência deste sistema e a área climatizada de cada bloco: 16,1 W/m<sup>2</sup> (Bloco 1); 23,1W/m<sup>2</sup> (Bloco 2) e 45,9 W/m<sup>2</sup> (Bloco 3).

**TABELA 4-2: Potência Instalada nos Blocos 1, 2 e 3 do PCA**

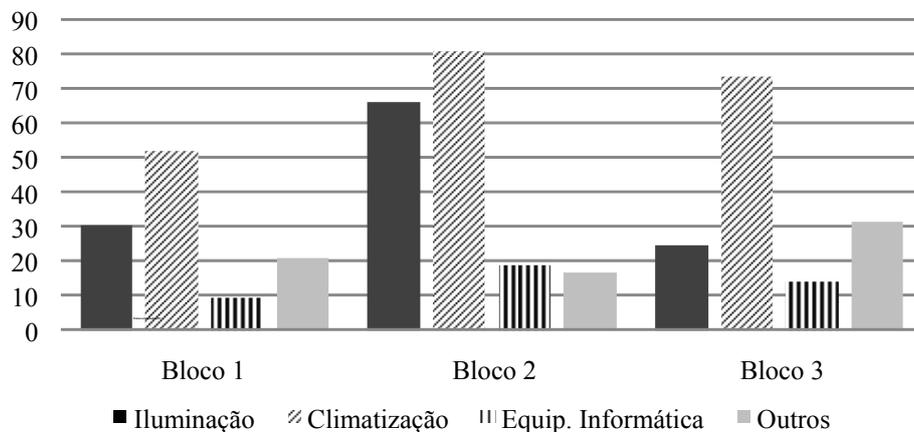
Uso Final	Potência (kW)		
	Bloco 1	Blocos 2	Bloco 3
Iluminação	30,6	65,7	24,6
Climatização	51,6	80,8	73,5
Equip. Informática	9,4	18,7	14,31
Outros	20,8	16,9	31,2
Total	112,4	182,1	143,61

A participação de cada um destes sistemas na potência total instalada dos blocos – Figura 4-5 – ilustra a existência de cenários distintos em cada uma destas edificações. Os valores da potência total instalada para iluminação e climatização dos blocos 1 e 2 são, respectivamente, 120,9 kW (27,6%) e 205,9 kW (47%). Os

equipamentos de informática somam juntos 42,4 kW (9,7%) e os outros equipamentos 74,2 kW (15,7%).

O Bloco 1 apresenta valores de Potência Instalada em seu sistema de iluminação bem inferior ao apresentado pelo bloco 2, a despeito de ambos possuírem áreas similares (3.200 m<sup>2</sup> para o Bloco 1 e 3.500 m<sup>2</sup> para o Bloco 2). Este fato evidencia a existência de equipamentos mais eficientes no Bloco 1 e sugere a possibilidade de economia no consumo energético, com a substituição dos equipamentos existentes no outro bloco. Entretanto, a mesma explicação não pode ser dada para o sistema de climatização, visto que não existe uma diferença tão significativa no consumo dos aparelhos de ar-condicionado de ambos os prédios. A menor carga instalada, no sistema de climatização, deve-se à existência de um menor número de salas de professores – na edificação PCA tais ambientes são equipados com aparelhos de ar-condicionado – no Bloco 1.

Já o Bloco 3, apesar de possuir uma potência instalada no sistema de climatização inferior à do Bloco 2, possui menos da metade da área útil deste segundo bloco. Fato que explica a expressiva participação da potência deste sistema na potência total instalada no terceiro bloco. À primeira vista essa elevada participação (Figura 4-5) aponta a existência de um sistema de climatização bem mais ineficiente nesta edificação. Entretanto, ao analisar os tipos de ambientes existentes, encontram-se ambientes com cargas térmicas bem superiores àquelas verificada nos outros dois blocos. Visto que neste bloco existem salas de uso comum de microcomputadores, em que podem trabalhar, simultaneamente, cerca de trinta pessoas, enquanto que, nos demais blocos, a grande maioria dos ambientes acomoda, usualmente, apenas duas pessoas e microcomputadores de uso restrito.



**Figura 4-5: Tipos de Carga Instalada por Bloco (%)**

A diversidade nos tipos de ambientes existentes nos três blocos faz com que seja necessário analisar, não só a potência instalada nos prédios, mas, o modo como os equipamentos existentes são utilizados em cada ambiente típico. Portanto, é necessário analisar, também, dados de consumo desagregados por uso final. Estes dados foram calculados utilizando os valores de potência instalada, corrigidos pelo Fator de Demanda para instalações escolares, conforme especificado pela norma ND 5.1 da CEMIG e os horários típicos de consumo fornecidos pelos usuários do PCA. Os valores calculados são apresentados na Tabela 4-3.

A participação dos sistemas de iluminação (51%, 56% e 36% para os blocos 1, 2 e 3 respectivamente) e climatização (30%, 23% e 43%) encontrada no PCA, está de acordo com os valores típicos de edificações: 44% e 20% respectivamente (Lamberts, 2000). Um consumo mais expressivo do sistema de climatização era previsto, devido ao grande número de aparelhos de ar-condicionado de janela.

**TABELA 4-3: Consumo Desagregado por Sistema de Uso Final**

Uso Final	Consumo Mensal (kWh-mês)		
	Bloco 1	Blocos 2	Bloco 3
Iluminação	4.228,99	7.746,70	2.913,23
Climatização	2.453,34	3.225,06	3.473,04
Equip. Informática	126,34	1.148,82	193,20
Outros	1.438,57	1.765,88	1.419,85
Total	8.247,23	13.886,46	7.999,32

### **Sistema de Iluminação**

Os equipamentos existentes no sistema de iluminação são – nos blocos 2 e 3 – lâmpadas fluorescentes tubulares de 20 e 40 W, reatores eletromagnéticos e luminárias comuns. No bloco 1 existem lâmpadas fluorescentes tubulares de 32 W, reatores eletromagnéticos de Alto Fator de Potência e luminárias reflexivas.

A opção por reatores eletromagnéticos foi feita pelo departamento de manutenção da UFMG, devido ao alto número de defeitos nos reatores eletrônicos utilizados nas instalações da Universidade. Os motivos que têm causado um número de defeitos elevado nos reatores eletrônicos são diversos, mas é notável o fato de que existe uma grande variedade de fabricantes e tipos de reatores eletrônicos no mercado e as aquisições por licitação, infelizmente, ainda privilegiam apenas o custo inicial do produto. Um estudo mais detalhado das causas de defeitos dos reatores ainda se faz necessário não apenas para elucidar as prováveis causas raízes de defeitos, mas também para delinear com maior objetividade os custos de aquisição, operação e manutenção numa instituição pública.

A potência instalada no sistema de iluminação por área iluminada é mostrada na Tabela 4-4. Apesar de o Bloco 1 possuir lâmpadas e luminárias eficientes, o valor de seus indicadores de uso de energia, está acima do intervalo passível de ser alcançado com a utilização de tecnologias energeticamente eficientes: entre 8 e 10 W/m<sup>2</sup>. Isto é explicado por serem utilizados reatores eletromagnéticos, conforme descrito no parágrafo anterior.

**TABELA 4-4: Indicadores de Uso de Energia no Sistema de Iluminação**

Ambiente	Potência por Área (W/m <sup>2</sup> )		
	BLOCO 1	BLOCOS 2	BLOCO 3
Setores Administrativos	11,78	18,59	15,64
Salas de Aula	12,11	13,81	26,11
Salas de Computadores	12,54	15,50	12,99
Salas de Professores	10,68	22,91	-
Laboratórios	12,28	31,48	-
Biblioteca	-	-	18,39
Cantina	4,77	9,63	9,34
Outros	9,84	18,89	15,31

Mesmo com a opção por reatores eletromagnéticos, ao analisar o valor médio de potência por área iluminada nos blocos 1, 2 e 3 os valores encontrados são, respectivamente, 10,6 W/m<sup>2</sup>; 18,7 W/m<sup>2</sup>; e 16,3W/m<sup>2</sup>, evidenciando desperdício de energia significativo nos blocos 2 e 3.

### **Sistema de Climatização**

O sistema de climatização é composto por aparelhos de ar-condicionado tipo janela, com capacidades térmicas variando de 7.500 a 30.000 BTU, e por ventiladores de teto. A maioria dos aparelhos de ar condicionado existente é antiga, e não há um plano efetivo de manutenção preventiva destes equipamentos. Entretanto, as cargas estão, segundo o plano de alocação de equipamentos por salas, em geral, bem dimensionadas ao ambiente.

A Tabela 4-5 mostra um resumo dos aparelhos de ar condicionado existentes, suas potências nominais e consumo médio. A carga instalada em equipamentos de condicionamento do ar é de 187,3 kW, o que corresponde a praticamente 91% da carga total do sistema de climatização.

**TABELA 4-5: Aparelhos de Ar condicionado**

<b>CAPACIDADE</b>	<b>QUANTIDADE</b>	<b>POTÊNCIA (kW)</b>
7.500 BTU	61	61,00
10.000 BTU	10	13,50
12.000 BTU	17	24,65
15.000 BTU	1	2,00
18.000 BTU	1	2,10
21.000 BTU	20	49,00
30.000 BTU	10	35,00

Na Tabela 4-6 apresenta-se a potência instalada para climatização por área climatizada. O valor médio de potência por área climatizada nos blocos 1, 2 e 3 é respectivamente 33,9 W/m<sup>2</sup>; 40,8 W/m<sup>2</sup>; e 57,6 W/m<sup>2</sup>.

**TABELA 4-6: Indicadores de Uso de Energia no Sistema de Climatização**

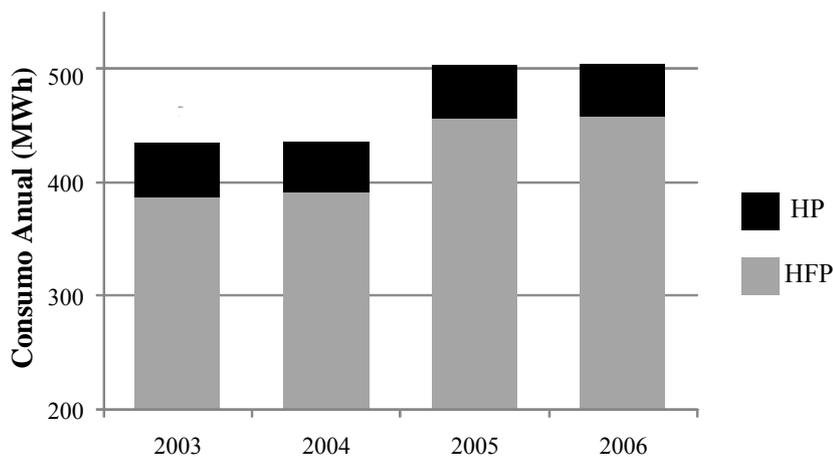
Ambiente	Potência por Área (W/m <sup>2</sup> )		
	BLOCO 1	BLOCOS 2	BLOCO 3
Setores Administrativos	41,80	47,56	59,69
Salas de Aula	9,77	11,31	51,01
Salas de Computadores	-	66,09	90,01
Salas de Professores	76,88	55,86	-
Laboratórios	24,76	-	-
Biblioteca	-	-	41,16
Cantina	-	-	-
Outros	16,56	23,25	45,92

#### 4.2.3. Análise das Contas de Energia Elétrica

Os blocos são alimentados por duas subestações aéreas, uma de 300 kVA – que distribui energia elétrica aos prédios 1 e 2 - e outra de 150 kVA – responsável pelos Blocos 3 e 4. As contas de energia são mensuradas de acordo com a disposição dos transformadores. Portanto, são faturadas duas contas mensalmente, uma para os prédios

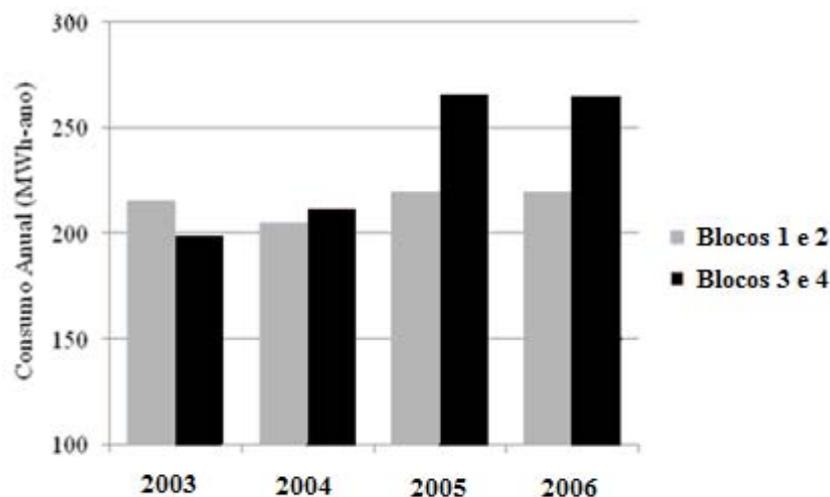
1 e 2 e outra para os prédios 3 e 4. A edificação PCA consumiu, em 2006, pouco mais de 455 mil kWh no Horário Fora de Ponta (HFP) e pouco mais de 45 mil kWh no Horário de Ponta (HP).

A evolução histórica do consumo energético da edificação PCA durante os anos de 2003 a 2006 (Figura 4-6) mostra que o consumo dos prédios aumentou significativamente do ano de 2004 para o de 2005.



**Figura 4-6: Consumo Energético Anual do PCA**

Ao analisar o consumo por blocos, verifica-se que este aumento ocorreu principalmente no consumo dos blocos 3 e 4 (Figura 4-7), exatamente no período que a cantina, existente no bloco 4, foi reaberta. A cantina, desativada desde antes do ano de 2003, foi reaberta no início do ano de 2005. Por este motivo, a reabertura da cantina foi considerada o fator determinante para o aumento de consumo, observado em 2005/2006, quando comparado ao período 2003/2004. O consumo médio mensal estimado da cantina foi, então, considerado como sendo de 5.000 kWh.

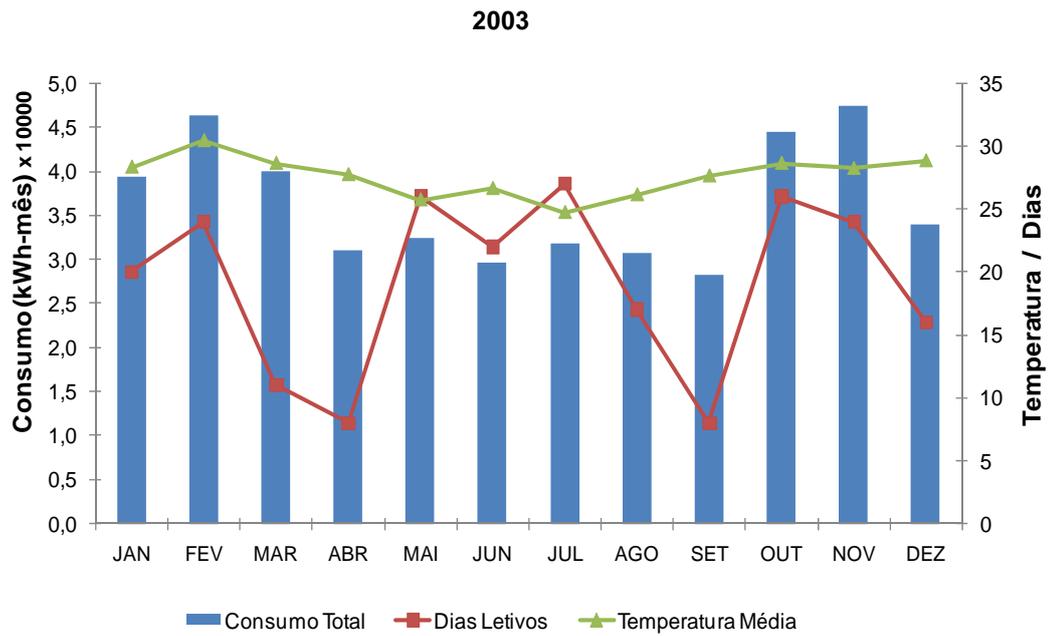


**Figura 4-7: Consumo Energético Anual por Bloco**

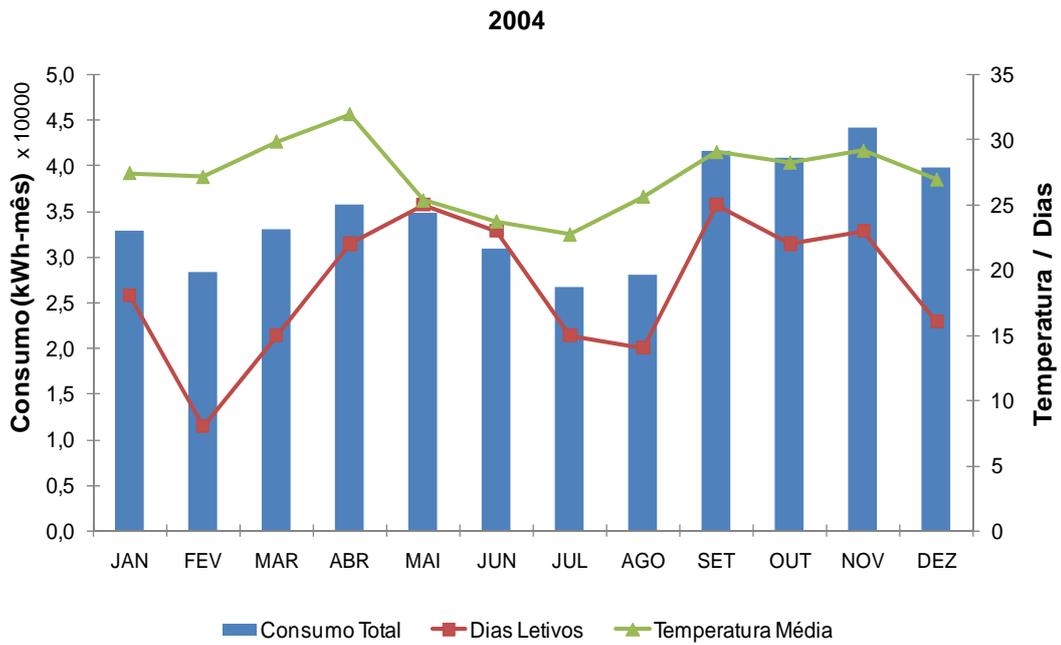
Um primeiro indicativo – o fator de carga – do modo com que a energia é consumida no PCA foi extraído das contas de energia. Este fator representa a razão entre a demanda média durante um intervalo de tempo e a demanda máxima registrada no mesmo período. Quanto mais próxima de 1, mais racional ou consistente é o uso da energia. Considerando o fator de carga ao analisar as contas de consumo energético encontra-se um primeiro indicativo da falta de racionalidade do uso de energia nas instalações, pois são obtidos baixos fatores de carga nos prédios, i.e. valores em torno de 0,25 nos blocos 1 e 2 e 0,33 no bloco 3.

O perfil de consumo dos edifícios durante os anos mostra que, em geral, a variação acompanha os períodos letivos e não letivos da UFMG. O período de férias, ou período não letivo (PNL), compreende tipicamente: metade do mês de Dezembro e os meses de Janeiro, Fevereiro e Julho. O período letivo (PL) compreende os meses de Março a Junho e de Agosto a meados de Dezembro. Nos anos de 2003 (Figura 4-8) e 2004 (Figura 4-9) a Universidade repôs aulas nos meses tipicamente de férias – após um longo período de greve – e mal se pode identificar os meses em que houve recessos.

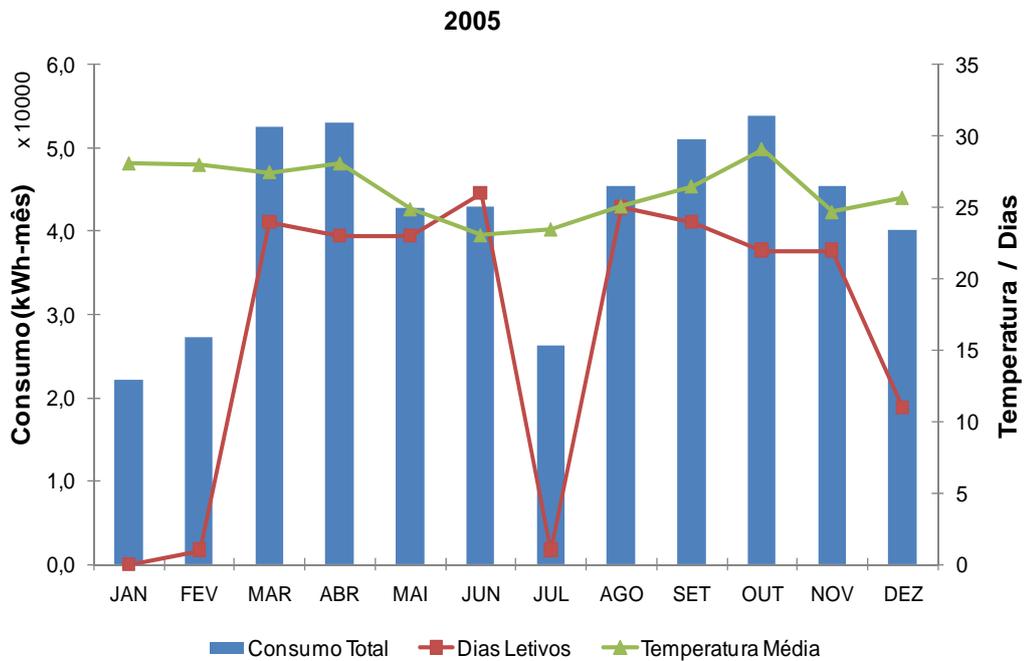
Entretanto, nos anos de 2005 (Figura 4-10) e 2006 (Figura 4-11) os períodos: letivo e não letivo estavam regularizados e são visíveis. A variação do consumo entre os períodos está relacionada à temperatura e ao número de dias letivos, conforme mostram as figuras 4.9 a 4.12.



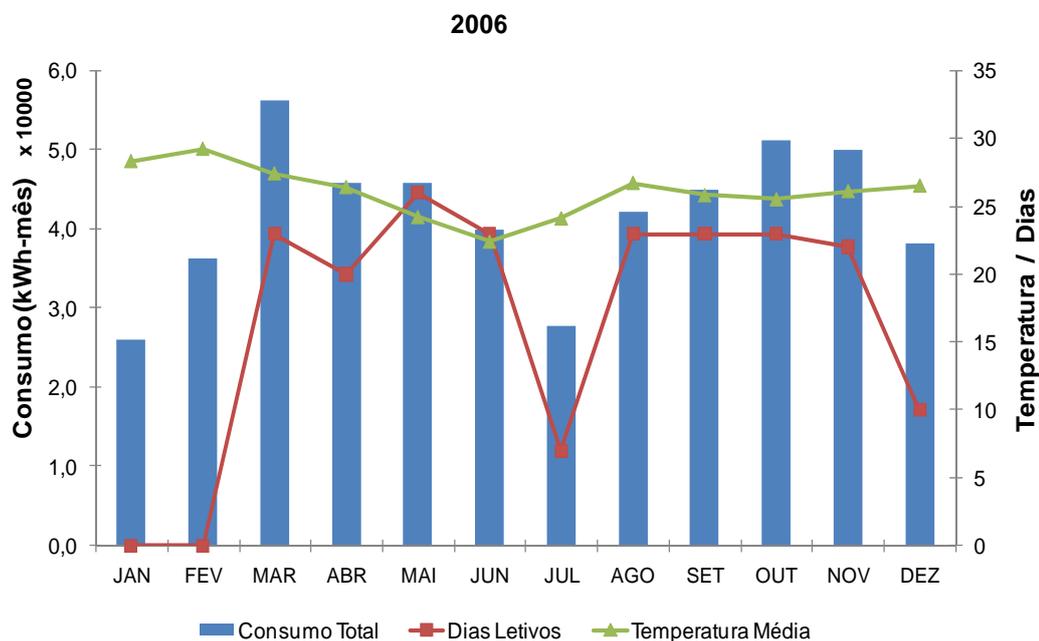
**Figura 4-8: Consumo Mensal versus Número de Dias Letivos e Temperatura Média Mensal (2003)**



**Figura 4-9: Consumo Mensal versus Número de Dias Letivos e Temperatura Média Mensal (2004)**



**Figura 4-10: Consumo Mensal versus Número de Dias Letivos e Temperatura Média Mensal (2005)**



**Figura 4-11: Consumo Mensal versus Número de Dias Letivos e Temperatura Média Mensal (2006)**

Para averiguar o grau de relação entre o consumo e a temperatura média nos meses letivos, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ). Este coeficiente é capaz de medir o grau de relação entre duas variáveis. O índice varia entre -1 e 1. O valor -1 representa uma perfeita *correlação negativa* e o valor 1 representa uma perfeita *correlação positiva*. O valor 0 (zero) representa que os dados não estão correlacionados. O coeficiente de correlação de Pearson pode ser calculado pela Eq. 4-1.

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \cdot \sum(y - \bar{y})^2}} \quad \text{Eq. 4-1}$$

**TABELA 4-7: Correlação entre o Consumo e a Temperatura Média Mensal**

ANO	kWh - mês x Temperatura Média	
	BLOCO 1 E 2	BLOCOS 3 E 4
2003	0,7343	0,7458
2004	0,6329	0,5453
2005	0,8285	0,7954
2006	0,5704	0,5533

Como observado nas figuras 4.9 a 4.12, a relação entre o consumo e a temperatura ocorre predominantemente durante os períodos letivos. A correlação calculada considera somente os meses com um número de dias letivos superior a dez, para os anos de 2003 e 2004, e os períodos letivos, típicos nos anos de 2005 e 2006. Os valores dos índices de correlação calculados comprovam que o aumento do consumo está relacionado com o aumento de temperatura, conforme mostra a Tabela 4-7.

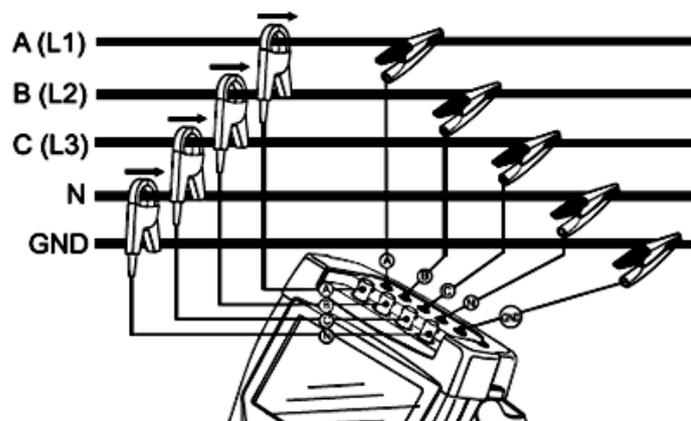
#### 4.2.4. Dados de Medições

Nesta seção são analisados os dados de medição coletados através de um analisador trifásico de energia instalado no Quadro Geral de Baixa Tensão do Bloco 1 da edificação PCA.

#### 4.2.4.1. Analisador de Qualidade de Energia

A medição direta dos dados de corrente, tensão e potência ativa, reativa e aparente foi realizada por um equipamento analisador de qualidade de energia trifásico, O Analisador Trifásico de Qualidade de Energia utilizado, um equipamento da FLUKE, modelo 434, permite que seja feita uma análise dinâmica do sistema, levando em consideração as 3 fases, neutro e terra de maneira simultânea. Sua conexão ao circuito é realizada por meio de 4 entradas BNC, para pinças de corrente, e 5 entradas do tipo banana, para medições de tensão. A Figura 4-12 mostra o esquema de ligação do FLUKE 434.

O analisador de qualidade de energia apresenta oito modos de medição distintos, sendo eles tensão, corrente, frequência; picos e reduções de tensão e corrente; harmônicos; potência ativa, reativa e aparente, fator de potência e energia total consumida; oscilação; desequilíbrio de tensão e de corrente; transientes; corrente de irrupção.



**Figura 4-12: Esquema de Ligação do FLUKE 434**

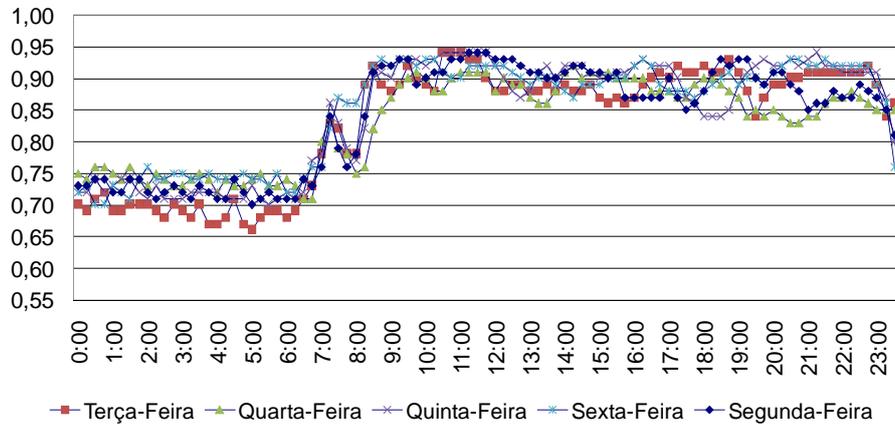
#### 4.2.4.2. Análise dos Dados Coletados

Foram coletados, pelo equipamento FLUKE 434, durante o período de 27/02/2007 a 27/04/2007, dados de: potência aparente, ativa e reativa; fator de potência; tensão e corrente; coletados com um intervalo de amostragem de uma hora. O consumo total registrado no período foi de 10.827 kWh e o FP médio encontrado 0,88.

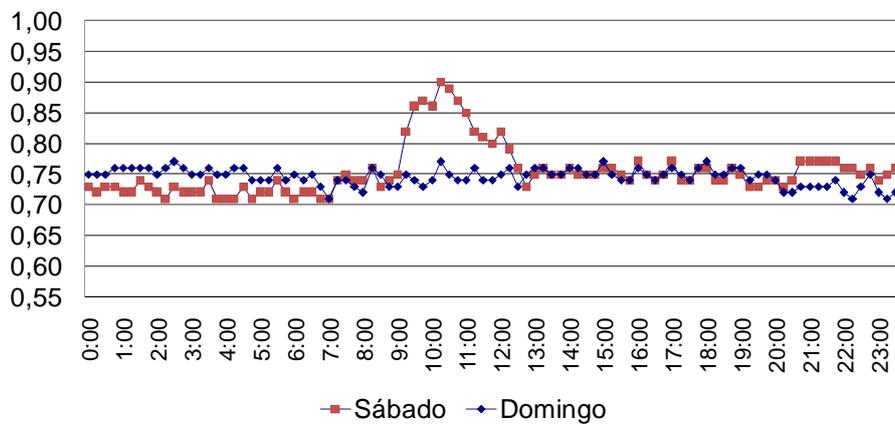
Séries históricas de dados de consumo energético possuem um elevado índice de aleatoriedade, devido à influência de fatores metrológicos, sazonais e comportamentais, entre outros. Portanto, a decomposição da série no seu respectivo termo de efeito sazonal é frequentemente necessária. Ao analisar os dados medidos pelo analisador de energia, observou-se que o fator cíclico a ser considerado é dependente da análise desejada. Utilizou-se decomposição em dias de semana e final de semana, para a análise do FP e decomposição semanal, para análise de potência / consumo energético.

Os valores medidos de FP médio horário, durante a primeira semana de medição, são apresentados na Figura 4-13, para os dias de semana; e na Figura 4-14 para final de semana. Nos dias de semana, o FP aumenta a partir das 07:00 horas, à medida em que as cargas são inseridas no sistema. No período de 09:00 às 22:30 horas, o valor médio do FP fica em torno de 0,9 – apresentando um desvio padrão de  $\pm 0,02$  de 09:00 às 17:00 horas e  $\pm 0,03$  de 17:00 às 22:30 horas. Nos períodos em que o transformador trabalha a vazio – durante a madrugada dos dias de semana e durante os finais de semana – a instalação apresenta FP entre 0,70 e 0,75. O baixo FP encontrado indica a necessidade da inserção de um banco de capacitores para a correção do fator de potência da instalação nestes períodos.

A elevação do FP registrada no final de semana, Figura 4-14, é explicada pela existência de algumas aulas no sábado pela manhã.



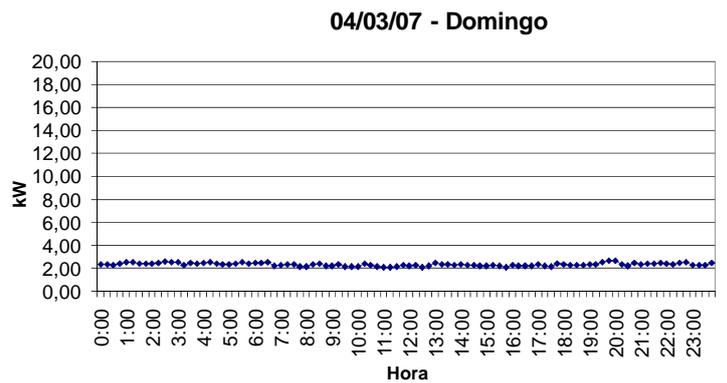
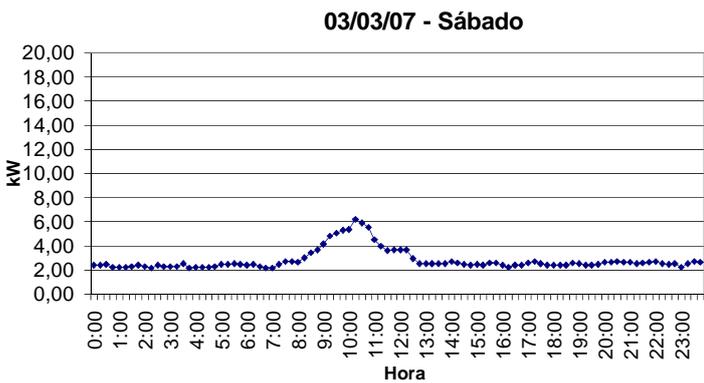
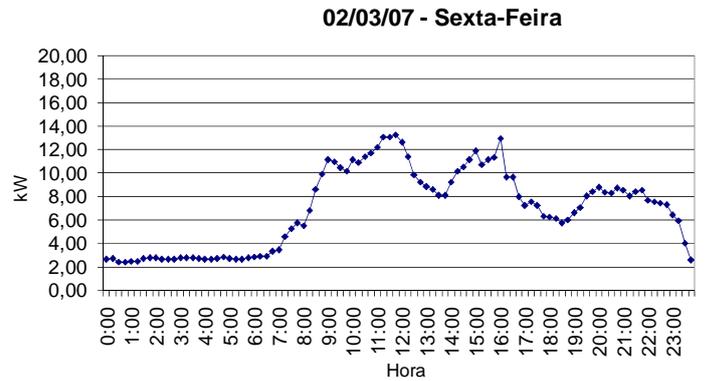
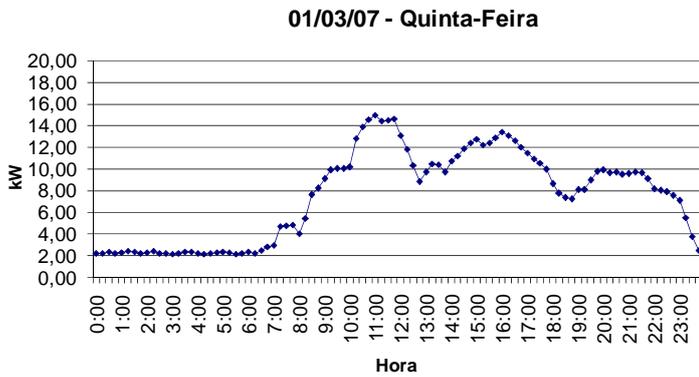
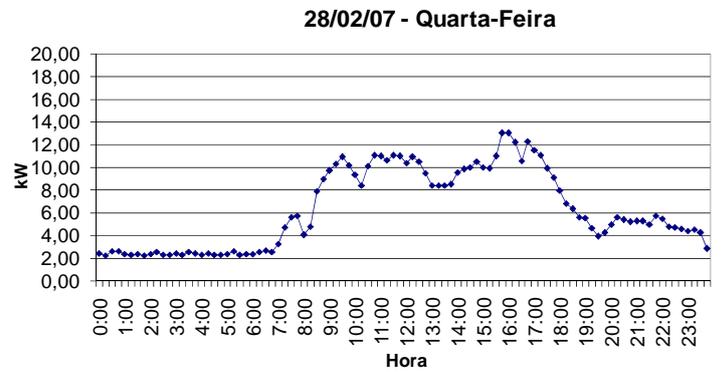
**Figura 4-13: Fator de Potência Durante os Dias da Semana**



**Figura 4-14: Fator de Potência Durante o Final de Semana**

Para identificar qual o padrão de comportamento do consumo energético no Bloco 1, os dados foram medidos inicialmente durante uma semana (Figura 4-15). A apreciação dos perfis diários de potência ocorridos nesta semana indicou que a

comparação dia-a-dia dos dados não seria coerente, pois cada dia apresentava gráficos com comportamentos distintos.



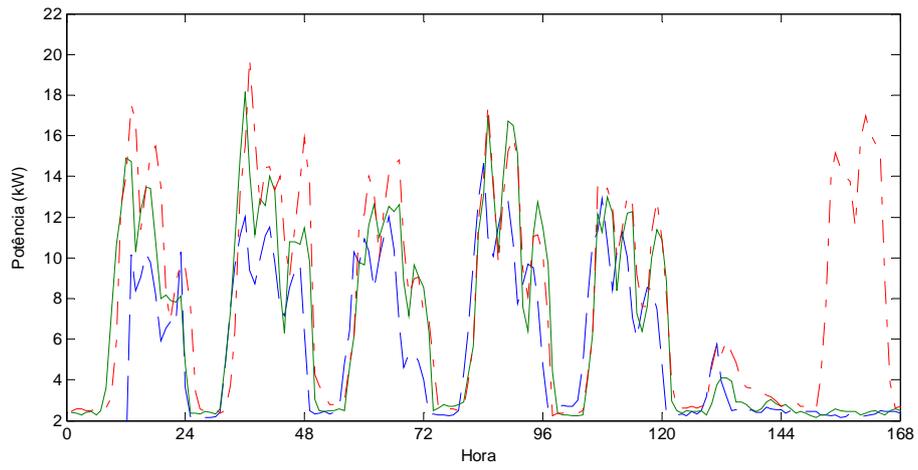


**Figura 4-15: Potência Demandada Durante uma Semana**

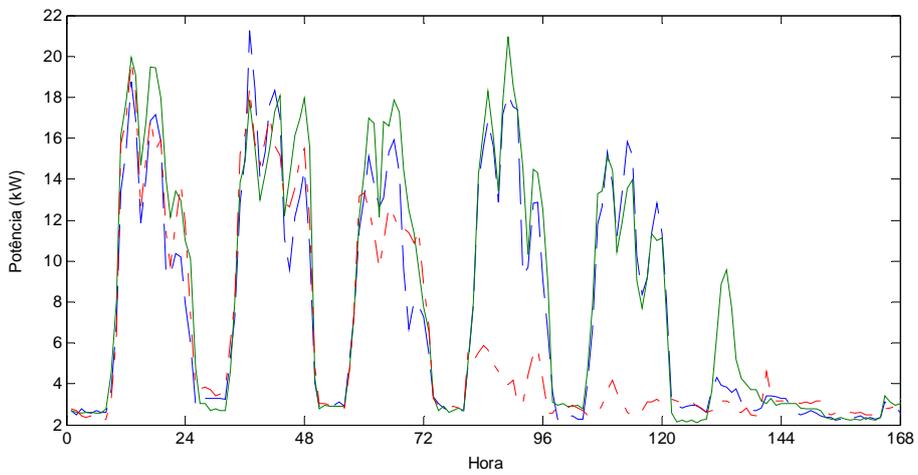
A diferença encontrada no perfil de consumo diário é coerente com as atividades desenvolvidas na instalação, pois as aulas são ministradas semanalmente. Após confrontar os dados de consumo por semana, a sazonalidade diária e semanal da série temporal de potência ativa foi confirmada.

A Figura 4-16 mostra a potência horária demandada pelo Bloco 1 durante as nove semanas em que os dados foram coletados (apresentada em três semanas por cada gráfico). Cada período de 24 horas, da esquerda para a direita, corresponde aos dias da semana de Segunda-Feira a Domingo.

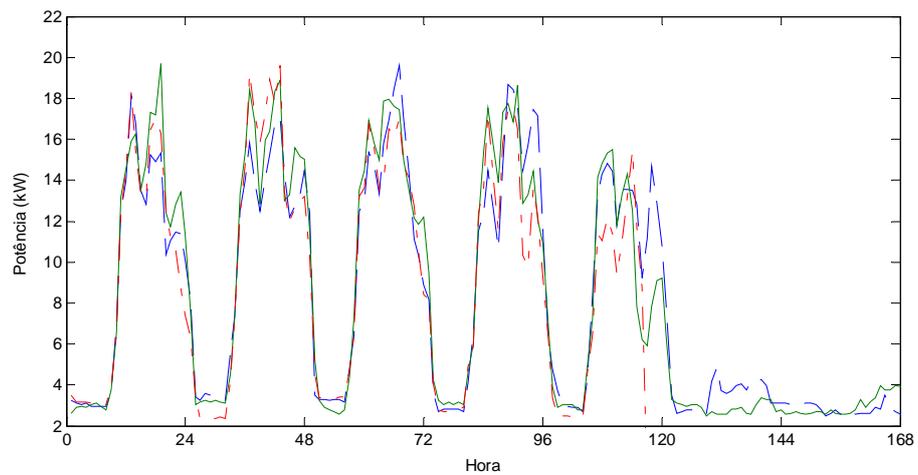
As semanas com consumo atípico (em pontilhado nos três gráficos) são explicadas pela aplicação de um concurso público nas dependências do bloco (primeiro gráfico); pela ocorrência de um feriado prolongado (segundo gráfico) e pela interrupção nas medições (terceiro gráfico). Pode-se observar que cada período de 24 horas (1 dia), possui perfil característico de variação, em função dos usos dos blocos (horários de aulas nos três turnos, atividades administrativas e nos gabinetes de professores).



(a)



(b)



(c)

**Figura 4-16: Potência Horária Demandada**

### **4.3. Modelo do Padrão de Consumo da Edificação e Proposta de Monitoramento Contínuo do Perfil de Consumo com Controle Estatístico de Processos**

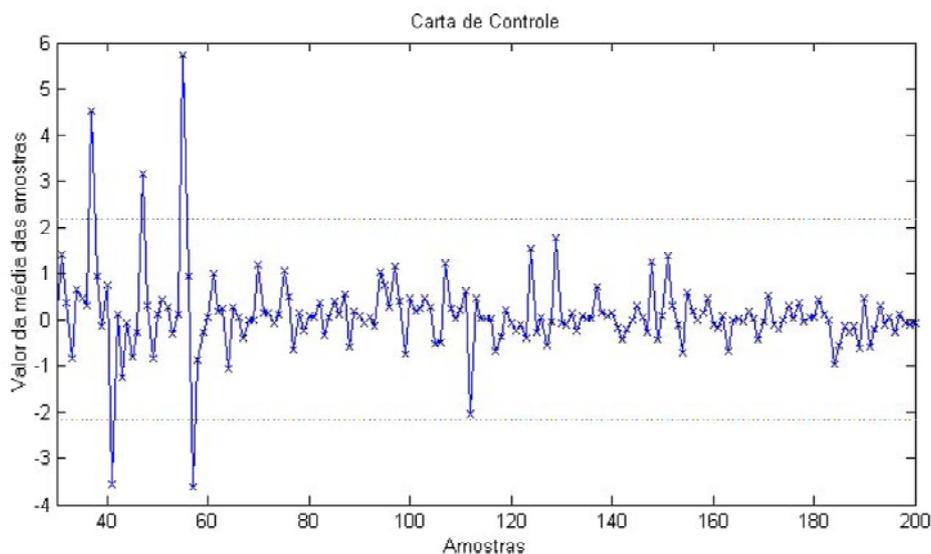
O diagnóstico da potência demandada pela instalação, por si só, é incapaz de gerar informações concretas sobre as dinâmicas que influenciam este consumo. A necessidade de estabelecer uma metodologia capaz de prever, a partir dos dados de demanda horária, um potencial consumo alarmante, motivou a aplicação de técnicas de Controle Estatístico de Processos (CEP).

O CEP consiste em um conjunto de ferramentas, baseadas em estatística, que permitem a monitoração contínua de um determinado processo, possibilitando uma ação imediata, assim que ocorra a detecção de um problema.

A aplicação da técnica de monitoramento visa detectar causas não usuais de variabilidade, aliada ao uso de experimentos planejados, para identificação dos componentes de influência nas características de qualidade do processo (Montgomery, 2004). De acordo com as premissas do controle estatístico, sempre que houver uma série de observações ou medidas, obtidas de um processo real, tais medidas não serão idênticas entre si. Sempre haverá uma variação, produzindo uma variável do tipo aleatório em torno de uma média característica. Nenhum processo pode ter esta variabilidade totalmente extinguida. Diz-se que, em condições normais de operação, a variabilidade é devida a causas comuns de variação (alterações ambientais, desgaste natural, entre outras). Contudo, se não ocorrer qualquer perturbação no processo, a flutuação dos valores medidos permanecerá dentro de limites matemáticos definidos. Se

a série for suficientemente grande, as medidas tenderão a formar uma distribuição previsível, permitindo que seja possível antecipar qual será a variabilidade do processo.

O monitoramento da variável em análise e de seus limites de variabilidade pode ser realizado pela Carta de Controle de Shewhart (ANEXO 1). A Figura 4-17 mostra um exemplo de Carta de Controle de Shewhart para Média. Na carta, são plotados os limites de variabilidade, ou Limites de Controle Inferior e Superior, definidos a partir de um estudo dos dados históricos daquele processo, e o valor da média instantânea da variável em análise.



**Figura 4-17: Carta de Controle de Shewhart para Média**

Os limites de controle superior, LCS, e inferior, LCI, podem ser calculados de acordo com Eq. 4-2 e Eq. 4-3 (Montgomery, 2004).

$$LCS = \bar{x} + 3\sigma \quad \text{Eq. 4-2}$$

$$LCI = \bar{x} - 3\sigma \quad \text{Eq. 4-3}$$

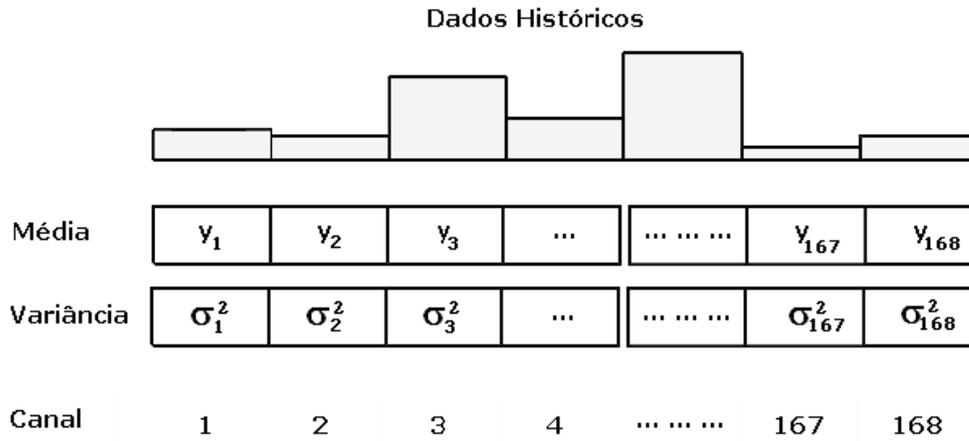
Nestas equações tem-se:

$\bar{x}$ : média dos dados históricos da variável em análise.

$\delta$ : desvio padrão dos dados históricos da variável em análise.

- Modelo Estimado para o Consumo da Instalação

Seguindo as premissas de CEP, foi estimado um modelo para o consumo da instalação. Como os dados de tendência histórica de potência ativa possuem sazonalidade semanal, a estrutura necessária para modelar a dinâmica de consumo da instalação deve relacionar o valor de potência demandada com o horário em que esta ocorreu. É necessário, portanto, utilizar: um estimador de média recursivo, para modelar a tendência da demanda horária e um estimador de variância para modelar a variação desta tendência. Utiliza-se, então, uma estrutura não linear, tipo multicanal (Horowitz & Hill, 1989), capaz de atender as necessidades de caracterização da tendência histórica de variáveis cíclicas cuja variação é lenta (constante de tempo de horas, período de dias, semanas e até meses). A estrutura projetada possui periodicidade semanal, sendo composta por medições com intervalo de amostragem de 1 hora alocadas em 168 canais, cada um correspondente a uma das 168 horas existentes em uma semana, conforme ilustra a Figura 4-18.



**Figura 4-18: Estrutura Multicanal**

Uma estrutura multicanal se assemelha a um histograma recursivo em que os canais representam segmentos de tempo para os quais se calcula um único valor ou parâmetro. A atualização do conteúdo de cada canal é feita a cada semana ( $k$ ) utilizando um algoritmo de identificação de parâmetros como indicado na Eq. 4.4, aonde  $\hat{y}_k$  é o parâmetro estimado,  $y_k$  é o dado de entrada, e  $\alpha$  é o ganho com o qual o erro vai ser ponderado.

Eq. 4-4

São armazenados, então, para cada uma das 168 horas:

- Média histórica do valor de potência média horária demandada;
- Variabilidade histórica dos dados de média.

A média histórica é atualizada, a cada semana ( $k$ ), pela ponderação entre o novo valor medido ( $u$ ) e seu valor anterior ( $y$ ), como mostrado pela Eq. 4-5.

$$y(k) = y(k - 1) + \alpha(u(k - 1) - y(k - 1)) \quad \text{Eq. 4-5}$$

O peso  $\alpha$  é dado pela Eq. 4-6, sendo que  $\tau$  é a constante de tempo do sistema,  $h$  o intervalo de amostragem e  $N$  o número de amostras no intervalo de uma constante de tempo.

$$\alpha \cong \frac{h}{\tau} = \frac{1}{N}; \tau = Nh \quad \text{Eq. 4-6}$$

A constante de tempo do sistema foi determinada de maneira experimental, por meio do método de tentativa e erro.

A variabilidade do valor horário de potência demandada é calculada pelo estimador de variância, de acordo com (Braga, 2007):

$$\widehat{x}(k) = (1 - \alpha) \cdot \widehat{x}(k - 1) + \alpha \cdot x(k) \quad \text{Eq. 4-7}$$

$$\widehat{x^2}(k) = (1 - \alpha) \cdot \widehat{x^2}(k - 1) + \alpha \cdot [x(k)]^2 \quad \text{Eq. 4-8}$$

$$\widehat{\sigma}_x^2(k) = \frac{2 - \alpha}{2(1 - \alpha)} \left[ \widehat{x^2}(k) - [\widehat{x}(k)]^2 \right] \quad \text{Eq. 4-9}$$

Onde:

$\widehat{x}(k)$  e o valor estimado da media de  $x$

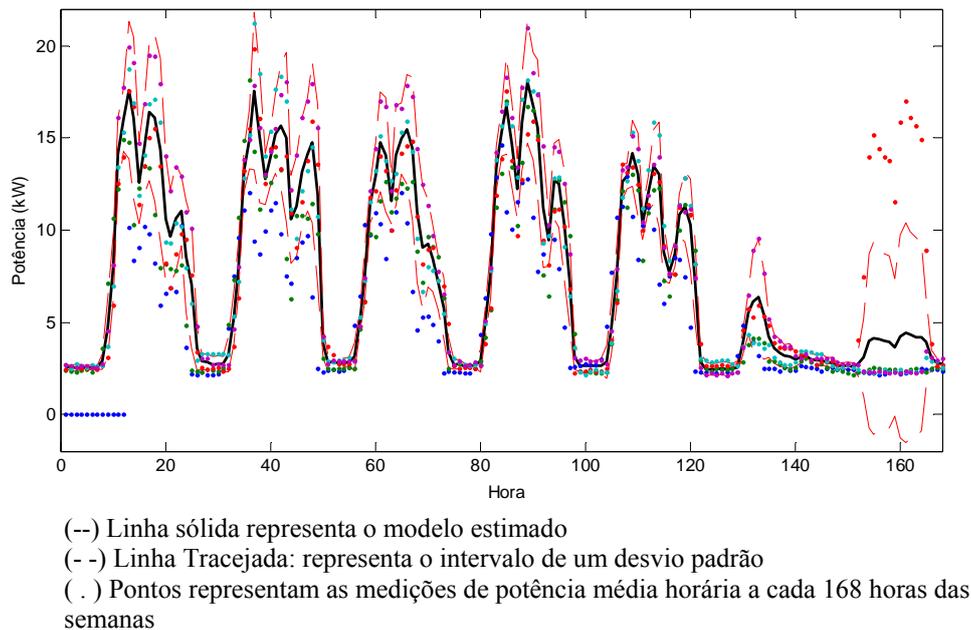
$\widehat{x^2}(k)$  e o valor estimado da media quadratica de  $x$

$\widehat{\sigma}_x^2(k)$  e o valor estimado para a variância

#### **4.4. Modelo Encontrado para a Edificação PCA**

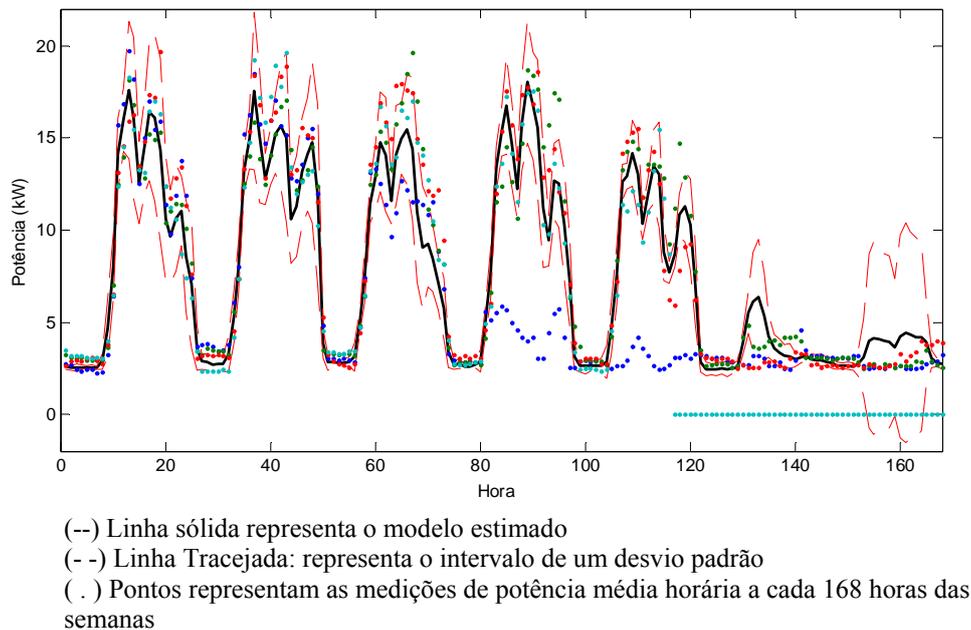
Para a modelagem (estimação) da média e da variância características do perfil de consumo diário, a cada hora, para cada grupo de sete dias, foram utilizados quatro grupos de dados correspondentes a quatro semanas. Os resultados desta modelagem por estimação a partir dos dados são mostrados na Figura 4-19. Os valores estimados, de média e variabilidade acima e abaixo da média, correspondem à operação característica do PCA; quanto à potência demandada, para cada hora do dia, para os sete dias da semana. Portanto, corresponde aos elementos de projeto de uma carta de controle.

A Figura 4-19, além do modelo de média (representado em linha sólida) e variabilidade de mais e menos um sigma (representada em linha tracejada), mostra, ainda, as medidas de potência média demandada a cada hora durante as quatro semanas utilizadas para modelar o consumo (representados por pontos).



**Figura 4-19: Carta de Controle Estatístico do Perfil de Consumo do PCA – Projeto/Modelagem da Média Horária e dos Limites de controle Respetivos**

A Figura 4-20, mostra a validação do modelo obtido. Nesta figura apresentam-se a média estimada para o valor de potencia (representado em linha sólida) e variabilidade de mais e menos um sigma (representada em linha tracejada), mostra, ainda, as medidas de potência média demandada a cada hora durante as quatro semanas utilizadas para validar o consumo (representados por pontos).



**Figura 4-20: Carta de Controle Estatístico do Perfil de Consumo do PCA – Validação do Modelo Obtido**

A análise destes gráficos, ou seja, das Cartas de Controle Estatístico do Perfil de Consumo Horário/Diário do PCA, permite detectar alterações no consumo característico da edificação, quando os limites de controle forem excedidos, ou quando o perfil de variação assumir comportamento determinístico. Portanto, este tipo de técnica de controle permite monitorar, de maneira adequada, o consumo da edificação, detectando mudanças causadas por possíveis causas atribuíveis (variações esperadas, como consumo aumentado devido a algum evento, ou causadas por “faltas” em equipamentos ou na instalação).

Os dados de medidas semanais (representados por pontos) que apresentam valores fora dos limites de variância nos dias de quinta e sexta feira – de 80 a 120 horas – são referentes a um feriado nestes dias, e os dados de consumo iguais a zero para os

dados da noite de sexta feira, sábado e domingo, são relativos à ultima semana de dados coletados – estes dados são realmente zero, pois não foram medidos.

#### **4.5. Generalização de Uso da Metodologia de Modelagem Multicanal e CEP para Monitoramento de Variáveis Domóticas**

A metodologia de estimação de um modelo não linear, periódico utilizando uma estrutura multicanal é aplicável a outras variáveis ambientais da edificação, tais como umidade relativa, luminosidade e temperatura. Igualmente pode ser usada para representar a taxa de ocupação dos ambientes. Os resultados obtidos pela análise do perfil de consumo, na seção 4.3, são animadores, e a existência de uma característica repetitiva, cíclica para os mesmos dias / horários do consumo em uma semana sinalizam que isto pode ocorrer também, para estas outras variáveis. O conhecimento desses perfis característicos permite uma análise criteriosa e objetiva (quantificada) da correlação entre consumo, taxa de ocupação, temperatura, umidade relativa e luminosidade.

Conhecer os parâmetros de caracterização dos modelos cíclicos na estrutura multicanal de cada variável domótica possibilita não apenas o estabelecimento de modelos de referência, mas também viabiliza a análise, o planejamento e a implementação, por meio de técnicas de automação e controle de processos, de estratégias para otimização do uso eficiente de energia.

#### 4.6. Comentários Finais

As análises do consumo desagregado, por uso final, nos blocos 1, 2 e 3 do PCA revelam uma expressiva participação dos sistemas de iluminação (que correspondem a 51, 56 e 36% do total consumido para os blocos 1, 2 e 3 respectivamente) e climatização (30, 23 e 43%), no consumo total dos prédios. Este fato requer que, caso sejam aplicadas medidas de racionalização do consumo da edificação, estes sistemas sejam priorizados.

Ao estudar a série histórica referente aos dados de consumo energético da instalação, é possível identificar os fatores que influenciam o consumo de uma maneira macro, como o número de dias letivos e as elevações na temperatura média mensal. Entretanto, a análise *a posteriori* dos dados, por si só, é incapaz de gerar informações concretas sobre todas as dinâmicas que influenciam o consumo energético. A necessidade de estabelecer uma metodologia capaz de prever, a partir dos dados de demanda horária, um potencial consumo alarmante, motivou a aplicação de técnicas de CEP. Por consistir em um conjunto de ferramentas que permitem a monitoração contínua de um determinado processo, o CEP possibilita uma ação imediata, assim que ocorra a detecção de um problema. A filosofia de monitoramento para prevenção de problemas se adequa perfeitamente ao monitoramento do consumo energético, visto que possibilita intervir na edificação antes que tais problemas sejam refletidos nas contas de energia.

## **CAPÍTULO 5 PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO POR MEIO DE AUTOMAÇÃO PREDIAL: ESTUDO DE CASO DE UMA EDIFICAÇÃO PÚBLICA EDUCACIONAL**

Neste capítulo apresentam-se ações que visam à racionalização do consumo energético por meio de automação predial para a edificação estudada. São detalhados os custos orçados para a aquisição e instalação das proposições e a economia de energia que poderá ser alcançada. Análises comparativas entre a solução clássica e a dedicada a automação predial são realizadas.

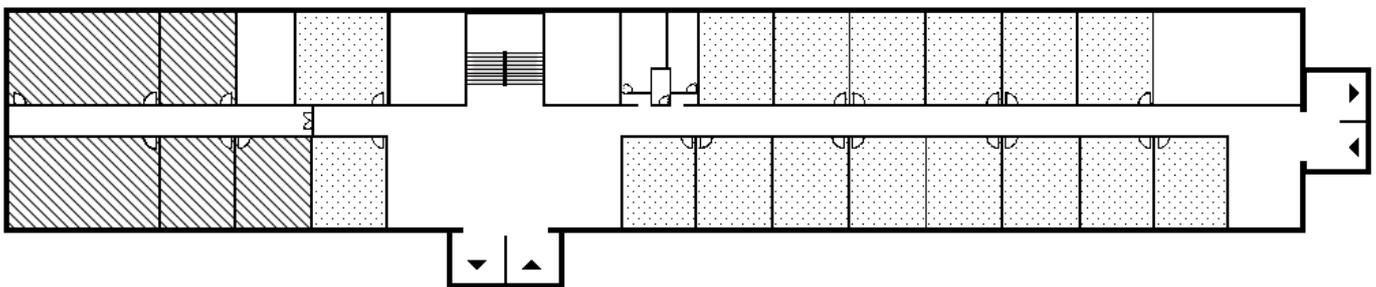
### **5.1. Campus 2000**

Em 1998, foi lançado pela UFMG, o projeto Campus 2000, que visa à ampliação e consolidação do *campus Pampulha*, adequando a capacidade física instalada da Universidade ao seu Projeto de Desenvolvimento Institucional. Para tanto, foi planejada a transferência, para o *campus Pampulha*, de Unidades Acadêmicas ainda localizadas no centro da cidade de Belo Horizonte, dentre elas a Escola de Engenharia. Para viabilizar o projeto, várias dependências do *campus Pampulha* foram reformadas e ampliadas.

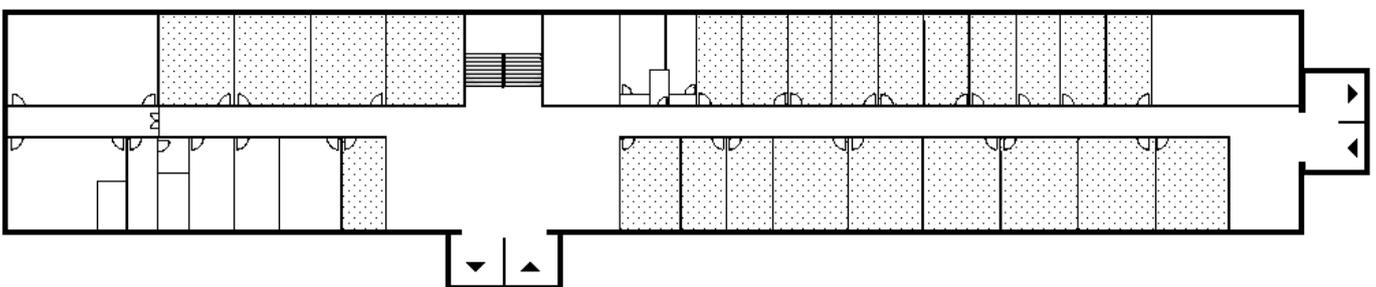
O projeto de transferência da sede da Escola de Engenharia contempla também a reforma da edificação PCA, iniciada em 2001, com a recuperação do bloco

incendiado em 1987 (Bloco 1). A reforma dos Blocos 2 e 3 – iniciada em Julho de 2007 – prevê modificações na estrutura dos prédios adequando-os às atividades a serem neles desenvolvidas. Além da distribuição de espaços, os prédios também sofrem completa renovação de suas instalações elétricas. O Bloco 2, antes ocupado por um grande número de salas de professores e ambientes administrativos, passará, com a reforma, a alocar, quase que integralmente, salas de aula (Figura 5-1). Em contraponto o terceiro bloco, antes ocupado por ambientes diversos como salas de aula e de uso de microcomputadores, além de uma biblioteca, passará a abrigar os colegiados dos cursos de graduação da EEUFMG (Figura 5-2).

#### PCA 02 - Primeiro Pavimento

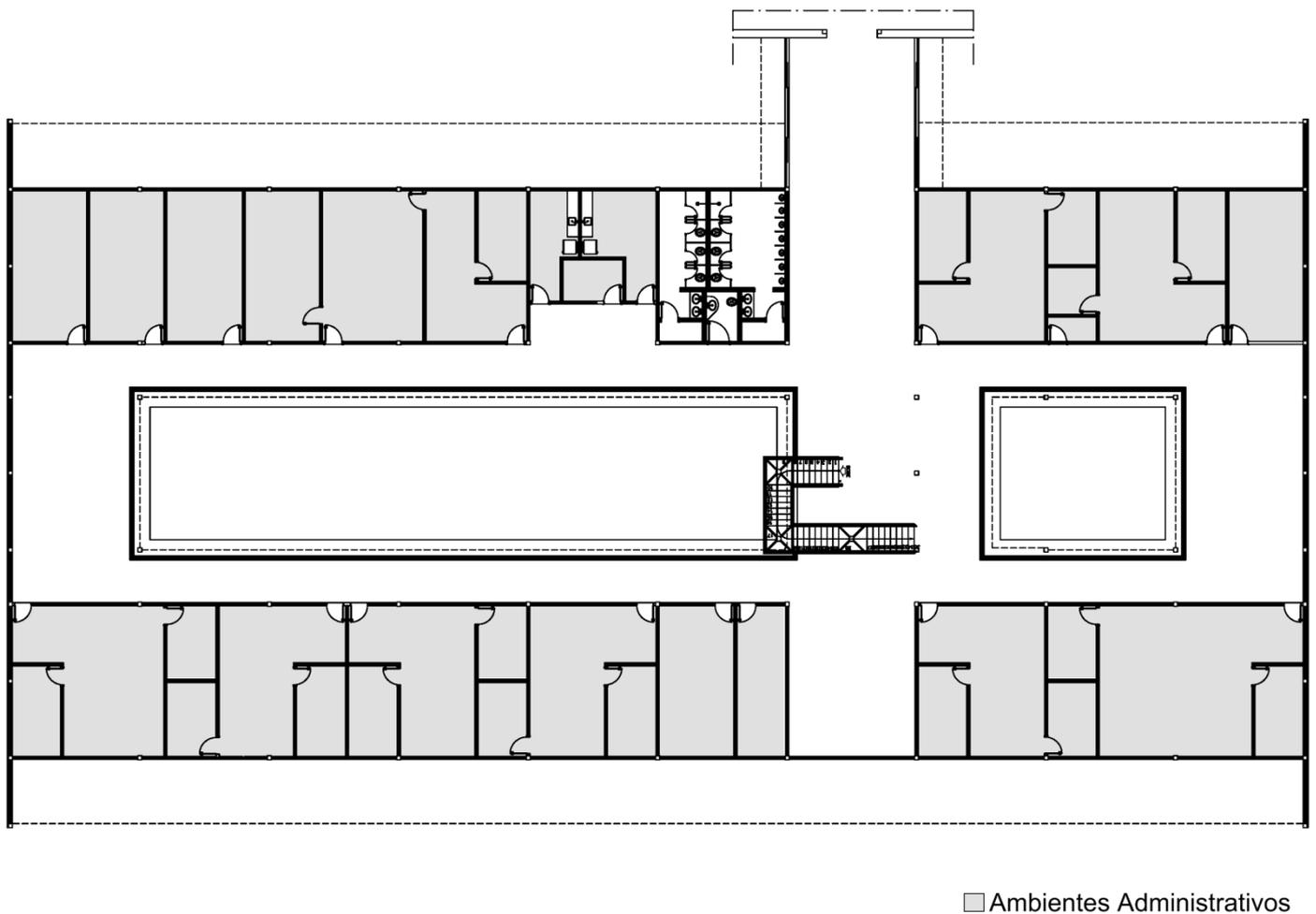


#### PCA 02 - Segundo Pavimento



▣ AULA      ▨ LABORATÓRIOS

**Figura 5-1: Layout Previsto para o Bloco 2 após a Reforma**



**Figura 5-2: Layout Previsto para o Bloco 3 após a Reforma**

## **5.2. Potencial de Racionalização do Consumo no Sistema de Iluminação**

O potencial de economia no consumo de energia elétrica no sistema de iluminação pode ser estimado a partir de simulações que considerem o montante de energia a ser poupado com a substituição dos equipamentos existentes por outros mais eficientes disponíveis no mercado. O sistema de iluminação dos Blocos 2 e 3 é constituído por lâmpadas fluorescentes tubulares de 20 e 40 W instaladas em luminárias convencionais e acionadas por reatores eletromagnéticos. Propõe-se a substituição do

sistema de iluminação destes blocos por outro que possua equipamentos eficientes. O Bloco 1, que já possui lâmpadas e luminárias eficientes, apresenta níveis de luminosidade adequados para as atividades acadêmicas desenvolvidas em suas dependências. Portanto, sugere-se somente a substituição dos reatores existentes neste Bloco, que atualmente são eletromagnéticos, por equipamentos eletrônicos que possuam fator de potência elevado e baixas taxas de distorção harmônica.

O sistema de iluminação proposto para os Blocos 2 e 3 é composto por lâmpadas de 32 e 16 W, reatores eletrônicos e luminárias reflexivas. Na Tabela 5-1 apresenta-se um resumo do sistema de iluminação proposto para os Blocos 2 e 3.

**TABELA 5-1: Resumo do Sistema de Iluminação Proposto para os Blocos 2 e 3**

	Modelo da Luminária		Total
	2 x 32	2 x 16	
Potência do Conjunto (W)	65	33	
Horas de Uso no Ano (h)	2120	1060	
Quantidade de Luminárias	628	156	784
Potência Total (kW)	40,8	5,1	46
Consumo Médio Mensal (kWh/mês)	7.211,5	454,7	7.666,3

A substituição do sistema de iluminação dos prédios 2 e 3 e dos reatores eletromagnéticos existentes no Bloco 1 irá reduzir a potência instalada e, conseqüentemente, o consumo energético deste sistema. Entretanto, a quantificação desta redução necessita de uma análise cautelosa, principalmente em cálculos de viabilidade econômica, visto que ocorrerá uma mudança de layout na edificação. Portanto, os possíveis ganhos são apresentados em dois cenários distintos. O primeiro, considerando a instalação dos mesmos equipamentos existentes hoje e adequando o

número e a localização dos pontos de luz ao novo layout (Situação Hipotética); e o segundo, considerando, após a mudança de layout, a iluminação proposta para os blocos 2 e 3 e o uso de reatores eficientes no bloco 1 (Situação Proposta).

A potência instalada no sistema de iluminação dos três blocos é 120,9 kW. Após a referida reforma, a carga será 106,2 kW, caso sejam instalados os mesmos equipamentos existentes, e 82,9 kW, caso sejam utilizados equipamentos eficientes. A Tabela 5-2 apresenta os dados de potência e consumo de energia, antes e após a reforma, considerando as situações: hipotética e proposta.

**TABELA 5-2: Sistema de Iluminação Atual e Proposto**

Potência	Situação Atual	Situação Hipotética	Situação Proposta
Potência Instalada (kW)	120,9	106,2	82,9
Potência Iluminada (W/m <sup>2</sup> ) por Área	14,75	12,95	10,12

### 5.3. Potencial de Racionalização do Consumo no Sistema de Climatização

O sistema de climatização existente antes da reforma em curso em 2007, é constituído por aparelhos de janela e por ventiladores de teto. O consumo energético dos equipamentos ventiladores foi desconsiderado nesta análise, por ser muito aquém do apresentado pelos diversos aparelhos de ar condicionado existentes. Estes últimos, devido à elevada potência nominal característica, representam, normalmente, cargas

com considerável potencial para regularização de demanda e conservação de energia, por estarem freqüentemente dimensionados de forma inadequada e não terem a devida manutenção, em prédios públicos.

Apesar de possuir uma carga considerável instalada em aparelhos de ar-condicionado de janela, o sistema de climatização do Bloco 1 não é caracterizado como sendo candidato a retrofitting, dado o número de equipamentos existentes, e, o fato de estarem fisicamente dispersos. O Bloco 2, por sua vez, não possuirá, após a reforma, equipamentos de condicionamento de ar. Portanto, somente o Bloco 3 sinaliza a possibilidade de ganhos com a substituição dos aparelhos de ar-condicionado de janela – tipicamente ineficientes em termos energéticos – por outro sistema mais eficiente.

As medidas de eficiência propostas para os equipamentos existentes no Bloco 1 se restringem à manutenção periódica do filtro de ar dos equipamentos, verificação periódica das condições da instalação elétrica e procedimentos de revisão dos aparelhos, de acordo com seu ciclo de vida e com a manutenção recomendada pelos fabricantes.

Os aparelhos de condicionamento de ar existentes no bloco 3 possuem carga térmica total instalada de 52,5 TR. Este valor foi considerado, após análises, acima do necessário, ao considerar o novo uso dos ambientes, que terá um número reduzido de pessoas por salas. Propõe-se a substituição dos equipamentos de janela por um sistema de condicionamento de ar central tipo Split, com a capacidade para 45 TR. Esta proposta é baseada em estudo realizado por empresa especializada em climatização de ambientes para esta área da edificação (Star Center Soluções em Climatização Ltda., 2006).

A Tabela 5-3 mostra os ganhos com a adoção do sistema proposto, que pode proporcionar uma redução na potência instalada e no consumo mensal em aproximadamente 30% e 46% respectivamente.

**TABELA 5-3: Comparação Entre o Sistema de Ar-Condicionado Atual e Proposto para o Bloco 3**

	<b>Atual</b>	<b>Proposto</b>
Potência Instalada (kW)	72,1	50,1
Potência por Área Climatizada (W/m <sup>2</sup> )	46,5	31,2
Consumo Mensal (kWh – mês)	8.373,0	4.009,0

#### **5.4. Sistema de Automação**

A substituição dos equipamentos que compõem os sistemas de iluminação e climatização por outros que possuam um melhor desempenho e menor consumo energético viabiliza a efficientização das instalações da edificação PCA. Entretanto, essa medida não estabelece como estes sistemas serão utilizados. A substituição tecnológica por equipamentos mais eficientes reduz a potência instalada e, conseqüentemente, a energia por eles consumida. Entretanto, não impede que estes equipamentos sejam utilizados de uma maneira inadequada. Portanto, propõe-se um sistema de automação que controle, automaticamente, os sistemas de iluminação e ventilação de diversos ambientes dos blocos 1, 2 e 3 da edificação PCA. Este controle impede que luzes ou ventiladores permaneçam ligados em ambientes desocupados, ou em horários

inapropriados. Esta medida garante que o consumo energético deste edifício seja inferior ao de instalações convencionais, mesmo daquelas que já possuem equipamentos energeticamente eficientes. A quantização da economia proporcionada requer medição contínua do consumo e análise do perfil semanal na situação proposta, uma vez que estas situações de permanência de luzes e ventiladores ligados em salas desocupadas, embora não raras, são aleatórias.

Além do controle automático da iluminação e ventilação do edifício, o projeto proposto prevê um sistema de monitoramento para prover continuamente dados, que, ao serem analisados adequadamente, viabilizam um gerenciamento da energia consumida e uma operação parcimoniosa da edificação. Com a instalação deste sistema, será possível monitorar continuamente o consumo das instalações da edificação PCA. Ao comparar este consumo com o perfil médio do consumo semanal verificado nos últimos meses, para o Bloco 1, e o consumo mensal, dos últimos anos para toda a edificação, com o seu próprio consumo anterior à reforma, bem como, com o de outras instalações similares, torna-se possível estimar a economia efetiva proporcionada pela efficientização das instalações, pelo emprego de equipamentos eficientes e pela automação dos critérios de uso racional da energia.

O sistema de automação proposto controla o acionamento dos circuitos de iluminação e ventilação de um determinado ambiente, de acordo com dois critérios: a ‘permissão institucional’ e a presença de pessoas neste ambiente, por meio de sensores de presença de tecnologia dual. Por questões de segurança, o acionamento também pode ser realizado, independentemente do estado dos pré-requisitos, por meio do software supervisor. A ‘permissão institucional’ permite aos gestores da Universidade impedir o acionamento dos sistemas, mesmo com a presença de pessoas no ambiente. Esta

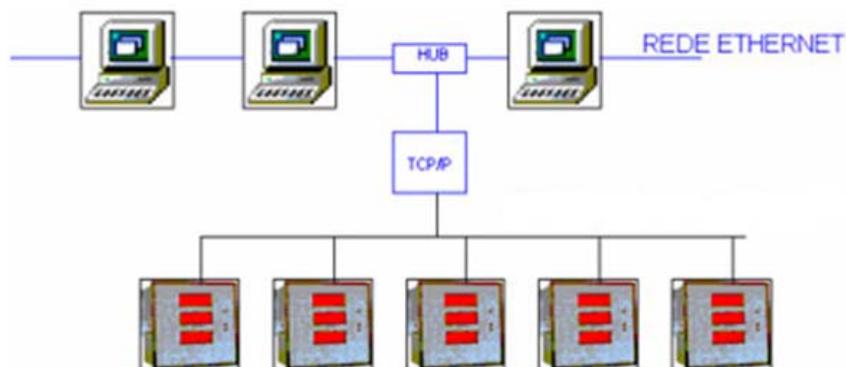
decisão pode ser tomada, por exemplo, para impedir o acionamento da iluminação e ventilação das salas de aula fora dos horários prováveis de aula. Esta medida impede a freqüente existência de várias salas utilizadas de maneira simultânea para estudos, por um grupo restrito de alunos, que poderiam ser agrupados em ambientes de estudo em grupo. Com ambos os requisitos satisfeitos, os circuitos controlados são habilitados, isto é, são energizados. A liberdade de acionar ou não cada uma das diversas seções destes circuitos é garantida aos usuários dos ambientes por interruptores convencionais instalados em todos os ambientes controlados. O estado dos diversos sensores e circuitos é mostrado no software supervisor, o que permite uma monitoração contínua do edifício.

Além de informar os estados em tempo real, o software supervisor mantém dados históricos dos acionamentos, que são cruzados com medidas – de consumo ativo, reativo, fator de potência, harmônicas, quedas de tensão, e outros dados de qualidade de energia – provenientes de um sistema de gestão de energia. O sistema proposto é composto por um módulo medidor de energia, um módulo conversor de protocolos e um software de Gestão de Energia, a ser configurado para a aplicação do PCA.

Os dados de medição são capturados por dois módulos de medição, que recebem sinais de tensão e corrente de equipamentos TP e TC, instalados no barramento principal das duas subestações aéreas que alimentam os quatro blocos da edificação PCA. A memória de medição deste módulo armazena dados de consumo por até 35 dias contínuos. Os dados de medição em tempo real são também enviados para um computador conectado a uma rede ETHERNET. Para que isto seja possível, os dados são enviados via saída serial RS 485 e protocolo de comunicação MODBUS- RTU, para

um dispositivo de comunicação que converte o padrão RS 485 para ETHERNET. O módulo conversor utiliza protocolo de comunicação TCP/IP, com velocidade de 10 Mbits. A conexão deste dispositivo com a rede ethernet é realizada por meio de conector RJ 45 enquanto sua conexão, com os equipamentos de medição em RS 485, é feita por cabo de par trançado blindado (Figura 5-3).

O software de gerenciamento do consumo de energia elétrica e de utilidades armazena e processa os dados medidos, gerando gráficos e relatórios analíticos de utilização de energia elétrica. Além disso permite a parametrização das unidades remotas e possibilita o compartilhamento dos dados, pela interface DDE<sup>3</sup>, com o software supervisor do sistema de automação.



**Figura 5-3: Arquitetura do Sistema de Medição de Energia**

O compartilhamento de dados entre o sistema de automação e o de gestão energética permite gerar alarmes de falhas e alertas de discrepâncias no consumo medido em relação ao perfil médio típico da instalação. Esta ação permite detectar o

---

<sup>3</sup> Dynamic Data Exchange (DDE) é uma tecnologia para a comunicação entre múltiplas aplicações executadas em Microsoft Windows.

início de possíveis degradações na operação do sistema antes que falhas sejam geradas. Um alerta de consumo acima da média, por exemplo, pode auxiliar a equipe de manutenção a identificar pontos de fuga e sanar o problema antes que seja refletido na conta de energia.

Nas próximas seções serão apresentadas duas propostas para a automação do edifício PCA, a primeira utilizando um sistema dedicado à automação predial e residencial, e a segunda com o uso soluções de automação industrial empregando Controladores Lógicos Programáveis.

#### 5.4.1. Sistema Dedicado à Automação Predial

A situação descrita a seguir ilustra o funcionamento do sistema de controle proposto:

*A entrada de uma pessoa em uma sala de aula é percebida pelo sensor de presença, que envia um sinal a um controlador que, por sua vez, verifica se este determinado circuito pode ou não ser acionado. Caso não haja nenhuma proibição ao acionamento, é enviado um comando habilitando-o. A partir deste momento, o acionamento ou não de suas diversas seções pode ser feito por interruptores convencionais, instalados na sala. Após a saída do aluno, o sensor de presença aguarda um tempo pré-determinado, até enviar para o controlador a informação de que a sala está vazia. Esta informação gera um comando que desabilita os circuitos, desligando as luzes e os ventiladores.*

O sistema comercial dedicado à automação dos sistemas de serviços prediais escolhido apresenta uma arquitetura de hardware descentralizada em estrela, o que confere ao sistema uma maior confiabilidade. O sistema é composto por uma central de controle microprocessada, um módulo HUB e diversos módulos de entrada e saída que recebem dados de sensores de presença (Módulo Input) e que enviam dados para acionadores (Módulo Output).

Os sensores de presença são conectados, cada um, a um dos canais dos módulos de entrada, que estão instalados em pontos estratégicos dos prédios. Toda a fiação de sensores convergirá para estes módulos. Os módulos de entrada estão interligados entre si, por meio de cabo UTP CAT5E (conectores RJ45), que faz o papel de barramento físico. No mesmo barramento, estão ligados os módulos de saída, que recebem comandos provenientes da central de controle. Cada canal dos módulos de saída é responsável por habilitar o circuito elétrico de iluminação e ventilação de uma determinada sala ou sessão de luz dos corredores. O barramento também é conectado ao módulo HUB, que concentra os diversos barramentos existentes, e os conecta à central de controle micro-processada. Toda a lógica de controle e acionamento dos circuitos é definida pela programação da central. A Figura 5-4 ilustra a arquitetura de hardware descrita.

A Estação de Supervisão e Operação, implementada em um PC, é dotada de dois softwares, um de configuração e um de supervisão e operação. O software de configuração pode ser acessado remotamente e permite configurar todas as funcionalidades do sistema. O software de controle é a interface voltada ao usuário final. Ele exibe situação corrente e aceita acionamento de comandos.

O software da Central de Controle Micro-processada é um software de supervisão, que informa o histórico de acionamento dos diversos circuitos, o estado atual de cada entrada e cada saída e o estado dos alarmes. Possui também, uma central de alarmes e de avisos, que pode ser programada para enviar mensagens, por internet ou por telefone, de uma determinada ocorrência. O software permite, ao supervisor do sistema, comunicação via telefone e internet.

O software dos dispositivos Módulo Input, Módulo Output e Hub são capazes de funcionar em rede ou isolados, em modo "stand alone". Ele possui resposta instantânea e aplicação compacta. Seu protocolo de comunicação é simplificado.

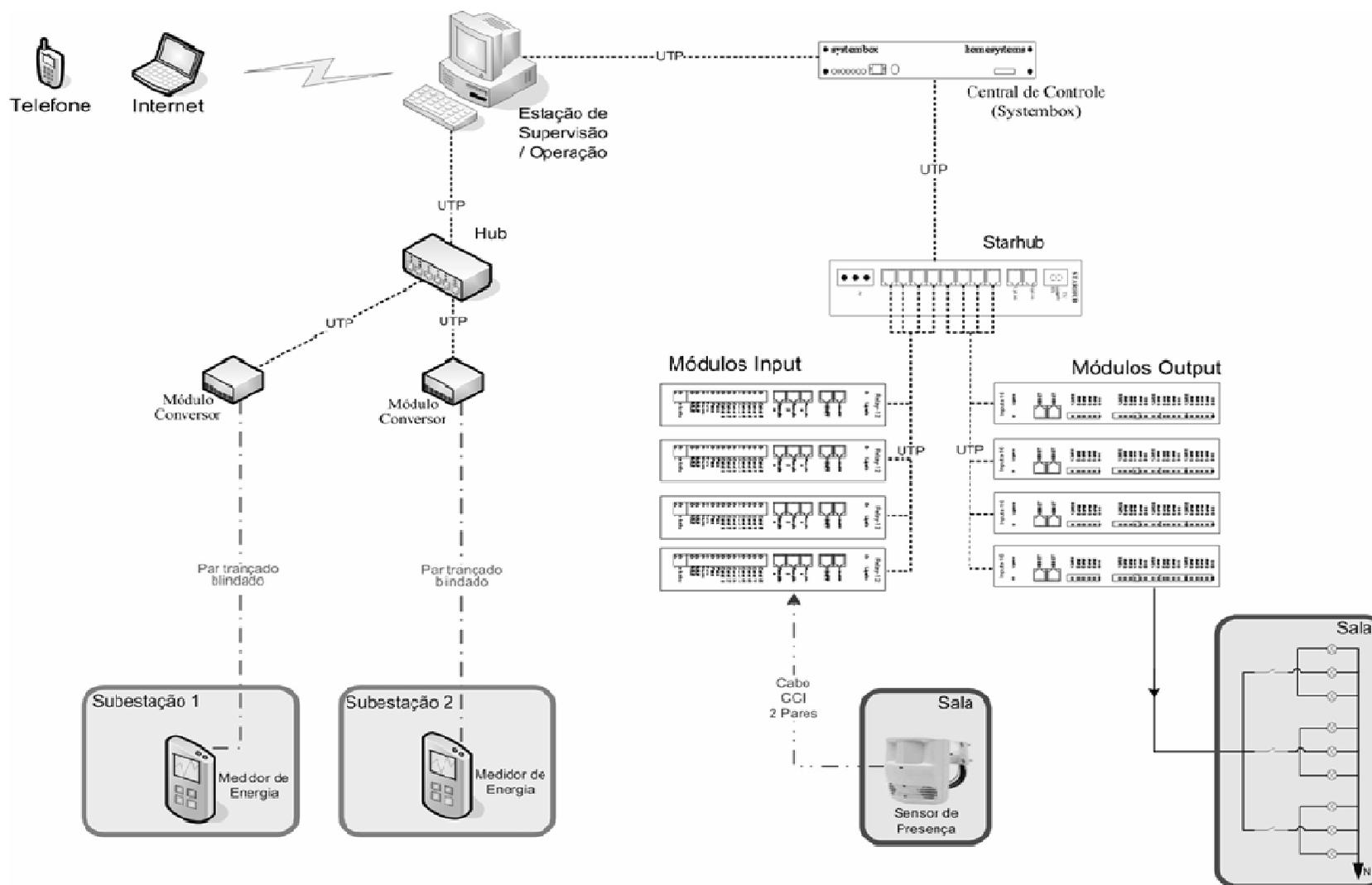


Figura 5-4: Arquitetura de Hardware do Sistema de Automação Dedicado

#### 5.4.2. Solução Clássica: Utilizando Controlador Lógico Programável

O sistema baseado em soluções típicas de automação industrial realiza a mesma lógica de controle descrita na seção anterior. É proposta a utilização de três Controladores Lógicos Programáveis, CLPs, cada um responsável por um dos blocos a serem automatizados (1, 2 e 3).

Na arquitetura proposta (Figura 5-5), cada sensor de presença está conectado a uma entrada do CLP correspondente ao bloco no qual ele está localizado. Caso um determinado sensor de presença detecte a existência de pessoas, o CLP, de acordo com a lógica programada, muda o estado da saída correspondente, habilitando o circuito em questão. Cada sala é equipada com um Quadro Local, que possui uma chave seletora de modo que, em caso de falha no CLP, permite mudar o modo de acionamento para manual. Em cada circuito de iluminação e de ventilação, existe um relé de estado sólido que permite o acionamento dos circuitos de iluminação e ventilação, pois a corrente necessária é maior do que a suportada pelas saídas do CLP.

A arquitetura de software do sistema de automação proposto baseia-se na plataforma Windows XP com os seguintes níveis hierárquicos:

- Nível 1: Sistema operacional - Windows XP Professional
- Nível 2: Aplicativo SCADA Servidor – Servidor

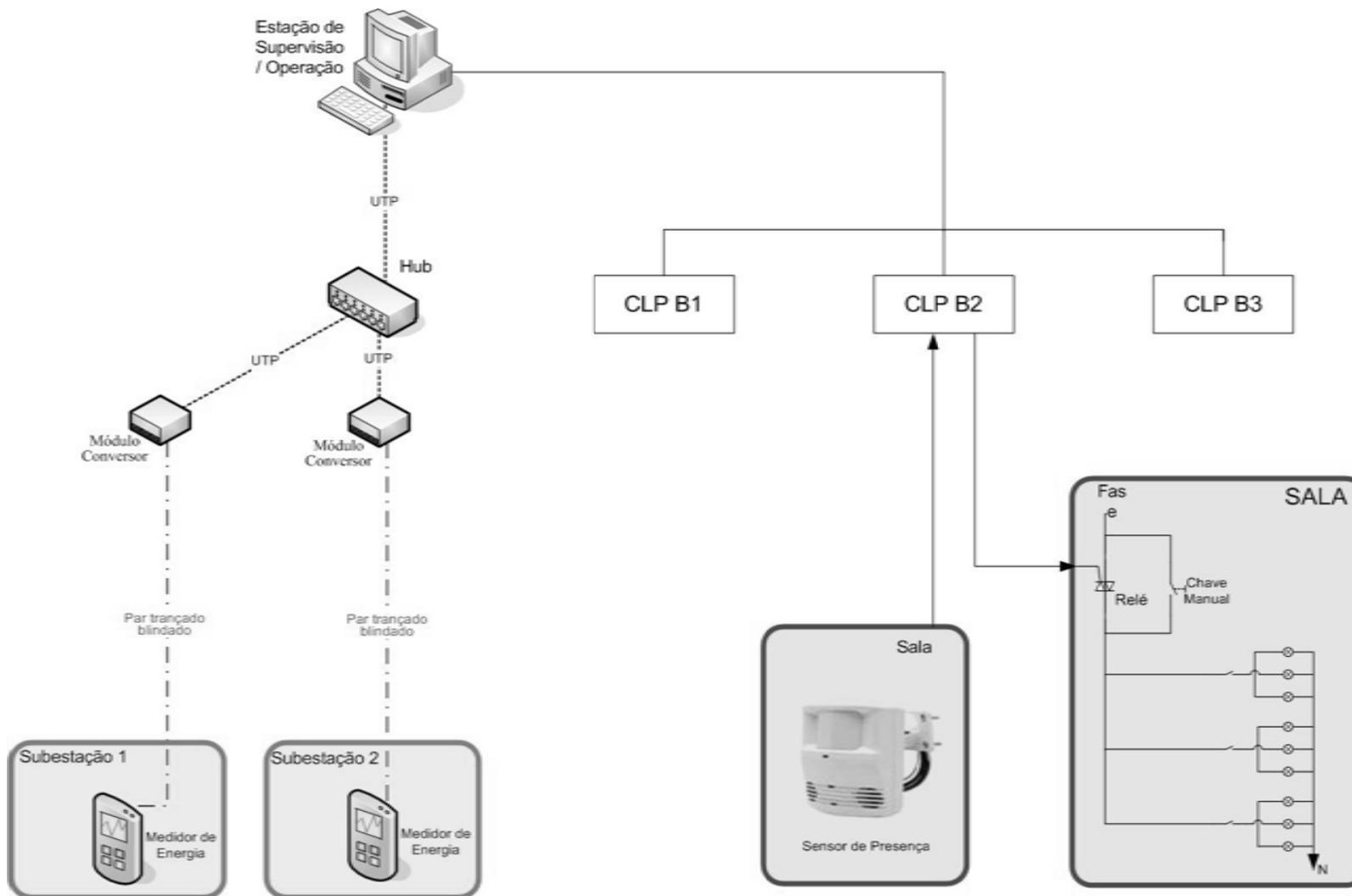


Figura 5-5: Arquitetura de Hardware do Sistema de Automação Clássico

### 5.5. Custos de Implementação das Medidas Propostas

O montante de energia economizada com a implementação das medidas propostas foi relacionado anteriormente, entretanto para se realizar uma análise econômico-financeira destas medidas é necessário saber os respectivos custos de implementação.

Para se obter os gastos com equipamentos a serem adquiridos foram feitos orçamentos em lojas especializadas entre os meses de outubro de 2006 e janeiro de 2007. Os custos obtidos de materiais são relacionados na Tabela 5-4 para os equipamentos de iluminação, na Tabela 5-5 para o equipamento de ar condicionado central, e na Tabela 5-6 para o sistema de automação baseado na solução dedicada a automação predial e na Tabela 5-7 para o sistema baseado na solução clássica.

A mão-de-obra para a instalação dos equipamentos de iluminação e para as obras civis de pequeno porte foram desconsideradas, já que a edificação possuía planejamento de reforma a iniciar em Julho de 2007, e tal despesa já se encontra alocada nos custos da reforma.

**TABELA 5-4: Custo dos Equipamentos Propostos para o Sistema de Iluminação**

ÍTEM	QNT	VALOR UNITÁRIO	CUSTO TOTAL
Lâmpada de 16 ou 32 W	1,568	R\$ 10.00	R\$ 15,680.00
Reator Duplo Eletrônico (16 ou 32W)	628	R\$ 30.00	R\$ 23,520.00
Luminária Reflexiva	784	R\$ 86.68	R\$ 67,957.12
<b>TOTAL</b>			<b>R\$ 107,157.12</b>

**TABELA 5-5: Custo dos Equipamentos Propostos para o Sistema de Condicionamento do Ar**

ÍTEM	VALOR
Sistema tipo split para 22 salas.	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 (um) Mult Split de 15 TR</li> <li>• 03 (três Mult Split de 10 TR cada</li> <li>• Rede de Dutos completas com dispositivos de distribuição de ar</li> <li>• Redes Frigoríficas para interligação entre as unidades evaporadoras e condensadoras</li> <li>• Instalação (serviço especializado)</li> </ul>	<b>R\$170.000,00</b>

**TABELA 5-6: Custo dos Equipamentos Propostos – Solução Dedicada à Automação Predial**

	ITEM	Valor
<b>Supervisão</b>	Estação de supervisão do sistema	4.800,0
<b>Hardware de Controle</b>	Controlador Micro-processado	
	Módulo HUB	
	Módulo de Entrada	79.636,0
	Módulo de Saída	
<b>Software</b>	Softwares de Supervisão e controle	
<b>Sensores</b>	Sensor de presença com tecnologia hibrida	79.840,0
	Sensor de presença comum para banheiros e áreas de circulação	3.913,0
	Medidor / Gerenciador de Energia	7.686,0
	Módulo de comunicação	5.090,4
	Software de Gerenciamento do consumo	3.840,0
<b>Serviço</b>	Serviço especializado para modificação do projeto elétrico, instalação e validação do sistema,	60.000,0
	Toda infra-estrutura necessária para a instalação	32.200,0
<b>Outros</b>	Cabo UTP CAT5E, Cabo CCI - 2 pares	8.640,0
		<b>285.645,40</b>

**TABELA 5-7: Custo dos Equipamentos Propostos – Solução Clássica**

	<b>ITEM</b>	<b>Valor</b>
<b>Supervisão</b>	Estação de supervisão do sistema	4.800,00
<b>Hardware de Controle</b>	CLP 1	18.000,00
	CLP 2	26.500,00
	CLP 3	15.000,00
	Relé	18.500,00
	Chave Seletora	15.000,00
<b>Software</b>	Software SCADA	8.000,00
<b>Sensores</b>	Sensor de presença com tecnologia híbrida	79.840,00
	Fonte de Alimentação para sensor de presença com tecnologia híbrida	18.500,00
	Sensor de presença comum para banheiros e áreas de circulação	3.913,00
	Medidor / Gerenciador de Energia	7.686,00
	Módulo de comunicação	5.090,40
	Software de Gerenciamento do consumo	3.840,00
<b>Serviço</b>	Serviço especializado para modificação do projeto elétrico, instalação e validação do sistema,	60.000,00
	Toda infra-estrutura necessária para a instalação	32.200,00
<b>Outros</b>	Cabo SMDB9-CFDB9	2.494,00
		<b>319.363,40</b>

### 5.5.1. Viabilidade

Todo projeto de racionalização do consumo energético deve ser avaliado de acordo com sua viabilidade financeira. Isto por que as tecnologias utilizadas ainda não são encontradas facilmente no mercado, o que pode causar elevados custos de implementação ou ainda obrigar a compra de equipamentos importados. Mesmo frente a

essa realidade os projetos de eficiência energética muitas vezes apresentam um tempo de retorno de investimento pequeno e se mostram extremamente rentáveis. A rentabilidade aqui calculada é a Relação Benefício-Custo (RBC), cuja metodologia de cálculo é a recomendada pela ELETROBRAS, e está demonstrada no APÊNDICE B.

A relação benefício-custo deve ser maior que 1,0 para que o projeto seja considerado economicamente justificável. Os valores de RBC encontrados para os sistemas propostos são de: 1,42 para o sistema de iluminação, e 0,23 para o sistema de climatização. O baixo valor encontrado para a relação benefício-custo no retrofitting do sistema de ar-condicionado pode ser explicado pelo fato de estar substituindo-se um número muito pequeno de aparelhos de ar condicionado do tipo janela – já existentes – por um sistema de condicionamento central.

O benefício alcançado com a implementação do sistema de automação proposto não pode ser facilmente calculado dada a dificuldade de se determinar em qual parcela de tempo os equipamentos dos sistemas de iluminação e climatização permanecem ligados desnecessariamente. Entretanto, dados de OSRAM (2007) indicam que o uso de dispositivos automáticos de controle dos sistemas de iluminação permite a redução, em até 70%, da energia elétrica consumida por este sistema, o que demonstra o significativo valor a ser economizado com a implementação deste sistema.

## **5.6. Comentários Finais**

A estratégia que se apresenta mais eficaz para garantir um consumo racional de energia é a automação dos sistemas consumidores de eletricidade. A automação cumpre o papel de integrar os vários sistemas existentes, garantindo o emprego

coordenado dos recursos disponíveis, de maneira a maximizar tanto a performance técnica, quanto os investimentos, e, assim, minimizar o consumo de insumos.

## **CAPÍTULO 6      CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS**

As possibilidades oferecidas pelos procedimentos realizados para a caracterização, análise e monitoramento dos dados de consumo da edificação usada no estudo de caso, apresentam-se como fator motivador ao uso similar da metodologia utilizada para caracterizar o padrão de consumo do PCA, em outras edificações. A análise das séries históricas de consumo, para fins de previsão de carga, é prática conhecida pelo lado da oferta. Entretanto, o entendimento da dinâmica do consumo de edificações consumidoras, sua modelagem, monitoramento e gestão, ainda carecem de uma metodologia viável e pragmática.

Para se modelar, monitorar, ou estimar o consumo de edificações, foi evidenciada a necessidade de se conhecer as variáveis que influenciam o consumo, tais como os fatores metrológicos, sazonais e comportamentais. Entretanto, modelar sistemas com entradas tão diversas e aleatórias se mostrou uma tarefa complexa e desafiadora, conforme aqui ilustrado. Portanto, a abordagem metodológica evidenciou vantajosamente o esquema de decomposição de séries históricas e seus respectivos termos de efeito sazonais utilizando uma estrutura multicanal como base para a representação e identificação de parâmetros. Tal estrutura incorpora grau de flexibilidade suficiente para acomodar variados comportamentos não lineares, com um número relativamente reduzido de parâmetros, se comparado com o volume de dados

normalmente adquiridos em um sistema de diagnóstico detalhado de sistemas domóticos.

O modelo proposto permite, ainda, o monitoramento contínuo de edificações com dados estruturados de forma apropriada para análises baseadas nas técnicas de Controle Estatístico de Processos. O uso da abordagem de controle estatístico utiliza alterações no consumo característico da edificação, para identificar e sinalizar automaticamente, quando os limites pré-estabelecidos de controle forem excedidos, ou quando o perfil de variação assumir comportamento determinístico para o desvio do modelo médio, caso em que há indícios de causas atribuíveis.

A filosofia de monitoramento apresentada se mostrou adequada para prevenção de problemas mensurados pelo sistema de monitoramento do consumo energético, visto que viabiliza intervenções proativas na edificação antes que tais problemas impactem as contas de energia. No caso de instituições públicas de ensino, evidenciou-se que o monitoramento do consumo é de extremo interesse seja pela necessidade de uso parcimonioso de recursos, seja pela carência latente de profissionais e verbas de custeio para realizar uma manutenção preventiva adequada em equipamentos e sistemas elétricos existentes em um campus universitário. O uso destas ferramentas permite identificar quais são as instalações cuja manutenção é prioritária, permitindo que uma equipe reduzida de profissionais atue efetivamente nos sistemas evitando sua degradação e, quando esta é detectada, atuar rapidamente evitando perdas ou situações de falha no sistema.

A proposta de automação “educadora” apresentada almeja uma incorporação gradativa de atitudes de usos eficientes corretos e parcimoniosos e uma proposta de modelagem do consumo médio da edificação que viabiliza o uso de

Controle Estatístico de Processos para monitoramento contínuo do perfil de potência demandada modelado. O uso eficiente de energia elétrica por meio do *retrofitting* e da automação, no mínimo do sistema de iluminação e do condicionamento do ar de algumas áreas do prédio PCA, proporcionará a redução dos gastos com este insumo, de acordo com estudos realizados.

O detalhamento do projeto, implementação e avaliação dos resultados das propostas de automação, assim como o monitoramento contínuo da instalação baseado nas ferramentas de CEP, são objetos de trabalhos futuros.

## BIBLIOGRAFIA

Abreu, José Policarpo de; et all. (1997). Reflexos da Conservação na Qualidade da Energia Elétrica. *II SBQEE - Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica*.

ADALL. (2007). *Produtos*. Acesso em 19 de Julho de 2007, disponível em <<http://www.homesystems.com.br>>

Alvarez, A. L. (1998). Uso Racional de Energia Elétrica: Metodologia para a Detereminação de Potenciais de Conservação dos Usos Finais em Instalações de Ensino e Similares. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - EPUSP . São Paulo, SP.

Alves, M. R. (2004). Readequação de Sistemas de Ar Condicionado Visando maior Eficiência Energética. (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Pontifícia Universidade Católica. Belo Horizonte, MG.

Alves, T. P. (s.d.). Análise Energética de Edifícios Comerciais - Estudo de Caso: Edifício Júio Soares (Sede da CEMIG). (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.

ANEEL. (2007). *AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA*. Acesso em 05 de Junho de 2007, disponível em <[www.aneel.gov.br/cedoc/](http://www.aneel.gov.br/cedoc/)>

ANSI. (2007). *Public Document*. Acesso em 29 de Maio de 2007, disponível em American National Standard Institute: <<http://www.ansi.org>>

ASHRAE. (s.d.). *Technical Data Bulletin Intelligent Buildings*. Fonte: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning.

BEN. (2007). Balanço Energético Nacional. *Ministério das Minas e Energia*. Rio de Janeiro.

Beraldo, J. C. (2006). Eficiência energética em edifícios: avaliação de uma proposta de regulamento de desempenho térmico para a arquitetura do estado de São Paulo. (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Bolzani, C. A. (2004). Desenvolvimento de simulador de controle de dispositivos residenciais inteligentes: uma introdução ao sistemas domóticos. (Mestrado em Engenharia Elétrica) EPUSP. São Paulo, SP.

Bolzani, C. (2004). *Residências Inteligentes*. São Paulo: Livraria da Física.

- Braga, A. R. (2007). Notas de Aula: Introdução a Identificação de Sinais e Sistemas.
- Bushby, S. T. (1997). BACnet a standard communication infrastructure for intelligent buildings. *Automation in Construction*, pp. 529-540.
- Carmo, A. T. (1999). Qualidade do Ar interno. *Texto Técnico da USP*. São Paulo, SP, Brasil: EPUSP.
- Clements-Croome, T. D. (1997). What do we mean by intelligent buildings? *Automation in Construction*, pp. 395-400.
- CRESTRON. (2007). *Products*. Acesso em 01 de Agosto de 2007, disponível em <<http://www.crestron.com/>>
- Dias, F. C. (1997). *Universidade Federal de Minas Gerais: projeto intelectual e Político*. Belo Horizonte: UFMG.
- ECHELON. (2007). *The LonTalk Protocol*. Acesso em 03 de Agosto de 2007, disponível em <<http://www.echelon.com>>
- EIA. (2007). *Electronic Industries Alliance (EIA)*. Acesso em 03 de Agosto de 2007, disponível em <<http://www.eia.org/>>
- ELETOBRAS. (2007). *Eletróbras*. Acesso em 31 de Maio de 2007, disponível em <<http://www.eletobras.gov.br>>
- ELETOBRAS/PROCEL. (1988). *Guia Técnico - Gestão Energética Municipal*. Rio de Janeiro.
- FUPAI/EFFICIENTIA. (2005). *Gestão Energética*. Rio de Janeiro: Eletróbras.
- Geller, H. S. (1944). O Uso Eficiente da Eletricidade: uma estratégia de desenvolvimento para o Brasil. Rio de Janeiro: INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética.
- Ghisi, E. (1997). Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 246p. (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Horowitz, & Hill. (1989). *The Art of Electronics*. Cambridge.
- IEC. (2007). *LonWorks Technology tutorial*. Acesso em 29 de Junho de 2007, disponível em <<http://www.ieclon.com/LonWorks/LonWorksTutorial.html>>
- Jannuzzi, G. d. (2002). Aumentando a Eficiência nos Usos Finais de Energia no Brasil. *Sustentabilidade na Geração e o Uso da Energia no Brasil: os próximos 20 anos*. São Paulo.
- Jornal Oficial da União Européia. (27 de Abril de 2006). *Diretiva 2006/32/CE*. Acesso em 22 de Junho de 2007, disponível em <<http://eur-lex.europa.eu>>

Krause, C., & all. (2002). *Manual de Prédios Eficientes em Energia Elétrica*. IBAM/PROCEL/ELETROBRAS.

Lamberts, R., & Westphal, F. (2000). *Energy Efficiency in Buildings in Brazil*.

Lamberts, R., Dutra, L., & Pereira, F. *Eficiência Energética na Arquitetura*.

Lopes, J. C. (2002). *Manual de Tarifação da Energia Elétrica*. Rio de Janeiro: PROCEL/ELETROBRAS.

Ludgero, J., & Assis, E. (2005). Avaliação Preliminar do Consumo Energético Desagregado da Escola Arquitetura da UFMG. *Anais do Primeiro Congresso Brasileiro de Eficiência Energética*. Belo Horizonte.

Meier, A., Olofsson, T., & Lamberts, R. (2002). What is an Intelligent Building? *IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAc*.

MME. (2007). Balanço Energético Nacional. *Ministério das Minas e Energia*. Rio de Janeiro.

Montebeller, S. J. (2006). Estudo sobre o emprego de dispositivos sem fios wireless na automação do ar condicionado e de outros sistemas prediais, 129p. (Mestrado em Engenharia Elétrica) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

Montgomery, D. C. (2004). *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade* (Quarta ed.). (A. M. Farias, Trad.) Rio de Janeiro: LTC.

Myres, C. (1996). *Intelligent Buildings: a guide for facility managers*. New York: Upword Publishing.

NEOCONTROL. (2007). *Soluções em Automação*. Acesso em 05 de Agosto de 2007, disponível em <<http://www.neocontrol.com.br/>>

Nunes, R. T. (2006). Conservação da Água em Edifícios Comerciais: Potencial de uso racional e reúso em shopping center. *Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação da Universidade de Federal do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, RJ.

OSRAM. (2007). *Catálogo Geral*. Acesso em 31 de Maio de 2007, disponível em <<http://www.osram.com.br/>>

OSRAM. (2007). *Reatores*. Acesso em 20 de Janeiro de 2007, disponível em OSRAM: <<http://www.osram.com.br/produtos/reatores/index.html>>

OSRAM. (2007). *SISTEMA DALI ADVANCED*. Acesso em 06 de Julho de 2007, disponível em <<http://br.osram.info>>

Paula, M. I. (Setembro de 2000). Eficiência Energética e sua Inserção na Concepção Arquitetônica. *Dissertação Entregue ao Programa de Pós-graduação em Ciências Técnicas Nucleares da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais*. Belo Horizonte.

Pena, S. M. (2002). *Sistemas de Ar Condicionado e Refrigeração*. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL.

Pinheiro, J. M. (11 de Novembro de 2004). *Utilizando os Padrões de Cabeamento*. Acesso em 20 de 06 de 2007, disponível em <<http://www.redesdecomputadores.com.br/>>

Poole, A. D., & Geller, H. (1997). *O Novo Mercado de Serviços de Eficiência Energética no Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Eficiência Energética.

PROCEL. (2001). *Conservação de Energia: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos*. Itajubá: FUPAI.

PROCEL EDIFICA. (Abril de 2007). Regulamentação para Etiquetagem Voluntária de Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. Porto Alegre, RS, Brasil.

PROCEL INFO. (11 de Maio de 2007). *Edifícios comerciais vão ganhar etiqueta de eficiência energética*. Acesso em 20 de Maio de 2007, disponível em Procel Info: <<http://www.eletrabras.com/pci/>>

PROCEL. (Julho de 2002). Manual de Iluminação Eficiente. Eletrobrás.

PROCEL. (2001). *Orientações para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos*.

PROCEL. (2007). *PROCEL*. Fonte: <<http://www.eletrabras.com/procel/>>

PROCEL. (2007). *PROGRAMAS*. Acesso em 2 de Junho de 2007, disponível em ELETROBRÁS: <<http://www.eletrabras.gov.br/elb/portal/data/Pages/LUMIS0389BBA8PTBRIE.htm>>

Reis, L. A. (2002). Integração de Sistemas – Uma tendência Irreversível nos Edifícios Inteligentes. *CTAI: R. AUTOM. TECN. INF. FLORIANÓPOLIS*.

Resende, M. E., & Neves, L. d. (1998). *Universidade Federal de Minas Gerais: memória de reitores (1961 -1990)*. Belo Horizonte: UFMG.

Salcedo, M. A. (2004). AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA NA CIDADE DE AREQUIPA-PERU: uma contribuição para o seu desenvolvimento. *Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo*.

Schiffer, S. R., & Frota, A. B. (2003). *MANUAL DE CONFORTO TÉRMICO* (Sétima ed.). São Paulo: Studio Nobel.

SIEMENS. (2007). *EUROPEAN INSTALLATION BUS*. Acesso em 20 de Junho de 2007

SIEMENS. (2007). *Sistema instabus EIB*. Acesso em 05 de Agosto de 2007, disponível em <<http://www.siemens.com.br>>

Soluções em Automação para Eficiência Energética. (2003). *Dissertação de Mestrado entregue ao Programa de Pós-graduação da Universidade Federal de Goiás*. Goiânia.

Sommer, R. C. (s.d.). *Automação e Controle em Sistemas de Ar Condicionado*. Acesso em 6 de Julho de 2007, disponível em Publicações: <<http://143.54.70.111/diplomacao/>>

Souza, A. P. (2005). Uso da Energia em Edifícios: estudo de caso de escolas municipais e estaduais de Itabira, Minas Gerais. *Dissertação entregue ao Programa de Pós-graduação do CEFFET-MG*. Belo Horizonte, MG, Brasil.

Star Center Soluções em Climatização Ltda. (2006). *Proposta Comercial*. São Paulo.

Technik do Brasil. (2007). *Água de Chuva*. Acesso em 20 de 07 de 2007, disponível em Soluções para o Manejo Sustentável das Águas Pluviais: <<http://www.agua-de-chuva.com/>>

UFMG. (2004). Boletim Informativo da UFMG. Belo Horizonte, MG, Brasil.

UFMG. (2007). *Universidade Feral de Minas Gerais*. Acesso em 20 de 06 de 2007, disponível em <[www.ufmg.br](http://www.ufmg.br)>

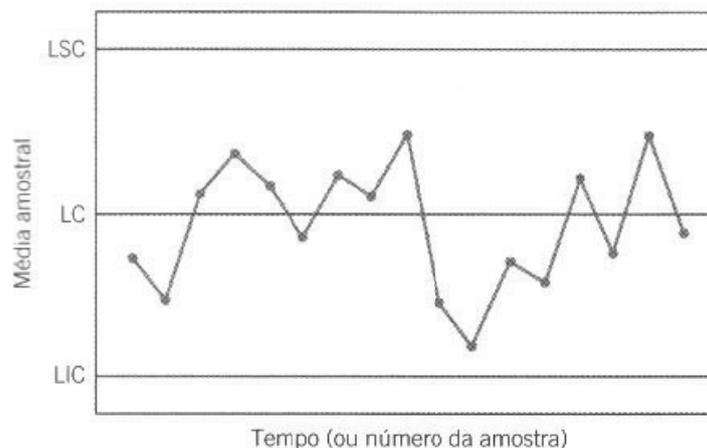
Vitae Civilis. (2007). *Energia*. Acesso em 06 de Julho de 2007, disponível em Instituto para o Desenvolvimento, Meio Ambiente e Paz: <<http://www.vitaecivilis.org.br/>>

Wong, J., Li, H., & Wang, S. (2005). Intelligent building research: a review. *Automation in Construction*, pp. 143– 159.

## APÊNDICE A: CARTAS DE CONTROLE DE SHEWHART

O objetivo do Controle Estatístico de Processo é monitorar o desempenho de processos ao longo do tempo, com vistas a detectar eventos incomuns que influenciam nas características determinantes da qualidade do produto final (Montgomery, 2004). Uma das principais técnicas de CEP é o gráfico, ou carta, de controle.

As cartas de controle representam, em cada ponto traçado, a estatística dos dados amostrados, correspondentes a uma amostra, em relação ao tempo, tornando assim mais fácil a análise para detecção da condição de operação do processo. O gráfico é composto por uma linha central (LC) e limites superior e inferior de controle (LSC e LIC na Figura A-1). A linha central representa onde tal característica do processo deveria estar se não estivessem presentes as fontes de variabilidade. Os limites de controle são determinados a partir de algumas considerações estatísticas. (Montgomery, 2004)



### Figura A-1: Carta de Controle

Pode-se assumir um modelo geral para cartas de controle, seja  $w$  uma amostra estatística que mede alguma característica de qualidade de interesse e assumam-se que a média de  $w$  é  $\mu_w$  e o desvio padrão de  $w$  é  $\sigma_w$ . Assim:

$$LCS = \mu_w + L\sigma_w$$

$$\text{Linha central} = \mu_w$$

$$LCI = \mu_w - L\sigma_w$$

Onde  $L$  é a “distância” dos limites de controle da linha central, expressa em unidades de desvio padrão.

O projeto de cartas de controle compreende a seleção do tamanho da amostra necessário e a definição dos limites de controle e da frequência de amostragem. Em geral, amostras maiores permitem detectar com maior facilidade pequenos deslocamentos no processo. Ao escolher, portanto, o tamanho da amostra, deve-se considerar o tamanho do deslocamento que se espera detectar.

#### Carta de MÉDIA

A distribuição das médias - a média das médias  $\bar{x}$ , e o desvio padrão das médias  $\sigma_{\bar{x}}$  - se relaciona à distribuição das leituras individuais dos dados como segue:

$$E(\bar{X}) = E(\bar{\bar{X}}) = \mu \quad \text{e} \quad \sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad \text{Eq. A-1}$$

Onde:

$\mu$  é a média dos dados individuais;

$\bar{\bar{x}}$  é a média das médias dos subgrupos;

$\hat{\sigma}_{\bar{x}}$  é o desvio padrão das médias;

$\sigma$  é o desvio padrão das amostras individuais dos dados

$n$  é o tamanho de amostra do subgrupo.

O limite de controle para a carta média é computado na Eq. A-2.

$$\text{Limites de Controle} = \bar{\bar{x}} \pm 3\hat{\sigma}_{\bar{x}} \quad \text{Eq. A-2}$$

A média para cada subgrupo é calculada somando as medidas individuais dos dados e então dividindo essa soma por  $n$ . A linha central é calculada somando as médias e então as dividindo pelo número de subgrupos. O que resulta em:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad \text{e} \quad \bar{\bar{x}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{x}_j \quad \text{Eq. A-3}$$

onde  $n$  é o tamanho do subgrupo e  $k$  é o número de subgrupos.

Desta forma, o cálculo do valor de  $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$  pode ser feito por Eq. A-4.

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{k \sum_{i=1}^k \bar{x}_i^2 - \left[ \sum_{i=1}^k \bar{x}_i \right]^2}{k(k-1)}} \quad \text{Eq. A-4}$$

**Carta de RANGE**

O range é definido como a diferença entre os valores máximo e mínimo de um subgrupo, o que fornece uma medida da dispersão dos dados. O range do  $i$ -ésimo subgrupo, é calculado como:

$$R_i = x_{\max,i} - x_{\min,i} \quad \text{Eq. A-5}$$

onde  $x_{\max,i}$  é o valor máximo dos dados no subgrupo  $i$  e  $x_{\min,i}$  é o valor mínimo dos dados no subgrupo  $i$ .

As relações entre as estatísticas do range, da média e do desvio padrão são dados por Eq. A-6.

$$\sigma = \frac{\mu_R}{d_2} \quad \text{e} \quad \sigma = \frac{\sigma_R}{d_3} \quad \text{Eq. A-6}$$

onde:  $\sigma$  é o desvio padrão de medidas individuais;  $\mu_R$  a média do range;  $\sigma_R$  o desvio padrão do range e  $d_2, d_3$  as constantes de proporcionalidade.

Estas constantes são funções do tamanho do subgrupo e são tabuladas. As relações dadas na Eq. A-6 fornecem a base para o cálculo dos limites de controle por Eq. A-7.

$$\text{Limites de Controle} = \bar{R} \pm 3\hat{\sigma}_R \quad \text{Eq. A-7}$$

## APÊNDICE B: CÁLCULO DA RELAÇÃO DE BENEFÍCIO-CUSTO

A viabilidade de implementação das propostas é traduzida pela relação benefício-custo (RBC) calculada de acordo com as orientações da ELETROBRAS (PROCEL, 2001). A relação RBC é dada pela Eq. B-1.

$$RBC = \frac{\textit{Benefícios Anualizados}}{\textit{Custos Anualizados}} \quad \text{Eq. B-1}$$

- Custos Anualizados ( $CA_{\text{equip}}$ ): para equipamentos de mesma vida útil é dado por

$$CA_{\text{equip}} = CPE_{\text{equip}} \cdot FCR \quad \text{Eq. B-2}$$

Aonde o custo por equipamento (CPE) e/ou materiais com mesma vida útil ( $CPE_{\text{equip}}$ ) é dado pela Eq. B-3.

$$CPE_{\text{equip}} = CE_{\text{equip}} + \left[ (CT - CTE) \cdot \frac{CE_{\text{equip}}}{CTE} \right] \quad \text{Eq. B-3}$$

O fator de recuperação de capital (FCR) é calculado por Eq. B-4.

$$FCR = \frac{i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad \text{Eq. B-4}$$

Sendo que:

- $CPE_{\text{equip}}$  é o custo dos equipamentos com a mesma vida útil, acrescido da parcela correspondente aos outros custos diretos e indiretos.
- $CE_{\text{equip}}$  é o custo somente de equipamento com mesma vida útil.
- $CT$  é o custo total do projeto.

- CTE é o custo total somente de equipamentos.  $n$  é a vida útil, em anos.
  - $i$  é a taxa de juros (taxa de desconto), que deve ser considerada 12% ao ano, de acordo com o Plano Decenal de Expansão 1999/2008 aprovado pela Portaria MME nº 151, de 10 de maio de 1999.
- 
- Benefícios Anualizados (B): é calculado pela Eq. B-5

$$B = (EE \cdot CEE) + (RDP \cdot CED) \quad \text{Eq. B-5}$$

Aonde:

EE - Energia Economizada (MWh/ano)

CEE - Custo Evitado de Energia (R\$/MWh)

RDP - Redução de Demanda na Ponta (kW)

CED - Custo Evitado de Demanda (R\$/kW)

O cálculo dos benefícios é necessário determinar os "custos evitados", calculados de acordo com a modalidade tarifária horo-sazonal azul, da distribuidora de energia local conforme resolução da ANEEL. Os custos evitados verificados em decorrência da economia anual obtida nos custos dos sistemas a montante do segmento considerado pela postergação dos investimentos (custo da demanda evitada) e/ou redução de despesas operacionais (custo de energia evitado). Para quantificar os custos totais evitados, multiplica-se a quantidade da demanda e da energia evitadas, pelos respectivos "custos unitários evitados" (PROCEL, 2001).

$$CED = (12 \cdot C1) + (12 \cdot C2 \cdot LP) \quad \text{Eq. B-6}$$

$$CE = \frac{(C3 \cdot LE_1) + (C4 \cdot LE_2) + (C5 \cdot LE_3) + (C6 \cdot LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} \quad \text{Eq. B-7}$$

Aonde C1, C2, C3, C4, C5 e C6 são (PROCEL, 2001):

C1 - custo unitário da demanda no horário de ponta (HP) [R\$/kW.mês];

C2 - custo unitário da demanda fora do horário de ponta (HFP) [R\$/kW.mês];

C3 - custo unitário da energia no HP de períodos secos [R\$/MWh];

C4 - custo unitário da energia no HP de períodos úmidos [R\$/MWh];

C5 - custo unitário da energia HFP de períodos secos [R\$/MWh];

C6 - custo unitário da energia HFP de períodos úmidos [R\$/MWh]

Os valores das constantes LP e LE são calculados a partir dos postos horários da tarifa horosazonal azul, com base em uma série de Fatores de Carga (FC) e Fatores de Perdas (Fp), Eq. B-8:

$$Fp = k \cdot FC + (1 - k) \cdot FC^2 \quad \text{Eq. B-8}$$

Sendo que k varia de 0,15 a 0,30, e seu valor deve ser explicitado no projeto, e FC é o Fator de Carga do sistema.