

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Raquel May Serafin

**AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO *RETROFIT* NO EDIFÍCIO SEDE
DA ELETROSUL**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Roberto Lamberts,
PhD.

Florianópolis

2010

Raquel May Serafin

**AValiação DA REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM FUNÇÃO DO *RETROFIT* NO EDIFÍCIO SEDE
DA ELETROSUL**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 13 de dezembro de 2010.

Prof^ª. Janaíde Cavalcante, Dra.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Roberto Lamberts, PhD.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. EneDir Ghisi, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Ricardo RütHer, PhD.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Aldomar Pedrini, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte na construção desta dissertação e me acompanharam ao longo deste tempo, mas em especial:

Aos meus pais, Waldemar e Maria Dalva, aos meus irmãos Luiz André e João Daniel, pelos incentivos aos estudos e principalmente pela compreensão na ausência no convívio familiar durante os anos do Mestrado, incluindo aí minha cunhada Maria Luiza e o recém chegado à família, Bernardo;

Ao professor e orientador Roberto Lamberts por sua dedicação e bom humor permanente;

Aos membros da banca por aceitarem participar da avaliação e pelas inteligentes sugestões e indispensáveis correções;

Aos meus chefes na Eletrosul, Srs. Ivanildo N. de Albuquerque Jr., Ricardo S. Salengue e Clódio Corrêa Jr., e seus antecessores desde 2007, pela liberação para assistir às aulas do Mestrado e ao Sr. Diretor de Engenharia Ronaldo Custódio pela liberação dos demais funcionários no acompanhamento das medições e na coleta de dados;

Ao apoio sempre muito prestativo dos colegas de vários departamentos da Eletrosul, principalmente ao Sr. Valdir Ramos e Celso Pires Jr. do Departamento de Gestão da Informação e Infraestrutura. Aos senhores Ayres Ulysséa Jr. e Nelson Bernardes do Departamento de Manutenção do Sistema. Aos colegas do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética: Clóvis, Roniere, Marcos Aurélio, Rafael, Paulo Roberto, Henio e Jorge. Aos colegas do Departamento de Gestão de Pessoal e do Departamento de Telemática e Automação que auxiliaram na captação de dados de frequência e dispositivos de medição. A todos os colegas que responderam aos questionários e auxiliaram nos trabalhos de medição noturnos e nos finais de semana, necessários para as disciplinas do curso;

Agradeço também aos profissionais da Ecolux Engenharia na pessoa do Sr. Mário da Rosa pelo acompanhamento na subestação e ao Engenheiro Rogers Farias da empresa Clima Shop pelas informações do sistema de ar-condicionado;

Meu obrigada também ao Sr. Irineu, funcionário da CELESC pela disposição no envio dos registros de Memórias de Massa;

Às antigas colegas de trabalho e arquitetas Reisa Saraiva e Suely Ferraz de Andrade pelo incentivo aos estudos e auxílio na busca de informações;

Aos demais colegas do LABEEE, das disciplinas cursadas, da Eletrosul e aos amigos de longa data deixo meu muito obrigada pela paciência nestes anos de Mestrado;

E finalmente agradeço Àquele que ilumina nossos caminhos quando buscamos nossos objetivos.

RESUMO

No Brasil, em 1996, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica iniciou estudos para tornar edifícios públicos e comerciais mais eficientes. Esta busca pela eficiência energética foi intensificada após o racionamento de energia ocorrido neste país em 2001. No Brasil, pesquisas indicam que o setor comercial consome 14,2% e o setor público 8,2% da energia elétrica gerada. A bibliografia também afirma que 30% da energia gasta em edificações já existentes podem ser economizados através de *retrofits* nestas construções. Após a aplicação de intervenções buscando a eficiência energética, é importante verificar a variação da demanda e consumo de maneira a validar as medidas e os seus custos. Esta dissertação apresenta a bibliografia referente ao tema avaliação do consumo após a aplicação de medidas de eficiência energética para edificações comerciais e faz esta verificação em um estudo de caso para a sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A., localizada na cidade de Florianópolis. São apresentados estudos de metodologias de medição e verificação em projetos de eficiência energética, como o Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance, e exemplos para determinação da efetiva redução da demanda e do consumo e da interferência de variáveis, como clima, número de usuários e rotinas de usos. O edifício em questão foi alvo de vários estudos de conservação de energia e nos anos 2005, 2006 e 2007 passou por reformas visando à economia deste recurso. Os estudos e as intervenções estão aqui descritas. A dissertação aplica os métodos descritos na bibliografia adequando-os para este caso, verifica e quantifica a variação na demanda e no consumo de energia elétrica. A metodologia aplicada considerou a análise das faturas da concessionária de janeiro de 2003 até setembro de 2010, registros de demanda em intervalos de 15 minutos, interferência do clima e de rotinas de ocupação. Também foram efetuadas estimativas e medições diretas durante o ano de 2010 no sistema de climatização, de iluminação e em equipamentos de maior demanda. A interferência do clima foi verificada pelo método estatístico da regressão. Durante a aplicação da metodologia, foram percebidas as dificuldades e particularidades dos métodos de coleta e análise dos dados. Dividindo a demanda em três tipos de uso final, iluminação, ar-condicionado e demais equipamentos, e comparando os valores para os anos que precederam e os subsequentes ao *retrofit*, foi encontrada uma redução na demanda de 57% para o sistema de iluminação interna e de 75% para o sistema de climatização.

Esta economia foi obtida graças à eficiência dos novos sistemas de ar-condicionado e iluminação, ainda que tenha aumentado o número de equipamentos elétricos, como os de informática, a partir de 2002. Os resultados obtidos também indicam que houve redução na demanda e consumo total de energia. Para o consumo total anual da edificação, comparando os dados de 2005 e 2007, quando as obras de revitalização já estavam finalizadas, é encontrada redução de 23%. Também foram percebidas maneiras para aumentar a economia de energia e financeira nesta edificação através de mudanças nas rotinas de usos e revisão no contrato de demanda. Com a revisão, a demanda contratada pode ser diminuída em 11% para o período úmido e 16% para o período seco.

Palavras-chave: Eficiência energética. Medição e verificação. Edificações.

ABSTRACT

In Brazil, in 1996, the National Program of Electrical Energy Conservation started studies to become public and commercial buildings more efficient. This searching for the energy efficiency was enhanced after the energy rationing that happened in this country in 2001. In Brazil, researches indicate that the commercial sector consumes 14,2% and the public sector 8,2% of electrical energy generated. The bibliography also assures that 30% of the energy spent in buildings already existent can be saved through retrofits in these constructions. After energy efficiency retrofit, it is important to verify the demand and consumption variation in a way to validate the measures and its costs. This dissertation presents the reference about assessment consumption after the measurement application of energy efficiency for commercial buildings, verified in a case study at the main office of Eletrosul Centrais Elétricas S.A., placed in Florianópolis. It is presented measurement and verification methodology studies in energy efficiency projects as the International Protocol for Performance Measurement and Verification, and examples for determining the effective demand and consumption reduction and variable interferences such as climate, number of users and use routines. The building itself was the target of several energy conservation studies and in 2005, 2006, 2007, it was restored aiming to salve this resource. The studies and interventions are described here. The dissertation applies the methods described on the reference according to this case study, verifying and quantifying the electrical energy demand and consumption range. The methodology applied considered the energy bill analysis from January, 2003 to September, 2010, demand records to intervals of 15 minutes, climate and routine occupation interferences. It was also held direct estimative and measurement in 2010 in the HVAC, lighting systems and in higher demand equipment. The climate interference was verified by the regression statistic method. On the methodology application was realized the difficulties and particularities of the collection methods and data analyses. Dividing the demand in three types of finishing use, lighting systems, air-conditioner, and other equipment, comparing the values of the previous and subsequent years to the retrofit, it was found a demand reduction of 57% for the internal lighting system and 75% for the HVAC system. This saving was obtained due to the new air-conditioner and lighting system efficiencies, even though it has

increased the number of electrical equipment such as computing in 2002. The results obtained also indicate that there was total energy demand and consumption reduction. For the yearly total consumption of the building, comparing the data of 2005 and 2007, when the revitalization works were already ended, it is found 23% of reduction. It was also realized ways to increase the energy and financial savings in that building through the changes on the use routines and review on the demand dealing. With the review, the demand hired can be decreased in 11% in the humid season and 16% in the dry season.

Key-words: Energetic Efficiency. Measurement and Verification. Buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Edifício Sede da Eletrosul.....	25
Figura 2 – Edifício Sede da Eletrosul: planta baixa esquemática do pavimento térreo.....	26
Figura 3 – Edifício Sede da Eletrosul: corte do projeto original seccionando o átrio central.....	26
Figura 4 – Reprodução dos perfis de carga de demanda do Trafo 2 para dias úteis.....	48
Figura 5 – Caracterização do uso final do Trafo 2.....	49
Figura 6 – Demandas registradas e contratadas.....	55
Figura 7 – Potência ativa a cada hora em 1° de julho de 2001 – Domingo. Valores em kW.....	56
Figura 8 – Potência ativa a cada hora em 3 de julho de 2001 – Terça-feira. Valores em kW.....	56
Figura 9 – Esquema do sistema de condicionamento de ar. Equipamentos, sentido de fluxo da água e sua temperatura.....	60
Figura 10 – Torres de arrefecimento, 2007.....	60
Figura 11 – Entrada da água proveniente das torres de arrefecimento, 2007.....	61
Figura 12 – Resfriadores de líquido, 2007.....	61
Figura 13 – Tubulação de água gelada, 2007.....	61
Figura 14 – Tanques de equalização de vazões e temperaturas, 2007... ..	61
Figura 15 - Um dos climatizadores e ventiladores de ar do primeiro pavimento, 2009.....	62
Figura 16 – Comparativo de consumo anual.....	64
Figura 17 – Energia elétrica gerada total.....	65
Figura 18 – Satisfação dos ocupantes do prédio com a temperatura interna.....	67
Figura 19 – Satisfação dos ocupantes do prédio com a iluminação interna.....	67
Figura 20 – Satisfação dos ocupantes do prédio com a iluminação externa.....	68
Figura 21 – Diagrama Unifilar.....	69
Figura 22 – Fluxograma representativo da metodologia aplicada.....	72
Figura 23 – Transformador 3 com o equipamento de medição instalado (demarcado em vermelho).....	78
Figura 24 – Equipamento de medição.....	78
Figura 25 – Sistema de conexão com o computador portátil para efetuar a leitura dos dados.....	79

Figura 26 – Instalação do analisador de energia no quadro elétrico dos três elevadores.....	80
Figura 27 - Conexão dos cabos do analisador de energia com os fios de fase, terra e neutro do quadro elétrico dos três elevadores.....	80
Figura 28 – Conexão do analisador de energia ao quadro elétrico das bombas de recalque.....	81
Figura 29 – Consumo total anual 2003 a 2009. Valores em MWh.....	85
Figura 30 – Demandas registradas e contratadas 2009. Valores em kWh	86
Figura 31 – Demandas registradas e contratadas 2009. Valores em kWh	89
Figura 32 – Memória de Massa 22 de janeiro – 22 fevereiro 2007.....	90
Figura 33 – Memória de Massa 21 de junho – 17 de julho 2007	90
Figura 34 – Demanda semanal em janeiro de 2010	91
Figura 35 – Demanda semanal em janeiro de 1996	91
Figura 36 – Demanda semanal em junho de 2009	92
Figura 37 – Demanda semanal em junho de 1996	92
Figura 38 – Gráfico de regressão de temperatura externa e demanda para 2007	93
Figura 39 – Gráfico de regressão de temperatura externa e demanda para 2007 a partir de duas equações de reta conforme temperatura externa.	94
Figura 40 - Gráfico de regressão da radiação solar e demanda para 2007	95
Figura 41 – Gráfico de regressão da umidade relativa do ar e demanda para 2007.....	95
Figura 42 – Demanda do sistema de ar-condicionado em janeiro de 2010. Leitura do medidor do Trafo 3.....	98
Figura 43 – Demanda do sistema de ar-condicionado em novembro de 2009. Leitura do medidor do Trafo 3.....	98
Figura 44 – Demanda de toda a unidade consumidora e do sistema de ar-condicionado em janeiro de 2010. Médias dos dias úteis	99
Figura 45 – Demanda do sistema de ar-condicionado nos dias mais frios do inverno de 2010. Leitura do medidor do Trafo 3	100
Figura 46 – Médias mensais da demanda do sistema de climatização. Leitura do medidor do Trafo 3.....	102
Figura 47 – Médias mensais da demanda do sistema de ar-condicionado entre 8 e 18 horas dos dias úteis de outubro de 2009 a setembro de 2010, exceto março e abril de 2010	103
Figura 48 – Demandas de um dia útil e durante o acionamento programado do sistema de iluminação interna.....	105

Figura 49 – Demandas de um dia útil, durante o acionamento programado do sistema de iluminação interna e da medição da iluminação externa	106
Figura 50 - Diagrama esquemático da conexão do analisador de energia ao quadro elétrico das bombas de recalque	111
Figura 51 – Memória de Massa e geração fotovoltaica em dezembro de 2009.....	112
Figura 52 – Reprodução do perfil de carga de demanda da iluminação interna para dias úteis.....	113
Figura 53 – Reprodução do perfil de carga de demanda da iluminação externa para dias úteis	114
Figura 54 – Reprodução do perfil de carga de demanda da exaustão para dias úteis.....	115
Figura 55 – Reprodução do perfil de carga de demanda das cargas constantes para dias úteis	115
Figura 56 – Reprodução do perfil de carga de demanda das “outras cargas” para dias úteis.....	116
Figura 57 - Reprodução do perfil de carga de demanda média do sistema de climatização para dias úteis	117
Figura 58 – Reprodução dos perfis de carga de demanda da edificação para dias úteis.....	117
Figura 59 – Reprodução dos perfis de carga de demanda para dias úteis em fevereiro de 2009 tendo como base a demanda média dos dias úteis do mês	118
Figura 60 – Reprodução dos perfis de carga de demanda do Trafo 2 para dias úteis em fevereiro de 1997.....	118
Figura 61 – Adição da carga do sistema de ar-condicionado à representação dos perfis de carga de demanda para dias úteis em fevereiro de 2010.....	119
Figura 62 – Perfis de demanda para outubro de 2009	120
Figura 63 – Demandas medidas e contratadas no ano 2009.....	120
Figura 64 – Demandas medidas e contratadas no ano 2000.....	121
Figura 65 – Potência ativa por hora em 1 de julho de 2001 – domingo. Valores do eixo y em kW	122
Figura 66 – Potência ativa em julho de 2010. Comparação da demanda de um dia útil e um domingo (4 de julho)	122
Figura 67 – Demanda total para dias não úteis para o período de leitura janeiro-fevereiro de 2010	123
Figura 68 - Demanda total para dias não úteis para o período de leitura janeiro-fevereiro de 2010	123

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Identificação dos cinco níveis de abordagens principais	38
Tabela 2 – Características das lâmpadas existentes e novas	58
Tabela 3 – Equipamentos do sistema de climatização	59
Tabela 4 – Relação de obras de <i>retrofit</i> e respectivos períodos	87
Tabela 5 – Condições climáticas e funcionamento dos compressores ..	97
Tabela 6 – Demanda do sistema de ventilação.....	100
Tabela 7 – Equipamentos de climatização independentes do ar- condicionado central	104
Tabela 8 – Demanda pelo sistema de iluminação externa.....	105
Tabela 9 – Distribuição dos aparelhos de exaustão dos banheiros e copas	107
Tabela 10 – Leitura dos dados de tela do No Break.....	108
Tabela 11 - Consumo dos elevadores.....	109
Tabela 12 - Consumo dos elevadores em 24 horas	109
Tabela 13 – Dados de placa dos elevadores	109
Tabela 14 - Consumo das bombas de recalque em 24 horas	111
Tabela 15 – Uso final da energia para período úmido e seco.....	124
Tabela 16 – Comparativo dos usos finais com os indicados nos estudos	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC – Ar-condicionado
ACQUA – Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento
Arquivo climático TRY – Ano climático de referência (*test reference year*)
ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás
COSE – Centro de Operação do Sistema Elétrico
CPD – Centro de Processamento de Dados
CPU – Unidade Central de Processamento (na língua inglesa)
CV – Coeficiente de variação
DPD – Departamento de Planejamento Pesquisa e Desenvolvimento
DPS – Departamento de Planejamento do Sistema
Eletrosul – Eletrosul Centrais Elétricas S.A.
ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
ESCOs – Empresas de Serviços em Conservação de Energia
FEESC – Fundação de Ensino e Engenharia em Santa Catarina
FIESC – Federação das Indústrias de Santa Catarina
LABEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações
LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar
LEED – Leadership in Energy and Environmental Design
M&V – Medição & Verificação
N. – Número
NPC – Núcleo de Pesquisa de Construção
ONS – Operador Nacional do Sistema
PIMVP – Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance
PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle do Sistema de Ar-condicionado
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
Trafo – Transformador
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
USGBC – U.S. Green Building Council`s

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 OBJETIVOS.....	23
1.1.1 Objetivo Geral.....	23
1.1.2 Objetivos Específicos.....	23
1.2 OBJETO DE ESTUDO.....	24
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	27
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	29
2.1 EXEMPLOS DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES.....	30
2.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUANTIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DE CONSUMO E DEMANDA.....	34
2.2.1 Opções de Medição e Verificação do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance.....	38
2.2.1.1 Medição direta e medição isolada	46
2.2.1.2 Caracterização do uso final de energia	48
2.2.3 Considerações finais sobre a avaliação da eficiência energética e quantificação da variação de consumo e demanda.....	50
2.3 ESTUDOS SOBRE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL ANTERIORES AO <i>RETROFIT</i>	51
2.4 O <i>RETROFIT</i> DO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL.....	58
2.5 ESTUDOS SOBRE A ECONOMIA DE ENERGIA NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL APÓS O <i>RETROFIT</i>	62
2.6 CONTRIBUIÇÃO DA AUTOGERAÇÃO.....	65
2.7 QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL.....	66
2.7.1 Conforto térmico.....	66
2.7.2 Conforto visual.....	67

2.8 CARACTERÍSTICAS DO FORNECIMENTO DE ENERGIA AOS SISTEMAS E EQUIPAMENTOS NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL...	68
3 METODOLOGIA.....	71
3.1 ANÁLISE DAS FATURAS.....	73
3.2 ANÁLISE DA MEMÓRIA DE MASSA.....	74
3.3 INTERFERÊNCIA DO CLIMA.....	75
3.4 MEDIÇÕES E ESTIMATIVAS DA DEMANDA DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS.....	77
4 RESULTADOS.....	85
4.1 ANÁLISE DAS FATURAS.....	85
4.2 ANÁLISE DA MEMÓRIA DE MASSA.....	89
4.3 INTERFERÊNCIA DO CLIMA.....	93
4.4 MEDIÇÕES E ESTIMATIVAS DA DEMANDA DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS.....	96
4.4.1 Sombreamento da laje de cobertura.....	96
4.4.2 Ar-condicionado.....	97
4.4.3 Iluminação.....	104
4.4.4 Equipamentos de carga relevante.....	106
4.4.5 Medições com o analisador de qualidade de potência trifásica.....	108
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	112
5. CONCLUSÕES.....	127
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	130
REFERÊNCIAS.....	133

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento no consumo de energia elétrica per capita é reflexo do crescimento econômico do país e dos hábitos de vida contemporâneos que incorporam as facilidades dos aparelhos elétricos. A partir do racionamento de energia elétrica ocorrido no Brasil em 2001, o poder público e a opinião civil direcionaram suas preocupações para a redução do consumo de eletricidade por meio de equipamentos, edificações e hábitos de uso mais eficientes. Entende-se por eficiência energética a capacidade de transformar menor quantidade de energia possível para a geração da máxima quantidade de trabalho possível (CHUNG et al., 2006, p.2).

No Brasil, em 1996, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) coordenou um trabalho denominado “Projeto Seis Cidades”. Com o intuito de desenvolver a eficiência energética em edificações brasileiras, demonstrar o estado da arte das tecnologias e encorajar o uso de programas de simulação para edificações, o projeto consistia na aplicação de uma Metodologia de Avaliação Energética Predial em seis cidades brasileiras. O resultado seria a aplicação de reformas que visassem à otimização energética em dois prédios públicos e comerciais para cada cidade inserida no projeto, e que estes fossem referências para intervenções em outras edificações, públicas ou não. A escolha dos prédios obedeceu a várias etapas de seleção, definindo-se os de maior potencial de redução no consumo de energia elétrica (LAMBERTS. 1 et al., 1997).

Em Florianópolis, o estudo aconteceu no edifício da Federação das Indústrias de Santa Catarina (FIESC) e na sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A. (Eletrosul). O trabalho foi coordenado pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Em 19 de dezembro de 2001 o Decreto n. 4059 da Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia regulamentou a Lei n. 10295 que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, estabelecendo que devessem ser criados níveis de consumo para aparelhos consumidores de energia nacionais e edificações construídas. O PROCEL inicialmente trabalhou para a eficiência de equipamentos através da etiqueta “PROCEL”. Em 2003 iniciaram os trabalhos para o PROCEL-Edifica: Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, que resultou na Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) lançada em julho de 2009.

Inicialmente voluntária, deverá passar a ser compulsória em cerca de cinco anos. A ENCE, nos moldes da etiqueta para equipamentos, classifica as edificações, ou partes dela, de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). As partes analisadas para a obtenção da ENCE total ou parcial são: a envoltória, o sistema de iluminação e sistema de condicionamento do ar.

Unindo-se a outras certificações internacionais de eficiência e/ou sustentabilidade (os chamados selos verdes), como LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), desenvolvido pelo U.S. Green Building Council e ACQUA (Alta Qualidade Ambiental do Empreendimento, pela Fundação Vanzolin, Brasil), o mercado da construção civil passa cada vez mais a se preocupar com os materiais e formas da edificação. O sistema de etiquetagem acaba por ser um forte elemento de marketing, negociação e financiamentos.

Não só edificações novas, mas também as já construídas podem receber a etiqueta ou selos. Empresas preocupadas com a sua imagem, aceitação pública, desempenho no mercado financeiro e querendo racionalizar o consumo para evitar desperdícios, estão disponibilizando recursos para elaboração de projetos novos ou de reforma em suas edificações já visando às certificações verdes.

A redução significativa do consumo de energia elétrica em edificações do tipo comercial é resultado da interação da arquitetura com os principais usos finais de energia: iluminação e condicionamento de ar (PEDRINI, 1997, p. 5). Para o mesmo autor, a expectativa desta redução varia segundo a abordagem, devendo ocorrer tanto em nível de projeto como em nível de reformas de edificações existentes.

Mendler et al. (2006, p.4) expõe que numerosos estudos também destacam a conexão entre edifícios eficientes e o aumento da produtividade de 2% a 15%.

A Eletrosul, proprietária do edifício objeto de estudo desta pesquisa, que é uma empresa de economia mista, transmissora e geradora de energia elétrica atuante nos estados do Mato Grosso do Sul, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Rondônia, adiantou-se e em 2002 iniciou estudos para reformar seu edifício sede de forma a torná-lo mais eficiente energeticamente. As principais medidas adotadas na edificação, localizada na capital catarinense (Florianópolis) foram as trocas dos sistemas de iluminação, de climatização e sombreamento da laje de cobertura por telhas metálicas. Iniciadas em 2005, as obras foram finalizadas no início de 2007.

O próximo procedimento é concluir se as obras de reforma dessa edificação foram bem sucedidas, e assim, se os investimentos e

tecnologias empregados proporcionaram retorno. As previsões de economia de energia geralmente são calculadas usando o desempenho especificado dos equipamentos e estimativas das características de uso, como o horário de ocupação e acionamento dos sistemas e equipamentos. Muitas vezes, por não se levar em consideração a interação entre equipamentos, cargas térmicas, ganho solar e infiltrações, os valores previstos diferem dos medidos. Por causa desta discrepância, é importante a medição da economia de energia (KISSOCK et al., 1992, p. 234).

Com o desenvolvimento de um estudo aprofundado do *retrofit* pelo qual passou o edifício sede da Eletrosul, podem-se mostrar os benefícios deste procedimento, a veracidade e quantificação da redução da demanda e do consumo de energia elétrica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a redução da demanda e do consumo de energia elétrica após as reformas ocorridas no edifício sede da Eletrosul visando à economia deste recurso.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a demanda por uso final e no total através de auditoria, medições, análises das faturas, dados climáticos e especialmente dos registros de Memória de Massa;
- Comparar as novas demandas com as documentadas através de registros da concessionária e as informações dos projetos de conservação de energia e assim quantificar a variação da demanda e do consumo de energia elétrica após as reformas que visaram à redução do consumo de eletricidade;
- Verificar se as características do clima e rotinas de uso são semelhantes às do período anterior às intervenções;

- Apresentar a demanda por uso final para período úmido e seco para percepção da influência do clima na demanda dos sistemas; e
- Apontar as cargas que apresentam maior potencial de redução de demanda e consumo.

1.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo é o edifício sede da Eletrosul Centrais Elétricas S.A., localizado em Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina (latitude 27,40° Sul, longitude 48,33° Oeste). O edifício construído em 1978 tem planta quadrada (90m x 90m) em concreto armado, fechamentos externos predominantemente em vidros, sombreados por brises (quebra-sóis) horizontais em alumínio. É composto de cinco pavimentos, sendo dois no subsolo. Para as repartições internas prevalecem divisórias comuns de madeira revestida por laminado melamínico ou divisórias em vidro. A cobertura original é em laje nervurada (tipo grelha) impermeabilizada. Ao centro do edifício existe um átrio (30m x 30m) de pé-direito triplo (cerca de 10m de altura) servido por iluminação zenital proveniente de domos em acrílico leitoso. A área total edificada corresponde a 27735 m² e o horário de funcionamento dos escritórios é das 7h00min às 18h30min, tendo como horário-núcleo o período entre 8h30min e 16h45min (salvo serviços que ocorrem 24h por dia, como o Centro de Operação do Sistema Elétrico – COSE). A Figura 1 é a imagem externa das fachadas sudeste e nordeste.



Figura 1 – Edifício Sede da Eletrosul

Fonte: Acervo Eletrosul, 2007.

A Figura 2 é a planta baixa esquemática do pavimento térreo e a Figura 3 é um dos cortes do projeto original e que passa pelo átrio central.

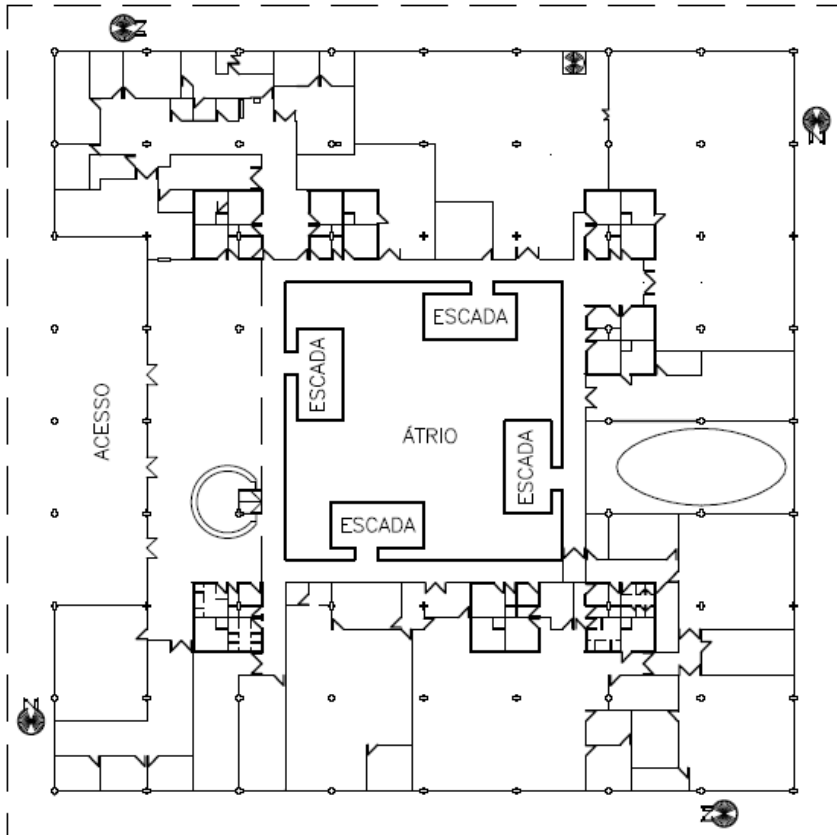


Figura 2 – Edifício Sede da Eletrosul: planta baixa esquemática do pavimento térreo

Fonte: Acervo Eletrosul (2007).

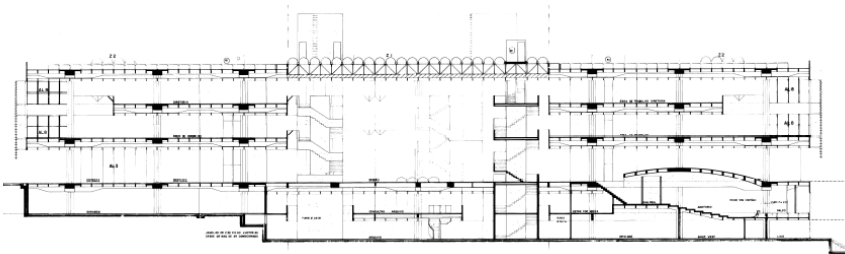


Figura 3 – Edifício Sede da Eletrosul: corte do projeto original seccionando o átrio central

Fonte: Acervo Eletrosul (2007).

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Após a justificativa do motivo de se fazer a verificação pós-*retrofit*, indicar os objetos e o objeto de estudo, esta dissertação apresenta no Capítulo 2 uma revisão bibliográfica sobre o tema avaliação pós-*retrofit*. A revisão inicia com informações atuais do consumo de energia em edificações, seguida de potenciais e métodos para redução do consumo de energia, avaliação da eficiência energética e abordagens e metodologias para quantificação da variação de consumo e demanda em uma edificação, como o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance. Neste capítulo também são apresentados os estudos ocorridos sobre a conservação de energia elétrica no edifício sede da Eletrosul. Descreve o *retrofit* ocorrido nesta edificação e os estudos já elaborados sobre a economia depois de finalizadas as intervenções. O capítulo também apresenta informações sobre a contribuição da autogeração através de painéis fotovoltaicos, sobre a qualidade ambiental interna e das características de fornecimento de energia ao prédio.

A metodologia aplicada nesta dissertação é descrita no terceiro capítulo, sendo no Capítulo 4 apresentados e analisados os resultados obtidos.

No Capítulo 5, são feitas as conclusões, apresentadas as dificuldades encontradas e as respostas aos objetivos da pesquisa. Ao final são propostos temas de trabalhos futuros acompanhados pelas referências bibliográficas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Edificações comerciais são grandes consumidores de energia elétrica. No Brasil, só o setor comercial consome 14,2% e o setor público 8,2% da energia elétrica gerada (BRASIL. 1, 2008, p. 41). A proximidade entre demanda e oferta aumenta tanto o custo da energia quanto o risco de escassez do recurso. Existem métodos para tornar os edifícios mais eficientes e assim manter a demanda exigida do sistema elétrico afastada do limite de geração.

Edifícios novos podem ser concebidos levando em consideração as premissas da eficiência em todos os aspectos do projeto. Para os edifícios existentes, a maneira de torná-los mais econômicos no uso da energia elétrica, é através de medidas de conservação de energia, que vão desde adequação dos hábitos e rotinas de ocupação e usos, até intervenções ou trocas em equipamentos e sistemas. Este processo de aperfeiçoamento dos equipamentos ou sistemas também pode ser chamado de reforma, ou mais comumente entre profissionais envolvidos com eficiência energética, de *retrofit*. *Retrofit* é a palavra da língua inglesa utilizada, em sua forma original, para definir qualquer tipo de reforma. No entanto, entre profissionais e pesquisadores envolvidos com eficiência energética em edificações o termo é utilizado para definir alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica visando à sua conservação (GHISI, 1997). O processo de intervenção em edificações é complexo e há a necessidade de avaliar o desempenho dos sistemas.

A eficiência energética não só contribui para a redução da fatura de consumo das edificações, como beneficia a sociedade pela manutenção dos ecossistemas e dos recursos naturais, redução da poluição, menor emissão de gases do efeito estufa, disponibilidade de eletricidade para fins mais nobres do que o desperdício e o conseqüente desenvolvimento econômico por alocação dos recursos e aumento da competitividade de bens e serviços.

Preocupados com a possibilidade da escassez ou racionamento dos recursos energéticos devido ao aumento do consumo de eletricidade, quer seja pelo crescimento da economia, quer pelas mudanças nos hábitos de consumo, o governo brasileiro tem investido em programas de conservação, tal qual o PROCEL, descrito no item anterior. Dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL. 1, 2008, p. 68) apontam que o consumo de eletricidade cresceu 5,97% de 2006 a 2007 e 4,0% de 2007

a 2008 segundo os resultados preliminares do Balanço Energético Nacional 2009 (BRASIL. 2, 2009, p. 2).

Em edifícios públicos brasileiros, estudos apontam a divisão do consumo em: 48% pelo condicionamento de ar, 23% pela iluminação, 15% por equipamentos de escritório e 14% devido a demais cargas, como bombas e elevadores (PROCEL. 1, 2007, p.33). As pesquisas de mercado do PROCEL. 1 (2007, p.30) mostram que em edifícios comerciais atendidos por alta tensão foi identificado um uso final médio de 47% devido ao sistema de condicionamento de ar, 22% de iluminação e 31% pelas demais cargas do edifício. Torcellini et al. (2006, p. 112) diz que o consumo por iluminação em escritórios é de 30%. Opinião corroborada por Mendler et al (2006, p.179) que afirma que a iluminação contribui de 30 a 40% no consumo de uma edificação. A diferença dos valores apresentados pelos dois últimos autores e os dados do PROCEL pode ser creditada ao fato de se estar comparando informações de país desenvolvido e do hemisfério norte, Estados Unidos, com o Brasil, país em desenvolvimento e localizado em área com maior radiação solar. Com mais horas de sol e maiores valores de radiação solar pode fazer melhor proveito da iluminação natural. Os sistemas de aquecimento, arrefecimento e iluminação são os principais responsáveis pelo consumo de energia em edifícios de serviços, consumo esse associado às exigências de conforto térmico e visual em espaços interiores. (FORNARI e ZECCHINI, 2008, p. 11).

2.1 EXEMPLOS DE REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

O PROCEL afirma que 30% da energia gasta em edificações já existentes podem ser economizados através de *retrofits* nestas construções (PROCEL. 2, 2007). Assim como indica o guia da Utilização Racional de Energia em Edifícios Públicos, de que, “dependendo da performance da envolvente, uma reabilitação eficaz de um edifício ineficiente pode permitir economia de energia de até 30%” (FORNARI e ZECCHINI, 2008, p. 11).

PECI (2009, p. 4) estima que o comissionamento de edifícios típicos comerciais já existentes pode resultar em 12% de economia de energia, com um *payback* de pouco mais de um ano. Comissionamento em edifícios existentes pode ser definido como identificar problemas de operação e manutenção nos sistemas e componentes, melhorar o

conforto ambiental, otimizar o uso de energia, atualizar o maquinário, etc, de modo a adequar os sistemas da edificação com seu uso atual, usando os projetos iniciais apenas como referência. Pelas atitudes de atualização dos equipamentos e sistemas, o comissionamento pode ser entendido como *retrofit*. Os principais sistemas são a envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar. A ênfase é no gerenciamento da energia. O comissionamento de um edifício deve acontecer juntamente pela consultoria de engenharia e os responsáveis pela operação da edificação (LIU et al., 1997, p. 1606). A aplicação do comissionamento em sistemas de condicionamento de ar existentes tem geralmente encontrado resultados em torno de 20% na redução do uso de energia pela edificação, com retorno financeiro entre um e três anos (CLARIDGE, 2003). Liu e Claridge indicam que manter comissionamentos reduziu em média 20% do consumo de energia em 130 edificações norte-americanas (CLARIDGE, 2003).

Como benefícios do comissionamento em edificações existentes, Haasl e Sharp (1999, p. 9) enumeram:

1. Identificar o sistema operacional, controle e problemas de manutenção;
2. Apoiar o planejamento de longo prazo e uma melhor manutenção do orçamento;
3. Ajudar a garantir um saudável, confortável e produtivo ambiente de trabalho para os ocupantes;
4. Reduzir o desperdício de energia e garantir que o equipamento opere de forma eficiente;
5. Proporcionar economia de custos de energia;
6. Reduzir os custos de manutenção evitando falhas prematuras de equipamentos;
7. Fornecer documentação completa e exata do edifício; agilizar a solução de problemas;
8. Fornecer uma formação adequada ao pessoal operacional para aumentar a habilidade e a eficácia no atendimento a clientes ou inquilinos; e
9. Reduzir o risco e aumentar o valor dos ativos da construção.

Segundo Claridge et al. (2003), o primeiro passo de um comissionamento é uma auditoria. Com os resultados dela parte-se para a segunda etapa que é o refinamento das medidas identificadas e então para a implementação do comissionamento. A segunda fase contém seis passos, que são:

1. Desenvolver o plano de comissionamento contínuo e formar o time de projeto;
2. Desenvolver o *baseline*, que segundo o Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP) pode ser individualizado para cada ação de eficiência energética. *Baseline* é um período específico, selecionado para representar o uso e custos de energia em uma edificação antes de passar pela implementação dos serviços de eficiência energética (FREIRE, 2001, p.V);
3. Conduzir as medições e o desenvolvimento do comissionamento;
4. Implementar as medidas;
5. Documentar a melhoria no conforto e economias de energia (podendo usar os mesmos métodos do *baseline*); e
6. Manter a continuidade do comissionamento (após um ano o engenheiro deve escrever um projeto de relatório de acompanhamento do primeiro ano, economias, recomendações ou alterações resultantes e recomendações para melhorar ainda mais os sistemas).

Friedman et al. (2003, p. 9) num estudo sobre a persistência dos benefícios do comissionamento em edificações novas, revela que o menor consumo de energia ocorreu entre dois e três anos após o comissionamento. Para o autor, as técnicas para determinar as economias de energia devem ser coerentes com o PIMVP.

Ações combinadas são mais eficazes. Por exemplo, o uso de luminárias e reatores eficientes diminui a carga térmica interna do edifício, o que acarreta benefícios ao sistema de climatização do ar, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (LAM et al., 2006, p.1943) pela redução da carga térmica para resfriamento. A redução da carga térmica gerada pela iluminação não só diminui a temperatura interna como chega a reduzir a velocidade e potência dos ventiladores dos climatizadores de ar e ventiladores (*fan-coils*) (LEE et al. 2003, p. 879 e 886). Segundo Sezgen e Koomey (2000, p. 804) a cada dólar economizado através da eficiência energética no sistema de iluminação, a economia nos gastos com refrigeração em grandes escritórios é de US\$0,16. Como indica Haberl e Culp (2005, p. 30), vários estudos publicados sobre economia de energia mostram que a interação com o sistema de refrigeração pode aumentar a economia de 10 a 20%. Para estes autores (2005, p. 31) qualquer *retrofit* em iluminação deve incluir

uma medição dos níveis atuais de iluminação, os quais são medidos durante o dia e a noite. O aumento no consumo poderia ter acontecido, como foi no estudo europeu *Office*. O projeto *Office* consistia na aplicação de medidas de eficiência energética em dez edificações europeias usadas para escritórios. Segundo Hestnes e Kofoed (2002, p. 572), quando a iluminação inicial é insuficiente, o *retrofit* acaba por aumentá-la, o que interfere nos aparelhos de climatização quando da inserção de mais lâmpadas. Quando há necessidade de aquecimento, este aumento da carga térmica beneficia o sistema de climatização, mas o contrário acontece quando a necessidade é de resfriamento do ambiente interno.

Para Fornari e Zecchini (2008, p. 14), com a substituição de reatores ineficientes por reatores eletrônicos, a iluminação fluorescente tubular permite obter economias de energia da ordem dos 20%. Na remodelação da iluminação fluorescente recomenda-se também, e sempre que possível, a utilização de lâmpadas eficientes T5 (16 mm de diâmetro e 28 W) em detrimento das lâmpadas de bulbo T8, T10 e T12 (de 25, 32 e 38 mm de diâmetro, com potência de 32 W e 40 W). O aumento de 25% no rendimento das luminárias é conseguido com o uso de superfícies refletoras junto às lâmpadas.

Além da redução de consumo, Nikolaidis et al. (2009, p. 2556) concluíram, através do método de avaliação de medidas de conservação de energia, que a modernização da iluminação artificial pode ser considerada como um dos investimentos mais econômicos e eficazes, ou seja, é o investimento de retorno mais rápido para a redução do consumo.

Casos bem sucedidos de iluminação natural são vitais para redução do consumo pelo sistema de ar-condicionado (TORCELLINI et al., 2006, p. 110), como o uso de sensores fotoelétricos que ativam ou desativam certo conjunto ou a totalidade de lâmpadas quando há menos ou mais iluminação natural.

Avaliar o desempenho do sistema de resfriamento é particularmente complexo, devido à combinação de cargas causadas por diferenças de temperatura e umidade, ganho solar e fontes internas de calor (Olofsson et al., 2004).

Considerar as medidas separadamente pode superestimar ou subestimar o resultado e assim distorcer a análise de economia (LEE et al., 2003, p.879). Estudos de caso de Lee et al. (2003, p. 887) mostraram que ignorar a influência mútua das medidas de conservação de energia pode superestimar a economia em 28,1 kWh/m².

2.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E QUANTIFICAÇÃO DA VARIAÇÃO DE CONSUMO E DEMANDA

Como avaliar se uma edificação é ou se tornou mais eficiente? Segundo Patterson (1996, 377), eficiência energética é um termo genérico e não há uma medida clara de quantificação da “eficiência energética”. Em termos gerais, refere-se a usar a menor quantidade de energia (*input*) para produzir a mesma quantidade de serviço (*output*). A questão é saber como definir com precisão a energia útil de saída e de entrada, que por sua vez dá origem a uma série de importantes considerações metodológicas que são pouco contempladas na literatura.

Para Meier et al. (2002, p.7), a avaliação da eficiência energética em edificações é mais difícil do que em equipamentos. Isto porque a eficiência em construções engloba muitos outros fatores e não pode ser medida por uma única unidade, como o kWh. Por exemplo, pode-se comparar a energia gasta com aquecimento e com refrigeração de ambiente? O valor final de consumo de energia pode ser entendido como a derradeira definição para a eficiência?

O consumo de uma edificação climatizada artificialmente está sempre sujeito às variáveis ambientais, como temperatura e umidade externas, muito mais do que edifícios sem climatização, nos quais os valores de consumo por uso final evidenciariam mais as influências da radiação solar para o controle da iluminação artificial. Para os climatizados e de grandes dimensões horizontais, ou seja, com espaços internos sem acesso à iluminação natural, a variação do consumo pelo sistema de iluminação não chega a influenciar substancialmente, se considerado isoladamente.

Sendo assim, em Pedrini (1997, p. 27), o consumo de eletricidade pode ser atribuído a dois tipos de cargas, as dependentes do clima e as não dependentes:

- Variáveis dependentes: são variáveis relacionadas à energia que é consumida para aquecimento e refrigeração. Para Ballarini e Corrado (2009, p. 799) há uma forte correlação entre a energia necessária e a transferência de calor; e
- Variáveis independentes do clima: são as variáveis relacionadas ao uso de energia para cargas primárias, como iluminação e equipamentos internos, frequentemente associadas aos padrões de uso.

Com a classificação das variáveis, percebe-se que diferenças significativas de consumo nos meses quentes estão relacionadas às variáveis dependentes do clima, e variações uniformes podem estar relacionadas às cargas térmicas de iluminação e outros equipamentos (PEDRINI, 1997. p. 46). A relação linear do consumo de energia com a temperatura aparece em numerosos estudos. Os efeitos da umidade e da radiação solar no consumo de energia mostram ser menos importantes do que a temperatura do ar externo (KISSOCK et al., 1992, p. 236; LEI e HU, 2009).

Segundo a metodologia de calibração de modelos para simulação térmica e energética de edificações proposta por Pedrini (1997, p.46), para a análise pós-*retrofit* deve-se observar os seguintes itens:

- Identificação do tipo de diferenças (caráter aleatório ou sistemático);
- Períodos de maior incidência de diferenças;
- Levantamento do consumo de energia em meses com pouco uso do condicionador de ar, para correção dos parâmetros do tipo constante como luminárias e equipamentos internos (são as cargas que apresentam funcionamento pré-determinado).

Na pesquisa de Bronson et al. (1992 apud Pedrini, 1997, p. 27), são abordadas formas de caracterização de uso e de padrões, como o perfil obtido pela auditoria. Neste, dias úteis e de fins de semana são criados a partir de dados horários selecionados de uma monitoração do consumo de energia elétrica por uso total e uso final, mediante instalação de sensores em subpainéis de energia pelo período de duas semanas.

Na comparação do consumo pós-*retrofit* com o *baseline* poder-se-ia simplesmente calcular a diferença do consumo antes e após o *retrofit*. Mas uma abordagem tão simples pode ser pouco representativa e confiável se no período de medições o clima não se comportou de maneira semelhante, ou se mudaram as condições de ocupação, como número de pessoas, equipamentos, temperatura de controle do condicionador de ar, e até mesmo se as condições ambientais internas são satisfatórias. Este procedimento pode conter de 10 a 20% de erros em edifícios que variaram o horário de ocupação ou se houve variação das condições climáticas durante os períodos pré e pós-*retrofit* respectivamente. Isto pode ser um problema nos lugares onde a economia esperada está entre 10 e 20% (FAROUZ et al., 2001 e LIU et al., 1997, p.1609).

Para Mendler et al. (2006, p. 30), a normalização dos dados climáticos deve ser feita para eliminar influências criadas por diferenças entre as condições pré e pós-*retrofit*. Os autores também sugerem a relação entre o consumo de energia e os dados de ocupação nos dois períodos. Friedman et al. (2003, p. 5) também defendem a normalização dos dados climáticos para assegurar que a variação de consumo não é resultado das variações climáticas ano a ano. Preferivelmente, os dados climáticos devem ser mensurados no local, mas uma estação próxima e confiável também pode ser usada (TORCELLINI et al., 2006, p.104).

Sem um registro das medidas de conservação de energia e medição das cargas de iluminação, ar-condicionado e outras demandas fixas, pode não ser possível discernir se as mudanças do consumo de energia se relacionam com o desempenho do edifício. Isto aconteceu na pesquisa de Friedman et al. (2003, p. 9), quando em um estudo sobre a persistência dos benefícios do comissionamento em edificações novas, foi revelado que o menor consumo de energia ocorreu entre dois e três anos após o comissionamento.

No entanto, no momento em que é investigado cada consumo, seja através da análise de faturas de consumo de energia da concessionária ou de medições individuais, complicações podem surgir em função da dificuldade de se obterem determinadas informações (FREIRE, 2001, p. 23). A análise da economia considera os impactos das variações climáticas e mudanças na ocupação (LIU et al., 1997, p. 1607). Como o consumo varia nas quatro estações do ano, a escolha de um período mínimo de 12 meses consecutivos é o mais indicado para a verificação pós-*retrofit* (FREIRE, 2001, p. 23 e 30, MENDLER et al., 2006, p. 30 e BERLEY et al., 2005, p. 21). No entanto, fazer uma análise apenas a partir dos dados das faturas mensais indicaria simplesmente a economia bruta, sem detectar problemas existentes (FAROUZ et al., 2001). Para o mesmo autor, o uso de monitoramento horário pré e pós-*retrofit* é preferível se o orçamento justificar o custo com instalação, manutenção, coleta de dados e processamento. Monitorar os usos finais por um ano inteiro pode ser custoso, mas é crítico para identificar sistemas ou rotinas problemáticas e prover *feedback* para os operadores das instalações e projetistas do atual desempenho versus o predito (TORCELLINI et al., 2006, p. 101). Para a escolha do ano de referência deve se considerar os seguintes fatos:

Quanto mais recente o ano de referência maior é a facilidade de reproduzir suas características porque as informações são mais fáceis de serem obtidas; e

O ano escolhido deve representar com maior fidelidade possível o comportamento da edificação. Um acontecimento não usual pode desviar o comportamento do modelo e por isso deve ser desprezado (PEDRINI, 1997, p. 41).

Para Kissock et al. (1992, p. 239), a vantagem de comparar o consumo previsto por um modelo no período pré-*retrofit* com medições pós-*retrofit* evita as incertezas de um modelo de estimativa de consumo pós-*retrofit*. Com medições diretas resta apenas a incerteza prevista pelo equipamento de medição. Em simulações pode existir falhas na determinação das rotinas de uso, estipulação de cargas, e fator de potência considerado. Uma desvantagem na medição é que a economia está atrelada às condições climáticas. Neste caso, é apropriado comparar os períodos com condições climáticas semelhantes.

Há outras maneiras de estabelecer um modelo de *baseline*, como o método estatístico da regressão e simulação computacional. Os modelos estatísticos de regressão são os mais populares. Muitos são desenvolvidos fazendo a regressão entre a fatura de consumo versus uma variável climática ou outra variável independente (LEI e HU, 2009). Sempre que apropriado, o desenvolvimento de um modelo a partir da regressão é usado porque este é o método que geralmente demanda conhecimento das variáveis. Ele produz resultados adequados e permite calcular as incertezas associadas. O método da simulação é mais trabalhoso e requer conhecimento das características mecânicas dos equipamentos, modos de operação e proficiência em algum programa de simulação (REDDY et al., 1992, p. 3226 e LIU et al., 1997, p. 1609).

Lei e Hu (2009) apresentam a seguinte sequência de procedimentos para identificar o modelo de previsão de economia:

1. Selecionar as variáveis: identificar as variáveis independentes possíveis, usando análises de correlação;
2. Selecionar o melhor período que se tem registro das faturas de energia;
3. Comparar o modelo linear de uma variável e o modelo de múltiplas variáveis; e
4. Estimar o modelo por meio dos coeficientes de regressão.

O melhor período de registro das faturas é aquele que retrata os usos habituais da edificação em épocas de clima distinto.

Nos estudos de Lei e Hu (2009), os modelos de múltiplas variáveis não mostraram consistentes vantagens sobre os modelos de uma variável.

Para Liu et al. (1997, p. 1609), um modelo de regressão preciso pode ser normalmente desenvolvido com dados de um breve espaço de tempo, como do verão ao inverno, do inverno ao verão ou períodos mais longos. Assim pode-se ter a economia mês a mês. Os impactos de mudanças nos horários de ocupação e cargas internas podem ser identificados e separados detalhadamente. Este método pode determinar a economia com alta precisão. O método, segundo o autor, é mais indicado para edifícios com mais de 300000 ft² (ou cerca de 27870 m²) e um conjunto de dados de seis meses deve ser coletado para desenvolver um *baseline* preciso (LIU et al., 1997, p. 1611).

Pedrini (1997) apresenta uma metodologia de calibração de modelos para simulação térmica e energética de edificações. Este método, que serve para caracterizar os usos dos sistemas de uma edificação para simulação, também pode ser usado na caracterização pós-*retrofit*. O autor propôs cinco abordagens distintas em que cada uma corresponde a um agrupamento de métodos de obtenção de características e/ou de correção do modelo. Neste caso os métodos são considerados para a caracterização do consumo da edificação. A Tabela 1 mostra estes grupos de abordagem.

Tabela 1 – Identificação dos cinco níveis de abordagens principais

Grupo	Origem dos Dados
I	Planilha de coleta remota; Extrato de faturamento emitido pela concessionária; Consulta à distância; Arquivo climático TRY.
II	Memória de Massa do medidor horosazonal; Visitas técnicas; Medição de temperaturas internas.
III	Monitoração de consumo de energia por uso final.
IV	Medição da eficiência dos resfriadores de líquido.
V	Medição indireta de fluxos de calor.

FONTE: Pedrini (1997, p. 39).

2.2.1 Opções de Medição e Verificação do Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

Medição e Verificação (M&V) é a terminologia mais utilizada para o processo que determina as economias em *retrofits*. O Protocolo

Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) fornece uma visão geral das melhores práticas atualmente disponíveis para verificar os resultados de projetos de eficiência energética, eficiência em água e de energia renovável (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001, p.7). O PIMVP é patrocinado pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e desenvolvido por uma coalizão de 25 países, composta por clientes, financiadores, empreiteiros ou Empresas de Serviços em Conservação de Energia (ESCOs).

Protocolo de M&V se refere à medição precisa e de metodologia reproduzível que a determinação das economias em energia requer (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001, p. 11). Este processo produz os métodos em que cliente e contratado concordem e que pode ser usado na indústria para determinar as economias de contratos de desempenho, variando a precisão e o custo da estipulação parcial ou medição completa (HABERL e CULP, 2005, p. 11). Estipulação parcial é a medição e verificação de um ou mais sistema, mas que não contemple todas as suas interações.

O gerenciamento do uso da energia oferece diagnóstico da situação aos administradores de prédios facilitando o controle e aperfeiçoamento na economia de energia. Para Ballarini e Corrado (2009, p. 790), a comparação do valor de energia calculado com o mensurado é usado para investigar o comportamento do usuário e as condições climáticas. É notável que o comportamento do usuário diferencie positiva ou negativamente a avaliação das medidas de conservação de energia (NIKOLAIDIS et al., 2009, p. 2552) dependendo se os equipamentos são utilizados da maneira especificada em projeto.

As economias de energia são determinadas pela demanda pré e pós-ações de eficiência energética, feito os devidos ajustes, como indica a Equação 1. Demanda (quilowatt – kW) é a “média das potências elétricas ativas ou reativas, solicitadas ao sistema elétrico pela carga instalada em operação na unidade consumidora, durante um intervalo de tempo especificado” (CELESC. 1, 2006), e consumo é a relação da demanda com um período de tempo (quilowatt-hora – kWh).

$$\text{Economias de energia} = \text{Uso energia no ano-base} - \text{Uso energia pós-retrofit} \pm \text{Ajustes} \quad \text{Eq. 1}$$

Os ajustes são as informações relevantes que afetam ou afetaram o consumo de energia, como variações climáticas, rotinas de uso e

número de ocupantes. Por exemplo, a temperatura externa de bulbo seco tem sido reconhecida como a variável regressora de maior importância, especialmente em escalas mensais de tempo (REDDY et al. 1997 apud FREIRE, 2001, p. 33). A temperatura externa é a variável de maior importância pela influência no consumo em edificações climatizadas.

O Lawrence Berkeley National Laboratory, um dos mais prestigiados laboratórios de eficiência energética dos Estados Unidos, determinou que o PIMVP fosse a abordagem internacional preferida para monitorar e avaliar projetos de eficiência energética, devido a sua aceitação internacional, por cobrir muitas questões-chave do monitoramento e avaliação e porque dá flexibilidade (INNE, 2001, p.15). Inclusive está incorporado ao sistema de classificação U.S. Green Building Council (USGBC) Leadership in Energy and Environmental Design (LEEDTM) (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001, p.16).

A sequência de procedimentos indicada pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) em Haberl (1990, p. 26) para estudos de desempenho energética compreende uma pré-seleção de índices, como a análise da documentação dos equipamentos, seguida de uma visita simples à edificação e uma análise mais detalhada da engenharia.

Semelhante e mais minuciosa é a sequência de passos indicada pelo PIMVP. Inicialmente é necessária uma auditoria bem documentada para levantamento dos dados referentes ao ano base, o qual pode ser o *pré-retrofit* ou o *pós-retrofit*. A auditoria deve contemplar os seguintes aspectos (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001, p.23):

- Perfis de consumo de energia e demanda;
- Tipo de ocupação, densidade e períodos
- Condições parciais ou de toda a área da instalação em cada período de operação e estação do ano, e condições da qualidade ambiental interna (MENDLER et al., 2006, p. 32);
- Inventário dos equipamentos e práticas e rotinas de operação;
- Indicador do uso de energia nos períodos sem ocupação (HABERL, 1990, p. 27); e
- Problemas significativos dos equipamentos ou redução de unidades; e

- Acompanhamento de pessoa que possa fornecer uma perspectiva independente e não tendenciosa (MENDLER et al., 2006, p. 32).

Mais completa é a lista de procedimentos mínimos para M&V indicada por Farouz et al. (2001) a seguir:

- Uma descrição das medidas de conservação de energia e seu efeito previsto;
- O que vai ser mensurado;
- Quais os intervalos de tempo;
- Quais instrumentos serão usados;
- Como estes instrumentos serão calibrados;
- Condições e horários de funcionamento do ano base;
- Especificação dos procedimentos e pressupostos das análises de dados;
- Especificação dos procedimentos para garantia da qualidade dos dados;
- Um exemplo de relatório de economia de energia periódica; e
- Orçamento total para medição, monitoração e relatórios durante todo o período pós-*retrofit*.

Atividades de medição instantânea ou de curto prazo também podem ser importantes quando se usarem dados do consumo global por um medidor (faturas da concessionária). Na presença de muitos equipamentos iguais, como no caso do sistema de iluminação, a estratégia do uso de amostras pode ser utilizada desde que o tamanho da amostra seja condizente com o tamanho da população escolhida, incerteza admissível dos resultados e confiança estipulados. Na impossibilidade de realizar medições, as estimativas precisam ser descritas e as incertezas consideradas. Para Berley et al. (2005, p.72), erro e incerteza não podem ser confundidos, erro é a diferença entre o valor real (o qual não é conhecido) e o valor medido, portanto irreconhecível. Incerteza é uma estimativa dos limites do erro.

O protocolo enfatiza que é importante prever realisticamente os custos e o esforço associado às atividades de medição e de análise de dados. “É preferível fazer uma determinação de economias menos acurada e menos dispendiosa do que tê-la incompleta ou fraca” (INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, 2001, p. 25). O protocolo apresenta quatro opções de M&V, apresentadas a seguir, que variam de acordo com a disponibilidade de se obterem dados e do orçamento para as ações de medição e tempo.

Em 2002, foi lançada a Orientação ASHRAE 14-2002: Medição de economia de energia e demanda, que se destina a servir como documento técnico para o PIMVP. Como o nome indica, contém 14 abordagens para a medição de energia e redução da demanda de *retrofits* de conservação de energia em edifícios. Isso inclui três métodos: 1) abordagem de *retrofit* isolado, que se assemelha à opção B do PIMVP, 2) construção de uma abordagem integral, que corresponde à opção C do PIMVP e 3) simulação de um edifício inteiro, mesmo princípio da opção D do PIMVP. A orientação da ASHRAE não tem paralelo com a opção A do PIMVP, embora várias abordagens de *retrofit* isoladas usem procedimentos de avaliação parcial (HABERL e CULP, 2005, p. 11). Resumidamente as opções de M&V podem ser assim descritas:

A. Opção A: Medição parcial de *retrofit* isolado

Aborda o consumo estipulado, verifica apenas o potencial de economia. É mais bem aplicada a cargas individuais ou sistemas específicos numa edificação, como iluminação ou climatização. As condições do *baseline* são bem atendidas, e as horas de operação não são sujeitas a mudanças importantes.

Esta opção focaliza a avaliação de alterações físicas de equipamentos para garantir se a instalação está em conformidade com as suas especificações. Fatores-chave de desempenho, como potência do sistema de iluminação ou eficiência do resfriador de líquido (*chiller*), são determinados com medições individuais ou de curto prazo. Fatores operacionais, como horas de uso, são fixados com base na análise dos dados históricos ou medições de curto prazo. Fatores de desempenho e funcionamento são medidos ou verificados anualmente.

São usados predominantemente cálculos e valores estipulados complementados por algumas medições pontuais de curto prazo ou contínuas. Ao menos um dos parâmetros, ou variáveis, deve ser medido. Por exemplo, no *retrofit* de um sistema de iluminação, a potência instantânea é medida enquanto que as horas de funcionamento são estimadas, ou vice-versa.

B. Opção B: *Retrofit* isolado

Nesta opção não são permitidas estimativas. Há então medições de campo dos sistemas que sofreram intervenção em separado do restante do consumo da edificação. São utilizados cálculos e medições curtas ou contínuas, dependendo do tipo de sistema a ser verificado.

Por exemplo, Farouz et al. (2001) determinaram seis dias típicos, sendo três dias úteis e três dias de final de semana, para três meses a fim

de poder comparar o consumo do sistema de iluminação através de curvas horárias logo antes e logo após o *retrofit*. Esta abordagem pode não ser apropriada para determinar economias individuais quando várias medidas de conservação de energia foram aplicadas na edificação, e quando medidas cumulativas ou interativas não podem ser determinadas por medidas tomadas em um ou dois equipamentos ou subsistemas específicos (Haberl et al., 2005, p. 4).

C. Opção C: Toda a instalação

Esse método é usado em reforma global da edificação. Considera o impacto de qualquer fator que interfira no uso de energia. Pode ser usado onde há um alto grau de interação entre os sistemas instalados de conservação de energia e/ou onde seja difícil a medição de componentes individuais de economia. Destina-se a projetos onde a economia esperada é suficientemente grande, de ao menos 10% do consumo do ano base, para serem perceptíveis variações de energia aleatórias ou inexplicáveis. Para Haberl (et al., 2005, p. 3), a abordagem prescritiva de toda a edificação requer que os dados sejam contínuos e completos. O caminho prescritivo segue um roteiro e não permite que quaisquer dados sejam excluídos de qualquer modelo do *baseline* ou do modelo pós-*retrofit* e tem exigências específicas em relação aos indicadores de ajustes estatísticos, por exemplo, coeficiente de variação (CV) menor que 25% para o consumo energético e menor que 35% para a demanda por períodos de 12 meses ou mais para o pré e pós-*retrofit*.

Fatores que interfiram no consumo de energia pode ser até mesmo a interação entre os sistemas. Um exemplo de interação é o caso do sistema de iluminação mais eficiente que reduz a carga térmica para a refrigeração do ar ambiente. Um problema poderia ser a instalação de novos equipamentos consumidores de energia como, por exemplo, computadores pessoais.

Se a abordagem prescritiva não pode ser usada pela incapacidade de preencher os requisitos, a abordagem de desempenho para todo o edifício (*Whole Building Performance Approach*) pode ser utilizada. Este método permite a ausência ou irregularidade de dados desde que o usuário mostre que a incerteza calculada na economia acumulada é menor que 50% do total de economia reportada para o período pós-*retrofit* de referência, com um nível de confiança nos cálculos de 68% (HABERL et al., 2005, p. 3).

A economia global é determinada pela medição geral da edificação com dados do medidor da concessionária utilizando técnicas que vão desde a simples comparação até a análise de regressão. Com a

equação da reta pode-se determinar qual seria o consumo atualmente substituindo os valores de temperatura antigos pelos atuais. Pela diferença do consumo do *baseline* ajustado e o real é calculada a economia. No LoanStar Program os dados utilizados nos modelos de regressão consistem das faturas de consumo de energia e/ou dados monitorados, utilizando um, dois, três ou quatro parâmetros, ou então um modelo de regressão multilinear (FAROUZ et al., 2001). No estudo deste autor, os dados horários são somados para cada mês e então divididos pelo número de dias, obtendo assim o consumo por dia (kWh/dia). Estes valores são representados graficamente em relação à média diária de temperatura. Similarmente, o modelo da demanda (kW/mês) é obtido pela máxima demanda horária do mês, versus a média da temperatura.

Dados em intervalos de 15 minutos são aceitos pela ASHRAE Guideline 14-2002 (Haberl et al., 2005, p. 3). O intervalo de 15 minutos é empregado nas medições de demanda em concessionárias brasileiras. Pelo manual, modelos de regressão baseados em dados diários fornecem ajustes estatísticos aceitáveis. Enquanto que dados horários proporcionam maior fidelidade nas características de uso de energia pela edificação.

Já em Haberl e Culp (2003, p. 45), os modelos que consideram o pico de demanda para toda a edificação diferem dos modelos de energia consumida em vários aspectos. Primeiro, o modelo não é ajustado para os dias dos períodos da fatura, pois o modelo destina-se a representar o pico de demanda elétrica. Segundo, o modelo é geralmente analisado em relação à máxima temperatura ambiente interna durante o período da fatura. Modelos para o pico de demanda elétrica de toda a edificação podem ser classificados conforme modelos dependentes do clima ou não dependentes.

Para Chung et al. (2006, p.2, 3 e 5), quando se consideram outros fatores de efeito no consumo, deve-se desenvolver uma regressão linear-multivariada com dados climáticos (graus-dia), de ocupação (horário e número de usuários), consumo dos sistemas de climatização e iluminação. Grau-dia é a diferença da temperatura média diária e a temperatura base definida para o acionamento do sistema de climatização (*set-point* ou *change-point*, em valor absoluto).

Segundo Farouz et al. (2001), dependendo do tipo de modelo, dados horários são geralmente convertidos em médias diárias, uma vez que foi encontrado que modelos diários dão um ajuste superior à média diária de temperatura do que modelos horários.

É preciso identificar os elementos mais determinantes do consumo de energia. Um exemplo de como se encontrar esses argumentos é o modelo de regressão linear, sendo que os dados das variáveis devam ser do mesmo período de tempo. O PIMVP não determina nenhum valor para o coeficiente de correlação, sendo que ele deve ser definido em acordo com o cliente, no entanto, no caso de valores muito baixos, o modelo deve ser revisto. Em um estudo sobre edifícios comerciais, os mais fortes determinantes do uso de energia foram a área do pavimento, o número de trabalhadores e computadores pessoais, o horário de funcionamento e a presença de resfriador de líquido (SHARP, 1996 apud OLOFSSON et al., 2004).

Para Haberl e Culp (2003, p. 40), modelos de regressão têm vantagens sobre outros métodos. Primeiro, desde que estes modelos são simples, e seu uso a partir de um determinado conjunto de dados não requer intervenção humana, a aplicação do modelo pode ser automática e aplicada a um grande número de edificações. Vários estudos têm demonstrado que coeficientes de modelos lineares e de modelos que consideram a temperatura de acionamento do sistema de climatização têm significado físico para o funcionamento dos equipamentos de aquecimento e resfriamento controlados por termostatos.

Para os mesmos autores, modelos estacionários têm desvantagens, como uma insensibilidade aos efeitos dinâmicos (por exemplo, a massa térmica), insensibilidade com outras variáveis além da temperatura (por exemplo, umidade e radiação solar), e inadequação de certos tipos de construção, ou seja, os edifícios que têm fortes acionamentos e desligamentos fora do horário de cargas dependentes ou que apresentam vários *change-points* para o sistema de climatização.

D. Opção D: Simulação calibrada

Aplicado tipicamente em programa de gerenciamento de energia que afeta muitos sistemas e que não podem ser facilmente isolados, como treinamento de operadores, e também quando não há dados disponíveis do ano-base ou do período *pós-retrofit*. Esta opção geralmente requer considerável habilidade em simulação calibrada, pois a partir de dados atuais do medidor da concessionária, ou por uso final, as rotinas do *baseline* devem ser moduladas.

Ginestet e Marchio (2010, p. 1719) resumem o conceito das opções da seguinte maneira: A opção A preocupa-se em verificar os parâmetros de desempenho e implica em determinar a poupança de longo prazo com o uso livre das condições por parte do utilizador. A opção B inclui a análise final dos dados e a opção C consiste em analisar

os dados do edifício inteiro. Essas duas opções contêm a utilização dos dados moderados em longo prazo. Opção D é a simulação calibrada, que pode incluir uma combinação de condições das opções A e B ou C. Para os autores as opções A e B são aplicadas ao nível do sistema, enquanto as demais se referem ao nível de construção. Isto porque na análise das operações interagindo fortemente com o consumo da edificação, o uso das opções ao nível do sistema tem se mostrado insuficiente.

Haberl e Culp (2003, p. 34) apresentam seis métodos da ASHRAE 14-2002 para cálculo do uso de energia anual para iluminação. Todos consideram os perfis de uso multiplicados pelos níveis de potência das lâmpadas e pelas horas de utilização de cada perfil. Dois dos métodos também consideram o efeito da carga térmica que pode ser calculado utilizando os métodos de eficiência dos componentes ou pode ser medido usando a carga total para resfriamento de antes e depois do *retrofit*. Considerar perfis de uso em sistemas que utilizam sensores fotoelétricos torna o cálculo bastante complicado, pois dependendo do nível de luminosidade proveniente do exterior as lâmpadas são acionadas ou não. Neste caso não há um padrão horário de comportamento. Quando além dos sensores fotoelétricos se tem aparatos de proteção solar, como brise-soleil, venezianas ou cortinas, todos de manipulação manual, a estimativa acaba por ser muito complexa, para não dizer, impossível.

2.2.1.1 Medição direta e medição isolada

Pedrini (1997, p. 50) utilizou em sua pesquisa dois métodos para a determinação da carga de consumo:

A. Monitoração da corrente elétrica aparente: A partir da identificação da corrente elétrica aparente de cada uma das três fases, através de um sistema de aquisição de dados SmartReader Plus 3 e três alicates amperimétricos. Com as medições são assumidos valores médios para a tensão fornecida (U) lidas no voltímetro instalado no transformador da edificação do estudo e são aplicados na determinação da potência aparente. Com a Equação 2 tem-se a resultante da composição vetorial das três fases:

$$kVA = (3)^{1/2} \times V \times I, \text{ onde} \quad \text{Eq. 2}$$

kVA = potência aparente (W);
 V = tensão média entre as fases A, B e C (V);
 I = correntes média entre as fases A, B e C (V).

A potência ativa, que é o parâmetro de comparação de desempenho do modelo, é obtida da Equação 3:

$$\begin{aligned} kW &= kVA \times \cos\theta, \text{ onde:} && \text{Eq. 3} \\ kW &= \text{potência ativa (W);} \\ \cos\theta &= \text{fator de potência.} \end{aligned}$$

O fator de potência é obtido do catálogo do equipamento, dos dados de placa, ou ainda da monitoração direta das cargas por alguns minutos.

B. Monitoração da demanda elétrica: Pedrini utilizou um sistema de aquisição de dados RE 1000 que armazena valores de correntes, tensões e respectivos ângulos de defasagens de cada fase. Proporciona cargas ativas, reativas e aparentes, em intervalos de 15 minutos.

A medição direta das cargas foi empregada na determinação, para a edificação do estudo, do consumo de iluminação, de equipamentos e dos resfriadores de líquidos do sistema de condicionamento de ar central, enquanto o segundo método foi destinado ao levantamento do uso final de elevadores, bombas hidráulicas e outros equipamentos de menor carga.

Para Pedrini (1997, p. 52), a determinação dos pontos de monitoração deve considerar a estrutura de distribuição de energia elétrica interna, para aproximar o máximo possível de seu objetivo, que é a medição isolada das cargas de consumo. A distribuição interna de eletricidade é representada pelo diagrama unifilar da subestação de entrada e dos painéis de energia.

Analisando o diagrama o autor distingue as cargas dependentes do clima das não dependentes, como também as cargas essenciais. Foram feitas medições em cada um dos três transformadores existentes neste estudo em períodos diferentes e com acionamentos em horários programados de diferentes cargas, como iluminação, demais equipamentos ou cargas essenciais. Por este método é possível obter de forma satisfatória a quantidade de consumo por uso final. O acionamento dos equipamentos em horários diferentes é especialmente útil em situações em que é inviável separar as cargas para medição *in loco*.

2.2.1.2 Caracterização do uso final de energia

Na abordagem do Grupo III (PEDRINI, 1997, p. 95), que é a caracterização do uso final de energia elétrica da edificação, o autor define as cargas de cada transformador e procede à análise horária da demanda de cada um em separado com identificação dos horários de acionamento de cada sistema, como exemplifica a Figura 4 que reproduz a demanda do Trafo 2.

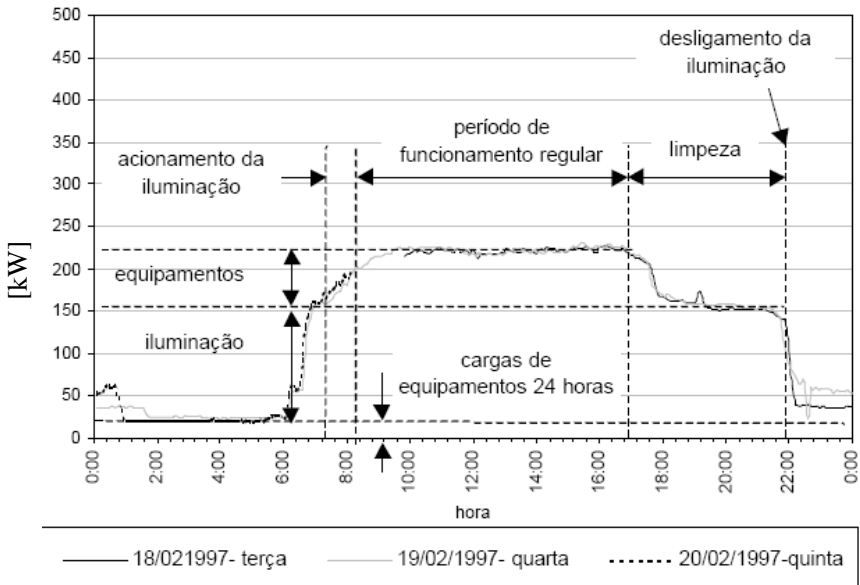


Figura 4 – Reprodução dos perfis de carga de demanda do Trafo 2 para dias úteis

Fonte: Pedrini (1997, p. 97).

Posteriormente o autor separou as cargas de iluminação e equipamentos a partir de valores médios das três curvas, gerando valores médios de demanda, a cada cinco minutos, como apresentado na Figura 5.

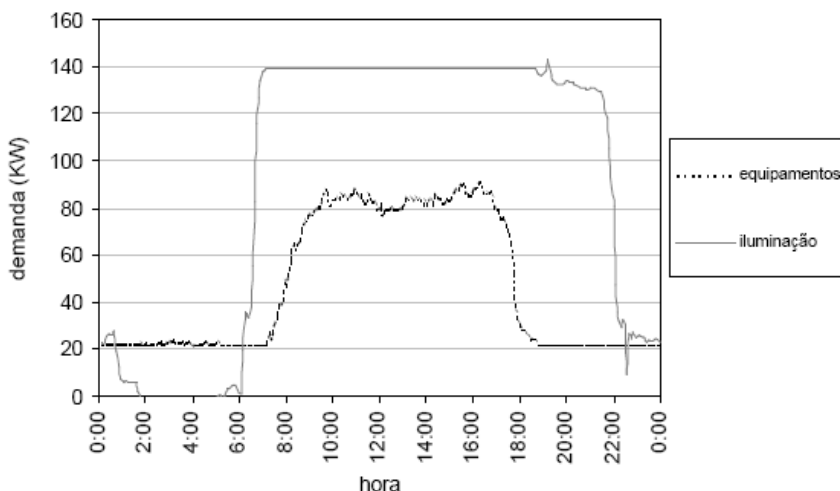


Figura 5 – Caracterização do uso final do Trafo 2

Fonte: Pedrini (1997, p. 98).

Como neste caso o início do desligamento dos equipamentos ocorre antes do desligamento da iluminação, devido ao fato de ser o horário da limpeza, não ocorre o pico de carga típico de edificações comerciais no verão, que é ao final do dia, quando equipamentos de condicionamento de ar e iluminação estão em maior carga (TORCELLINI et al., 2006, p. 78 e 115).

O sistema de climatização, no estudo de Pedrini (1997, p. 105), recebeu medições das centrífugas, dos resfriadores de ar e ventiladores. Apesar de serem alimentados por um único transformador, os equipamentos precisaram ser monitorados separadamente, pois não se podia monitorar apenas o transformador, já que as outras cargas, essenciais, estavam apoiadas nele.

A medição e verificação é a melhor maneira de gerenciar o uso da energia e oferecer diagnóstico da situação aos gerentes de prédios facilitando o controle e aperfeiçoamento na economia de energia.

Como apresentado anteriormente, o estudo precisa considerar a influência mútua das medidas de conservação de energia para não superestimar ou subestimar o resultado (LEE et al., 2003; KISSOCK et al., 1992).

A observação do consumo durante meses com pouco uso do condicionador de ar indica possíveis correções nos parâmetros do tipo constante ou independente do clima (luminárias e demais

equipamentos). Para as cargas dependentes do clima, é necessário proceder à normalização dos dados climáticos.

Quanto maior for o número de medições isoladas das principais cargas de consumo, melhor será a análise do *retrofit*. Na impossibilidade das medições é possível obter de forma satisfatória o quantitativo de consumo por uso final com o acionamento das cargas em horários programados e posterior leitura da demanda horária.

2.2.3 Considerações finais sobre a avaliação da eficiência energética e quantificação da variação de consumo e demanda

A revisão bibliográfica mostrou a divisão do consumo de energia em edificações públicas brasileiras e que o potencial de redução deste consumo em edifícios existentes chega a 30% através de *retrofit* ou comissionamento.

Foram apresentados exemplo de redução do consumo de energia elétrica indicados em estudos, na sua grande maioria, elaborados nos Estados Unidos. Isto porque há pouca bibliografia brasileira a respeito de avaliações pós-*retrofit*. Não foram apresentados pelos autores pesquisados motivos contra as intervenções, pelo contrário, apenas benefícios resultantes de bons projetos que aproveitaram a interação entre os sistemas. Os sistemas mais propícios para atingir economias significativas são os de climatização, de iluminação e intervenções na envoltória da edificação.

A dificuldade de avaliar se um edifício se tornou mais eficiente é também comentada pelos autores. Diferentemente de equipamento, na avaliação global do edifício é preciso considerar a interação entre os sistemas, o comportamento do clima e dos usuários. Em edifícios climatizados então, as variações de temperatura exercem grande influência no consumo. Para a análise procede-se à determinação das variáveis dependentes ou não do clima. Também é necessário que o clima dos dois períodos a serem comparados, antes e após o *retrofit*, tenha se comportado de maneira semelhante.

Foi apresentado então que para um estudo mais detalhado das variações de consumo é imprescindível considerar dados de 12 meses que abranjam as quatro estações climáticas do ano. As variáveis climáticas podem ser trabalhadas através de métodos estatísticos. As condições de conforto ambiental interno devem ser satisfatórias.

Medições diretas e monitoramento por uso final são importantes para a comparação com as informações pré-*retrofit* e evitam incertezas que as simulações computacionais acarretam.

A metodologia de calibração de modelos para simulação térmica e energética de Pedrini (1997) mostrou ser aplicável para a caracterização de uma edificação pós-*retrofit*.

Parecido em alguns pontos com a metodologia de Pedrini (1997) tem-se o PIMVP. Este protocolo, de aceitação internacional, é conhecido por fornecer uma visão das melhores práticas para verificar os resultados de projetos de eficiência energética. As suas quatro opções de M&V vão desde a medição parcial de sistemas específicos até toda a instalação e simulação.

A caracterização do consumo por uso final é importante para perceber o comportamento dos sistemas ao longo do ano e com as diferenças climáticas.

Apenas com a análise detalhada dos sistemas consumidores de eletricidade é possível discernir se as mudanças percebidas nas faturas da concessionária se relacionam com a eficiência do edifício.

É importante analisar os dados relevantes e aleatórios que possam influenciar o consumo de energia, como variações climáticas, rotinas de uso, obras e número de ocupantes atípicos.

Os procedimentos do PIMVP, de Pedrini (1997) e os indicados por Farouz et al. (2001), que também corrobora com os métodos do protocolo e de Pedrini, são os que parecem ser os mais detalhados da bibliografia pesquisada.

A utilização de modelos de regressão com dados das faturas e medições, com um ou mais parâmetros (dados climáticos, de ocupação, área climatizada, etc), mostra ser parte da metodologia mais propícia para análises de *retrofits* complexos.

2.3 ESTUDOS SOBRE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL ANTERIORES AO *RETROFIT*

O edifício sede da Eletrosul foi objeto de uma série de pesquisas que resultaram em propostas de *retrofit*.

O primeiro estudo visando à eficiência energética no edifício foi elaborado pelo PROCEL através do Projeto Seis Cidades. O trabalho foi coordenado pelo Núcleo de Pesquisa de Construção (NPC) do

Departamento de Engenharia Civil da UFSC em colaboração com o LABEEE. Uma etapa do Projeto Seis Cidades era a proposta de *retrofit* utilizando simulação computacional como ferramenta de análise. O *software* escolhido foi o VisualDOE.

Ao mesmo tempo houve a pesquisa de Pedrini (1997) que não fez propostas de *retrofit*, mas analisou as características e comportamento da edificação de forma minuciosa como estudo de caso para sua dissertação de mestrado, na qual definiu uma metodologia de calibração de modelos para simulação térmica e energética de edificações. Na época, o edifício apresentou como densidade de carga de iluminação, considerando área construída igual a 30000 m², 16,3 W/m² e 940 toneladas de capacidade de refrigeração, consolidando assim como média de consumo de energia elétrica anual de 157 kWh/m² (PEDRINI et al., 2002, p. 904). A metodologia de calibração para simulação de Pedrini (1997), que foi aplicada nas demais edificações do Projeto Seis Cidades, é dividida em três estágios:

1. simulação a partir dos projetos e demais documentação da edificação;
2. visita pelas instalações da edificação e auditoria;
3. medições de uso final.

No primeiro passo, Pedrini recomenda o levantamento de dados do projeto arquitetônico, do sistema de iluminação, do sistema de ar-condicionado, o número total de ocupantes, os horários de acionamento da iluminação, do ar-condicionado e da presença dos usuários, inventário dos equipamentos relevantes para o consumo de energia elétrica, histórico de faturas de energia mensais (ao menos um ano), demanda horária (Memória de Massa) por um período representativo e propriedades dos componentes construtivos.

Memória de Massa é o relatório de medições de demanda efetuadas em períodos de 5, 15, 30 ou 60 minutos pela concessionária, neste caso a CELESC. Por ela é possível analisar a curva de demanda de energia horária durante o dia e se seu comportamento é repetitivo.

A análise da Memória de Massa mostrou ser muito importante na calibração, pois antes do ajuste dos horários pela demanda horária, a diferença média entre o modelo simulado e o real registrado pelas faturas foi de 114%. Após o ajustamento pelo comportamento visualizado pela Memória de Massa, a diferença média ficou em 5,6% (PEDRINI et al., 2002, p. 904 e 905).

No segundo estágio, é realizada uma visita *in loco* com acompanhamento de um técnico bastante familiarizado com a edificação e suas características de operação. Também são efetuados

questionamentos aos usuários, pessoal da limpeza (que permanece além do horário de expediente), e operadores. Durante esta visita, várias medições instantâneas já puderam ser realizadas com equipamentos portáteis, como níveis de iluminação, fluxo do ar-condicionado, temperatura, potência ativa em circuitos de equipamentos e lâmpadas. A nova calibração gerada a partir das informações do segundo estágio reduziram a diferença anual entre modelo e consumo real para 0,1% (PEDRINI et al., 2002, p. 906).

O terceiro passo consiste em dividir a medição em uso final, como iluminação, equipamentos e ar-condicionado. Geralmente estas medições podem ser feitas diretamente no transformador quando o sistema elétrico é suficientemente organizado para a identificação dos circuitos. No caso da Eletrosul, é possível fazer a medição do consumo do ar-condicionado pelo transformador número três, específico para este sistema. Os resultados da simulação através da medição por uso final produziram uma curva com variação média do consumo real de 0,2% (PEDRINI et al., 2002, p. 906). Segundo o autor (2002, p. 912), a melhor calibração acontece pela determinação das medições por uso final, pois aumenta a fidelidade do modelo, principalmente das rotinas de uso.

O segundo estudo sobre conservação de energia na sede da Eletrosul foi o diagnóstico energético desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás (CEPEL) e entregue a Eletrosul em 17 de abril de 2002. O estudo do CEPEL fez diversas análises sob o ponto de vista da eficiência energética nos sistemas de condicionamento de ar e de iluminação existentes. Foram realizadas simulações, através do *software* VisualDOE 2,61, de propostas de modificações na arquitetura que pudessem melhorar o desempenho da edificação. A equipe do CEPEL também estudou possibilidades de adequação do contrato de fornecimento de energia elétrica com mudanças na modalidade tarifária.

O relatório indicou que o uso final de energia elétrica estava dividido em: 48% para condicionamento de ar; 35% para iluminação interna; e 17% para os demais equipamentos (CEPEL, 2002, p. v). Uma simulação elaborada pelo CEPEL através do *software* VisualDOE mostrou que se poderia ter uma redução global do consumo de eletricidade entre 7,9% a 29,2%, dependendo de quais ações fossem aplicadas, com retorno de investimento entre 2,5 a 7 anos (LAMBERTS. 2, 2004, p. 5 e 6). Os dados de consumo por uso final, ou seja, classificadas por suas finalidades, no edifício sede da Eletrosul estavam de acordo com a média de consumo de edificações do mesmo porte,

conforme PROCEL. 1 (2007, p.30 e 33), Torcellini et al. (2006, p. 112), Mendler et al. (2006, p. 179) e Fornari e Zecchini (2008, p. 11), citados anteriormente.

No item referente ao sistema de ar-condicionado, o CEPEL analisou três cenários, que seriam: 1- substituição do gás refrigerante, 2- revitalização das centrífugas ou 3- substituição das centrífugas existentes por novas. A equipe concluiu que a melhor opção, e que reduziria o consumo específico em 34,2%, seria a substituição das centrífugas por novas. Segundo o CEPEL, o consumo das centrífugas corresponde a 20% do total do sistema de condicionamento de ar, por esta razão, a economia final obtida neste sistema seria de 6,84% (CEPEL, 2002, p. 24).

Para tornar mais eficiente o sistema de iluminação interna, o relatório do CEPEL indica como opção, a substituição das luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W, por luminárias pendentes prismáticas com lâmpadas de multivapor metálico de 250 W nas áreas de pé-direito alto e redução do número de luminárias nas áreas de pé-direito baixo (CEPEL, 2002, p. 34). Nos subsolos, a troca do sistema não foi considerada vantajosa, pois na época o espaço tinha uso esporádico ou como depósito. O relatório também indica a inviabilidade do uso de sensores nas áreas providas de iluminação natural por considerar o custo da implantação do sistema muito alto (CEPEL, p. 51 e 52). A redução no consumo do sistema pelo *retrofit* nos pavimentos térreo, primeiro e segundo seria de 57,84% (CEPEL, 2002, p. 48). Para o sistema de iluminação externa, que era deficitário, com muitas lâmpadas queimadas, mas de alto consumo, e falta de postes, a potência instalada era de 19,2 kW (CEPEL, 2002, p. 50), foi proposta a colocação de mais pontos de iluminação.

Do ponto de vista da arquitetura do prédio, o CEPEL enfatiza que em edificações horizontalizadas, como é o caso do edifício em questão, um bom isolamento da cobertura é de extrema importância, visto que é nela que se acrescenta grande parcela do ganho térmico total (CEPEL, 2002, p. 55). O sombreamento das fachadas por brises também auxilia na redução do ganho térmico pelo fato de que eles bloqueiam parte do calor antes que penetre na edificação. O relatório diz que como os vidros já são protegidos por brises, o uso de películas reflexivas causa pouco impacto no consumo de energia. Apesar disto, foi simulado a colocação de película em todas os vidros (CEPEL, 2002, p. 59, 84 e 91).

Na avaliação da demanda contratada, o estudo utilizou dados do ano 2000, anterior às medidas de racionamento impostas pelo governo. Foi constatado que a demanda contratada estava “extremamente

elevada” segundo o relatório (CEPEL, 2002, p. 100), como mostra a Figura 6. O CEPEL sugeriu a contratação de 1300 kW no período seco e 1400 kW no período úmido (CEPEL, 2002, p. 100 e 101). Período úmido compreende cinco meses consecutivos com leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte. Período seco compreende sete meses consecutivos, leituras de maio a novembro.

Considerando o valor máximo de demanda permitido (10% acima da demanda contratada), 1430 kW e 1540 kW para os períodos seco e úmido respectivamente, ocorreria risco de multa em novembro, janeiro e março. Segundo o relatório do CEPEL, a economia com a mudança seria de apenas 2,24% ou R\$ 12097,89, na época (CEPEL, 2002, p. 102) e R\$ 22949,36 por ano em valores atuais.

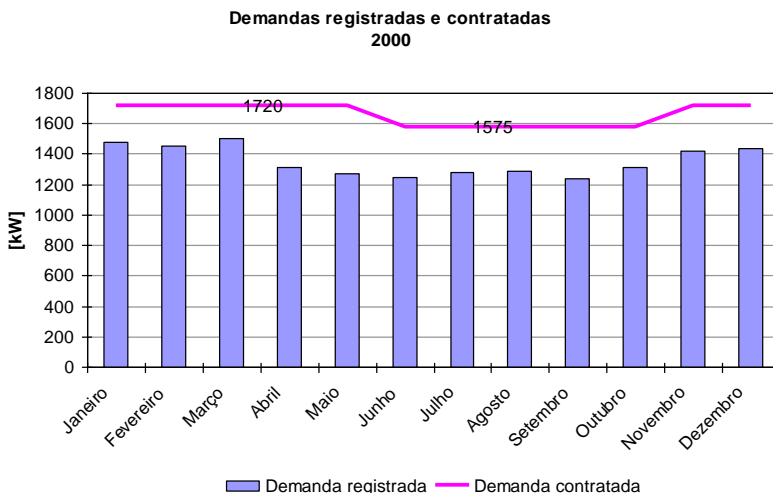


Figura 6 – Demandas registradas e contratadas

Fonte: CEPEL (2002, p. 100).

O perfil de carga diário foi monitorado de primeiro a 23 de julho de 2001 através de equipamentos instalados pelo CEPEL nos ramais de alimentação da subestação.

As Figuras 7 e 8 são exemplos típicos de um domingo e um dia útil, terça-feira.

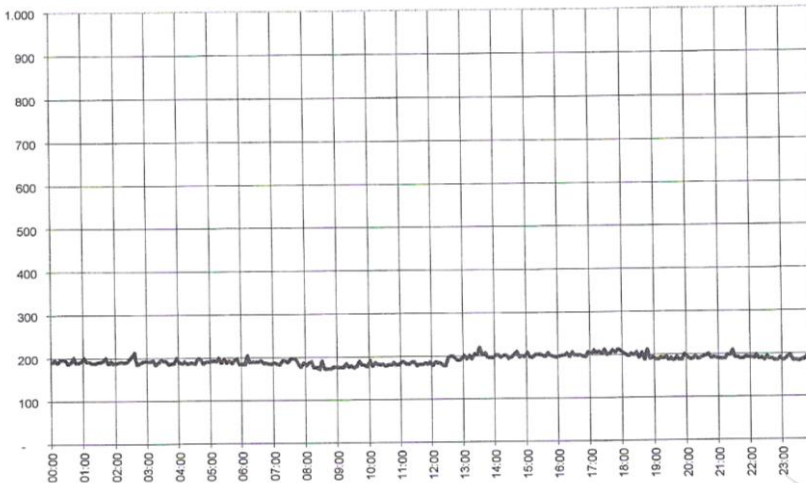


Figura 7 – Potência ativa a cada hora em 1º de julho de 2001 – Domingo.
Valores em kW

Fonte: CEPEL (2002, p. 104).

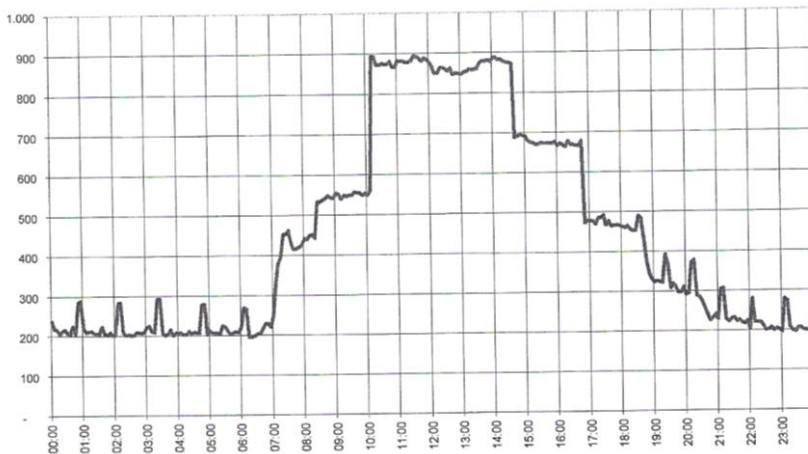


Figura 8 – Potência ativa a cada hora em 3 de julho de 2001 – Terça-feira.
Valores em kW

Fonte: CEPEL (2002, p. 105).

A análise do relatório (CEPEL, 2002, p. 115) mostrou, e conforme indicam as Figuras anteriores, 7 e 8, que existe um consumo fixo nos horários fora do período de expediente com demanda em torno

de 200 kW, que é cerca de 20% da demanda máxima do dia. Existia uma prática de desligamento de todas as cargas no final do expediente, mas feito dentro do período de ponta. Período de ponta é o intervalo de horas do dia, exceto aos sábados e domingos, em que há maior demanda energética e consequentemente o preço da energia é mais caro, começa às 18h30min com fim às 21h30min. O CEPEL indica que, se for possível antecipar esse desligamento para antes do horário de ponta, será possível contratar valores mais baixos para este período.

O relatório do CEPEL não explica se no cálculo da redução do consumo foi considerada a demanda de placa ou se levou em conta as variações climáticas. O documento também não indica soluções para diminuição do ganho térmico pela cobertura, apesar de salientar que em edificações horizontais é por esta face que se recebe boa parte da carga térmica. A sugestão do uso de películas também é contraditório, pois o próprio relatório aponta que em situações onde existam brises, o vidro já está protegido e o uso de película interferiria muito pouco. É perceptível que a mudança dos valores de demanda contratada indicadas pelo CEPEL por si só não acarretaria grande economia para uma edificação do porte da sede da Eletrosul.

As recomendações do CEPEL não foram seguidas pela Eletrosul. Posteriormente, em 2004, foi contratada uma consultoria da UFSC, através da Fundação de Ensino e Engenharia em Santa Catarina (FEESC) e do LABEEE para reavaliar essa proposta. O estudo de *retrofit* realizado pelo LABEEE mostrou que poderiam ser alcançadas reduções no consumo de energia de até 28% com alterações no sistema de iluminação e troca dos resfriadores do sistema de ar-condicionado por equipamentos de maior eficiência. Só pela reforma na iluminação o estudo de Lamberts. 3 (2004, p. 27) indica a redução de 1159039 kWh no consumo anual. Embora exija um grande investimento inicial, esta medida reduziria o gasto atual, por ano, com o consumo de energia elétrica pela metade e o tempo de retorno do investimento ficaria em 2,5 anos aproximadamente (LAMBERTS et al., 1997, p. 428). Esses 28% estão de acordo com os dizeres do PROCEL e com os dados do guia da Utilização Racional de Energia em Edifícios Públicos de Fornari e Zecchini (2008).

2.4 O *RETROFIT* DO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL

As reformas propostas pelo estudo do NPC. Foram iniciadas com base no diagnóstico elaborado pelo CEPEL em 2002 e depois com os estudos do LABEEE. As intervenções ocorreram durante os anos de 2005, 2006 e 2007 e envolveram os componentes físicos de iluminação artificial, de climatização (ar-condicionado central), de automação dos mesmos e sombreamento da laje de cobertura.

Essas alterações foram combinadas, o cálculo da carga térmica para o sistema de climatização considerou as luminárias e reatores mais eficientes. Este método proporciona melhores resultados, isto porque, por exemplo, o uso de luminárias e reatores mais eficientes do que os antigos diminuem a carga térmica interna do edifício

No *retrofit* do sistema de iluminação foram instalados sensores de luz próximos às janelas que ativam ou desativam as fileiras de luminárias contíguas às esquadrias, dependendo se há menos ou mais iluminação natural respectivamente. Também foram substituídas as lâmpadas fluorescentes existentes, conforme mostra a Tabela 2, colocação de luminárias mais reflexivas, e os reatores eletromagnéticos deram lugar a equipamentos eletrônicos, todos mais eficientes. As lâmpadas T5 proporcionam melhor aproveitamento do fluxo luminoso pela luminária. Com potência nominal mais baixa do que a maioria das lâmpadas existentes no prédio, o modelo adotado apresenta fluxo luminoso nominal de 2900 lúmens, superior ao valor nominal da maioria das lâmpadas existentes no edifício (LAMBERTS. 3, 2004).

Tabela 2 – Características das lâmpadas existentes e novas

	Modelo	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Diâmetro (mm)
Existentes	T8	32	2700	26
	T10	40	2700	32
	T12	40	2700	38
Novas	T5	28	2900	16

A climatização do edifício, que é feita por um sistema de ar-condicionado central, também passou pela reforma. Projetado apenas para resfriamento nos meses mais quentes, para seu dimensionamento somente foram utilizados dados da temperatura externa de verão, com

capacidade de atendimento de carga variando de 30 a 680 TRs, ou de 3,51 W/m² a 79,66 W/m². As condições internas de projeto condicionam a temperatura interna em 24°C ± 2°C e a umidade relativa do ar não tem controle (CLIMA SHOP, 2005, p. 21). O sistema é composto por: ventiladores de tomada de ar externo, torres de arrefecimento de água; compressores centrífugos de água gelada, capacidade nominal 1090 kW cada; bombas hidráulicas do circuito de água gelada (111,9 kW cada), bombas do circuito de água de condensação, entre as torres de arrefecimento e os resfriadores de líquido (149,2 kW cada); e vários climatizadores de ar e ventiladores, os quais tem tensão variando em torno de 380 volts e corrente em cerca de 6 ampéres, distribuídos pelo prédio. A Tabela 3 quantifica todos os equipamentos listados no Plano de Manutenção, Operação e Controle do Sistema de Ar-condicionado (PMOC). Este documento registra em fichas todos os processos de manutenção do sistema de climatização do edifício.

Tabela 3 – Equipamentos do sistema de climatização

Equipamento	Quantidade
Centrífuga de água gelada	2
Bombas de circulação primária de água gelada	3
Bombas de circulação condensação de água gelada	3
Bombas de circulação secundária de água gelada	3
Torres de arrefecimento	4
Climatizadores de ar e ventiladores (<i>fan-coil</i>)	53
Tomadas de ar externo	8
Exaustores	23
<i>Splits</i> *	15 (14+1 guarita)
<i>Selfs</i> **	3
Ar-condicionado de janela	8

*Os *splits* são condicionadores de ar autônomos e atendem aqueles ambientes que necessitam de climatização 24 horas por dia.

***Selfs* são aparelhos de expansão direta no qual um mesmo maquinário gela a água e faz a evaporação.

Fonte: Plano de Manutenção, Operação e Controle do Sistema de Ar-condicionado – PMOC, Eletrosul, 2010.

A Figura 9 apresenta de forma esquemática o sistema e as temperaturas de passagem da água em graus Celsius.

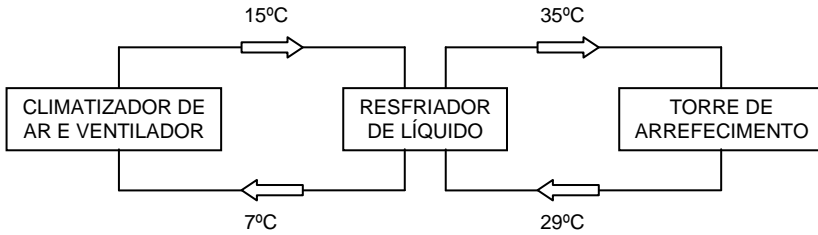


Figura 9 – Esquema do sistema de condicionamento de ar. Equipamentos, sentido de fluxo da água e sua temperatura

As quatro torres de arrefecimento (ou torre de resfriamento de água), da marca Alfaterm, localizam-se fora do edifício, conforme mostrado na Figura 10.



Figura 10 – Torres de arrefecimento, 2007

Os dois resfriadores de líquido, ou compressores centrífugos (fabricante York), situam-se no subsolo do edifício conforme mostram as Figuras 11 e 12. A Figura 13 retrata a tubulação de água gelada e a 14 os tanques de equalização de vazões e temperaturas. O ambiente possui ventilação e iluminação natural proveniente de uma fachada transparente. Estas imagens mostram os equipamentos que fazem parte desta etapa do processo (resfriamento da água) no sentido de entrada da água. Os compressores não precisam funcionar simultaneamente.



Figura 11 – Entrada da água proveniente das torres de arrefecimento, 2007



Figura 12 – Resfriadores de líquido, 2007



Figura 13 – Tubulação de água gelada, 2007



Figura 14 – Tanques de equalização de vazões e temperaturas, 2007

Por último, existem os climatizadores e ventiladores de ar (fabricante York) como mostra a Figura 15. Existem na edificação 53 destes aparelhos, com variações de potência. Os equipamentos utilizam a água gelada proveniente do resfriador para esfriar o ar e o insuflam para os ambientes.



Figura 15 - Um dos climatizadores e ventiladores de ar do primeiro pavimento, 2009

O acionamento dos equipamentos durante os dias de expediente ocorre na seguinte sequência: às 6h30min são acionados os *fan-coils* e em seguida as bombas. Em torno das 6h50min os compressores são postos em funcionamento (dependendo da necessidade) e ficam ligados até em torno das 17h50min ou 18h. Em seguida, as bombas são desligadas e em torno das 18h20min os *fan-coils* também são retirados de operação. Segundo informações obtidas em outubro de 2009 com os técnicos da Eletrosul responsáveis pelo funcionamento diário do ar-condicionado, o sistema não é para ser desligado durante o horário de expediente.

As informações sobre os sistemas do edifício quando não de vistorias, são provenientes preferencialmente dos manuais dos fabricantes ou da especificação técnica fornecida pela empresa projetista.

2.5 ESTUDOS SOBRE A ECONOMIA DE ENERGIA NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL APÓS O *RETROFIT*

Em agosto de 2008, o Departamento de Planejamento Pesquisa e Desenvolvimento (DPD) da Eletrosul emitiu um relatório de análise da redução do consumo após as obras de revitalização do sistema de iluminação e condicionamento de ar. O objetivo foi estudar a economia efetiva obtida com os novos sistemas e comparar o consumo de energia

elétrica no período anterior e posterior às obras. Os dados utilizados foram colhidos junto às faturas de energia elétrica da concessionária e nos projetos referentes aos sistemas implantados no *retrofit*.

Para quantificar a economia gerada pelo novo sistema de condicionamento de ar foi comparada a carga térmica atual, 680 TRs e a potência de 2380 kW, com dados do sistema anterior, 840 TRs e 2950 kW. Foi considerada ocupação diária de 12 horas, 22 dias por mês, e fator de utilização de 80% nos meses de verão (outubro a maio) e 40% nos demais meses, estimando a ocupação máxima do edifício. A conclusão do relatório é que a economia prevista nos meses de verão é de 120384 kWh/mês e no inverno, de 60192 kWh/mês (ELETROSUL, 2008).

Na determinação da economia com o novo sistema de iluminação interna, novamente foi feita a comparação do número de lâmpadas e reatores com suas respectivas potências. Também foi considerada ocupação diária de 12 horas, 22 dias por mês. A iluminação externa não foi considerada pela representatividade irrisória, segundo o relatório, frente às demais cargas consideradas (cerca de 1%) e pela dificuldade em precisar a potência instalada ao longo do período estudado. A economia estimada com o novo sistema de iluminação interna é de 26,06%, para este sistema isoladamente (ELETROSUL. 1, 2008).

O relatório do DPD considerou que as obras de revitalização estavam terminadas em agosto de 2006 e então foi escolhido como período de análise doze meses contados a partir de julho de 2007 a agosto de 2008. A redução estimada com o *retrofit* no sistema de iluminação interna somadas à redução pelo novo sistema de climatização, mas sem considerar a redução da carga térmica proporcionada pelo novo sistema de iluminação, foi de 18,47% nos meses de verão, e de 31,18% nos meses de inverno (ELETROSUL. 1, 2008).

Na comparação entre os períodos de 12 meses, foram usados dados a partir de 2003. Foi determinada uma média histórica de consumo utilizando a média aritmética simples dos períodos analisados a partir do ano 2003 a 2006 conforme mostra a Figura 16. Para os valores mensais também foi utilizada a média do consumo.

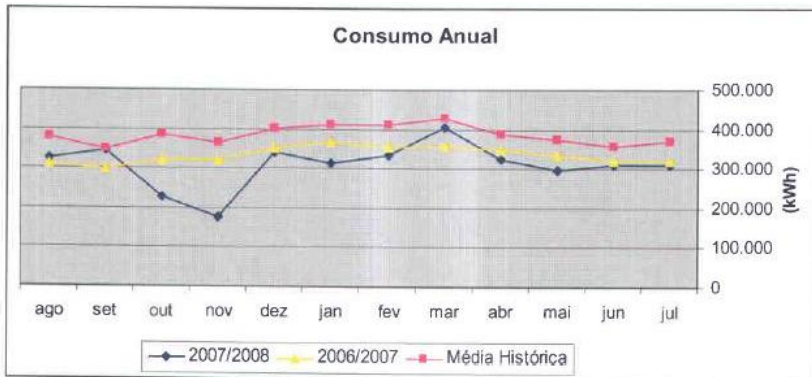


Figura 16 – Comparativo de consumo anual

Fonte: Eletrosul₁ (2008).

Pelo relatório é possível acompanhar o decréscimo de consumo nos períodos analisados. Segundo o documento, a redução de consumo obtida somente com o *retrofit* da iluminação interna tem valor de aproximadamente 22% da redução total obtida. Observa-se que nos meses de outubro e novembro de 2007 houve uma queda acentuada no consumo. Não houve motivos consideráveis para tal. Acredita-se que tenha havido problemas no aparelho de medição da concessionária. Pelos históricos de obra e ocorrências também não é explicado o considerável aumento de consumo no mês de março de 2008.

A empresa ainda conta com dois projetos a serem implantados que aumentarão sua eficiência energética. São eles o projeto Megawatt Solar e o projeto de captação e reutilização das águas pluviais nos banheiros, serviços de limpeza e irrigação dos jardins.

O projeto Megawatt Solar desenvolvido pelo LABEEE e com base na dissertação de Zomer (2010) compreende a instalação de painéis fotovoltaicos de silício policristalino e silício amorfo que acarretarão potência instalada de aproximadamente 1 Megawatt pico (1038 kWp). Será o primeiro projeto fotovoltaico conectado à rede de grande porte a ser implantado em prédio público brasileiro. Serão instalados, provavelmente no ano de 2011, 3240 painéis na cobertura do edifício e mais 1536 painéis em coberturas de estacionamentos. A área total ocupada pelos painéis será de 7730,54 m².

No projeto de aproveitamento da água da chuva de Silva e Becker (2008) foi considerado como área de captação a cobertura do edifício. O estudo constatou que a melhor aplicação para o volume obtido seria na utilização no sistema de arrefecimento das torres de ar-condicionado.

Foram dimensionados dois reservatórios externos ao edifício com 310 m³ cada. O tempo de retorno estimado é de aproximadamente nove meses, o que segundo os autores viabiliza e torna muito atraente o investimento.

2.6 CONTRIBUIÇÃO DA AUTOGERAÇÃO

Em 6 de fevereiro de 2009, houve como início e modelo do projeto Megawatt Solar a implantação de um módulo de cobertura de estacionamento que deu começo à geração de energia fotovoltaica. O módulo é composto por painéis de silício amorfo e tem potência instalada de 11,97 kWp. A estimativa do projeto era de gerar anualmente cerca de 15 MWh/ano. Um informativo mensal da geração fotovoltaica da planta piloto começou a ser divulgado a partir de janeiro de 2010 pelo DPS. Informações contidas nele apresentam uma geração acumulada de 13,4 MWh entre junho de 2009 e maio de 2010, ou um ano completo. A Figura 17 é um dos gráficos do informativo que compara a energia gerada pelo módulo instalado, a geração de energia estimada em projeto e a energia que deveria ser gerada de acordo com a irradiação medida.

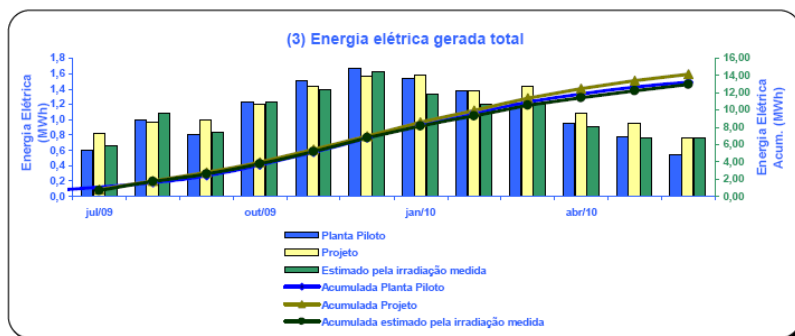


Figura 17 – Energia elétrica gerada total

Fonte: Departamento de Planejamento de Sistema. Eletrosul, 2010.

A diferença de geração e o valor previsto em projeto pode ser justificada pela diferença de irradiação incidente no ano em análise em relação aos valores históricos do LABSOLAR (Eletrobras Eletrosul, 2010).

2.7 QUALIDADE AMBIENTAL INTERNA NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL

Antes de decidir se um edifício é energeticamente eficiente, e neste caso se está mais eficiente, Olofsson et al. (2004) sugerem que as amenidades, ou qualidade ambiental interna, devem ser investigadas e avaliadas. Segundo os autores, em edifícios ocupados, uma pesquisa pode garantir que o nível de serviços responde aos níveis previstos em projeto ou às normas, dependendo das atividades. Os preceitos das normas a respeito da qualidade ambiental em ambientes de trabalho foram premissas para o *retrofit*.

A qualidade ambiental interna do edifício também já foi objeto de uma pesquisa realizada após o *retrofit* (agosto de 2009) pelo Departamento de Gestão da Informação e Infraestrutura (DGI) que abordou vários temas relacionados aos serviços prestados por este departamento. O questionário eletrônico foi enviado aos 756 empregados efetivos da Eletrosul lotados na Sede naquele momento e destes 368 participaram da pesquisa. Dentre as várias perguntas deste questionário estavam três que interessavam a este trabalho, estas foram direcionadas à regulagem da temperatura do ar-condicionado e à qualidade das iluminações internas e externas (pátios dos estacionamentos). São elas:

- a) Qual seu nível de satisfação com a regulagem de temperatura do ar-condicionado?
- b) Qual seu nível de satisfação com a iluminação no prédio?
- c) Qual seu nível de satisfação com a iluminação dos pátios?

As opções de respostas eram os conceitos: Ótimo, Bom, Regular, Ruim, Péssimo, Não aplica, e Não categorizado.

2.7.1 Conforto térmico

Os funcionários foram questionados quanto à regulagem da temperatura do ar-condicionado. As opções de respostas e o resultado podem ser visualizados na Figura 18.

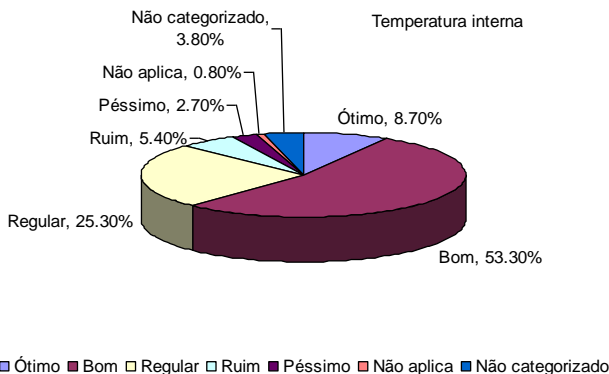


Figura 18 – Satisfação dos ocupantes do prédio com a temperatura interna
Fonte: Eletrosul. 2 (2009, p. 21).

Observa-se que prevalece o conceito de “bom” (53,3%), seguido de “regular” (25,3%) e “ótimo” (8,7%). Pode-se então concluir que, segundo os ocupantes do prédio, o sistema de climatização está mantendo os ambientes termicamente confortáveis.

2.7.2 Conforto visual

No que se refere ao conforto visual, os funcionários foram questionados quanto à qualidade da iluminação no prédio e nos pátios (estacionamento). As Figuras 19 e 20 apresentam respectivamente as respostas acerca da iluminação interna e externa.

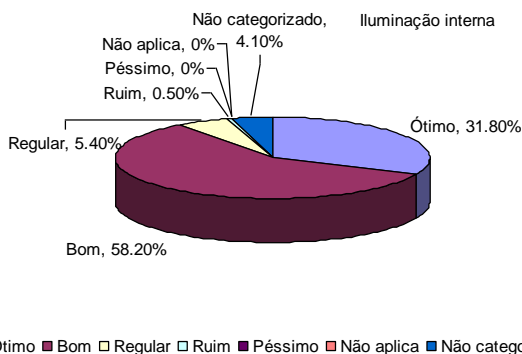


Figura 19 – Satisfação dos ocupantes do prédio com a iluminação interna
Fonte: Eletrosul. 2 (2009, p. 22).

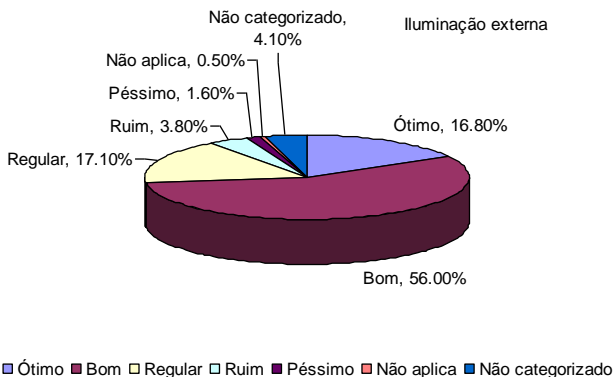


Figura 20 – Satisfação dos ocupantes do prédio com a iluminação externa
 Fonte: Eletrosul. 2 (2009, p. 23).

Novamente prevalece o conceito de “bom”, mais de 55% em ambas as perguntas, sendo que 31,8% dos ocupantes consideram a iluminação interna “ótima” e 16,8% têm a mesma opinião para a iluminação externa.

Por estas informações é possível concluir que os funcionários estão confortáveis visual e termicamente. Sendo assim, não acontece neste edifício economia de energia em detrimento do conforto dos usuários.

2.8 CARACTERÍSTICAS DO FORNECIMENTO DE ENERGIA AOS SISTEMAS E EQUIPAMENTOS NO EDIFÍCIO SEDE DA ELETROSUL

A subestação localizada no subsolo do edifício comporta três transformadores (Trafos) identificados por Trafo 1, Trafo 2 e Trafo 3, os quais recebem a energia proveniente da concessionária local em tensão de 13,8 kV. De modo geral os Trafos 1 e 2 atendem aos circuitos de iluminação e equipamentos independentemente, um é reserva do outro. Os dois são ligados ao gerador diesel de emergência e atendem, alternadamente, um grupo de cargas chamadas “essenciais”, que são as seguintes cargas, as quais devem estar sempre energizadas: Centro de Processamento de Dados (CPD), sistema de proteção contra incêndio,

iluminação das escadas e de emergência, No Break, carregamento de baterias, toda a recepção, COSE, câmeras de segurança e eventualmente as instalações do Operador Nacional do Sistema (ONS) quando há falha no seu gerador. O Trafo 3 é exclusivo do sistema de ar-condicionado e não é servido pelo gerador diesel. As cargas de iluminação e equipamentos só são separadas nos quadros de distribuição, que são cerca de oito, por pavimento. A Figura 21 é o diagrama unifilar esquemático.

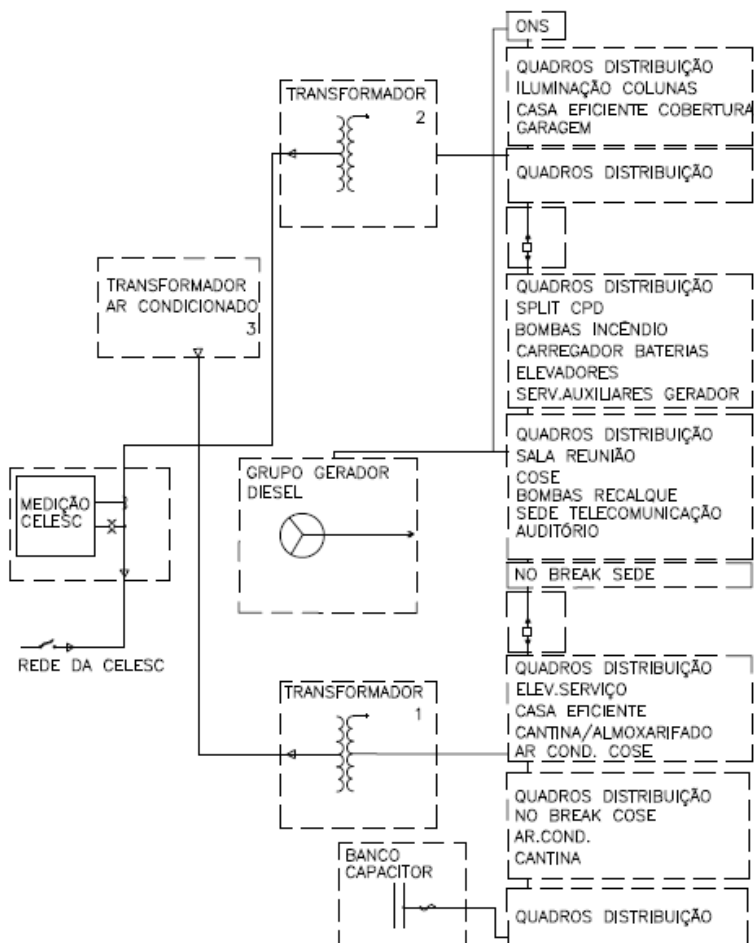


Figura 21 – Diagrama Unifilar

No dia 9 de março de 2010, uma forte descarga atmosférica nas proximidades do edifício causou curto-circuito nos Trafos 1 e 3. Toda a carga foi transferida para o Trafo 2 (que era reserva naquele momento). A partir deste instante, o ar-condicionado passou a funcionar com metade da capacidade até a recuperação e instalação do Trafo 3 que ocorreu no dia 8 de maio do mesmo ano.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada na dissertação possui uma abordagem bibliográfica e exploratória com estudo de caso, objetivando avaliar e apresentar a variação na demanda e consumo após o processo de *retrofit* para eficiência energética pelo qual passou o edifício sede da Eletrosul.

É predominantemente um estudo quantitativo, ocorrendo também análise qualitativa para a argumentação dos procedimentos adquiridos durante as reformas.

O trabalho mostra a situação atual da empresa e o seu histórico. Houve levantamento de dados em fontes primárias e secundárias, sendo o processo de pesquisa do tipo não participante, pois o investigado atua como espectador e não faz parte do grupo observado. Dados primários são aqueles pesquisados na fonte, e secundários são os já existentes, coletados na própria empresa, por meio de relatórios, normas, entre outros, ou são provenientes de trabalhos realizados e publicados na forma de livros, dissertações, teses, periódicos, revistas, artigos, Internet, etc. A forma de coleta de dados utilizada foi a observação *in loco*, análise de relatórios e faturas de consumo, medições individualizadas e a entrevista semi-estruturada.

Na coleta e análise dos dados de consumo de energia foi feita a comparação da demanda e do consumo antes e após as obras, em etapas e no total, de janeiro de 2003 até agosto de 2010. Como o horário-núcleo e as horas de funcionamento dos sistemas permanecem iguais para antes e após o *retrofit*, pode-se considerar que a variação da demanda é proporcional à do consumo, visto que consumo é relação da demanda pelo tempo.

O método da pesquisa tem por objetivo comparar o consumo e demandas atuais com as mesmas informações documentadas através de faturas da concessionária, Memórias de Massa, Pedrini (1997), Lamberts. 1 (1997), Lamberts. 2 (2004), Lamberts. 3 (2004), documentos da Eletrosul e dos projetos de *retrofit* do sistema de ar-condicionado e iluminação. Houve estudos separados para a troca dos sistemas de iluminação artificial e de climatização, e apesar de que não foram estabelecidas ou expostas as metodologias de análise de dados e disponibilização de informações, as quais não foram rigorosamente documentadas como indica o PIMVP, alguns dos critérios do protocolo serão utilizados. Os sistemas e equipamentos analisados por Pedrini (1997) em seu estudo de caso sofreram *retrofit*, e os dados poderão ser usados para comparar a diferença de demanda pré e pós-*retrofit*.

A abordagem prescritiva com dito em Haberl (2005, p. 3) requer dados contínuos e completos. Como esta não é a realidade da disponibilidade de dados nesta pesquisa para todos os sistemas e equipamentos de consumo relevante, procedeu-se também para a abordagem da economia global do edifício. Este método utiliza dados do medidor da concessionária em análises de comparação até a regressão.

A metodologia segue os parâmetros de Pedrini (1997): Grupo I, uso do extrato de faturamento emitido pela concessionária; Grupo II, análise da Memória de Massa e visitas técnicas; e Grupo III, monitoração da demanda de energia por uso final, além da opção C do PIMVP, todos descritos na revisão bibliográfica. Medições individuais ou estimativas como aborda a opção A também serão utilizadas na determinação da demanda por uso final. O uso das metodologias descritas verificará e atualizará as informações de consumo por uso final do edifício sede da Eletrosul. Servirão também para identificar melhor aproveitamento energético garantindo um adequado ambiente de trabalho.

O fluxograma da Figura 22 representa de forma esquemática o encadeamento dos processos da metodologia.

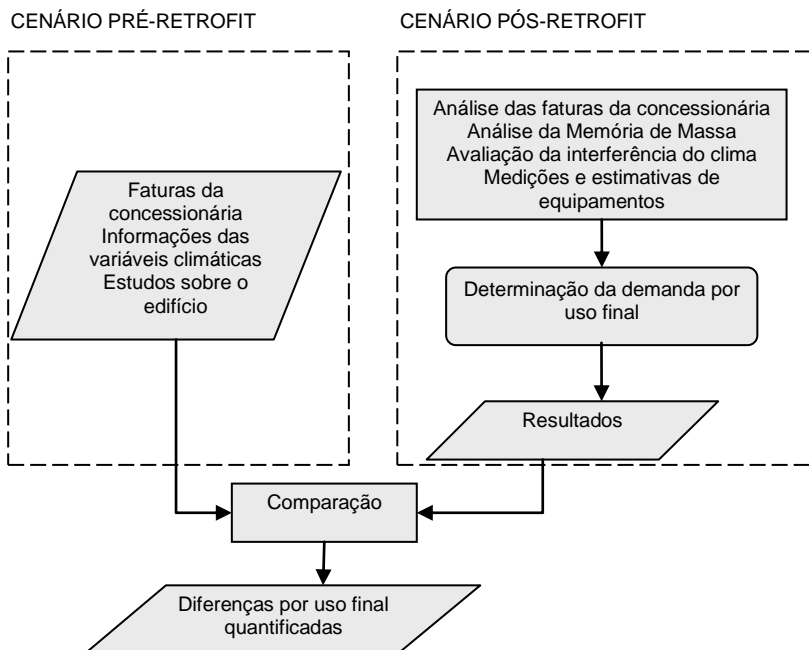


Figura 22 – Fluxograma representativo da metodologia aplicada

O método da pesquisa contempla os seguintes itens:

3.1 ANÁLISE DAS FATURAS

As atividades para a análise das faturas foram baseadas no Grupo I de Pedrini (1997) e na opção C do PIMVP considerando a importância destes registros, que também foi relatada por Freire (2001). Pela análise das faturas de consumo emitidas pela concessionária local e histórico de ocorrências na edificação são verificadas as interferências no consumo total de energia por variáveis, dependentes do clima ou não, por exemplo, outras obras além das do *retrofit*, variação do número de usuários e cargas adicionadas.

Através da comparação dos valores de consumo mensais e a relação dos períodos e horário de ocorrências de obras e acontecimentos não usuais que aconteceram na unidade consumidora é possível entender possíveis variações no consumo não relacionadas ao clima, como defendido por Liu et al (1997, p. 1609)

O DGI mantém registro em arquivo eletrônico dos dados das faturas da concessionária de energia desde janeiro de 2003 e em arquivo físico a partir de 2007. Foram utilizados todos os arquivos até agosto de 2010. Os arquivos foram analisados sempre que possível em grupos de 12 meses, ou no mínimo para um mês de verão e um mês de inverno, para retratar épocas de clima distinto e usos habituais da edificação.

Com os valores de consumo total de cada ano é possível identificar se houve redução ou aumento do consumo.

Também foram requisitados à CELESC os relatórios chamados “Registro de Contas – Alta Tensão” ou “Binômio Geral”. Com estes registros é possível saber as demandas registradas. O dado mais antigo que foi possível obter é de outubro de 2007 e o mais recente de setembro de 2010. Foram utilizados os dados do ano completo mais recente, 2009, para melhor representar a realidade atual. A escolha de um período mínimo de 12 meses e o quanto mais recente possível é defendida por Freire (2001, p. 23 e 30), Mendler et al (2006, p. 30), Berley et al (2005, p. 21) e Pedrini (1997). Com estas informações, a princípio, já é possível concluir se a demanda contratada está de acordo com a demanda registrada. Com a comparação destes dados com valores de demanda pré-*retrofit* é visualizada a variação após as reformas.

3.2 ANÁLISE DA MEMÓRIA DE MASSA

Pelo estudo do registro de demanda emitido pela concessionária distribuidora de energia, Memórias de Massa, o comportamento do consumo na edificação pode ser minuciosamente definido. Por elas também é possível a percepção de possíveis problemas nos sistemas, avaliação dos horários de uso horários, diários e semanal e sua repetitividade. A Memória de Massa também mostra o comportamento da edificação nos períodos sem ocupação, condição defendida por Haberl (1990, p. 27) em análises de *retrofit*.

Para o período anterior ao *retrofit* foram utilizados os dados de Pedrini (1997). Para o período pós-*retrofit*, como estes arquivos não ficam por muito tempo gravados na concessionária de distribuição de energia, cerca de dois anos apenas, foram utilizados os registros a partir de janeiro de 2007 até julho de 2010, Sendo os de 2007 e 2008 provenientes dos arquivos da Eletrosul. Os demais foram recebidos diretamente da CELESC.

Utilizou-se como período prioritário para a análise intervalos de 15 minutos, mas dependendo do tipo de comparação necessária eles foram transformados em dados horários ou diários a partir de médias.

Foras escolhidos um mês completo (geralmente 30 dias) para verão e inverno. Para representar o perfil de demanda da edificação para o verão após as reformas foi escolhida a Memória de Massa de fevereiro de 2007 (de 22 de janeiro a 22 de fevereiro). Para o inverno foi escolhido o período de 21 de junho a 17 de julho, que representa a Memória de Massa de Julho daquele ano.

Para a comparação de perfis de demanda semanal antes e após o *retrofit*, foram utilizados os registros de Pedrini (1997) para janeiro e junho de 1996, e a Memória de Massa de janeiro de 2010 e junho de 2009.

A inclusão de geração fotovoltaica na unidade consumidora tem que ser considerada com medições mensais de produção (BERLEY et al., 2005, p. 21). Pela importância de se considerar a geração de energia *in loco* e para efeito de comparação da geração fotovoltaica local com a demanda da edificação foram utilizados dados de um mês. A empresa tem registrada a geração pela cobertura fotovoltaica instalada em seu estacionamento desde junho de 2009. Os dados em intervalos de 5 minutos provenientes do inversor Sunny Boy são armazenados em um cartão de memória no *data logger* WebBox, e depois transferidos para

arquivos digitais do Departamento de Planejamento do Sistema (DPS). Tanto o inversor quanto o *data logger* são do fabricante alemão SMA. Foi escolhido o mês de dezembro de 2009, que é o que do período registrado apresenta a maior geração.

3.3 INTERFERÊNCIA DO CLIMA

Através da comparação das Memórias de Massa e dados climáticos como temperatura, radiação solar e umidade relativa do ar é possível determinar a influência ou não do clima no consumo de energia pelos sistemas da edificação. A importância da influência do clima e de outras considerações além de apenas o registro das faturas é apresentada por Liu et al (1997) e Farouz et al (2001) respectivamente. A temperatura externa média diária é o primeiro indicador das condições ambientais que afetam o uso de energia em edificações climatizadas.

Para verificar a interferência do clima no consumo da edificação, foram feitas análises estatísticas. Foram analisados dados climáticos provenientes da estação climática localizada junto ao LABSOLAR. Esta estação está a menos de um quilômetro do edifício em estudo e registra dados a cada quatro minutos. Fizeram parte dos cálculos os registros de temperatura externa, radiação solar e umidade relativa. Os três foram correlacionados separadamente com a demanda. As informações foram tratadas para obtenção das médias diárias e comparados com os dados de demanda de períodos pré e pós-*retrofit*. Os dados de demanda são provenientes das Memórias de Massa.

Os procedimentos utilizados para a análise da interferência do clima foram processados em planilhas de cálculo do programa computacional EXCEL®. A bibliografia indica este método (LEI e HU, 2009) porque ele exige conhecimento das variáveis. E ao contrário da simulação computacional não demanda conhecimento das características mecânicas dos equipamentos, como salientou Reddy et al (1992, p. 3226) e Liu et al (1997, p. 1609). Pela medição também podem ser investigadas as condições climáticas (BALLARINI e CORRADO, 2009, p. 790).

Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados obtidos para as amostras: demanda, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar externas. Para a verificação da normalidade para todas as populações utilizou-se o método Kolmogorov-Smirnov com confiabilidade de 95%.

Este consiste na comparação das frequências acumuladas observadas e as calculadas pela distribuição normal.

Pelo clima do local apresentar amplitude térmica das médias diárias durante o ano, por volta de 20°C, a base de dados deve compreender períodos que representem bem o verão e o inverno. Para isto foram considerados dados climáticos e de Memória de Massa dos meses de janeiro, março, junho, julho e agosto de 2007, pois em dez de janeiro de 2007 as obras do *retrofit* já estavam finalizadas. O conjunto de dados totalizou 87 dias, sendo 41 dias do verão e 46 do inverno. Períodos de dados breves das estações do ano mais divergentes já são suficientes para o desenvolvimento de um modelo de regressão preciso (LIU et al, 1997).

As informações foram analisadas pelo método da regressão, no qual, através de uma série de dados provenientes de duas variáveis na forma de pares de valores ($x_i ; y_i$) define-se a equação que faça a adequação dos pontos a uma reta. Os valores de x do gráfico são as médias diárias da temperatura externa e os valores de y são as médias diárias das demandas encontradas nestes dias. Pelo sistema da regressão, quanto mais próximo o valor de R-Quadrado (R^2) estiver de 1,0, mais a variável y depende da variável x . O PIMVP não determina um valor ideal para o coeficiente de correlação.

Devido ao fato de que os intervalos de dados das fontes são diferentes as informações precisaram ser tratadas para a obtenção de médias diárias durante apenas o horário e dias de funcionamento da edificação. Os dados climáticos foram registrados a cada quatro minutos e a demanda a cada 15 minutos. Para igualar os períodos foram feitas médias diárias. As médias são para o período de ocupação plena do edifício, entre 9 e 16 horas. Foram desconsiderados os dias em que faltaram dados de Memória de Massa em julho e agosto, além dos feriados, dias entre feriados e finais de semana e finais de semana. Isto porque a demanda que ocorre nestes dias é muito mais baixa que nos demais, devido à não presença dos funcionários e o consequente não ligamento do sistema de climatização, dos computadores e a maioria dos equipamentos. Também foram desconsiderados os dados entre 8 e 9 horas e entre 16 e 17 horas, que parcialmente ainda fazem parte do horário-núcleo, porque a demanda não está no seu auge, já que nem todos os postos de trabalho estão ligados.

Por ser um edifício com sistema de ar-condicionado central foi necessário considerar a temperatura de *set-point*, também conhecida como *change-point*. Esta temperatura, interna, que é de 24°C ± 2°C, para as análises estatísticas foi considerada em 24°C.

Após a verificação da interferência das variáveis climáticas no consumo da edificação foi analisado se o clima, através da variável de maior influência, se comportou de maneira semelhante antes e após o *retrofit*. Para isto foram comparadas as médias climáticas para dias úteis, entre 9 e 16 horas, para os mesmos períodos, verão e inverno, em 2004 e 2007 pelo método estatístico conhecido como teste de hipótese da diferença de duas médias. Este teste é aplicável a amostras pequenas de populações já normalizadas.

3.4 MEDIÇÕES E ESTIMATIVAS DA DEMANDA DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS

Para uma verificação mais minuciosa e precisa, seguindo os preceitos das opções A e B do PIMVP e do Grupo III de Pedrini, são necessárias medições diretas ou estimativas dos sistemas isoladamente ou dos equipamentos de maior consumo na edificação. Relembrando Kissock et al (1992, p. 239) de que a análise pós-*retrofit* através de medições evita as incertezas que uma simulação poderia apresentar. E também, segundo Ballarini e Corrado (2009, p. 790), que a comparação da medição com o valor estipulado investiga o comportamento dos usuários.

Devido aos custos dos equipamentos de medição, deu-se preferência pelo uso dos de posse da Eletrosul ou da UFSC. Para o controle da demanda e do consumo do sistema de ar-condicionado foi acoplado um medidor canadense QI 121 (Quantum Multifunction Meter) da Schlumberger Industries, de posse da Eletrosul, à estrutura do transformador que alimenta este sistema. A precisão indicada no manual do equipamento é de $\pm 0,2\%$. As Figuras 23, 24 e 25 são imagens do medidor instalado no transformador 3 e do sistema de conexão USB, com um computador portátil para efetuar a leitura dos dados. Este equipamento, neste trabalho denominado medidor, faz registros de demanda a cada hora. Estas informações são então comparadas com a leitura da Memória de Massa.



Figura 23 – Transformador 3 com o equipamento de medição instalado (demarcado em vermelho)



Figura 24 – Equipamento de medição



Figura 25 – Sistema de conexão com o computador portátil para efetuar a leitura dos dados

O painel do medidor mostra todas as informações, mas apenas com a coleta *in loco* através do sistema de conexão é possível tratar os dados, pois não é possível receber os dados remotamente.

Na verificação de outras cargas pontuais foram utilizados dois analisadores de qualidade de potência trifásica móvel. Um da marca e modelo Fluke 433/434, emprestado do LABEEE, que forneceu dados de demanda e registrou o tempo de medição. E outro da marca AEMC Instruments, modelo Three-Phase Power Quality Analyzer Power Pad Model 8335 de posse da Eletrosul. O manual do primeiro equipamento indica que sua precisão no pico de tensão é de $\pm 5\%$. As Figuras 26 e 27 são imagens do uso deste equipamento, aqui chamado de analisador de energia ou analisador de qualidade de energia, conectado ao quadro elétrico dos elevadores. A precisão do segundo equipamento, que foi utilizado apenas para a medição da iluminação externa, de acordo com o seu manual, é de $\pm 1\%$.



Figura 26 – Instalação do analisador de energia no quadro elétrico dos três elevadores



Figura 27 - Conexão dos cabos do analisador de energia com os fios de fase, terra e neutro do quadro elétrico dos três elevadores

Para conectar o analisador de qualidade de energia é preciso pessoal habilitado para serviços em instalações energizadas. O painel do analisador dá todas as informações, mas, novamente, apenas com ligação direta a um computador é possível tratar os dados.

A medição individualizada no caso do sistema de ar-condicionado ocorreu de forma contínua por períodos maiores do que um mês, no verão e no inverno, por no mínimo 24 horas para cada um dos três elevadores como também para as bombas de recalque, Figura 28, e durante dez minutos para a iluminação externa, que foi acionada durante o dia diretamente no quadro de distribuição.



Figura 28 – Conexão do analisador de energia ao quadro elétrico das bombas de recalque

A medição de algumas cargas isoladas não foi possível quando havia impossibilidade de conectar estes equipamentos, por questão de segurança, porque eram muitos aparelhos iguais, ou pela falta de acesso. Nesses casos foram registrados os dados de placa dos aparelhos e suas rotinas de funcionamento através de entrevista aos operadores ou visualização dos programas de gerenciamento próprio, como foi com o sistema de exaustão, que contempla 18 aparelhos. No caso do No Break, que corresponde a uma seleção de cargas críticas como, por exemplo, CPD e COSE, leu-se o painel do próprio aparelho que fornece dados instantaneamente. As informações em tempo real dos painéis de cada

um dos resfriadores de líquido, como potência instantânea e consumo acumulado, também foram utilizadas de modo a comparar e validar com o que foi registrado pelo medidor.

O sistema de iluminação interna do prédio, assim como as tomadas de uso geral, é de difícil medição, pois os circuitos saem de dois transformadores alternadamente (1 e 2) juntamente com outras cargas do prédio e são separados por 30 quadros de distribuição, sendo 8 no térreo, 8 no primeiro pavimento, 8 no segundo pavimento, 2 no pavimento intermediário e mais 4 no subsolo. Pela complexidade de analisar cada quadro separadamente procedendo ao acionamento de todas as luminárias, por não haver documentação precisa sobre o número e tipos de lâmpadas e reatores existentes nos pavimentos intermediário e subsolo, além da impossibilidade da definição de uma rotina de acionamento de toda a iluminação interna devido aos foto sensores, partiu-se para o acionamento programado e posterior análise da Memória de Massa de toda a edificação.

O acionamento programado ocorreu durante um sábado, 8 de maio de 2010. Primeiramente toda a carga do edifício foi desligada, deixando apenas as cargas essenciais. Todos os demais equipamentos possíveis de serem retirados de funcionamento foram desligados. Por volta das 10h15min toda a iluminação do prédio, exceto a iluminação do estacionamento, começou a ser acionada e totalmente desligada após cerca de 1h30min. Este tempo é necessário para que a variação na demanda seja percebida na Memória de Massa, pois o intervalo mínimo para os dados neste registro é de 15 minutos.

A medição do sistema de iluminação externa (estacionamento) foi possível com o uso do equipamento analisador de energia, já que o sistema possui apenas duas ramificações, ou quadros de distribuição divididos em setor Norte e Sul, referente a uma linha imaginária que dividiria o terreno da Eletrosul em Norte e Sul. O quadro de distribuição que serve ao setor Norte está localizado na subestação do edifício e o quadro do setor Sul está em um corredor de serviços servindo de passagem permanente para funcionários da manutenção e limpeza, próximo a uma porta externa.

Pela diferença do que foi registrado pelo medidor do sistema de climatização para um único dia do ano em que até mesmo o sistema de ventilação estava desligado e de outro dia em que este sistema estava em funcionamento, mas sem refrigeração, foi possível quantificar a demanda apenas pela ventilação.

Com todas estas informações foram elaborados gráficos para cada tipo de carga comparando sempre à demanda total baseada na média de

três dias úteis do verão. Os dias escolhidos foram 9, 10 e 11 de fevereiro de 2010 por apresentarem comportamento semelhante aos demais da estação e poder comparar com dados existentes da mesma época em 1997. Também se preferiu o período de verão ao invés do inverno para melhor ilustrar a porcentagem de uso pelo sistema de climatização. As rotinas de acionamento e desligamento foram respeitadas. A união de todas as curvas de demanda em um só gráfico gerou uma figura que pôde então ser comparada a uma mesma representação dos perfis do ano de 1997.

A definição da carga do transformador do sistema de climatização já define, por subtração, a demanda do segundo transformador. Como apresentado em Pedrini (1997, p. 97), com estas informações e as de horários de uso dos sistemas, é possível reproduzir o comportamento destes ao longo do dia. Com a reprodução dos perfis de carga dos sistemas consumidores de eletricidade no edifício foi possível reconhecer as variações aleatórias e sistêmicas nas curvas da Memória de Massa e caracterizar a demanda por uso final. Como explanou Torcellini et al (2006, p. 101), a determinação da demanda por uso final é crítica para identificar os sistemas e o atual desempenho versus o predito. De acordo com a bibliografia, a demanda de edificações comerciais atendidas por alta tensão pode ser dividida em três tipos de uso pelos sistemas de ar-condicionado, iluminação e o restante agrupado no que é chamado de “demais equipamentos”. Através das medições ou estimativas é determinado o consumo por uso final e regimes de utilização dos sistemas de:

- a) Ar-condicionado;
- b) Iluminação; e
- c) Demais equipamentos

Como a demanda pelo sistema de climatização varia muito da estação mais quente para a mais fria, o resultado final mostra duas situações de uso, uma para o período úmido e outra para o período seco, os quais coincidem com os meses mais quentes e mais frios, respectivamente.

Para a determinação da demanda total foi utilizada a Memória de Massa média para o período úmido e seco, considerando apenas os dias úteis no intervalo das 8h às 18h. Para o período úmido foram selecionados os meses de dezembro de 2009 a abril de 2010. E para o período seco os meses de maio de 2010 a setembro de 2010 mais outubro e novembro de 2009. A mesma seleção aconteceu para a demanda do sistema de climatização. Pela falta de registro do medidor para os meses de março e abril de 2010, foi feita extrapolação dos

demais valores para preencher esta lacuna. Para o mês de março foi feita a média dos valores de janeiro e fevereiro, pois nestes meses a demanda total da edificação teve valores mais próximos da do mês de março e também por todos serem meses do período úmido. Para o mês de abril foi copiado o valor de junho, porque a demanda total da edificação nestes dois meses foi praticamente a mesma e ambos são do período seco. O valor da potência do sistema de iluminação foi obtido pelo acionamento programado. E a carga dos “demais equipamentos” foi obtida pela subtração das potências dos sistemas de climatização e iluminação da demanda total. Utilizando estes cenários foi feita a comparação com os mesmos valores para usos finais indicados no relatório do CEPTEL ocorrido em 2002 para esta edificação.

4 RESULTADOS

Os resultados obtidos estão elencados na mesma sequência que os itens classificados na metodologia. São descritos os procedimentos e os respectivos resultados. Comentários e novas questões surgidas durante os trabalhos em campo e pesquisas são apresentados.

4.1 ANÁLISE DAS FATURAS

A análise das faturas de consumo antes e após o *retrofit*, anos 2003 e 2009 respectivamente, indica uma queda de 11% no consumo anual, conforme o consumo total anual mostrado na Figura 29. Valor um pouco menor do que a diferença de 13,70% entre o consumo anual de 2004 e 2007. No entanto, comparando o ano de maior consumo, 2005, com o último registrado por completo, 2009, a redução é de 21%. E entre 2005 e 2007, que se pode considerar que as obras de revitalização já estavam finalizadas, é de 23%. A bibliografia indica que é razoável um erro de $\pm 10\%$ na projeção da economia (TORCELLINI et al., 2006, p. 97). Sendo assim, a princípio, é possível considerar que a meta de redução prevista para o *retrofit* do sistema de iluminação e do de ar-condicionado que era de 28% (LAMBERTS. 3, 2004, p. 27) foi atingida.

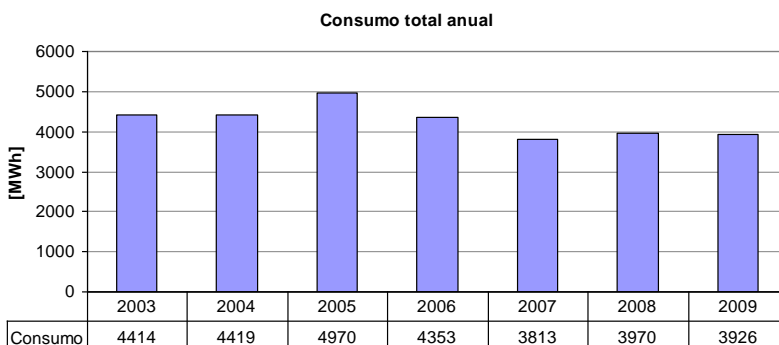


Figura 29 – Consumo total anual 2003 a 2009. Valores em MWh

Também pela média dos valores anteriores ao *retrofit* (de 2003 a 2006) e após o *retrofit* (de 2007 a 2009) é encontrada uma redução de

14% no consumo de energia elétrica para a unidade consumidora. Por unidade consumidora entende-se o “conjunto de instalações e equipamentos elétricos caracterizado pelo recebimento de energia elétrica em um só ponto de entrega, com medição individualizada e correspondente a um único consumidor” (CELESC. 1, 2006).

As demandas registradas também estão abaixo do valor contratado, Figura 30, o qual já foi reduzido após os estudos do *retrofit*. Isto é um bom sinal e indica que ainda é possível reduzir os custos com energia elétrica a partir de uma nova adequação no contrato da demanda.

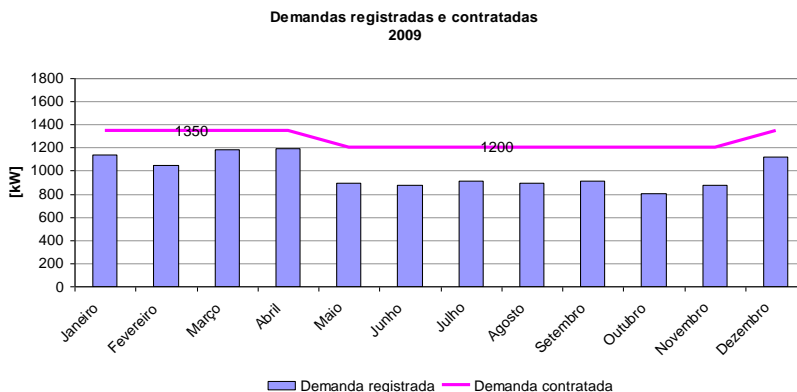


Figura 30 – Demandas registradas e contratadas 2009. Valores em kWh

A Tabela 4 mostra a relação e períodos de todas as obras de reforma e manutenção que possam ter impactado no consumo de energia. Os itens em **negrito** são as obras do *retrofit*. As obras mais impactantes na curva de consumo diária são as que ocorreram de noite, como trocas da iluminação interna, do sistema de ar-condicionado e do mobiliário. Após o período exposto na Tabela 4 não ocorreram novas obras que pudessem interferir consideravelmente no consumo de energia da edificação.

Tabela 4 – Relação de obras de *retrofit* e respectivos períodos

Descrição	Período: 2003-2009		Ocorrência		
	Início	Conclusão	Noite	Dia e noite	Final de semana
Substituição do mobiliário	11/12/04	03/09/05	X		X
Instalação do telhado, impermeabilização e pararraios	15/3/05	31/12/05			
Abertura de novo acesso de veículos	12/10/04	14/2/05			
Retrofit do sistema de ar-condicionado	28/9/05	10/01/07	90%		X
Retrofit da iluminação interna	30/11/05	07/07/06	X		X
<i>Retrofit</i> da iluminação externa	30/11/05	05/03/06			
Implantação da cafeteria	01/03/06	29/3/06		X	
Modernização dos elevadores		06/12/07			
Colocação de guarda-corpo e corrimão	26/9/06	15/1/07		X	X
Reforma de 60 banheiros com criação de unidades para deficientes físicos	29/12/06	14/2/08	90%		X
Reforma dos sistemas de prevenção à incêndio e Iluminação de emergência do subsolo		15/12/08			

Tabela 4 - Relação de obras de *retrofit* e respectivos períodos (conclusão)

Descrição	Início	Conclusão	Noite	Dia e noite	Final de semana
Construção de 2 banheiros no subsolo	25/9/08	12/12/08		50%	
Instalação da estrutura do módulo fotovoltaico	12/08/08	13/03/09			
Ampliação do acesso e construção de nova guarita	11/04/08	05/04/09			
Aquisição do novo elevador social	26/11/08	24/4/09			
Sistema de exaustão integrado	22/01/09	17/7/09			
Todas as obras da noite também ocorreram em finais de semana Noite = até 2 ou 3 horas da madrugada (geralmente)					

A Figura 31 indica o consumo mensal ao longo de seis anos e meio (de janeiro de 2003 a agosto de 2010) e mostra a tendência de redução do consumo após 2005 e 2006, anos de auge nas obras do *retrofit*.



Figura 31 – Demandas registradas e contratadas 2009. Valores em kWh

É identificado pelos dados da Tabela 4 e os valores de consumo total anual, Figura 31, que ao final das principais obras do *retrofit*, o consumo diminuiu.

4.2 ANÁLISE DA MEMÓRIA DE MASSA

A Figura 32 é um exemplo de Memória de Massa. O período de 30 dias em questão compreende parte do mês de janeiro e parte de fevereiro de 2007, sendo estes os dias relacionados na fatura da concessionária. Percebe-se que no dia 21/02 só houve expediente à tarde e com demanda menor que os demais dias úteis, devido ao fato de este dia ser Quarta-feira de Cinzas (meio expediente) e além da ausência de muitos funcionários. Os dias com demanda entre 200 e 400 kW são os sem expediente (finais de semana e feriados). Inicialmente, este consumo pode ser creditado ao emprego de iluminação para auxiliar serviços de limpeza e ocupação em horário extra de funcionários, como relatou Pedrini (1997, p. 92). A Memória de Massa é um importante instrumento para as primeiras estimativas de padrões de usos de equipamentos, de iluminação e de condicionador de ar (Ibid., p. 146).

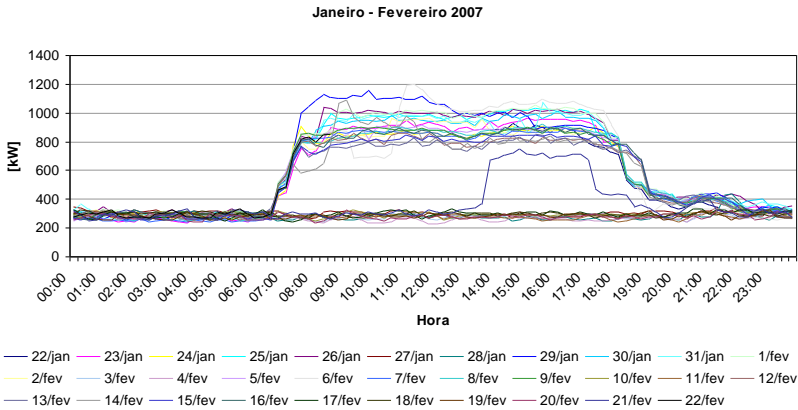


Figura 32 – Memória de Massa 22 de janeiro – 22 fevereiro 2007

Fonte: Adaptado de CELESC₂ (2007).

A Figura 33 mostra como o consumo em um mês de inverno é menor. Percebe-se que excetuando as cargas permanentes (na faixa dos 250 kW), as demais são acionadas em torno das 7 horas da manhã e têm desligamento entre 18h e 20h predominantemente. Às 23 horas a potência tende a voltar àquelas cargas mantidas 24 horas por dia. Percebe-se que ainda há considerável consumo no horário de ponta, que é entre 18h e 21h, momento de ocupação pelo pessoal de limpeza. As cargas permanentes são as cargas essenciais, os serviços 24 horas e o consumo pelo modo *standby* de vários equipamentos, como monitores, computadores e impressoras que não foram corretamente desligados.

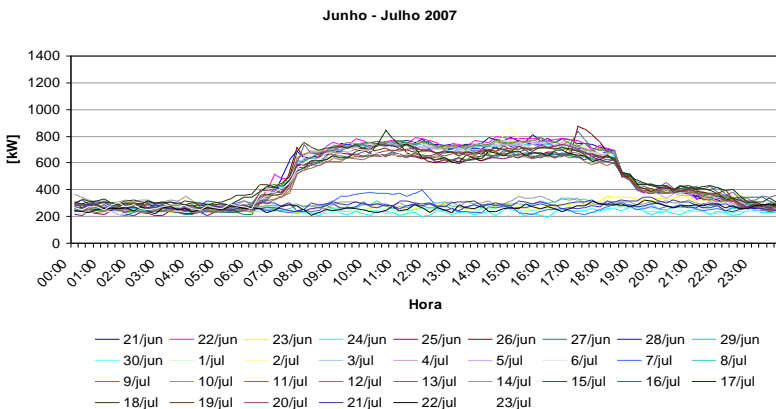


Figura 33 – Memória de Massa 21 de junho – 17 de julho 2007

Fonte: Adaptado de CELESC₂ (2007).

A diferença de cerca de 200 kW entre as demandas dos meses de verão (janeiro-fevereiro) e inverno (junho-julho) pode ser creditada ao sistema de climatização.

O perfil semanal do mês janeiro de 2010, Figura 34 mostra o comportamento semelhante durante os dias úteis e o baixo consumo nos finais de semana. Em comparação com a Figura 35, a qual indica o comportamento em janeiro de 1996, é perceptível redução de cerca de 23% da demanda, a qual passava dos 1300 kW.

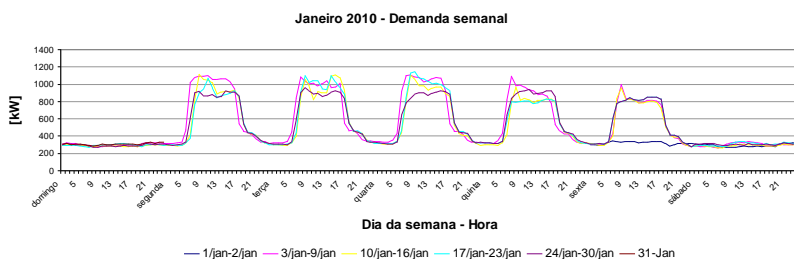


Figura 34 – Demanda semanal em janeiro de 2010

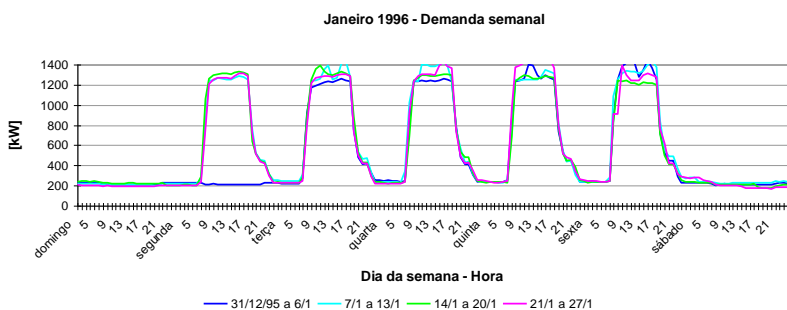


Figura 35 – Demanda semanal em janeiro de 1996

Fonte: Pedrini (1997), arquivos do autor.

Pela comparação de perfis de demanda semanal durante o inverno, época quando o sistema de refrigeração está desligado, antes e após as obras do *retrofit* foi possível visualizar que as cargas não dependentes do clima foram reduzidas. A Figura 36 representa a demanda semanal do inverno, mês junho de 2009 e a Figura 37 é o gráfico para o mês de junho de 1996.

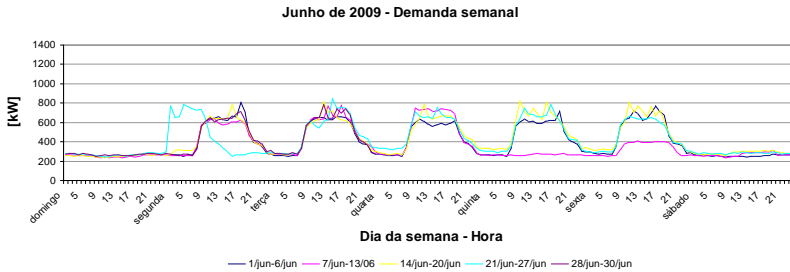


Figura 36 – Demanda semanal em junho de 2009

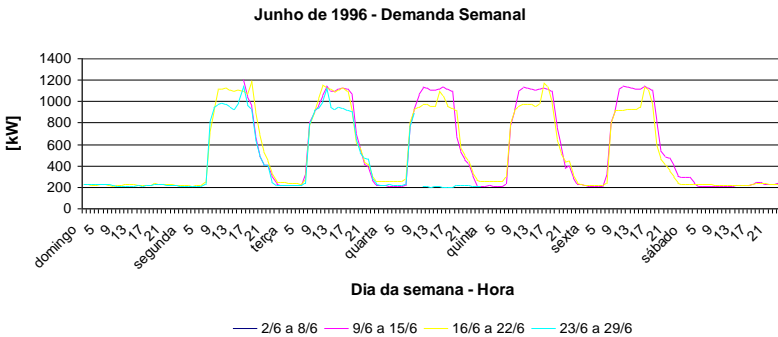


Figura 37 – Demanda semanal em junho de 1996

Fonte: Pedrini (1997), arquivos do autor.

A diferença da redução da demanda ficou em torno de 30%. Pela diferença na variação entre verão e inverno antes e após p *retrofit*, é conclusivo que as cargas independentes do clima, como iluminação, foram reduzidas após o *retrofit*, mas a eficiência não foi proporcional à redução pelo sistema de climatização. Outro motivo a ser somado para justificar a menor redução da demanda no verão é o uso dos sistemas de climatização independentes do ar condicionado central, especialmente à noite.

Esta simples comparação não é suficiente para confirmar a redução no consumo. O número de ocupantes do edifício precisa ser relacionado. Pedrini considerou 1379 usuários em 1996. Atualmente o número de usuários do prédio fica em torno de 1276 (efetivos mais contratados terceirizados, excetuando os estagiários e empregados das demais empresas inquilinas). Contudo, a redução do número de usuários não é tão significativa quanto à redução visualizada pelos gráficos.

Sendo assim, continua-se a verificação dos sistemas e outras interferências.

4.3 INTERFERÊNCIA DO CLIMA

Através da aplicação do método estatístico da regressão para cada uma das variáveis climáticas, temperatura do ar, radiação solar e umidade relativa do ar, versus a demanda total da edificação foram encontrados os valores de correlação. A variável temperatura do ar exerce influência na demanda da edificação, conforme apresentado na Figura 38.

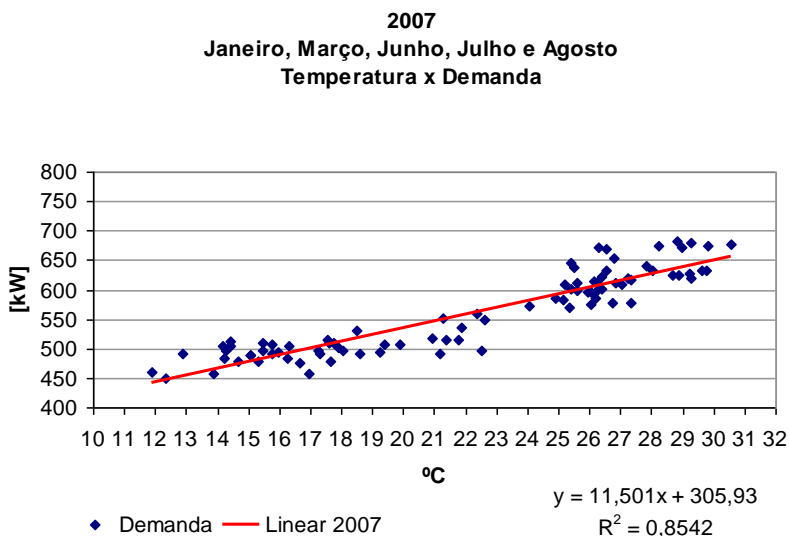


Figura 38 – Gráfico de regressão de temperatura externa e demanda para 2007

Os valores de demanda deste gráfico não são idênticos aos apresentados na Figura 32, justamente porque aquele gráfico representa a demanda a cada 15 minutos ao longo de todo o dia entre 22 de janeiro e 22 de fevereiro, enquanto este apresenta as médias diárias de demanda versus a média da temperatura externa do dia. Neste gráfico todos os valores correspondem à média durante o período entre 9 e 16 horas dos dias úteis. É perceptível que os pontos azuis, que representam a

demanda parecem estar em dois patamares, com leve inclinação ascendente. A Figura 39 traduz melhor esta constatação.

O gráfico da Figura 39 foi construído por duas equações de reta, uma para temperatura externa até 24°C, e outra para temperaturas acima deste valor, quando o primeiro resfriador de líquido é acionado. A temperatura interna de acionamento deste sistema está em 24°C ± 2°C.

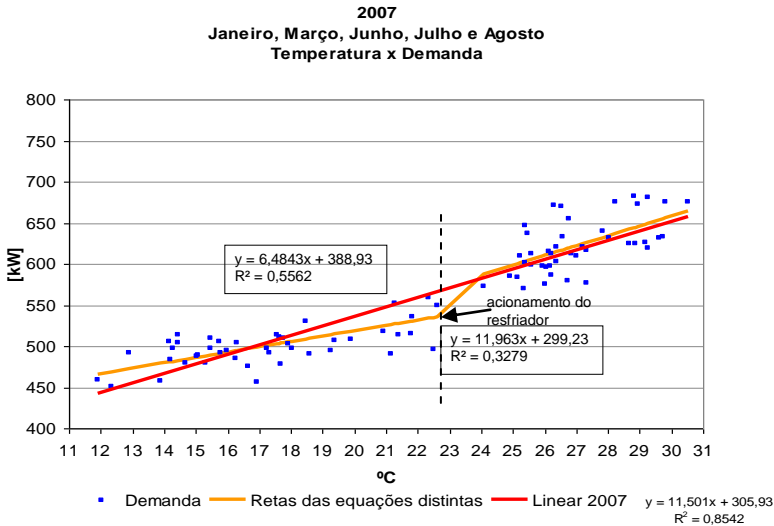


Figura 39 – Gráfico de regressão de temperatura externa e demanda para 2007 a partir de duas equações de reta conforme temperatura externa

A separação dos dados acarreta valores de correlação baixos (R^2). Mas com a nova escala fica mais evidente os patamares da demanda. A grande diferença é o que impulsiona a reta ascendente quando tratado os dados todos juntos é o acionamento do primeiro resfriador de líquido na temperatura interna de 24°C. O tratamento dos dados todos juntos resulta no valor de R^2 satisfatório, Figura 38, para indicar a correlação entre temperatura externa e demanda para este sistema. Em estatística quanto mais próximo de 1,0 resultar o R^2 , mais a variável x influencia na variável y .

Com a aplicação da regressão das demais variáveis climáticas, percebeu-se que a temperatura é o que mais afeta a demanda e o consumo. Mesmo possuindo sensores de iluminação, a variável radiação

solar não se mostrou tão significativa, Figura 40. Assim como a umidade relativa do ar, Figura 41.

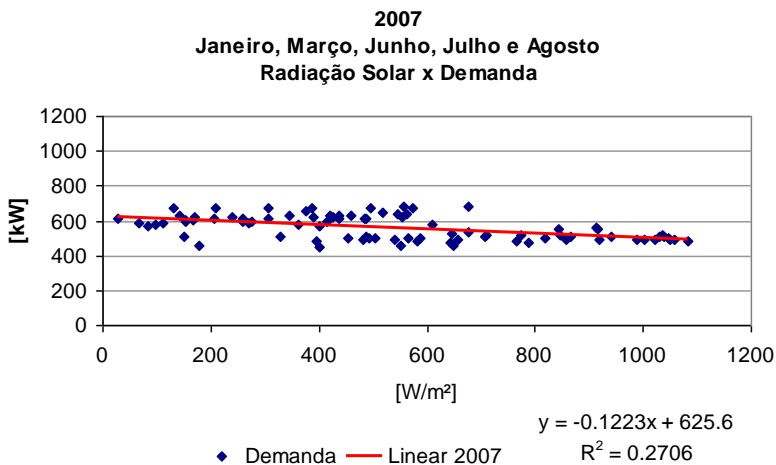


Figura 40 - Gráfico de regressão da radiação solar e demanda para 2007

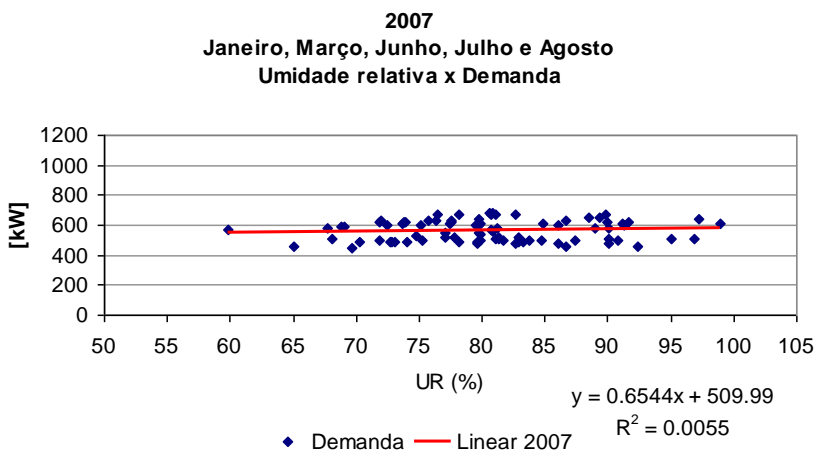


Figura 41 – Gráfico de regressão da umidade relativa do ar e demanda para 2007

Percebe-se então que a radiação solar e a umidade relativa do ar não interferem no consumo em edificações comerciais climatizadas e de grandes dimensões horizontais como o edifício em questão. A radiação solar porque a luminosidade não consegue alcançar as estações de trabalho afastadas das paredes externas, algumas enclausuradas por divisórias, além dos solos, necessitando de iluminação artificial. A pequena interferência é devido ao ganho solar pela cobertura. E a umidade relativa por não haver necessidade de um controle tão rigoroso dentro desta edificação. Já a temperatura externa exerce considerável influência neste tipo de edificação.

Como a variável temperatura do ar externo foi a que mostrou influência no consumo nesta edificação, para verificar se o clima se comportou de maneira semelhante antes e após o *retrofit*, foi feita a comparação desta variável para 2004 e 2007. Procedeu-se então ao método estatístico conhecido como teste de hipótese da diferença de duas médias. Foram extraídos os valores da temperatura do ar externo para o mesmo período de verão e inverno em 2004 e 2007. Os valores de 2007 são os mesmos utilizados no método da regressão para a determinação da influência desta variável no consumo. O teste da hipótese da diferença mostrou que não há diferença entre as médias, ou seja, o clima se comportou de maneira semelhante. Logo, as informações sobre demanda e consumo de 2004 e 2007 podem ser comparadas.

4.4 MEDIÇÕES E ESTIMATIVAS DA DEMANDA DE EQUIPAMENTOS E SISTEMAS

4.4.1 Sombreamento da laje de cobertura

A redução do consumo através do sombreamento da laje por telhas metálicas é de difícil quantificação, pois anteriormente havia placas de concreto presentes desde a construção deste edifício e específicas para este sombreamento. As mesmas foram retiradas cerca de quinze anos antes da colocação das telhas metálicas, pois elas estavam causando problemas na laje de cobertura devido ao peso, o que ocasionou infiltração. A redução de consumo pela diminuição da temperatura interna é interativa com a redução da demanda e consumo do ar-condicionado, e é refletida nos dados deste sistema. Nas Figuras

29 e 31 pôde-se perceber que o consumo em 2006, quando as telhas já estavam instaladas, foi menor do que nos anos anteriores.

4.4.2 Ar-condicionado

Dependendo da temperatura externa, somente uma máquina é acionada, ou até mesmo só a ventilação. No momento de uma das visitas, em 5 de setembro de 2007, temperatura externa em torno de 23°C, apenas um resfriador trabalhava e à capacidade de 57% devido à temperatura amena do dia. A Tabela 5 mostra valores da temperatura externa, quantidade de compressores em funcionamento no momento e a capacidade deles em três vistorias realizadas.

Tabela 5 – Condições climáticas e funcionamento dos compressores

Data	Temperatura externa °C	Quantidade de compressores em funcionamento	Capacidade %
05/09/2007	23	1	57
04/08/2009	Inferior a 20	Apenas ventilação	0
29/10/2009	25	1 (outro em manutenção)	65

Na vistoria do dia 29 de outubro de 2009, a potência de entrada oscilava entre 137 kW e 142 kW. Nesta ocasião foi registrado o consumo acumulado desde a instalação do equipamento, apresentado pelo painel de controle do resfriador de líquido, e que era de 402839 kWh para um período de 2793 horas, sendo assim, a média, 144,23 kW é condizente com a potência do momento.

Os dados extraídos do medidor acoplado ao transformador 3, que é o que serve ao sistema de climatização, dão valores de demanda a cada hora como mostra a Figura 42. Esta figura apresenta as curvas de demanda diárias do sistema de ar-condicionado (AC) no mês de janeiro de 2010. Percebe-se que a variação dentro do intervalo de uso do sistema oscila bastante quando as duas centrífugas estão em funcionamento, chegando a 100%. A linha trabalhada em vermelho é a média da demanda do sistema neste período.

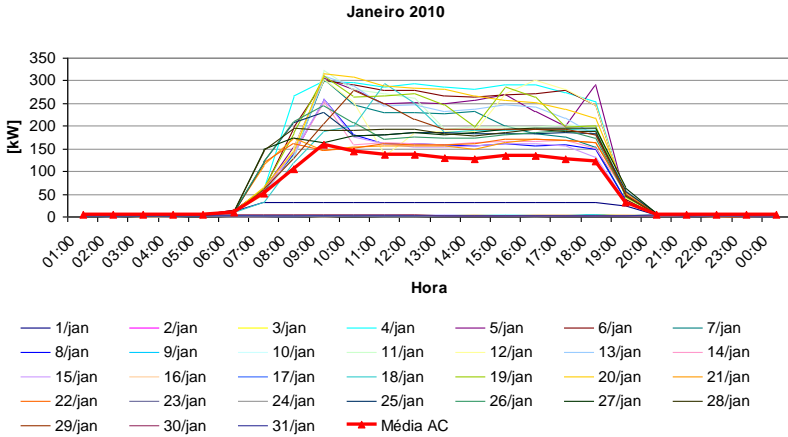


Figura 42 – Demanda do sistema de ar-condicionado em janeiro de 2010. Leitura do medidor do Trafo 3

Durante o mês de novembro de 2009, Figura 43, apenas uma centrífuga estava em funcionamento, gerando curvas de demanda parecidas para todo o período e que representam valores de demanda mais constantes.

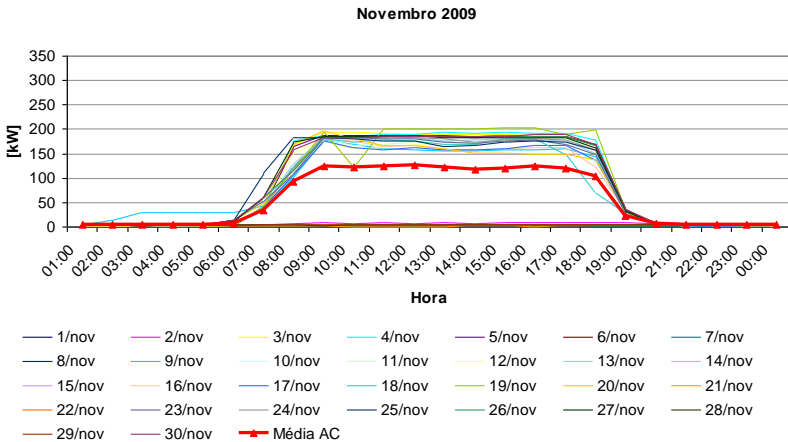


Figura 43 – Demanda do sistema de ar-condicionado em novembro de 2009. Leitura do medidor do Trafo 3

Através do gráfico da Figura 44, agora com a média mensal dos dias úteis do mês de janeiro de 2010 e a média do sistema de ar-

condicionado para os mesmos dias, percebe-se que a influência da climatização na demanda total é de aproximadamente 25% neste mês. Este percentual é encontrado considerando a demanda média de dias úteis para o período entre 9 e 16 horas, tanto para o edifício completo quanto para o sistema de climatização.

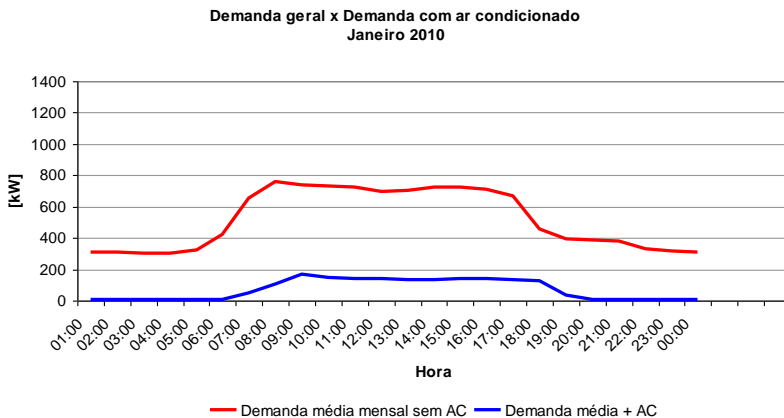


Figura 44 – Demanda de toda a unidade consumidora e do sistema de ar-condicionado em janeiro de 2010. Médias dos dias úteis

A diferença entre a linha de demanda média mensal e a linha que soma o sistema de ar-condicionado é condizente com a linha de média da Figura 42, “Demanda do sistema de ar-condicionado em janeiro de 2010”.

A leitura do Trafo 3 em alguns dias do final do mês de julho de 2010 e início do mês de agosto, dias com as temperaturas mais baixas do inverno revelou o registrado na Figura 45.

26/Julho - 06/Agosto 2010

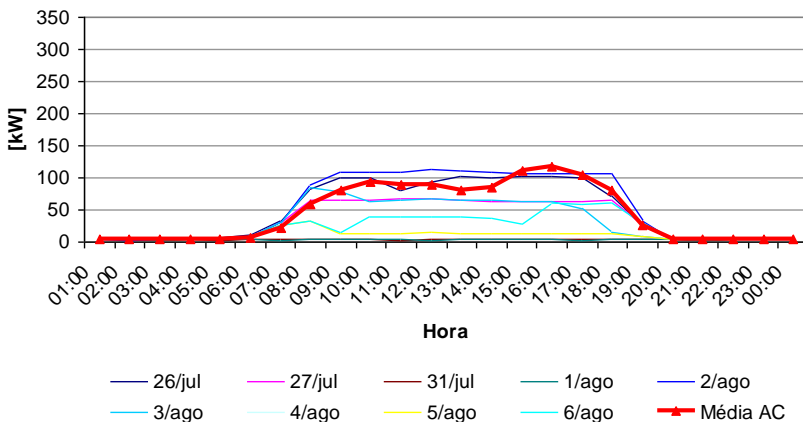


Figura 45 – Demanda do sistema de ar-condicionado nos dias mais frios do inverno de 2010. Leitura do medidor do Trafo 3

O dia 4 de agosto foi considerado, no período do gráfico, o dia com sensação térmica mais fria. Nesta data, segundo informações do pessoal de manutenção do sistema de climatização, todos os ventiladores permaneceram desligados e não estava havendo troca de ar para não diminuir a temperatura interna do edifício que estava em 14°C e a externa em torno de 10°C. Por esta informação é possível estimar a demanda do sistema de ventilação pela diferença entre os dados do medidor para este dia e os dados dos demais dias daquela semana, em que a ventilação estava acionada. Foram considerados os dias 2, 12, 17 e 19 de agosto, que apresentaram valores mais homogêneos, para a média apresentada na Tabela 6, que mostra a diferença com o dia 4.

Tabela 6 – Demanda do sistema de ventilação

Hora	Média [kW]	04/Agosto [kW]	Diferença = ventilação [kW]
9:00	84	13	71
10:00	103	13	90
11:00	107	13	94
12:00	110	16	94
13:00	107	15	92
14:00	107	14	93
15:00	124	13	111

Percebe-se que no dia 4 a demanda praticamente não variou. Esta carga ainda presente deve-se a locais que obrigatoriamente necessitavam de ventilação, como garagem e CPD. Mas pela diferença é estimado que a potência do sistema de ventilação oscile de 71 a 111 kW.

Pelo gráfico da Figura 46 vê-se que o máximo da demanda em dias frios, referente apenas à ventilação do prédio, é menor do que o mínimo registrado na medição em janeiro de 2010, período do verão, Figura 42, pois naqueles dias não houve em nenhum momento o uso apenas da ventilação.

Nas fichas do PMOC estão registradas as tensões dos equipamentos separadamente. Existe este tipo de ficha para cada um dos equipamentos do sistema de climatização. Foi considerada a hipótese de comparar as informações de placa com a demanda registrada na memória de massa, no entanto esta comparação seria irreal, pois não se tem como precisar os instantes de funcionamento de cada aparelho do sistema, torre, resfriador de líquido, *fan-coil*, etc, pois estes dependem das condições climáticas e ajuste com a temperatura de *change-point*.

A coleta de dados de energia do sistema de ar-condicionado foi prejudicada por uma descarga atmosférica ocorrida no mês de março de 2010 comentada anteriormente. O gráfico da Figura 46 representa a média mensal durante o horário de funcionamento do sistema de ar-condicionado de todos os meses registrados pelo equipamento de medição e a Figura 47 mostra a média de cada mês.

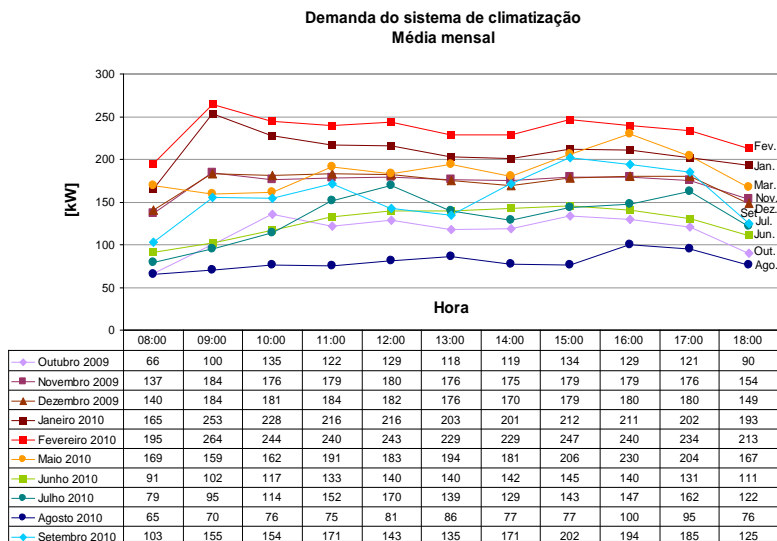


Figura 46 – Médias mensais da demanda do sistema de climatização. Leitura do medidor do Trafo 3

Pelas linhas do gráfico da Figura 46 é visível que o comportamento do sistema não é uniforme entre os meses, como também não é durante as horas do dia. Nos meses mais quentes há uma forte inclinação da curva durante a primeira hora registrada (das 8h às 9h). O consumo maior nas primeiras horas pode ser creditado ao fato de que o prédio não consegue ser resfriado o suficiente durante à noite, já que não há ventilação natural permanente. O que acontece em muitos meses é uma pequena queda na demanda durante o horário do intervalo para almoço, provavelmente pela não utilização e acionamento do modo *standby* dos computadores.

A Figura 47 apresenta as médias da demanda do sistema de climatização para dias úteis e período entre 8 e 18 horas ao longo de 11 meses, representando verão e inverno.

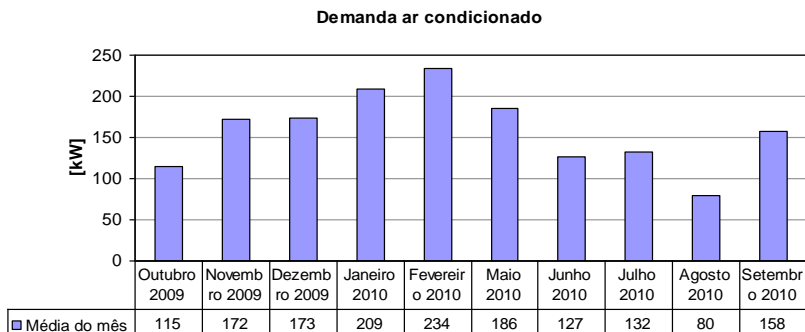


Figura 47 – Médias mensais da demanda do sistema de ar-condicionado entre 8 e 18 horas dos dias úteis de outubro de 2009 a setembro de 2010, exceto março e abril de 2010

A diferença de valor entre o mês de menor demanda (inverno) para o de maior (verão) é de 292%, ou de quase três vezes. Este gráfico também acaba por representar a influência da temperatura externa de acordo com a época do ano.

No edifício existem outros equipamentos de climatização além do ar-condicionado central. Estes equipamentos atendem locais que devem ser refrigerados 24 horas por dia independentemente de falhas ou interrupções no sistema central da Eletrosul. A climatização do CPD, por exemplo, tem apoio de dois aparelhos tipo *split* (condicionador de ar composto de módulo interno evaporador e módulo externo condensador), três climatizadores e ventiladores de ar e *self* que é um aparelho de expansão direta que gela a água no próprio local de evaporação. A temperatura interna deste ambiente deve ser mantida sempre em 18°C. Estes equipamentos são acionados quando o sistema central da edificação está desligado. O COSE, assim como o ONS, tem sistema de ar-condicionado central próprio e são totalmente independentes do sistema da Eletrosul.

Os ambientes e seus respectivos equipamentos estão descritos na Tabela 7.

Tabela 7 – Equipamentos de climatização independentes do ar-condicionado central

Local	Quantidade de equipamentos	Btu/h	kW por unidade	Total [kW]
COSE*	1	270 mil	79,19	105,59
	1	90 mil	26,40	
Telecomunicações	2	60 mil	17,58	35,16
CPD	2	240 mil	70,39	140,78
ONS*	2	300 mil	175,98	351,96
	1 torre de arrefecimento	300 mil	263,98	263,98
			Total	897,47

*O Centro de Operação do Sistema Elétrico (COSE) e o Operador Nacional do Sistema (ONS) têm sistema sempre independente.

O valor total da Tabela 7 é a potência total instalada, no entanto, não se pode considerar que nos finais de semana ou durante a noite, que é quando o sistema de condicionamento de ar central da Eletrosul é desligado, que todos os equipamentos estejam ligados em plena carga. Esta afirmação é visível nos gráficos de Memória de Massa que mostram um valor médio de carga constante para estes períodos em 265 kW. Carga constante é a denominação dada ao consumo presente 24 horas por dia nos registros de Memória de Massa, atribuídos aos sistemas de climatização independente, durante o dia, e iluminação noturna durante à noite.

4.4.3 Iluminação

Pela leitura da Memória de Massa do dia do acionamento programado do sistema de iluminação interna, é verificado um pico no momento do acionamento de todo o sistema. A diferença do valor deste pico e a demanda das cargas constantes (em torno de 264 kW), resulta na potência do sistema de iluminação que é cerca de 205 kW. A Figura 48 é um comparativo de um dia de expediente normal naquela semana e o dia do acionamento programado.

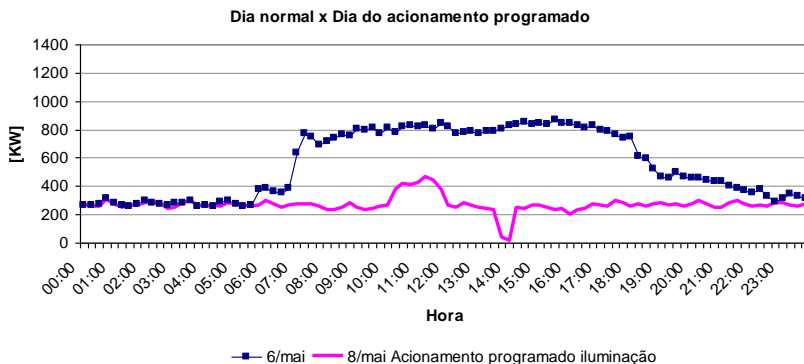


Figura 48 – Demandas de um dia útil e durante o acionamento programado do sistema de iluminação interna

Considerando um valor de demanda média para todo o edifício entre 9 e 16 horas, é encontrado que a demanda do sistema de iluminação correspondeu a cerca de 24% do total nesta comparação.

A medição do sistema de iluminação externa foi feita diretamente em cada um dos dois quadros de distribuição do sistema. O equipamento analisador de energia foi mantido por cerca de dez minutos em cada quadro. A Tabela 8 apresenta os dados retirados das duas seções do sistema de iluminação externa.

Tabela 8 – Demanda pelo sistema de iluminação externa

	Fase A	Fase B	Fase C	Total
Setor 1 [kW]	3,60	1,30	2,84	7,74
Setor 2 [kW]	1,73	2,85	3,63	8,21

Sendo assim, o sistema de iluminação externa demanda cerca de 16 kW.

Inserindo o valor do total da demanda da iluminação externa no gráfico da Figura 48, tem-se pela Figura 49 a comparação dos sistemas de iluminação com a curva de demanda de toda a edificação para um dia útil de maio de 2010.

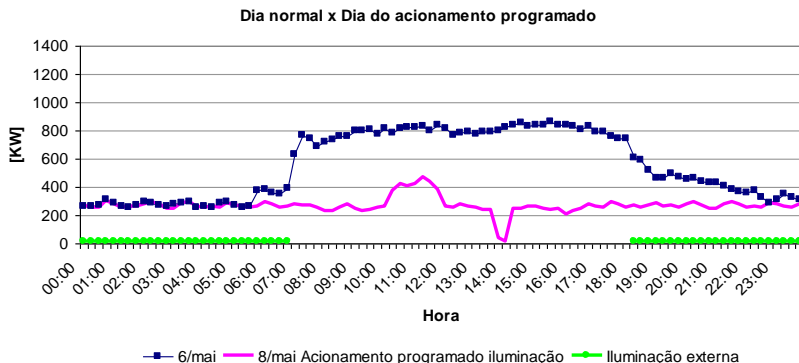


Figura 49 – Demandas de um dia útil, durante o acionamento programado do sistema de iluminação interna e da medição da iluminação externa

Pelo gráfico chega-se à conclusão que apenas 6% da carga permanente no período fora do expediente deve-se à iluminação dos estacionamentos. Esta iluminação também ocorre nos finais de semana.

4.4.4 Equipamentos de carga relevante

Cargas pontuais, como é o caso dos três elevadores, sendo um para uso de serviço, como movimentação de cargas e equipamentos e outros dois sociais, mais as bombas de recalque, foram verificadas pelo equipamento analisador de qualidade de potência trifásica. Diferente da iluminação externa, estas cargas não são contínuas, ou seja, o uso de elevadores e das bombas não pode ser qualificado por hora e assim não é possível determinar a demanda a partir dos dados do analisador de energia, que mostra o consumo resultante de todo o período de medição. Nestes casos também foram verificados os dados de placa.

Outra carga constante que precisou dos dados de placa dos aparelhos para estimativa de demanda foi a do sistema de exaustão dos banheiros e copas. Instalado em 2009, o sistema conta com um *software* de programação e controle do funcionamento, mas o mesmo não fornece dados de consumo. São 18 aparelhos com funcionamento das 6h às 18h de segunda a sexta-feira. Foram vistoriados todos estes aparelhos, e a potência indicada em placa variou de 1,5 kW a 11 kW como mostra a Tabela 9. Em muitos locais há dois aparelhos para atender à mesma área.

Tabela 9 – Distribuição dos aparelhos de exaustão dos banheiros e copas

Local	Potência [kW]	Local	Potência [kW]
Garagem	3	Banheiros 1	2
Subestação	2,2	Banheiros 2	1,5
Subestação	2,2	Banheiros 3	1,5
Arquivo Vivo	2,2	Banheiros 4	1,5
Arquivo Vivo	11	Banheiros 5	1,5
Arquivo Morto	0,75	Banheiros 6	3
Arquivo Morto	0,75	Banheiros 7	1,5
No Break	1,5	Banheiros 8	2
Vão Central	1,5		
Vão Central	3		
		Demanda total	42,6

A demanda dos equipamentos de informática não pode ser mensurada precisamente, pois além do número de ocupantes do prédio variar mês a mês, não se tem o registro único da quantidade de estagiários, além da variedade dos tipos de monitores e Unidades Centrais de Processamento (CPUs) ser grande e estarem em constante renovação e manutenção. Estima-se que haja uma estação de trabalho por empregado efetivo e terceirizado, composta por monitor e CPU. Somando à carga de todas as estações de trabalho existem impressoras, *plotters*, copiadoras e *scanners* para papéis de grandes dimensões em vários departamentos. Os dados de registro dos trabalhadores da Eletrosul, efetivos e terceirizados indicam a média anual, apenas a partir de 2008, de 1074 pessoas, e em 2009, 1066. O registro do total de empregados mais terceirizados em novembro de 2010 é de 1276 pessoas. Pela falta de registro dos terceirizados antes de 2008 não é possível fazer a comparação de demanda por esta variável. A verificação dos equipamentos restantes, incluídos aí os de informática, acaba por ser feita pela diferença verificada na Memória de Massa no momento do desligamento programado, subtraindo-se do total as cargas de iluminação, cargas permanentes, do sistema de climatização e dos aparelhos de exaustão.

A potência absorvida pelo No Break, que é um sistema de retificador e banco de baterias utilizado para atendimento de cargas críticas, como o CPD (24 horas), o COSE (24 horas), e algumas estações

de trabalho especiais como as diretorias e gerências, pode ser visualizado diretamente no painel do equipamento. Sendo kVA Potência Aparente, kW Potência Ativa e FP Fator de Potência, uma leitura ocorrida em 26 de julho de 2010 indicou os valores apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Leitura dos dados de tela do No Break

Input	Output
49 kVA	48 kVA
49 kW	46 kW
1,00 FP	0,96 FP

Os valores mostram que a carga instalada naquele instante no No Break é de cerca de 62,5% da capacidade total, que é de 80 kVA.

A programação de desligamento geral no edifício com acionamento em tempo demarcado e registro do sistema de iluminação, com a posterior análise da Memória de Massa mostrou informações de demanda e consumo.

O desligamento ocorreu em período sem ocupação, um sábado, dia 8 de maio de 2010. As únicas cargas restantes são dos ambientes ocupados constantemente, caso do COSE e ONS. Feitas as devidas estimativas das cargas variáveis com o clima nestes ambientes, a diferença pode ser considerada como cargas permanentes e estáveis, Figura 49 anterior.

4.4.5 Medições com o analisador de qualidade de potência trifásica

a) Elevadores:

No dia 6 de junho de 2010 o equipamento analisador de energia foi instalado no quadro elétrico do elevador de serviço. Este elevador fica separado dos demais, os quais estão lado a lado, tem maior capacidade de carga e é mais lento que os elevadores sociais.

O equipamento analisou todos os três elevadores. A Tabela 11 apresenta o consumo de cada uma das três fases, o total acumulado e o tempo de medição para cada um dos elevadores, de serviço, do antigo elevador social, chamado aqui de Social Antigo e do segundo elevador social, chamado aqui de Social Novo.

Tabela 11 - Consumo dos elevadores

Elevador	Data	Fase A [kWh]	Fase B [kWh]	Fase C [kWh]	Total [kWh]	Tempo de medição
Serviço	05/06/10	42,45	81,61	57,30	181,4	24h51min
Social Antigo	29/06/10	80,79	80,65	49,51	210,9	25h02min
Social Novo	30/06/10	32,02	33,12	19,48	84,61	23h47min
Total 476,91						

Considerando-se que o período de 24 horas possui 1440 minutos, os valores das medições foram ajustados para que se considere 24 horas em todos os casos e assim a comparação das informações seja mais clara. A Tabela 12 apresenta os dados após este ajuste.

Tabela 12 - Consumo dos elevadores em 24 horas

Elevador	kWh
Serviço	175,31
Social Antigo	202,19
Social Novo	85,38
Total	462,88

Os elevadores sociais estão localizados juntos e em ponto oposto ao local do elevador de serviços. A edificação apresenta planta quadrada, e as torres de elevadores encontram-se diagonalmente opostas, sendo uma ocupada pelos sociais e outra pelo de serviços.

Informações de placa dos fabricantes indicam as potências presentes na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados de placa dos elevadores

Elevador	Potência subida [kW]	Potência decida [kW]
Serviço	11,00	1,83
Social Antigo	11,18	2,61
Social Novo	7,50	(não indicada)

A diferença de potência nas informações de placa entre o elevador Social Antigo e o Novo por si só não explica a grande diferença de consumo registrada pelo analisador de energia, Tabela 12 anterior, já que eles são simultaneamente atendidos por um sistema automático que aciona o elevador mais próximo do pavimento solicitante, mas é o único indicador plausível.

b) Bombas de recalque:

Como o edifício possui cisternas localizadas no subsolo, para garantir o abastecimento dos reservatórios de água superiores, as mesmas são servidas por três bombas de recalque, sendo uma reserva.

No dia 7 de julho de 2010, o equipamento analisador de energia foi conectado ao quadro de alimentação das bombas. Por 24 horas e 4 minutos. Foi analisado o funcionamento de duas bombas, pois a terceira é reserva. Devido às características do quadro elétrico não se poderia analisar as bombas separadamente. O diagrama apresentado na Figura 50 representa a conexão do analisador de energia às três fases do sistema.

Fases:

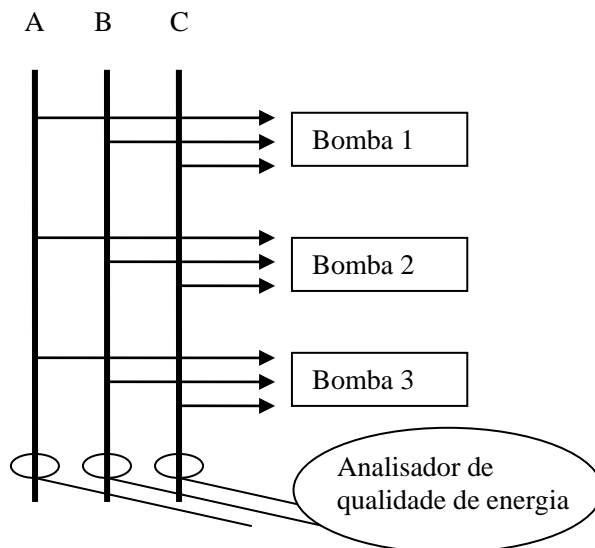


Figura 50 - Diagrama esquemático da conexão do analisador de energia ao quadro elétrico das bombas de recalque

O consumo recalculado para 24 horas exatas foi de 126,65 kWh. A Tabela 14 mostra os dados retirados da tela de leitura desta operação.

Tabela 14 - Consumo das bombas de recalque em 24 horas

	Data	Fase A [kWh]	Fase B [kWh]	Fase C [kWh]	Total [kWh]	Tempo de medição
Bomba de recalque	07/07/10	45,12	38,88	42,99	127,0	24h04min

As três bombas são idênticas e as informações de placa do fabricante, Schneider Electric modelo BC22R2”, indica que a potência unitária é de 10 CV ou 7,36 kW, considerando que 1CV (Cavalo Vapor) corresponde a 736 Watts (NISKIER, 2000, p. 533). Com esta informação, verifica-se que as bombas estiveram em funcionamento de 8 a 9 horas durante as 24 horas de medição.

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

As análises apresentadas a seguir discutem os resultados obtidos na aplicação da metodologia proposta.

Para a análise da contribuição da geração fotovoltaica, foram agrupados em um mesmo gráfico os valores da geração fotovoltaica média para o mês de dezembro de 2009 e a Memória de Massa do mesmo mês, Figura 51. Foi escolhido este mês, pois é o que apresentou maior geração desde a instalação do módulo fotovoltaico. É perceptível a pequena contribuição da geração fotovoltaica para a demanda da edificação, 0,67%, não chegando a interferir na comparação antes e após o *retrofit*. Este valor foi encontrado comparando a média total, tanto da demanda da edificação quanto da geração fotovoltaica, para os dias úteis e horário compreendido entre 8 e 18 horas.

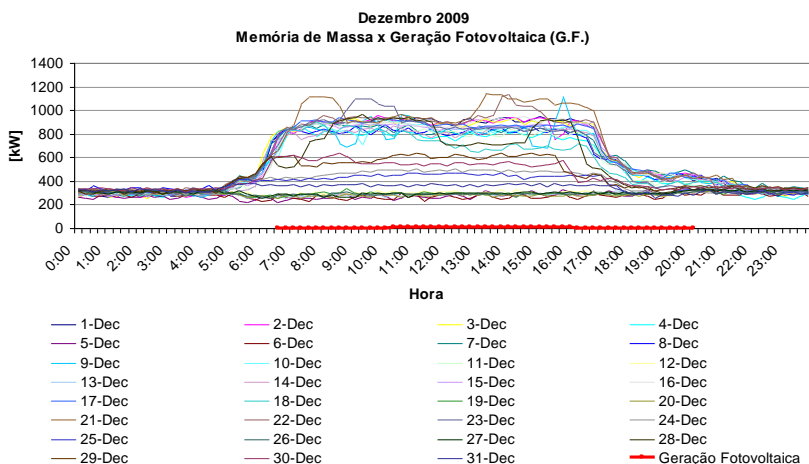


Figura 51 – Memória de Massa e geração fotovoltaica em dezembro de 2009

Pelo mesmo gráfico percebem-se as diferenças de caráter aleatório e sistemático. Aleatórias neste caso seriam os picos de demanda acima do valor 900 kW causadas pelo acionamento do segundo resfriador de líquido. Diferenças sistêmicas são os platôs próximos da linha do valor 900 kW e as cargas permanentes, cerca de 264 kW.

A partir das medições, análise das faturas de consumo e dos arquivos de Memória de Massa foi possível identificar em gráfico as cargas existentes no edifício sede da Eletrosul. A sequência de Figuras, 52 a 57 são gráficos que mostram todas estas demandas separadamente, para melhor visualização sempre comparando com a demanda total média para três dias úteis padrão de verão. Para a construção dos gráficos foram usadas: a média de demanda registrada no arquivo de Memória de Massa para os dias úteis 9, 10 e 11 de fevereiro de 2010, a média de demanda do sistema de ar-condicionado registrado pelo equipamento de medição para os mesmos dias, a carga de iluminação interna confirmada pelo acionamento programado, a iluminação externa medida por equipamento, a demanda do sistema de exaustão calculado pelos dados do fabricante, a carga constante percebida nos arquivos de Memória de Massa e a demanda dos outros equipamentos, chamados aqui de “outras cargas”, do edifício calculada subtraindo da média da demanda de todo o edifício as cargas de iluminação (interna ou externa de acordo com a hora do dia), do sistema de ar-condicionado, da exaustão e da carga constante. Os horários de acionamento foram considerados na construção do gráfico. Ao final é apresentado na Figura 58 um gráfico com todas as cargas dos gráficos anteriores representando de maneira conjunta o comportamento dos sistemas nesta edificação.

A Figura 52 é a primeira da série e representa a demanda média diária e a do sistema de iluminação interna, 205 kW, obtida pelo desligamento programado.

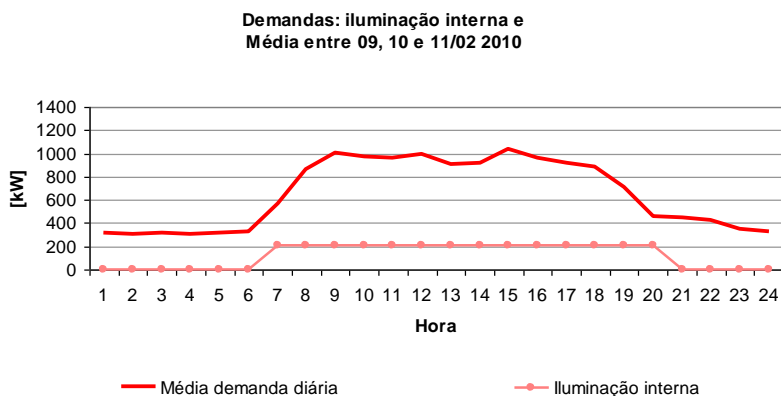


Figura 52 – Reprodução do perfil de carga de demanda da iluminação interna para dias úteis

Considerando como demanda média durante o expediente o valor de 1000 kW, tem-se que a potência do sistema de iluminação interna corresponde a 20,5% do total para os dias analisados. A Figura 53 apresenta a demanda do sistema de iluminação externa mensurada pelo analisador de qualidade de energia, 16 kW.

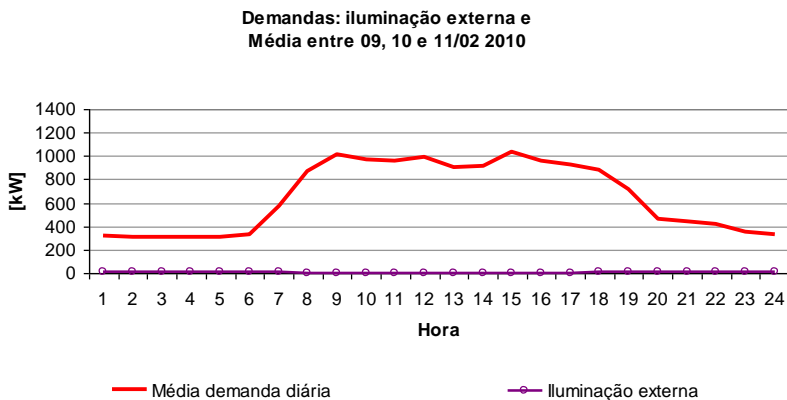


Figura 53 – Reprodução do perfil de carga de demanda da iluminação externa para dias úteis

A demanda da iluminação externa corresponde a 6% da demanda total durante a noite. Na sequência, a Figura 54 mostra a demanda do sistema de exaustão obtida pelos dados do fabricante, 42,6 kW.

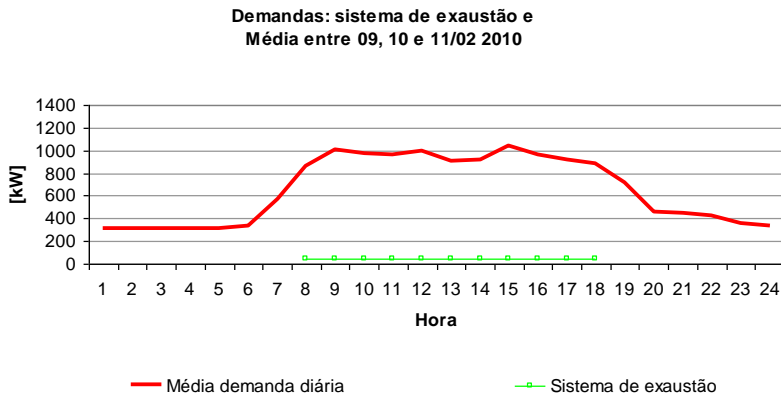


Figura 54 – Reprodução do perfil de carga de demanda da exaustão para dias úteis

O sistema de exaustão demanda 4% do total exigido pela edificação durante as horas de ocupação. A Figura 55 mostra o valor estimado pelos arquivos de Memória de Massa para as chamadas “cargas constantes”, 264 kW.

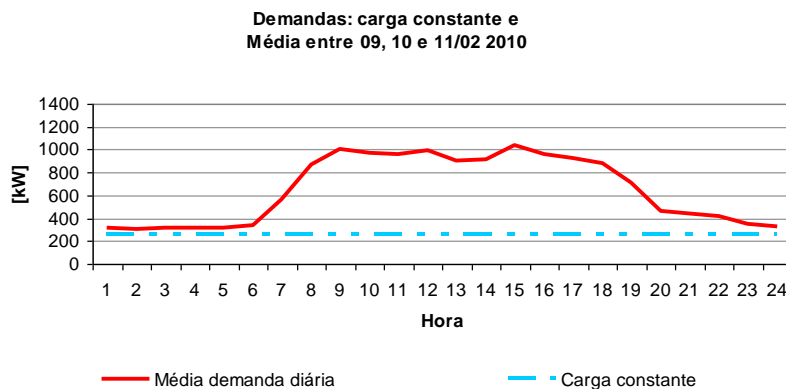


Figura 55 – Reprodução do perfil de carga de demanda das cargas constantes para dias úteis

Em torno de 26,5% da demanda é despendida com as “cargas constantes”.

A demanda das “outras cargas” está representada na Figura 56 e foi obtida pela subtração das demais demandas quantificadas (iluminação interna ou externa, dependendo da hora, climatização,

exaustão e carga constante) da média diária total. “Outras cargas” são todas aquelas de uso pessoal ou que não tem o comportamento de um sistema, por exemplo, computadores, impressoras, copiadoras, *scanners*, televisores, elevadores, bombas de recalque e outros equipamentos de pequeno porte.

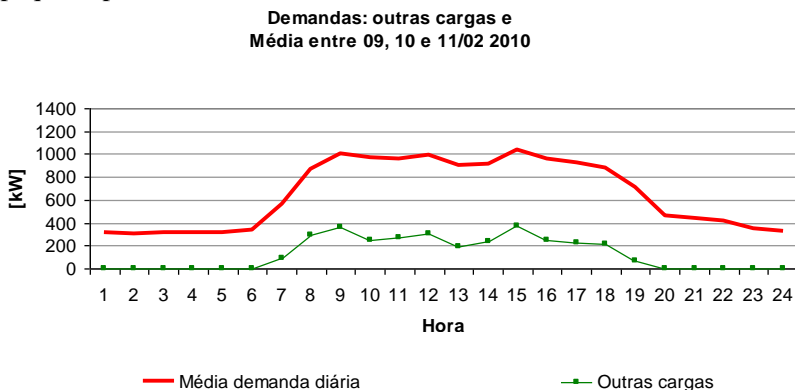


Figura 56 – Reprodução do perfil de carga de demanda das “outras cargas” para dias úteis

As “outras cargas”, por serem controladas individualmente por cada ocupante do prédio, não têm, na forma de um sistema, um comportamento homogêneo durante as horas de trabalho. Considerando uma linha média entre as horas de uso, encontra-se o valor de 270 kW. Sendo assim, pode-se dizer que a demanda das cargas restantes corresponde a cerca de 27% do total. E finalizando a sequência, a Figura 57 apresenta a demanda média do sistema de ar-condicionado obtida pelo medidor de energia acoplado ao transformador que atende este sistema para os mesmos dias 9, 10 e 11 de fevereiro de 2010.

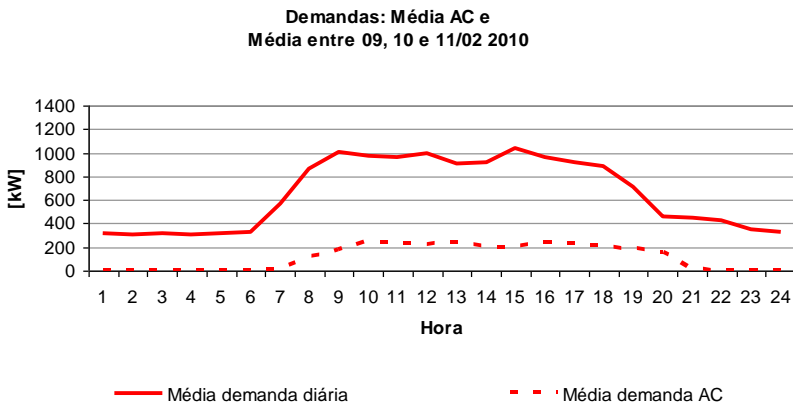


Figura 57 - Reprodução do perfil de carga de demanda média do sistema de climatização para dias úteis

Considerando o valor médio da demanda do sistema de climatização, entre 8h e 18h, horário de expediente e que o sistema está ligado, encontra-se o valor de 210 kW, que corresponde a 21% do total da demanda da edificação para os dias considerados no gráfico.

A Figura 58 é o conjunto dos gráficos anteriores e mostra de maneira conjunta o comportamento dos sistemas presentes nesta edificação.

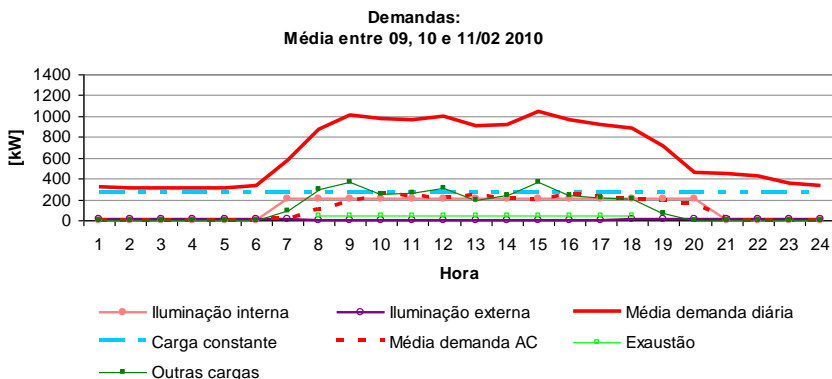


Figura 58 – Reprodução dos perfis de carga de demanda da edificação para dias úteis

Percebe-se a influência das cargas no desenho da linha de demanda média total, especialmente das denominadas “outras cargas” e

“Média demanda AC”. As outras demandas têm comportamento homogêneo após o seu acionamento.

A Figura 59 define as cargas servidas pelos transformadores 1 e 2 com a mesma metodologia apresentada por Pedrini na Figura 60, identificando os horários de acionamento de cada sistema. Foram utilizados apenas dias úteis. Observa-se que as rotinas são similares.

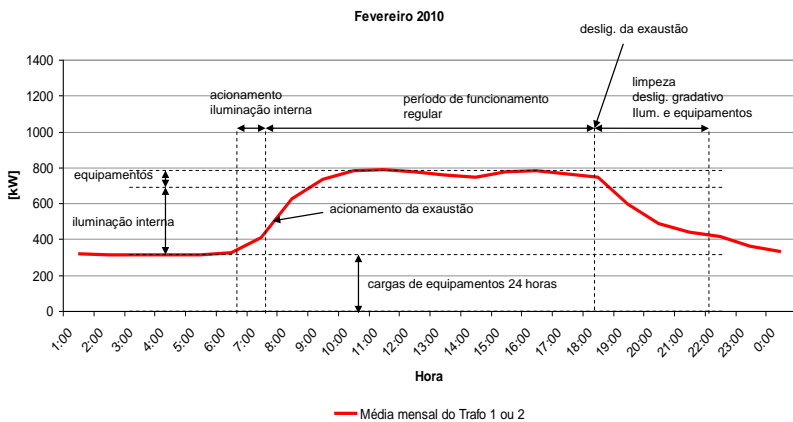


Figura 59 – Reprodução dos perfis de carga de demanda para dias úteis em fevereiro de 2009 tendo como base a demanda média dos dias úteis do mês

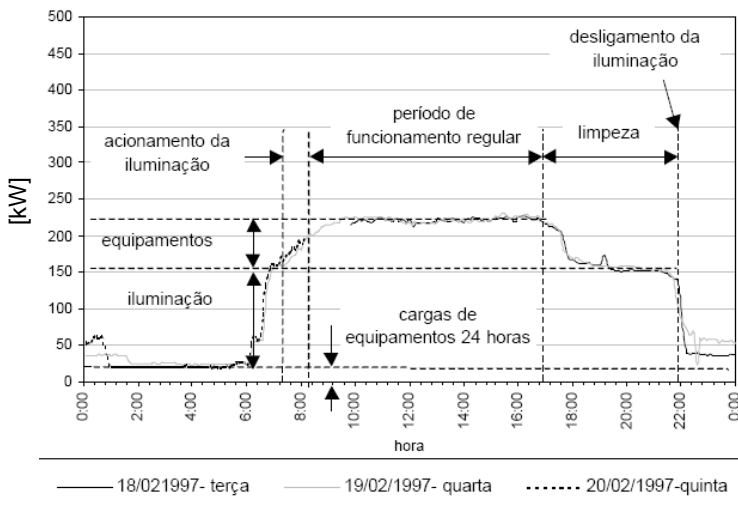


Figura 60 – Reprodução dos perfis de carga de demanda do Trafo 2 para dias úteis em fevereiro de 1997
Fonte: Pedrini (1997, p. 97).

Comparar os valores absolutos dos dois gráficos não é a maneira apropriada para verificar a redução do consumo pós-*retrofit*, pois desde 1996, época da coleta dos dados de Pedrini, aumentou consideravelmente o número de equipamentos elétricos, como aparelhos de informática, se passou a fazer uso diário do pavimento intermediário (primeiro subsolo) e foram instalados mais luminárias no pátio de estacionamento.

A Figura 61 acrescenta a média de demanda do sistema de ar-condicionado para os mesmos dias do gráfico da Figura 59. Pelas linhas é possível detectar as cargas dependentes do clima, e a sua influência no consumo, das não dependentes.

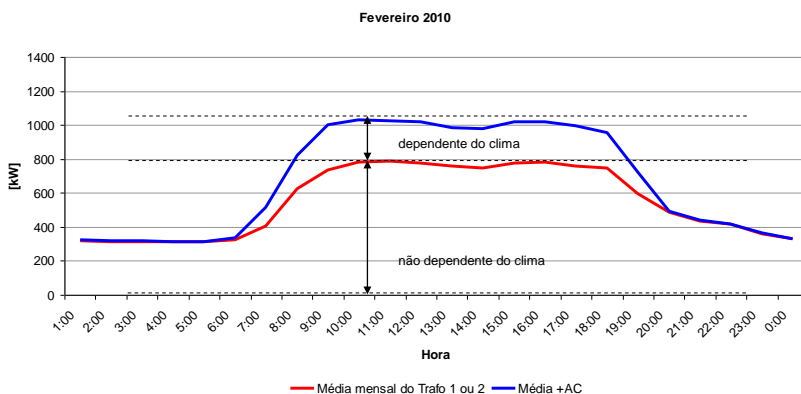


Figura 61 – Adição da carga do sistema de ar-condicionado à representação dos perfis de carga de demanda para dias úteis em fevereiro de 2010

A carga dependente do clima é a demanda do sistema de climatização. Nestes três dias, lembrando que são dias de verão, a potência necessária pelo sistema de climatização estava em torno de 208,4 kW no período entre 8h e 18h. O sistema de iluminação também depende da radiação solar, e assim, do clima, mas a variação de demanda não chega a impactar na curva de demanda de toda a edificação. Um motivo para esta falta de impacto, mesmo com o uso de foto sensores, pode ser atribuído ao mau uso dos brises, que muitas vezes escurecem o ambiente por estarem fechados sem necessidade. As demais cargas são independentes do clima.

Na construção do gráfico da Figura 62 foi seguida a mesma metodologia da Figura 61, agora para um mês de baixo consumo do ar-condicionado.

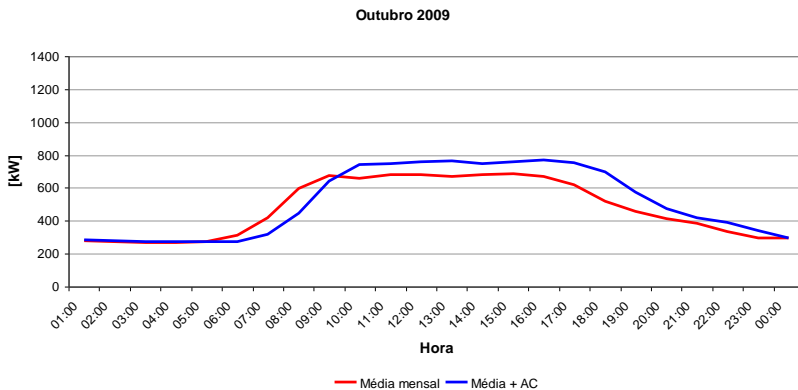


Figura 62 – Perfis de demanda para outubro de 2009

Percebe-se que o início e o fim da curva de demanda média mensal desconsiderando o consumo da climatização não é o mesmo da curva de demanda total.

Na comparação com os dados do estudo do CEPTEL (2002) foi utilizado o ano de 2009 completo, Figura 63. Comparando com a Figura 64 é perceptível a redução na demanda instalada, os valores em 2009 estão abaixo de 1200 kW mesmo com o aumento de postos de trabalho, informatização e equipamentos elétricos.

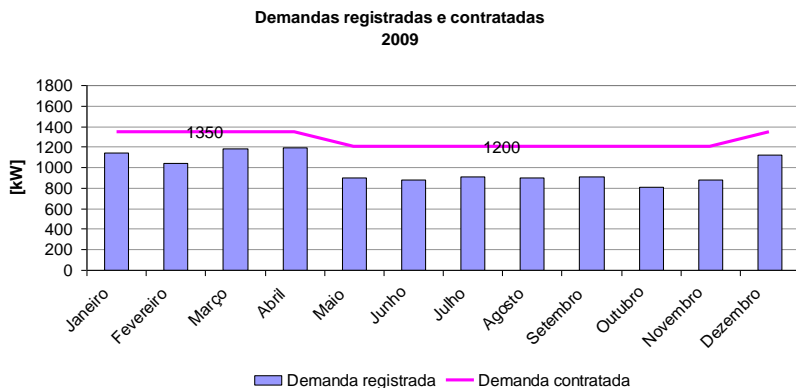


Figura 63 – Demandas medidas e contratadas no ano 2009

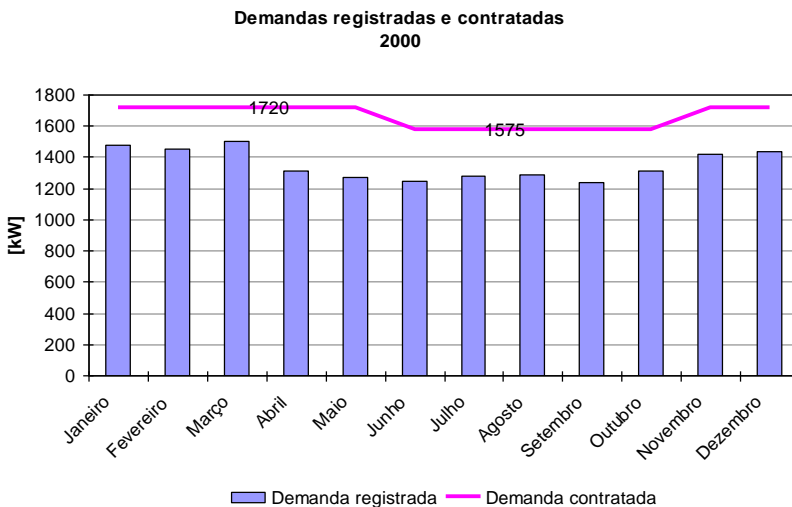


Figura 64 – Demandas medidas e contratadas no ano 2000

Fonte: CEPEL (2002, p. 100).

Na comparação das demandas dos anos 2000 e 2009, é destacável a redução em 20% para o verão e de 30% para o inverno. Com valor do kW para agosto de 2010 em R\$ 11,984, se tivesse sido mantido o contrato do ano 2000, a empresa despenderia anualmente mais R\$ 53628,40 com a contratação do fornecimento de energia elétrica.

A comparação da potência ativa para dias não úteis, Figuras 65 e 66 mostra que as cargas constantes não aumentaram tanto quanto as demais no intervalo de mais de oito anos que separa estes estudos. Em 2001, as cargas constantes correspondiam a cerca de 20% da demanda diária (CEPEL, 2002, p.115), em 2010 ela está em torno de 26,5%. Aproveitando o mesmo gráfico da Figura 64, vê-se que a demanda mínima no período de inverno era de 1200 kW, maior do que em qualquer mês no ano de 2009.

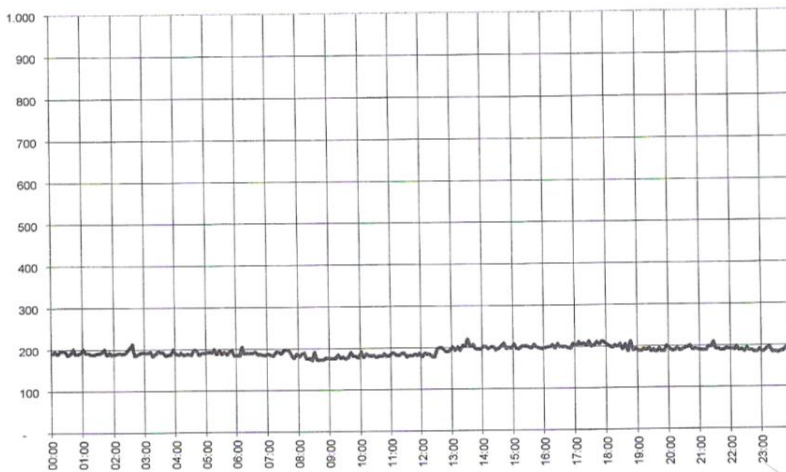


Figura 65 – Potência ativa por hora em 1 de julho de 2001 – domingo. Valores do eixo y em kW

Fonte: CEPEL (2002, p. 104).

Demanda Julho 2010

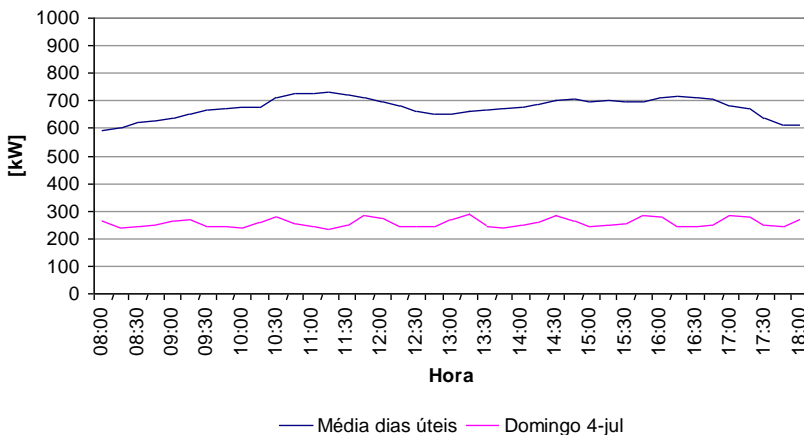


Figura 66 – Potência ativa em julho de 2010. Comparação da demanda de um dia útil e um domingo (4 de julho)

Uma dúvida persistiu até o final das análises: Que cargas são acionadas durante os dias não úteis, que mesmo os sistemas de iluminação externa e interna estarem desligados, não fazem a curva de

demanda cair no início da manhã? A conclusão mais plausível encontrada é que a climatização independente do COSE, CPD, Telecomunicações e ONS demandam mais potência durante o dia, pois a carga térmica é maior, requisitando mais energia para os *splits* e *sells* destes consumidores. Pela Figura 67 é visível que, além das cargas constantes, as demandas dos sistemas de climatização independentes ocupam durante o dia o mesmo que a iluminação externa durante a noite, cerca de 200 kW, as curvas do gráfico não abaixam da linha de 260 kW.

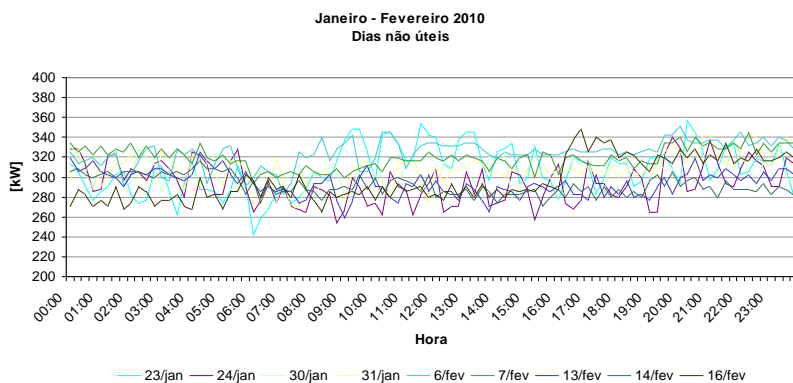


Figura 67 – Demanda total para dias não úteis para o período de leitura janeiro-fevereiro de 2010

O mesmo ocorre para o inverno, Figura 68, mas com valores mais baixos.

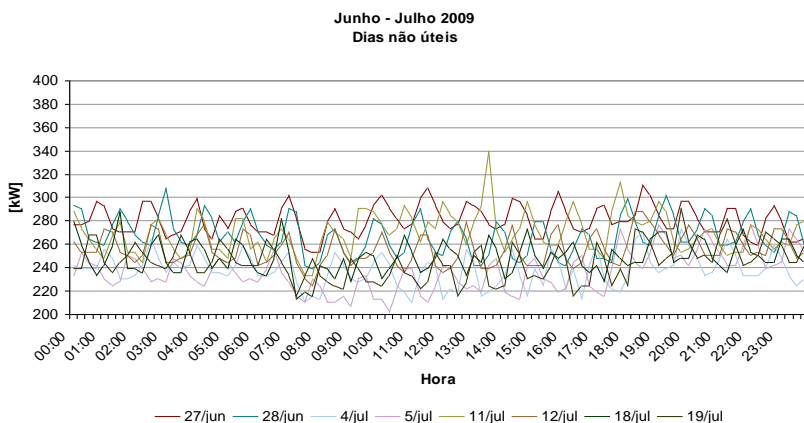


Figura 68 - Demanda total para dias não úteis para o período de leitura janeiro-fevereiro de 2010

Estas cargas, mesmo sendo de climatização, não estão ligadas no Trafo 3, pois além do Diagrama Unifilar mostrar isto, os registros do medidor de energia conectado neste transformador não apresentam variação de demanda durante os dias sem expediente.

Os valores de uso final de energia em 2010 foram classificados em três sistemas: de iluminação, ar-condicionado e “demais equipamentos”. Eles estão representados na Tabela 15 separadamente para período úmido e seco. Estes valores, que foram determinados pelas medições e estudo dos registros de Memória de Massa, também estão representados em porcentagem. Exceto para o sistema de iluminação, os valores resultantes provém de médias diárias entre 8 e 18 horas dos dias úteis.

Tabela 15 – Uso final da energia para período úmido e seco

Período úmido	kW	Origem dos valores	%
Total	1127	Máximo das médias	100
Iluminação	205	Medição	18
Ar-condicionado	193	Máximo da medição	17
Demais equipamentos	729	Cálculo pela diferença	65
Período seco	kW	Origem dos valores	%
Total	909	Máximo das médias	100
Iluminação	205	Medição	23
Ar-condicionado	139	Máximo da medição	15
Demais equipamentos	566	Cálculo pela diferença	62

O item “demais equipamentos” deveria ter, a princípio, a mesma demanda para verão e inverno. No entanto, não é isto que é observado. Esta diferença é devido ao sistema de climatização do COSE e ONS

A Tabela 16 faz um comparativo da demanda por uso final anual pré e pós *retrofit*. Os valores anteriores às intervenções foram calculados a partir das informações de demanda total e porcentagens de uso final do relatório do CEPEL (2002) para o edifício da Eletrosul. Os valores para o período pós-*retrofit* foram encontrados através de médias diárias, entre 8 e 18 horas dos dias úteis entre outubro de 2009 e setembro de 2010, ou um ano completo. A iluminação externa está computada na carga dos “demais equipamentos”, assim como foi no relatório do CEPEL. Preferiu-se usar as informações do relatório do CEPEL e não os dados do “Projeto Seis Cidades”, ocorrido em 1996, ou de Pedrini, 1997,

porque as informações do CEPEL são muito mais próximas do período do *retrofit* do que os demais estudos.

Tabela 16 – Comparativo dos usos finais com os indicados nos estudos

Uso final	Pré- <i>retrofit</i> [kW]	Pós- <i>retrofit</i> [kW]	Diferença
Iluminação	474	205	-57%
Ar-condicionado	650	161	-75%
Demais equipamentos	230	634	+276%

Os dados são conclusivos para dizer que a parcela de participação na demanda total tanto do sistema de iluminação quanto do ar-condicionado é após o *retrofit* menos da metade do que era antes das medidas de eficiência energética. Comparando os valores do CEPEL para o edifício em estudo, com os encontrados após o *retrofit*, chega-se aos valores de redução de 75% para o sistema de ar-condicionado. A iluminação demanda atualmente menos 57%. Já a carga dos demais equipamentos aumentou 276%.

Como explicado anteriormente, as horas de uso dos sistemas antes e após o *retrofit* são praticamente idênticas, por este motivo, a variação na demanda é proporcional à variação do consumo.

5. CONCLUSÕES

A avaliação da variação de demanda de energia após intervenções visando à economia deste recurso é fundamental para dar credibilidade aos projetos de eficiência energética. Os procedimentos a serem escolhidos para esta avaliação devem ser aplicáveis e adaptáveis à cada caso específico de maneira que a coleta de dados possa ser feita de maneira confiável dentro do espaço de tempo e da quantidade de recursos disponíveis.

O uso da metodologia de Pedrini (1997): Grupo I, uso do extrato de faturamento emitido pela concessionária; Grupo II, análise da Memória de Massa e visitas técnicas; e Grupo III, monitoração de consumo de energia por uso final, além da opção C do PIMVP, mostraram ser bastante aplicáveis para a avaliação pós-*retrofit* e foram utilizados nesta pesquisa. O PIMVP deve ser considerado apenas como referencial, nem sempre aplicável na íntegra, pois cada projeto ou análise tem seus aspectos específicos.

Esta dissertação verificou e quantificou a redução na demanda e consumo de energia elétrica no edifício Sede da Eletrosul após obras visando à economia deste recurso. Os índices de uso final encontrados para o ano de 2010 foram comparados aos da documentação mais próxima ao período anterior ao *retrofit*, que é o relatório do CEPEL.

As considerações sobre os resultados obtidos ratificaram o que mostrou a análise das faturas. Nestas, a comparação entre o ano de maior consumo, 2005, com o último registrado por completo, 2009, indicou que a redução no consumo total de energia anual foi de 21%. E, entre 2005 e 2007, podendo considerar que em 2007 as obras de revitalização já estavam finalizadas, foi de 23%. Como expresso anteriormente, a bibliografia indica que é razoável um erro de $\pm 10\%$ na projeção da economia, sendo assim é considerado que a meta de redução prevista com o *retrofit* do sistema de iluminação, do de ar-condicionado e sombreamento da laje de cobertura, que era de 28%, foi atingida.

Apesar do aumento do número de funcionários e consequentemente dos equipamentos de informática e de obras de reforma além das indicadas para o *retrofit*, o consumo de energia foi menor. Este fato é resultante principalmente da eficiência do novo sistema de ar-condicionado que teve sua participação na demanda total da edificação reduzida em 75% e do sistema de iluminação que reduziu em 57%. Como os valores de uso final foram extraídos diretamente da Memória de Massa da concessionária e do medidor de energia acoplado

ao sistema de climatização, que tem precisão de $\pm 0,2\%$, valor muito inferior aos calculados para a diferença pré e pós-*retrofit*, a redução da demanda é novamente comprovada.

A demanda dos “demais equipamentos” quase triplicou neste período. O uso final “demais equipamentos” por si só não é motivo de análise nesta pesquisa, pois esta demanda não foi objeto de projeto do *retrofit*. De qualquer maneira, apesar das medições e análises, não foi encontrada justificativa para este aumento tão significativo.

Avaliar separadamente a influência na redução do consumo de uma edificação pós-*retrofit* é mais complexo quando as modificações interagem umas com as outras, como a interferência da redução do consumo de energia pelo sistema de resfriamento devido à menor carga térmica proporcionada por lâmpadas mais eficientes. Por este motivo, utilizar as informações de registros de demanda, quer por equipamentos conectado a um sistema específico, quer pelo registro da Memória de Massa geral, através de acionamentos programados, traz resultados que abrangem esta interação entre os sistemas.

Pesquisar retroativamente é muito difícil, especialmente devido à falta de documentação para definição do *baseline*. Este termo não foi traduzido nesta dissertação por se reconhecer a força e abrangência de seu significado. A mesma decisão foi tomada com o termo *retrofit*.

Medições diretas, como as efetuadas com o aparelho de medição acoplado ao Trafo 3 e com o analisador de qualidade de energia, apesar de demandarem operações repetitivas no momento do processamento dos dados, mostraram ser, neste tipo de estudo de caso, o meio mais rápido e confiável na quantificação das cargas dos sistemas isolados, especialmente do sistema de ar-condicionado e de iluminação externa.

O estudo da Memória de Massa também requer tempo no processamento das informações e disponibilidade dos arquivos na concessionária local, os quais após certo tempo são descartados.

A medição pontual dos equipamentos de maior carga, como elevadores, é importante para detectar possíveis falhas e recomendações para obter mais economia de energia no seu uso. O analisador de qualidade de energia é a maneira mais prática para cargas pontuais e que não precisem de medições por longo período. Sua característica portátil é ideal para estes casos, mas seu alto custo pode tornar uma pesquisa inviável se não houver apoio institucional. A quantidade de cabos, o tamanho reduzido dos quadros de energia e geralmente a falta de local de apoio também dificultam a medição e isolamento do equipamento em locais de passagem, o que pode ocasionar situação de perigo para os transeuntes e para o equipamento. Já o medidor necessita ser acoplado a

alguma estrutura, neste caso foi o transformador que alimenta o sistema de climatização. Para isso são necessárias interferências físicas no equipamento a ser analisado e desligamento da alimentação. Imprevistos podem ocorrer, como por exemplo, a queima do transformador consequente de uma forte descarga atmosférica que atingiu as imediações da edificação. Pela complexidade do ajuste das entradas do equipamento com o circuito a ser analisado não foi possível retirá-lo do transformador atual para temporariamente ser conectado ao transformador de reserva, acarretando uma lacuna de dados no período em que o Trafo avariado esteve em manutenção.

Outra limitação percebida foi a escassa bibliografia referente ao tema. Atualmente existe muita publicação acerca de metodologias de projeto para *retrofits*, calibração, simulação computacional, análise do ciclo de vida, custo-benefício e tomada de decisão, todos visando à eficiência energética de edificações, mas muito pouca referente à conferência de projetos postos em prática.

A observação dos dados indica que mais economia pode ser alcançada com a redução da demanda contratada, tanto para o período seco (inverno) e úmido (verão), 1000 kW e 1200 kW respectivamente podem ser os novos valores de demanda. Com estes novos valores, a empresa economizaria anualmente R\$ 25765,60 com a contratação do fornecimento de energia elétrica.

Durante as visitas da pesquisa foi constatado várias vezes que muitas das lâmpadas próximas às janelas e acionadas por foto sensores estavam ligadas devido ao fato dos brises naquelas seções estarem praticamente fechados sem necessidade, e em outros pontos onde os brises estavam abertos, na mesma fachada, as lâmpadas estavam apagadas. O correto uso dos brises diminui o consumo de eletricidade pelo sistema de iluminação. O acionamento das luminárias dos ambientes somente quando eles estejam ocupados proporcionarão economia no sistema de iluminação, o que não ocorre com as luminárias dos banheiros e copas, as quais ficam ligadas constantemente. A adequação do horário de limpeza para que a mesma não ocorra durante o horário de ponta, quando a tarifa é mais cara, também proporcionará economia ao edifício.

Os registros de demanda do sistema de ar-condicionado a cada hora mostram picos quando do acionamento do segundo resfriador de líquido. A programação de acionamentos em carga parcial do segundo resfriador, para que não seja aplicada toda a potência, também influenciaria na demanda final reduzindo o consumo por este sistema.

Os resultados obtidos mostram que o *retrofit* obteve sucesso, resultando não apenas na economia de energia elétrica, como proporcionando qualidade ambiental interna. Com o registro das medidas de conservação de energia e as medições das cargas de iluminação, ar-condicionado e outras demandas fixas foi possível concluir que as mudanças do consumo de energia se relacionam com a mudança no desempenho do edifício após o *retrofit*.

A continuidade da verificação do consumo por uso final na edificação é importante para evitar falhas e desperdícios nos sistemas além de verificar a persistência das ações de *retrofit* ao longo do tempo.

Os objetivos da pesquisa foram então alcançados, foram mostrados os benefícios do *retrofit* que resultou na economia de energia, sendo que também foi possível quantificar esta redução para cada uso final. As cargas com maior potencial de redução de demanda também foram identificadas. A dissertação pode ser considerada o relatório final do empreendimento *retrofit* no edifício Sede da Eletrosul.

Estas conclusões são respostas positivas ao “Projeto Seis Cidades” criado em 1996 pelo PROCEL, e como objetivo do programa, o edifício Sede da Eletrosul pode ser usado agora como referência para intervenções em outras edificações.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para a administração de edifícios comerciais deste porte é imprescindível um mecanismo de coleta, armazenamento e análise dos dados mais acessível às pessoas que estão fora do circuito tecnológico. A criação de *softwares* com recepção dos dados de demanda de equipamentos de grande porte ou de uso contínuo diretamente destes e não sendo necessário acoplar aparelhos de medição, facilitará a manutenção dos sistemas e assim, uma nova análise mais aprofundada e elaborada por pessoal qualificado será mais rápida e barata.

Metodologias para detecção de falhas nos sistemas prediais também devem ser desenvolvidas, pois os dados por si só, sem a percepção de um profissional experiente ou de um *software* “inteligente” não têm utilidade. Para atender a esta necessidade, um plano integrado para estudar os sistemas deve ser desenvolvido. Este plano indicará precisamente os dados a serem coletados e os períodos para uma boa análise das cargas e consumo de uma edificação considerando o seu todo ou suas partes.

A verificação do custo-benefício do *retrofit* por que passou esta edificação também é um tema importante, pois o sucesso da intervenção depende de quanto tempo os benefícios persistem e se o custo da implantação não foi maior do que os gastos que se teria com o consumo de energia se tivesse sido mantida a situação do *baseline*. Assim como proceder a comparação dos custos entre edificações.

A metodologia apresentada aqui, se for aplicada em outras edificações, servirá de parâmetro para estudos de escala maior, que comparem edificações com características diversas e em diferentes regiões e os resultados de suas intervenções objetivando redução no consumo de energia elétrica.

REFERÊNCIAS

BALLARINI, Ilaria; CORRADO, Vincenzo. Application of energy rating methods to the existing building stock: analysis of some residential buildings in Turin. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 7, p. 790-800, 2009.

BERLEY, D.; et al. **Procedure for measuring and reporting commercial building energy performance**: technical report. Colorado: Department of Energy out. 2005. 102 p.

BRASIL. 1. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2008**. Rio de Janeiro: EPE, 2008. 244 p.

BRASIL. 2. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Resultados Preliminares – Balço Energético Nacional 2009**. Rio de Janeiro: EPE, 2009. 3 p.

CELESC. 1. Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A1. **Condições gerais de fornecimento de energia elétrica**. [2006 ?]. Não paginado.

_____. 2. Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A2. Arquivos de Memória de Massa referentes aos anos 2007, 2008 e 2009.

CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Diagnóstico energético no edifício sede da Eletrosul em Florianópolis – SC**. Rio de Janeiro; CEPEL, 17 abr. 2002. 128 p.

CHUNG, William; HUI, Y. V.; MIU LAM, Y. Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings. **Applied Energy**, v. 83, n. 1, p. 1-14, 2006.

CLARIDGE, David E.; LIU, Mingsheng; TURNER, W.D. **Commissioning of existing buildings – State of the technology and it's implementation.** International Symposium on HVAC Commissioning. 2003. 11p. Não paginado.

CLIMA SHOP. **Projeto do sistema do prédio sede em Florianópolis, SC Revisão 3.** Mai. 2005. 178p.

ELETROBRAS ELETROSUL. Departamento de Planejamento de Sistema. **Informativo anual da geração fotovoltaica planta piloto fotovoltaica – julho/09 a junho/10.** Não paginado.

ELETROSUL CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. 1. Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento. **Análise de redução de consumo: Obras de revitalização da iluminação edifício sede – Eletrosul.** Relatório técnico. Florianópolis. Ago. 2008. Não paginado.

_____. 2. Departamento de Gestão da Informação e Infraestrutura. **Avaliação dos serviços prestados pelo DGI.** Relatório técnico. Florianópolis. Ago., 2009. 28p.

FAROUZ, Sam; BALTAZAR-CERVANTES, Juan C.; HABERL, Jeff; CLARIDGE, David. **Monitoring and verification procedures used in the Texas LoanStar and rebuild american programs.** Energy Systems Laboratory. Texas A&M University. 2001. Não paginado.

FORNARI, Andréa (Coord.); ZECCHINI Sara (Coord.). **A utilização racional de energia em edifícios públicos.** Intelligente Energy Europe. Lisboa, mai. 2008.

FREIRE, Ian F. **Medição e verificação em eficiência energética: metodologia para determinação do *baseline*.** 2001. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

FRIEDMAN, Hannah, et al. **Persistence of benefits from new building commissioning**. [S.l.]: National Conference on Building Commissioning, May 2003.

GHISI, Eneidir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina. 1997. 305 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GINESTET, S.; MARCHIO, D. Retro and on-going commissioning tool applied to an existing building: Operability and results of IPMVP. **Energy**, v. 35, n. 4, p. 1717-1723, 2010.

HAASL, Tudi; SHARP, Terry. **A Practical Guide for Commissioning Existing Buildings**, Portland Energy Conservation, Inc. and Oak Ridge National Laboratory for U.S. DOE, ORNL/TM, 1999. Disponível em <<http://eber.ed.ornl.gov/commercialproducts/RetroCommissioningGuide-w-cover.pdf>> Acessado em: 24 out. 2009. 151 p.

HABERL, Jeff S.; KOMOR, Paul S. Improving energy audits: how annual and monthly consumption data can help (part 1). **ASHRAE Journal 1190**, v. 8, p. 26-33, 1990.

HABERL, Jeff S.; CULP, Charles H. **Review of methods for measuring and verifying savings from energy conservation retrofits to existing buildings**. Energy Systems Laboratory. Texas A&M University System. Texas, set. 2003, revisado abr. 2005. 61 p.

HABERL, Jeff S.; CULP, Charles; CLARIDGE, David E. **ASHRAE's Guideline 14-2002 for measurement of energy and demand savings: how to determine what was really saved by the retrofit**. Energy Systems Laboratory. Texas A&M University System. Texas. Proceeding of the Fifth International Conference for Enhanced Building Operations, Pittsburgh, Pennsylvania, out. 2005. 13 p.

HESTNES, Anne G.; KOFOED, Niels U. Effective retrofitting scenarios for energy efficiency and comfort: results of the design and evaluation activities within the OFFICE project. **Building and Environment**, v. 37, n. 6, p. 569-574, 2002.

Instituto Nacional de Eficiência Energética. **Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance**. Rio de Janeiro. Out. 2001. 76 p. Tradução de International Performance Measurement and Verification Protocol: Concepts and Options for Determining Energy Savings. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>> Acesso em: 26 jun. 2009.

KISSOCK, Kelly; REDDY, Agami; CLARIDGE, David. **A methodology for identifying retrofit energy savings in commercial buildings**. Texas: Energy Systems Laboratory, p. 234-246. 1992.

LAM, Joseph C.; TSANG, C. L.; YANG, Liu. Impacts of lighting density on heating and cooling loads in different climates in China. **Energy Conservation and Management**, v. 47, p. 1942-1953, 2006.

LAMBERTS. 1, Roberto et al. Eficiência energética: estudo de *retrofit* para um edifício comercial em Florianópolis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997. Salvador. **Anais...**, Salvador: ENCAC, 1997. p. 424-428.

_____. 2, Roberto. (Coord.) et al. **Avaliação de propostas de retrofit para o edifício sede da Eletrosul**: 1a Etapa. Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, nov. 2004. 16 p.

_____. 3, Roberto. (Coord.) et al. **Avaliação de propostas de retrofit para o edifício sede da Eletrosul**: 2a Etapa-Relatório final. Laboratório de Eficiência Energética da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, dez. 2004. 6 p. Não paginado.

LEE, W. L.; YIK, F. W. H.; JONES, P. A strategy for prioritising interactive measures for enhancing energy efficiency of air-conditioned buildings. **Energy**, v. 28, N. 8, p. 877-893, 2003.

LEI, Fei; HU, Pingfang. **A baseline model for office building energy consumption in hot summer and cold winter region**. Huazhong University of Science and Engineering. Huazhong University of Science and Technology. China. 4p. Sem paginação. Set. 2009.

LIU, Mingsheng, et al. **Improving building energy system performance by continuous commissioning**. Texas: Energy Systems Laboratory, p. 1606-1612. ago. 1997.

MEIER, Alan; OLOFSSON, Thomas; LAMBERTS, Roberto. What is an energy-efficient building? In.: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002. Foz do Iguaçu. **Anais**... Foz do Iguaçu : [s.l.], 2002. p. 3.

MENDLER, Sandra; ODELL, William; LAZARUS, Mary Ann. **The HOK guidebook to sustainable design**. 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006. 459 p.

NIKOLAIDIS, Yiannis; PILAVACHI, Petros A.; CHLETISIS, Alexandros. Economic evaluation of energy saving measures in a common type of Greek building. **Applied Energy**, v. 86, n. 12, p. 2550-2559. 2009.

NISKIER, Julio. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 550 p.

OLOFSSON, Thomas; MEIER, Alan; LAMBERTS, Roberto. Rating the energy performance of buildings. **The International Journal of**

Low Energy and Sustainable Buildings, v. 3, 20 p., 2004. Não paginado.

PATTERSON, Murray. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**, v. 24, n. 5, p. 377-390. 1996.

PECI. Commissioning Resources: **National Strategy for Building Commissioning**. Disponível em: <www.peci.org> Acessado em: 24 out. 2009. 12 p.

PEDRINI, Aldomar. **Desenvolvimento de metodologia de calibração de modelos para simulações térmicas e energéticas de edificações**. 1997. 191 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

PEDRINI, A.; WESTPHAL, F.S.; LAMBERTS, L. A methodology for building energy modeling and calibration in warm climates. **Building and Environment**, v. 37, n. 8, p. 903-912, 2002.

PROCEL. 1. **Avaliação do mercado de eficiência energética do Brasil. Sumário Executivo – Ano Base 2005**. 2007. Disponível em: <www.procelinfo.com.br> Acessado em: 26 out. 2009.

PROCEL. 2. **Informativo eletrônico do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**. Disponível em: <www.eletobras.gov.br/procel> Acessado em: 26 out. 2007.

REDDY, T. Agami; KISSOCK, Kelly; CLARIDGE, David. **Uncertainty analysis in estimating building energy retrofit savings in the LoanSTAR Program**. American Council for an Energy-Efficient Economy – ACEEE 1992 Summer study on Energy Efficiency in Buildings. p. 3225-3238. 1992.

SEZGEN, Osmam; KOOMEY, Jonathan G. Interactions between lighting and space conditioning energy use in US commercial buildings. **Energy**, v. 25, p. 793-805, 2000.

SILVA, Gilberto Ritta e; BECKER, Hugo Rohden. **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em um edifício comercial**. 2008. 102 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

TORCELLINI, P., et al. **Lessons learned from case studies of six high-performance buildings**. Technical Report. Colorado: Department of Energy, jun. 2006. 151 p.

ZOMER, Clarissa D. **Megawatt Solar**: geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica: Estudo de caso - Edifício Sede da Eletrosul, Florianópolis - Santa Catarina. 2010. 177f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.