

VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL: ESTUDO DE CASO NO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UFSC

Alexandre Simon Lee (1); Fernando Simon Westphal (2); Roberto Lamberts (3)

(1) Acad. Eng. Civil. E-mail: alex@labeee.ufsc.br

(2) Eng. Civil, Mestrando E-mail: fernando@labeee.ufsc.br

(3) Eng. Civil, PhD. E-mail: lamberts@ecv.ufsc.br

Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. E-mail: www.labeee.ufsc.br

UFSC / CTC / ECV / LabEEE. Campus Universitário - Trindade

Caixa Postal 476 - CEP 88040-900 - Florianópolis - SC

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados da simulação energética dos 2 novos prédios do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que começaram a ser ocupados em maio de 2000. O projeto dos 2 blocos respeitou conceitos de eficiência energética visando servir de modelo para as futuras obras da UFSC. As principais medidas adotadas para promover o uso eficiente da energia elétrica nos prédios envolveram a instalação de um sistema central de condicionamento de ar, proteções solares nas janelas, aproveitamento da iluminação natural através de prateleiras de luz e sistema de iluminação artificial composto por lâmpadas T8 de 32W, luminárias com refletor de alumínio de alta pureza e reatores com alto fator de potência. O *software* VisualDOE foi utilizado como ferramenta para avaliação das alternativas depois de implantadas. O modelo dos prédios foi calibrado no VisualDOE através de medições in-loco. Alternativas de projetos, menos eficientes, adotadas nas obras típicas da UFSC foram simuladas e comparadas com o modelo calibrado a fim de se determinar a economia de energia alcançada.

ABSTRACT

This paper presents the simulation of the two new buildings of the Civil Engineering Department at the Federal University of Santa Catarina (UFSC). The new buildings have been occupied since may of 2000. The project adopted energy efficient concepts in order to become a model to new buildings at UFSC. The major energy conservation measures are: a central air-conditioning system, windows solar protections integrated with lightshelves and an energy efficient light system, with T8 bulbs, reflective fixtures and high power factor ballasts. The tool used in the analysis was the software VisualDOE. The buildings model (Base Case) was calibrated from in-loco survey in the electric system. Project alternatives common at UFSC, less efficient, were simulated and compared with Base Case in order to quantify the energy savings.

1. INTRODUÇÃO

No projeto dos 2 novos prédios do Departamento de Engenharia Civil da UFSC foram adotados conceitos de eficiência energética em edificações, dificilmente empregados nas demais obras do campus. Tais medidas deverão servir de modelo para os futuros projetos executados na UFSC.

Com cerca de 4.600 m² de área construída, ocupada por escritórios e laboratórios experimentais, os prédios em estudo possuem proteções solares nas janelas integradas a prateleiras de luz adequadamente projetadas para reduzir o ganho de calor por radiação solar direta e o uso do sistema de

iluminação artificial. Esse último, é composto por lâmpadas fluorescentes de 32W (bulbo T8) e luminárias com refletores de alumínio de alta pureza. A climatização artificial dos ambientes é feita por um sistema central de condicionamento de ar, composto por uma central de água gelada e 18 *fan-coils*. Tais características diferem da prática comum de construção na UFSC. Atualmente, os projetos executados no campus universitário empregam sistemas de iluminação artificial compostos por lâmpadas fluorescentes de 40W ou 65W e luminárias com refletores brancos (GHISI, 1997). Quando utilizadas, as proteções solares são as mesmas em todas as fachadas, ou seja, não há uma adequação de tamanho e forma dos brises à orientação da abertura. Quanto ao condicionamento de ar, geralmente são instalados aparelhos compactos de expansão direta (aparelhos de janela).

Prevendo-se a auditoria energética nos prédios após a construção, o projeto elétrico respeitou a divisão dos circuitos em iluminação, ar-condicionado e tomadas de força desde a subestação.

A verificação da eficiência energética dos 2 prédios foi feita através de simulação computacional do projeto executado e de alternativas do projeto que seriam adotadas caso não fossem respeitados os conceitos de eficiência energética propostos.

Como ferramenta computacional foi utilizado o programa VisualDOE versão 2.61. O consumo de energia elétrica do modelo simulado foi calibrado com base em medições de consumo em diversos circuitos elétricos dos prédios. A partir do modelo calibrado foram simuladas as alternativas nas quais os prédios não apresentam proteções solares, possuem sistema de iluminação ineficiente – com lâmpadas de 40W e luminárias com refletores brancos – e condicionamento de ar através de aparelhos de janela. Dessa forma, pôde-se identificar o quanto de economia de energia está sendo garantida com as medidas adotadas.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo a auditoria energética dos 2 novos prédios do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, verificando-se através de simulações termoenergéticas a eficiência das medidas adotadas para otimização do uso da energia elétrica.

3. METODOLOGIA

3.1 Criação do Modelo no VisualDOE

Para criação do modelo no VisualDOE deve-se dispor de uma série de informações referentes aos diversos sistemas do prédio. São levantados dados de ocupação; potência instalada em equipamentos (através de dados de placa e medições de corrente elétrica); potência instalada em iluminação (através da contagem de luminárias e potência nominal ou medida de cada conjunto lâmpadas/reator); características arquitetônicas do prédio (leiaute das salas, pé-direito, tipo de forro, material das paredes, aberturas, vidros, lajes, telhado e proteções solares) e do sistema de condicionamento de ar (resfriador de líquido, bombas, dutos de ventilação e *fan coils*).

A caracterização dos ambientes no VisualDOE é feita através de zonas. O zoneamento consiste na união de salas com padrão de utilização e climatização semelhantes. Para cada zona são indicadas a potência instalada em equipamentos (EPD - *Equipment Power Density*, em W/m^2), a potência instalada em iluminação (LPD - *Light Power Density*, em W/m^2) e o número de pessoas (*Occupant Density*, em m^2 /pessoa). A potência instalada em equipamentos de cada zona foi obtida pelos dados de placa dos equipamentos e por medições de corrente nos circuitos de força.

O padrão de uso dos edifícios foi definido a partir das curvas de carga obtidas em medições realizadas na subestação geral dos 2 blocos, que apresenta os circuitos divididos por uso final de iluminação, tomadas de força (equipamentos), *fan-coils* e central de água gelada. Através de consulta aos ocupantes de cada zona, confirmou-se o período de ocupação dos prédios.

A central de água gelada foi caracterizada pela configuração das bombas de água gelada e do *chiller* (resfriador de líquido) através de medições de consumo e dados de catálogo dos equipamentos. O VisualDOE permite a configuração do *chiller* através da definição de equações quadráticas e bi-quadráticas que relacionam sua eficiência, capacidade e as temperaturas de entrada e saída do líquido

refrigerante. Para a geração destas curvas foram utilizados os dados do catálogo técnico fornecido pelo fabricante do *chiller*. Dessa forma, os valores *default* do programa foram dispensados.

Finalizando-se a representação dos 2 blocos no VisualDOE, inicia-se a calibração, etapa em que são realizadas as primeiras simulações para detectar possíveis erros na modelagem. Para calibrar o modelo, o consumo e demanda simulados são comparados com os valores medidos. Como a ocupação dos prédios ocorreu gradativamente desde maio até dezembro do ano 2000, os dados das faturas de energia elétrica não puderam ser utilizados como referência. Porém, foram realizadas medições de corrente elétrica e consumo de energia em diversos circuitos dos prédios, obtendo-se a curva de carga por uso final durante semanas inteiras. Essas medições forneceram dados suficientes para a caracterização dos padrões de uso e calibração do consumo de energia diário por uso final. O modelo calibrado é denominado de Caso Base. Dois aparelhos com recursos para aquisição de dados foram utilizados nas medições:

- um medidor de consumo para circuitos trifásicos, modelo *Rustrak Ranger II*, da marca *Rustrak Instruments*, que suporta até 500A por fase e 600V de tensão;
- um medidor de corrente elétrica, modelo *Smart Reader 3 Plus*, da marca *ACR Systems*, com 3 canais de medição e capacidade para registrar valores variando de 0,5A a 100A.

3.2 Descrição dos Prédios

O novo prédio do Departamento de Engenharia Civil da UFSC, situado no bairro do Córrego Grande em Florianópolis, é constituído de 2 blocos – A e B – que possuem padrões de ocupação e utilização semelhantes. O Bloco A, de aproximadamente 2.000m², apresenta metade de seu andar térreo ocupado por um laboratório de experimentações e ensaios de solos, sendo o restante da edificação ocupada por salas com atividades típicas de escritório. O Bloco B, com área construída de cerca de 2.600m², apresenta seu andar térreo completamente ocupado por laboratórios – de materiais de construção e estruturas – e os demais pavimentos ocupados por escritórios. A Figura 1 apresenta uma planta baixa esquemática do pavimento térreo dos 2 blocos.

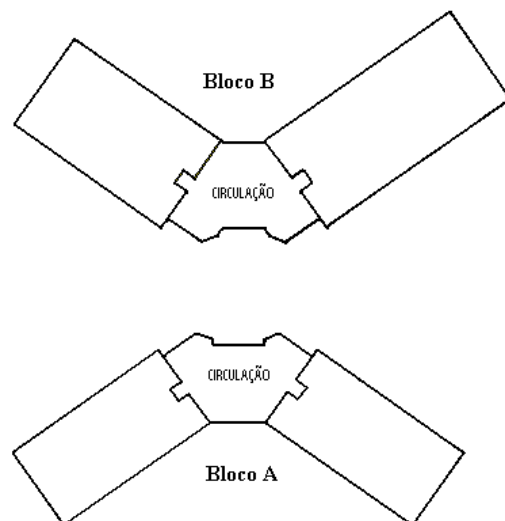


Figura 1 – Planta baixa esquemática do pavimento térreo do Departamento de Engenharia Civil .

3.2.1 Sistema de Condicionamento de Ar

Diferente do padrão construtivo da UFSC, que utiliza aparelhos compactos de expansão direta (aparelhos de janela), o Departamento de Engenharia Civil possui um sistema de ar-condicionado central de expansão indireta.

A central de água gelada (sistema primário) é composta por um resfriador de líquido (*chiller*) de condensação a ar com 2 compressores rotativos do tipo parafuso. Este sistema dispensa torre de arrefecimento e apresenta um COP (*Coefficient of Performance*, medido em Watts de capacidade de refrigeração por Watt elétrico consumido) de aproximadamente 3,2Wcap/Welet. A capacidade nominal do equipamento é de 100TR e foi superdimensionado prevendo-se a construção de mais 2 pavimentos sobre cada bloco. A circulação da água gelada é garantida por uma bomba de 15HP, que apresenta um rendimento nominal de 88,3% e um fator de potência de 0,86.

O sistema secundário de condicionamento de ar é composto por 18 *fan-coils*, classificados em 2 tipos básicos de aparelhos: um com potência nominal de 0,45kW e vazão de ar compreendida entre 1.200 e 2.050m³/h e outro com potência nominal de 0,83kW com vazão compreendida entre 3.000 e 6.000m³/h. No bloco A estão instalados 2 *fan-coils* de potência nominal de 0,45kW e 10 de potência

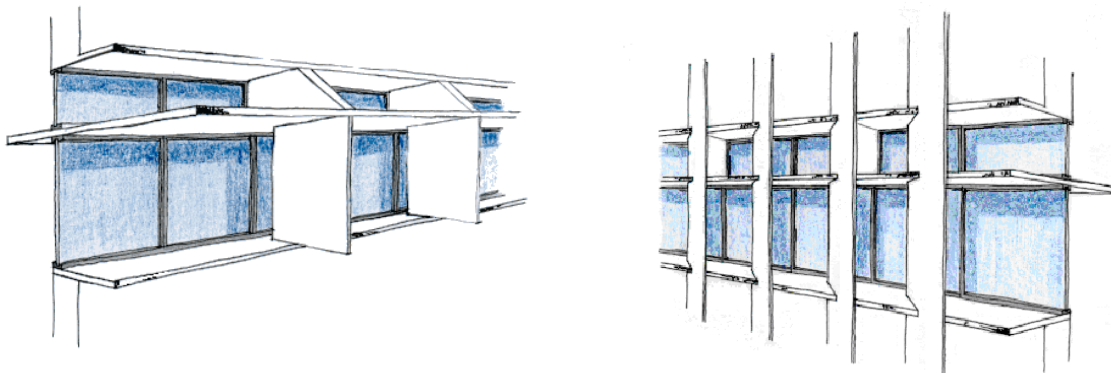
nominal de 0,83kW. Já no bloco B estão instalados 2 *fan-coils* de potência nominal de 0,45kW e apenas 4 de potência nominal de 0,83kW.

3.2.2 Sistema de Iluminação

O sistema de iluminação é composto por 2 conjuntos de lâmpadas/reator/luminária. O primeiro, utilizado em praticamente 80% da edificação, é constituído por 2 lâmpadas TLDRS32W/64 (fluorescente tubular de 32W) da PHILIPS, luminária PHILIPS modelo TMS500 com refletor em chapa de alumínio anodizado com pureza de 99,85% (rendimento de 71%) e reator eletromagnético PHILIPS modelo DPR32A26 com alto fator de potência ($FP \geq 0,92$). Foram feitas medições de consumo de energia deste conjunto, através das quais registrou-se uma potência média de 72W. O segundo conjunto de luminárias, utilizado nos laboratórios com pé-direito duplo, é constituído por duas lâmpadas TLTRS110W/75 (fluorescente tubular de 110W) da PHILIPS, luminária PHILIPS modelo TCK431 com refletor em chapa de alumínio anodizado com pureza de 99,85% (rendimento de 81%) e reator eletromagnético PHILIPS modelo RDR110A26 com alto fator de potência ($FP \geq 0,92$). Para representar este conjunto na simulação utilizou-se a potência nominal de 252W (lâmpadas mais perdas do reator), pois não foi possível realizar medições de consumo.

3.2.3 Proteções Solares

Foram projetadas proteções solares adequadas para cada fachada de cada bloco em função dos horários de incidência de radiação solar direta. Associadas às prateleiras de luz, estas soluções reduzem o ganho de carga térmica no interior da edificação e permitem maior aproveitamento da iluminação natural, dispensando o uso da luz artificial nas áreas periféricas em grande parte do dia.



Ilustrações: Enedir Ghisi ©.

Figura 2 – Proteções solares das fachadas nordeste e noroeste do Bloco A (esquerda) e sudoeste do Bloco B (direita).

3.3 Verificação da Economia de Energia Devido às Medidas de Conservação

Sobre o modelo calibrado no VisualDOE foram criadas 4 alternativas para quantificar a economia de energia elétrica proporcionada pelas medidas de conservação. Os primeiros 3 modelos consideraram cada proposta isoladamente, procurando-se representar o padrão de projeto adotado na UFSC, contrário às medidas adotadas no Departamento de Engenharia Civil, ou seja, sistema de iluminação menos eficiente, proteções solares inadequadas à orientação das fachadas e condicionamento de ar com aparelhos de expansão direta. A última alternativa simulada reuniu as 3 modificações, representando-se a edificação que seria construída se nenhuma das opções mais eficientes fosse adotada. A economia de energia de cada medida de conservação foi calculada em função de sua respectiva alternativa oposta.

3.3.1 Proteções Solares

Para verificar a influência das proteções solares no consumo de energia elétrica dos 2 blocos, foi criada uma alternativa sem qualquer proteção solar nas fachadas. Considerou-se apenas a economia de

energia devido à redução de carga térmica, pois o VisualDOE não simula a contribuição de luz natural através de prateleiras de luz.

3.3.2 Sistema de Iluminação

A economia de energia proporcionada pela adoção de um sistema de iluminação com equipamentos mais eficientes foi verificada através da simulação de uma alternativa na qual foram alterados os valores de LPD (*Light Power Density*, W/m²) de cada zona. Refazendo-se o projeto luminotécnico para salas típicas do edifício, estima-se que o uso de luminárias com refletores brancos e lâmpadas de 40W, de tecnologia T12, provocaria um aumento de 38% na potência instalada em iluminação dos 2 blocos. Portanto, para representar a alternativa com sistema de iluminação menos eficiente, os valores de LPD de cada zona do modelo foram multiplicados por 1,38.

3.3.3 Sistema de Condicionamento de Ar

Na terceira alternativa, a central de água gelada foi retirada e todos os *fan-coils* foram substituídos por aparelhos de janela (condicionadores de ar de expansão direta). No VisualDOE, esse tipo de aparelho é representado pelo modelo PTAC – *Packaged Terminal Air Conditioner* – (ELLEY & KENNEDY, 1996). O dimensionamento de cada equipamento foi feito de acordo com as recomendações do fabricante (SPRINGER, 2000) em função da área do ambiente (m²) e período de insolação da fachada principal (somente pela manhã ou manhã e tarde). O índice de eficiência de cada modelo foi obtido na página do INMETRO na internet (INMETRO, 2001) e variou de 1,71 a 2,61 Wcap/Welet, dependendo da capacidade de resfriamento.

3.3.4 Todas as de Alternativas em Conjunto

Uma quarta alternativa foi modelada considerando todas as 3 alternativas anteriores: fachadas sem brises, sistema de iluminação com lâmpadas de 40W e luminárias com refletores brancos, condicionamento de ar através de aparelhos de janela. Neste caso, a alternativa representa o projeto que seria executado pela UFSC, caso nenhuma medida de conservação de energia fosse adotada. A diferença entre o consumo e demanda de energia elétrica entre esta alternativa e o modelo calibrado representa a economia total obtida com a adoção das 3 medidas de conservação implementadas nos 2 prédios.

4. RESULTADOS

4.1 Calibração do Modelo no VisualDOE

A Figura 3 apresenta o consumo medido e simulado para o sistema de iluminação e para os demais equipamentos elétricos do prédio – microcomputadores, impressoras, geladeiras e equipamentos de laboratórios, tais como balanças e estufas – durante um dia típico de uso no mês de abril.

As curvas de carga reais apresentadas na Figura 3 correspondem aos dias úteis típicos gerados a partir de medições de uma semana. O dia típico de consumo para cada uso final foi obtido através da média aritmética dos valores de consumo medidos à mesma hora em cada dia útil da semana. Tomou-se o cuidado de corrigir distorções no uso dos sistemas quando ocorridas em apenas um dia. O mesmo procedimento foi adotado para os finais de semana, sendo que o padrão de uso adotado para o sábado é o mesmo do domingo.

A Figura 4 apresenta o consumo medido e simulado do resfriador de líquido e dos *fan-coils*, durante um dia útil típico do mês de março.

Na época das medições, o sistema de controle e automação da central de água gelada e dos *fan-coils* ainda passava por testes e balanceamento, por isso o uso irregular verificado na Figura 4. O consumo de energia durante a noite foi desconsiderado nas simulações. Adotou-se como padrão de uso do sistema o horário de funcionamento ajustado na automação após os testes: das 8h às 21h nos dias úteis e completamente desligado nos finais de semana.

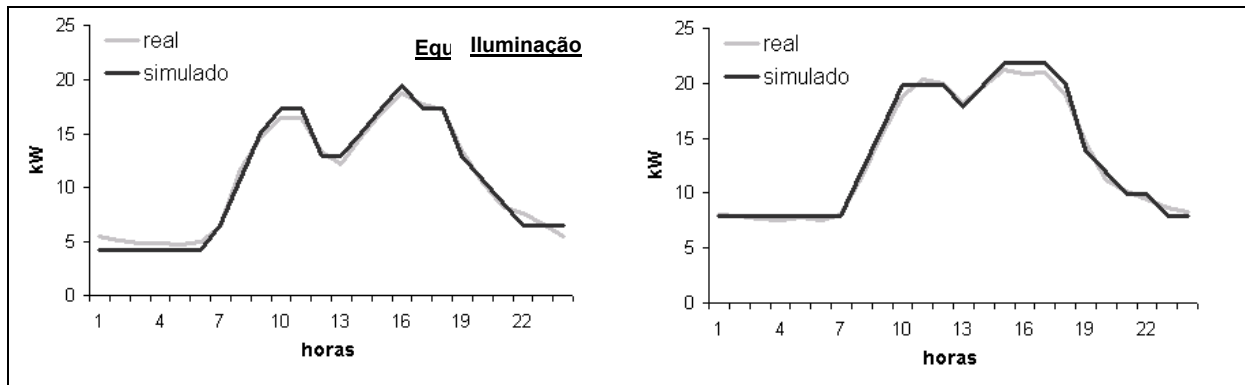


Figura 3 – Comparação entre a curva de carga simulada e medida do sistema de iluminação e dos equipamentos elétricos para um dia útil típico do mês de abril.

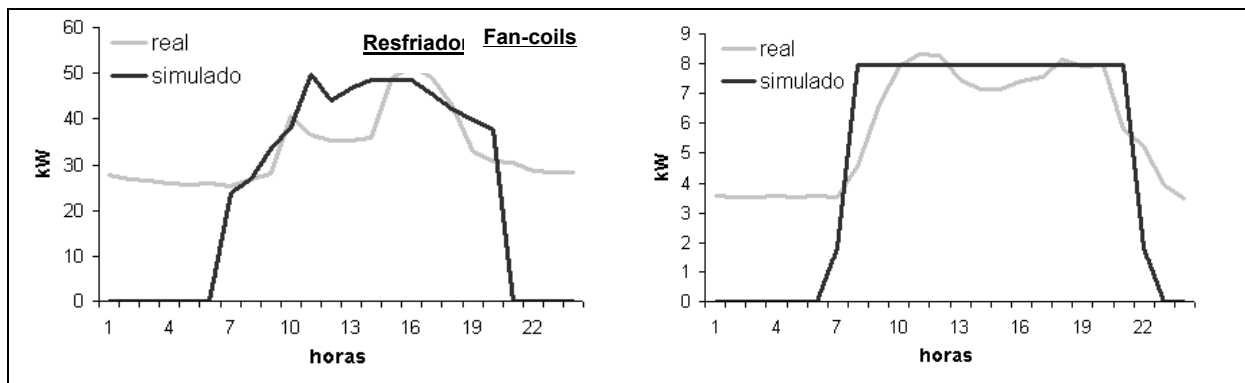


Figura 4 – comparação entre a curva de carga simulada e medida do resfriador de líquido e dos fan-coils de um dia típico do mês de março.

Com o modelo calibrado, identificou-se que o uso final de energia elétrica nos 2 prédios está dividido em 28% para o sistema de iluminação, 35% para o ar-condicionado e 37% para os demais equipamentos elétricos.

4.2 Alternativas Simuladas Isoladamente

A simulação de cada alternativa isoladamente, antes de montar o modelo dos prédios sem todas as propostas de uso mais eficiente da energia elétrica, permitiu a quantificação dos benefícios proporcionados por cada medida. A Tabela 1 apresenta o consumo total anual, a demanda máxima e o aumento no consumo e na demanda de energia elétrica para cada alternativa em relação ao Caso Base.

Tabela 1. Consumo anual e demanda máxima para cada alternativa simulada isoladamente.

Alternativa simulada	Consumo anual (kWh)	Aumento no consumo (kWh) e (%)	Demanda máxima (kW)	Aumento na demanda (kW) e (%)
Caso Base	283.326	-	203	-
Sem brises	311.661	28.335 (10%)	242	39 (19%)
Iluminação	315.375	32.049 (11%)	211	8 (4%)
AC janela	307.687	24.361 (9%)	333	130 (64%)

A simulação termoenergética dos 2 prédios nas condições em que foram construídos identificou um pico de carga térmica de 212 kW (aproximadamente 60 TR), ocorrendo no dia 27 de janeiro às 16h – considerando-se os dados climáticos do arquivo TRY para a cidade de Florianópolis (ano de 1963). Retirando-se os brises de todas as fachadas (alternativa “Sem brises”) dos 2 blocos, o pico de carga térmica sobe para 247 kW, ou seja, as proteções solares estão proporcionando uma redução de 14% na carga térmica máxima simultânea estimada para os prédios.

A partir das simulações no VisualDOE verificou-se que sem os brises o consumo de energia elétrica anual em condicionamento ambiental aumentaria cerca de 29%. Em termos de consumo total de

energia, esse aumento representa 10%. Já a demanda máxima registrada teria um aumento de aproximadamente 19%: de 203 kW do Caso Base para 242 kW da alternativa “Sem brises”.

A simulação da alternativa que considera um sistema de iluminação menos eficiente (alternativa “Iluminação”), composto por lâmpadas de 40W (T12) e luminárias com refletores brancos revelou um aumento de 11% no consumo de energia elétrica e 4% em relação ao Caso Base.

A terceira alternativa simulada considerou a climatização dos edifícios através de aparelhos de janela (expansão direta). Do dimensionamento dos aparelhos através das recomendações do fabricante, chegou-se a um total de 88 equipamentos instalados nos 2 blocos. A capacidade nominal dos aparelhos, a quantidade e o EER adotado são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Lista de aparelhos de janela utilizados para representar a alternativa no VisualDOE.

Capacidade nominal (Btu/h)	Quantidade	EER (Wcap/Welet)
7.500	6	1,71
12.300	50	2,58
15.000	4	2,40
18.000	13	2,61
21.000	15	2,57

Convertendo-se os valores de Btu/h para TR (1TR = 12.000Btu/h), chega-se a um total de 106 TR de capacidade de resfriamento instalada no prédio com aparelhos de expansão direta. Esse valor é 6% superior à capacidade atual instalada na central de água gelada (100TR), que está superdimensionada para atender mais 2 pavimentos em cada bloco, e 76% superior ao pico simultâneo de carga térmica estimada pela simulação (60TR).

De acordo com as simulações, a utilização de aparelhos de janela, ao invés de um sistema de ar-condicionado central proporcionaria um aumento de 9% no consumo anual de energia elétrica e 64% na demanda máxima registrada nos prédios. Considerando-se apenas a energia consumida em condicionamento ambiental, o sistema atual consome 24% menos do que os aparelhos de janela.

4.3 Economia de Energia Alcançada com as Medidas de Conservação

Na quarta alternativa simulada, os 2 prédios foram representados sem proteções solares, com sistema de iluminação menos eficiente e aparelhos de ar-condicionado de janela. Os resultados desta simulação indicam que se as 3 medidas de conservação de energia não fossem adotadas, o consumo de energia elétrica seria 23% maior, enquanto que a demanda máxima solicitada seria 75% mais alta que a atual (Tabela 3). Considerando-se apenas os 2 sistemas afetados pelas medidas de conservação (iluminação e ar-condicionado), o consumo de energia elétrica sofreria um aumento de 38%.

Tabela 3. Economia de energia e redução na demanda proporcionada por todas as medidas.

Alternativa	Consumo anual (kWh)	Demanda máxima (kW)
Ineficiente	349.901	355
Caso Base	283.326	203
Diferença	66.575 (23%)	152 (75%)

A Figura 5 apresenta a comparação entre o consumo e demanda de energia elétrica mensal do modelo calibrado e da alternativa considerando que nenhuma das medidas de conservação de energia fosse adotada (alternativa “Ineficiente”). A diferença entre as duas alternativas é quase nula no inverno. Durante estes meses, de maio a outubro, o ar-condicionado está desligado e os demais equipamentos elétricos representam o maior uso final do prédio, com 57% de participação. Nesta época, o sistema de iluminação é responsável por 43% do consumo de energia elétrica.

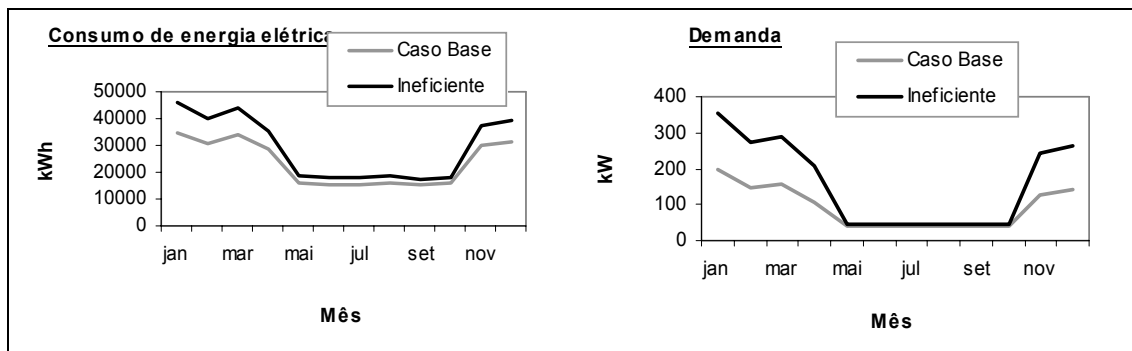


Figura 5. Consumo e demanda mensais do Caso Base e da alternativa “Ineficiente”.

5. CONCLUSÕES

Através de simulações termoenergéticas no *software* VisualDOE, verificou-se que os conceitos de eficiência energética adotados nos 2 novos prédios do Departamento de Engenharia Civil, da UFSC, proporcionam uma economia equivalente a 24% do consumo anual de energia elétrica desses prédios. Já a redução obtida na demanda representa 64% do valor máximo registrado durante um ano.

Em relação ao consumo dos dois sistemas afetados pelas medidas de conservação de energia elétrica (iluminação e ar-condicionado), a economia obtida equivale a 38%. Os benefícios serão ainda maiores quando o sistema de iluminação artificial for controlado automaticamente de acordo com a contribuição de luz natural nos ambientes. Atualmente, as prateleiras de luz estão proporcionando os benefícios planejados, porém a falta de um sistema de automação deixa a mercê do usuário a tarefa de racionar o uso da iluminação artificial.

A divisão dos circuitos principais dos prédios por uso final – iluminação, ar-condicionado e tomadas de força – agilizou o processo de medição e verificação do consumo de energia elétrica dos prédios depois de prontos. Tais medições foram fundamentais no processo de calibração do modelo no VisualDOE, já que o consumo global do prédio não poderia servir como base, pois o sistema de condicionamento de ar ainda não funcionava corretamente e parte do prédio estava desocupada na época das medições.

Os conceitos adotados nos 2 prédios do Departamento de Engenharia Civil indicam que decisões simples podem colaborar para o uso racional de energia elétrica na UFSC. A especificação de equipamentos mais eficientes e a elaboração de um projeto adequado das proteções solares para cada fachada são medidas de baixo custo que deveriam ser postas em prática nos projetos do campus. A escolha por um sistema central de condicionamento de ar pode apresentar elevados custos iniciais, porém a economia de energia elétrica será garantida pela maior eficiência do equipamento e pela maior facilidade de acesso aos equipamentos durante operação e manutenção. Sabe-se que equipamentos individuais são menos suscetíveis a limpeza, manutenção e controle de acionamento.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GHSI, EneDir (1997). **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação: estudo de caso na Universidade Federal de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto/97, 246 p.
- ELLEY, C.; KENNEDY, J. F. (1996). **Program Documentation VisualDOE – version 2.0**. San Francisco, CA, USA: Eley Associates. 149p.
- INMETRO. **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial**. Disponível em: < <http://www.inmetro.gov.br> >. Acesso em: 02 maio 2001.
- SPRINGER (2000). **Springer Innovare – Segunda Geração**. Catálogo de produtos.