



## NORMALIZAÇÃO DO CONSUMO ESPECÍFICO DO EDIFÍCIO SEDE DA CEMIG EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA EXTERNA

**Renata P. Papa (1); Patrícia R. S. Jota (1); Eleonora S. Assis (2)**

(1) Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG,  
Centro de Pesquisa em Energia Inteligente - CPEI  
Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, BH – MG 30510-000  
+ 55 (31) 3319-5265

e-mail: [renatapietra@yahoo.com.br](mailto:renatapietra@yahoo.com.br)

(2) Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG,  
Escola de Arquitetura - EA  
Rua Paraíba 697, Funcionários, BH – MG 30130-140  
+ 55 (31) 3296-1851

### RESUMO

A crise energética mundial e a escassez de recursos financeiros têm despertado o interesse na conservação da energia. A necessidade de implantar medidas de eficiência energética em edificações públicas bem como a dificuldade de relacionar seu consumo com uma variável representativa, gerou o interesse em desenvolver este estudo. Em países de clima quente, a temperatura afeta consideravelmente o desempenho térmico do edifício climatizado artificialmente, afetando diretamente o seu consumo energético final. Este trabalho busca obter um índice de consumo específico relacionado com a temperatura externa e as envoltórias do edifício. Tomou-se como base de estudo o edifício sede da *Companhia Energética de Minas Gerais* (CEMIG). Devido a sua complexidade, a edificação apresenta dificuldade em criar índice que referencie o consumo energético. Os dados obtidos foram analisados através do *software Energyplus* que avalia o comportamento térmico e o impacto de consumo de energia elétrica da edificação. Através da comparação dos dados e da modelagem matemática os resultados alcançados foram considerados adequados para o índice proposto.

### ABSTRACT

The worldwide energy crisis and the scarcity of financial resources have awakened the interest in the energy conservation. The necessity to implant the energy efficiency index in public constructions as well as the difficulty to relate its consumption with a representative variable generated the interest in developing this study. In hot climate countries, the temperature affects the thermal performance of the building acclimatized artificially, affecting directly in its final energy consumption. This work search to get an index of specific consumption related with the external temperature and the envelopment of the building. The building was overcome as base headquarters of the *Companhia Energética de Minas Gerais* (CEMIG). The complexity of construction presents difficulty to create an index that concerns the energy consumption. The construction data had been analyzed through the *Energyplus* software that evaluates the thermal behavior and the data impact of consumption of electric energy of the construction. The data had been confronted, and by means of mathematical modeling the results had been considered adjusted for the considered index.

## 1. INTRODUÇÃO

A questão da conservação de energia tornou-se um tema de fundamental importância a partir da crise de energia da década de 70 e das recentes crises no setor de distribuição. Por outro lado o consumo de energia vem aumentando a cada ano. Atualmente, os países buscam alcançar eficiência energética através da modernização de novos equipamentos (para que consumam menos) incentivando o melhor planejamento das novas edificações (através de normas e diretrizes) e propondo intervenções nas edificações já existentes.

A energia elétrica é a principal fonte de energia utilizada no Brasil. Boa parte deste consumo pode ser devido às edificações (BEN, 2002). Os projetos arquitetônicos que levam em consideração a implantação, a forma, as dimensões, os materiais a serem empregados e acima de tudo, as condições climáticas, obtêm bons resultados no que se refere à economia de energia (LAMBERTS et al., 1997).

Em regiões de clima quente e úmido, existe uma grande dificuldade em manter os índices de conforto no ambiente construído, principalmente no verão. Nas edificações já projetadas, o ar condicionado é uma alternativa prática, porém que acarreta significativa elevação no consumo energético final. Nestas regiões, a operação do sistema de ar condicionado varia com as condições climáticas externas. Quanto mais elevada for a temperatura externa, maior será a carga necessária para manter o ambiente em condições adequadas de conforto.

Para implementar um programa de conservação de energia é necessário fazer uma avaliação do desempenho energético do edifício. A busca de um índice de consumo energético tem se estendido por vários anos (BAIRD, 1984). Este índice deve relacionar o consumo de uma edificação, em um dado período, com uma ou mais variáveis que influenciam este consumo neste mesmo período. No Brasil, o termo caiu no senso comum e é chamado de Consumo Específico (CE). No caso do setor industrial, ele é facilmente obtido, uma vez que a energia gasta está relacionada com um bem produzido. Já nas edificações que apresentam atividades administrativas, esta relação é insatisfatória. Esta análise torna-se complicada, uma vez que nem sempre as tarefas diárias em edificações de escritórios tem impacto representativo no uso de energia.

O objeto deste estudo, é a determinação de um fator que seja uma função da temperatura externa. Este fator será inserido na equação do consumo específico de uma edificação climatizada artificialmente. Trata-se de uma edificação pública que sofreu uma avaliação detalhada e nenhum resultado significativo pôde ser obtido por meio dos índices de consumo específico do tipo clássico kWh/m<sup>2</sup>, kWh/dia kWh/funcionário.

Os dados obtidos foram analisados através do *software Energyplus*, que avalia o comportamento térmico e o impacto de consumo de energia elétrica da edificação. Através da comparação dos dados e da modelagem matemática os resultados alcançados foram considerados adequados para o índice proposto.

## 2. ÍNDICE DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

O índice de desempenho energético busca normalizar o gasto energético para que se possa verificar as variações. Por exemplo: em uma indústria de cimento, o gasto de energia pode ser calculado por tonelada de cimento fabricado. As variações verificadas entre meses podem ser confirmadas pela comparação da relação kWh/ton. O impacto da instalação de novos equipamentos pode ser observado utilizando a análise deste índice.

Segundo alguns autores, Yannas e Lam, a rotina de tarefa diária em edifícios de escritórios não tem impacto representativo no uso da energia (YANNAS, 1996, LAM 1997). A temperatura externa, a radiação solar, a velocidade do ar, a umidade relativa são algumas das variáveis climáticas que podem afetar este consumo. Porém, a temperatura externa é importante e mais fácil de ser medida.

Para utilizar a variável temperatura, é importante conhecer o seu comportamento. A temperatura externa varia ao longo do dia e do ano. Os edifícios condicionados artificialmente sofrem com a

variação da temperatura. Os meses mais quentes utilizam maior quantidade de energia. Segundo Geller citado por Signor (1999), nos prédios públicos e comerciais, o ar condicionado representa aproximadamente 20% do consumo total. A hipótese de que o consumo específico possa ser referenciado pela temperatura externa é devido à influência desta temperatura no ar condicionado.

Tendo em vista a dificuldade em relacionar ao mesmo tempo todas as variáveis climáticas no cálculo do consumo específico, espera-se que o conhecimento do comportamento da temperatura externa seja o primeiro passo para resolução da questão do monitoramento em uso da eficiência energética nos prédios públicos.

### 3. O ESTUDO DE CASO

Em 2001 o Brasil enfrentou uma grave crise de energia elétrica, o que determinou oito meses de racionamento. Diante deste contexto, o país voltou-se para importância da conservação de energia, implantando medidas de intervenção no consumo energético dos setores comerciais, industriais, residenciais e públicos. Nas edificações públicas, o governo federal através da ANEEL (*Agência Nacional de Energia Elétrica*) baixou uma série de resoluções para amenizar o risco do *blackout*. Empenhado em cumprir tais metas, o setor público vem implantando, através das CICE's (Comissão Interna de Conservação de Energia) medidas necessárias à redução do consumo e contra o desperdício de energia.

No caso da CEMIG, foi feito um diagnóstico político administrativo e diante dos dados relatados algumas medidas foram tomadas. Inicialmente, foi feita uma campanha interna para a conscientização dos funcionários. A rotina de limpeza foi reestruturada. A fachada foi revestida com película *window film* para reduzir a incidência de radiação solar direta no ambiente. Em seguida foram substituídas todas as lâmpadas de 40W por lâmpadas de 28W. Tais mudanças representaram significativa redução no valor total da tarifa porém, ainda se faz necessário desenvolver procedimentos para análise e gestão do edifício em uso, monitorando o consumo diário por meio de um índice normalizado.

No caso da CEMIG, buscou-se relacionar consumo diário por número de funcionários, por horas trabalhadas, por metro quadrado, mas nenhuma destas variáveis apresentou correlação nos resultados. Comparando os dados de consumo de alguns anos, observou-se uma proporção na variação deste consumo entre os meses, mesmo depois da redução de consumo ocorrida a partir das medidas de intervenção. Isto indica que algumas variáveis climáticas poderão estar interferindo no consumo. A necessidade de se conhecer a interferência desta variável é que, a partir daí, pode-se prever o gasto e intervir de forma efetiva, evitando elevados picos de consumo energético não programados.

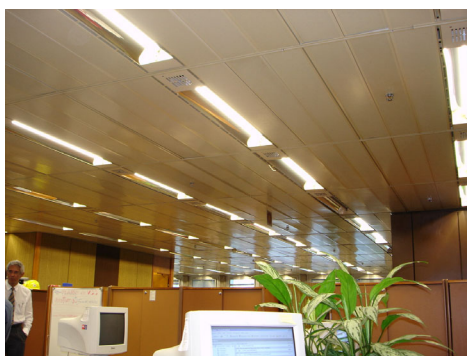
Levantado o problema do edifício, o passo seguinte foi registrar todas as características físicas da edificação. A sede da CEMIG está localizada num bairro central da cidade de Belo Horizonte (Latitude 20° Sul), na região sudeste do Brasil. É uma região de clima tropical, com verão quente e chuvoso e inverno suave e seco.

Os 35.000,00 m<sup>2</sup> de área construída são distribuídos em 21 andares, sendo 16 pavimentos tipo, 1 cobertura, 1 andar térreo, onde funciona a recepção, 3 andares subterrâneos reservados ao CPD, à casa de máquinas do ar condicionado central e à garagem. Sua concepção de planta possui forma retangular (40,70x33,20m<sup>2</sup>) onde as quatro fachadas apresentam aspectos semelhantes no que se refere ao revestimento e à proporção. Tem como forma volumétrica um paralelepípedo com estrutura em concreto e revestimento em vidro, formando um painel contínuo. Possui brises verticais (com função também estrutural) com avanço de 0,80m em relação à fachada. Esses brises têm espessura de 0,20m e 1,30m de distância entre si, estão presente nas quatro fachadas e ao longo de todos os andares. Apesar de cada edificação ter seu aspecto singular, o prédio da CEMIG possui a maioria de suas características físicas, de uso e ocupação consideradas como próximas da realidade brasileira, em termos de edifícios institucionais e de escritório. Devido a sua importância no contexto urbano e econômico, o edifício pode ser considerado como marco de referência e setorização na cidade (fig.1).



**Figura 1 - fachada norte**

O pavimento tipo possui aproximadamente  $1.351,00\text{m}^2$  em andar corrido (sem divisões internas formadas por paredes de alvenaria) sendo os ambientes separados por divisórias de  $1,60\text{m}$  de altura na cor bege. Cada pavimento tipo possui ao centro 6 elevadores, 2 banheiros e uma copa. Internamente, as paredes são de concreto aparente. O pé direito total de  $4,00\text{m}$  é rebaixado com placas de alumínio anodizado na cor bege claro, obtendo uma altura final de  $2,55\text{m}$  (fig. 2).



**Figura 2 - pavimento tipo**

O piso é revestido de placas de carpete na cor cinza. Todas as janelas possuem o caixilho em alumínio, compostas por 2 lâminas de vidro de  $6\text{mm}$ . Entre os vidros de todas as janelas, foi instalada uma persiana de alumínio branca. O vidro externo é revestido por uma película protetora pouco reflexiva na cor cinza. A iluminação artificial é composta por lâmpadas do tipo fluorescente tubular de  $28\text{W}$ , gerando uma carga total de  $14,7\text{ kW}$  por andar o que equivale a  $10,88\text{ W/m}^2$ .

Os equipamentos são basicamente microcomputadores, impressoras e fax que geram uma potência total instalada de  $55,0\text{ kW}$  em cada pavimento tipo ( $40,71\text{ W/m}^2$ ). Cada funcionário tem um microcomputador, o que justifica a elevada potência instalada de equipamentos. Com um número aproximado de  $2.500$  funcionários ( $11,00\text{m}^2/\text{pessoa}$ ), a rotina de trabalho é de segunda a sexta-feira, de  $8:00$  às  $18:00$  horas. Nos finais de semana, o edifício fica praticamente desocupado. Há uma média estimada de  $120$  ocupantes por andar. O ar condicionado central atua em todos os pavimentos e funciona das  $5:00$  às  $19:00$  horas. Cada pavimento seleciona um *set point* de temperatura ideal, girando em torno de  $23^\circ\text{C}$ .

As atividades diárias são essencialmente administrativas. As fontes de variação do uso de energia giram em torno do ar condicionado e da solicitação do uso dos elevadores, que variam com o fluxo de ocupantes e visitantes no prédio. Neste estudo será abordada apenas a questão do ar condicionado.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Simulação

A simulação termo-energética reproduz um caso real por meio de um modelo computacional que avalia as condições do edifício submetido às condições reais climatológicas, as características físicas do edifício, além da ocupação de pessoas e utilização de lâmpadas e equipamentos. É uma ferramenta de fácil manipulação, que possibilita a criação de uma série de alternativas construtivas. Optou-se por utilizar a simulação devido à necessidade de se obter os níveis de consumo de uso final (separados por itens) ou seja, equipamentos, iluminação e ar condicionado.

Foi utilizado o *Energyplus* versão 1.2.1, que é uma ferramenta computacional de simulação térmica, para estimar os gastos com condicionamento de ar e caracterizar o edifício quanto a sua inércia térmica. Este software é distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Foi criado a partir dos *software*: BLAST (Building Loads Analysis and Thermodynamics) e o DOE-2.

Os dados de entrada do programa são basicamente: situação, implantação, características construtivas, materiais de revestimento, número de usuários e sua rotina de trabalho, número e dados de consumo de equipamentos, luminárias e ar condicionado.

Os relatórios de saída solicitados foram: temperatura interna e externa a cada 10 minutos, consumo elétrico mensal e anual do uso final e consumo total da edificação. Estes dados serviram de base para uma série de análises que serão apresentadas no item seguinte.

Devido à complexidade de inserção de dados, o estudo do edifício da *CEMIG* restringiu-se ao pavimento tipo sem o fator brise. A base de dados de clima é TRY (*Test Reference Year*) para a cidade de Belo Horizonte criada por Alves. Medições reais foram feitas no edifício, calibrando o *software* (ALVES, 2003).

Após a obtenção dos resultados da simulação, a metodologia utilizada nesse trabalho foi dividida em duas etapas. Na primeira etapa, os dados a serem analisados foram obtidos através de simulação, conforme descrito no item anterior. Na segunda etapa tentou-se através de análise de correlação obter uma função que relacionasse a variação do consumo energético mensal em função da temperatura. Esta segunda etapa pode ser dividida nas fases abaixo:

#### 4.1.1 Determinação do número de dias úteis considerados na simulação

Como o consumo com iluminação e com equipamentos elétricos segue uma rotina pré-definida, sabia-se de antemão que o consumo diário nestes itens deveria ser o mesmo para qualquer mês avaliado. O número de dias úteis mensais foi obtido no calendário e alguns meses tiveram uma variação de um ou dois dias, em função da consideração ou não de feriados. Assim, determinou-se o número de dias úteis mensais que fornecessem a mesma quantidade de energia consumida para os itens iluminação e equipamentos elétricos.

#### 4.1.2 Determinação do consumo referência

A temperatura externa média mensal ( $t_{ext}$ ) do ano avaliado variou entre 18,3°C e 24,7°C. Como a temperatura de *set point* do sistema de ar condicionado é de 23°C, considerou-se que meses com temperatura média em torno de 21°C estariam sofrendo pouco o efeito da temperatura no consumo de energia do sistema de ar condicionado. Assim, o consumo destes meses foi considerado como o consumo de referência  $C_r$  para o cálculo do fator  $k$ .

### 4.1.3 Cálculo do fator k

O fator k é a razão entre o consumo mensal e o consumo de referência. Ou seja, ao se dividir o consumo mensal por “K”, obtém-se o consumo de referência.

$$k = \frac{(\text{Consumo / dia})_{\text{mensal}}}{(\text{Consumo / dia})_{\text{referência}}} \quad [\text{Eq. 01}]$$

### 4.1.4 Correlação entre o fator k e a temperatura média mensal

Para verificar a influência da temperatura no valor de k, calculou-se a correlação entre estas variáveis, obtendo-se o valor de 0,96. Com uma correlação alta e com significância de 100%, verificou-se, como esperado, a relação causa efeito entre a temperatura e o fator k.

## 5. A NORMALIZAÇÃO DO FATOR “K” E RESULTADOS ENCONTRADOS

### 5.1 Obtenção da equação que descreve a função k(t)

Nesta fase obteve-se a equação pelo método dos mínimos quadrados. A figura 3 ilustra os valores de k calculados e a equação k(t) ajustada.

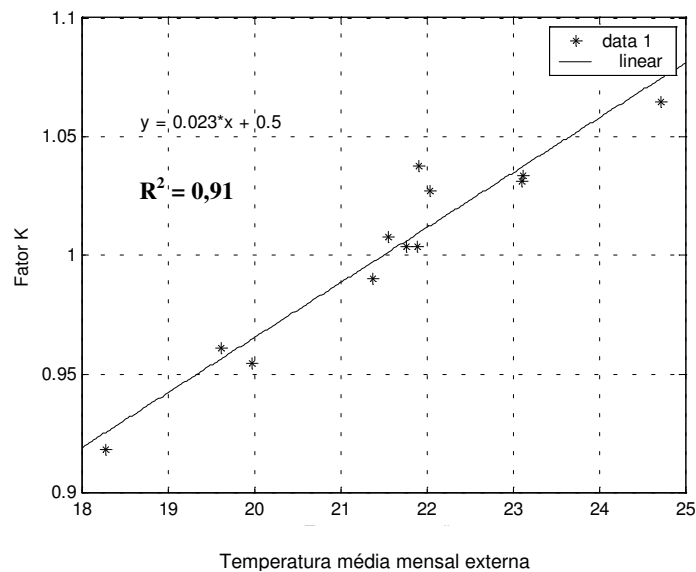


Figura 3 – Valores de k calculados e a reta ajustada

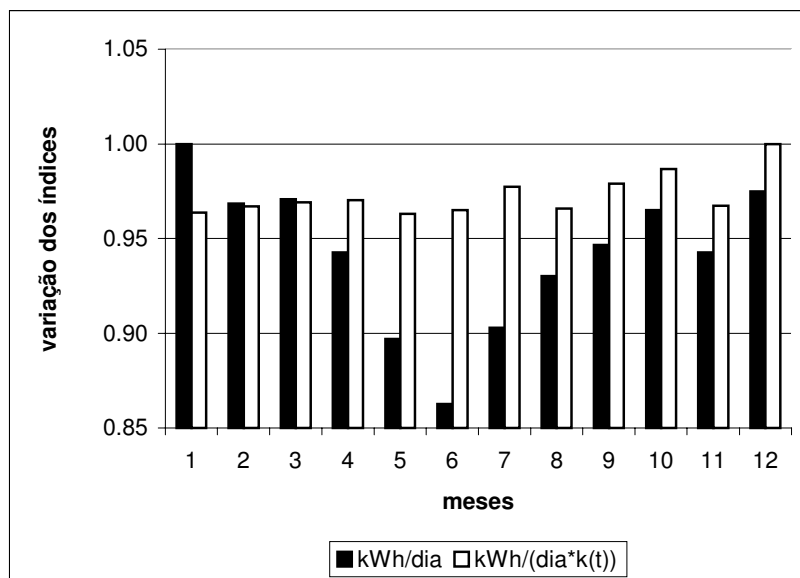
Vale a pena ressaltar que os dados utilizados neste estudo foram obtidos a partir de simulação computacional e portanto em ambiente absolutamente controlado, sendo que, como está se utilizando consumo diário, a única variação é devido aos dados climáticos. Como a temperatura externa é apenas um destes dados, os valores calculados para k não caem exatamente sobre a função k(t). As discrepâncias não explicadas pela variação da temperatura se devem ao efeito da radiação solar que aqui foi desconsiderada. Como a correlação foi elevada, com índice de significância de 100%, verifica-se que a temperatura externa é um fator eficiente para obter a normalização. Não foi feita a correlação com o consumo total do edifício uma vez que o consumo dos equipamentos é fixo. Ainda não se conhece a correlação de outros fatores tais como a radiação solar, velocidade do vento, umidade do ar, etc. Trabalhos futuros prevêem a análise e o estudo de tais fatores, assim como a comparação entre resultados reais e simulados.

## 6. INDICE DE NORMALIZAÇÃO

A partir da obtenção da função  $k(t)$ , é possível normalizar os consumos mensais, colocando-os portanto na mesma base de comparação. Meses com temperaturas médias iguais terão o mesmo valor de  $k$ . A equação abaixo nos fornece o consumo específico da edificação estudada normalizada pela temperatura. A partir desta equação, é possível comparar o consumo energético entre meses, sabendo-se que as variações entre os consumos específicos não se devem à variação de temperaturas entre os meses, uma vez que este índice (CE) já se encontra normalizado. Assim, após a normalização do CE é possível comparar o uso energético da edificação ao longo do ano onde qualquer variação do CE deve-se a outros fatores que não a temperatura..

$$(CE)_{mês} = \frac{(kWh/dia)_{mês}}{k(t_{mês})} \quad [Eq.02]$$

O gráfico na figura 4 apresenta os valores mensais do kWh/dia com e sem a normalização, ambos representados entre 0 e 1. Após a normalização, este índice pode ser considerado como consumo específico ou índice de desempenho. Como citado anteriormente, tratar-se de um índice que pode ser comparado entre meses com variações climáticas.



**Figura 4 – Comparação entre consumo diário antes e depois da normalização**

A coluna preta apresenta a evolução do consumo médio diário a cada mês ao longo de um ano. A coluna branca apresenta o consumo específico no mesmo período. Comparando-se as duas colunas, observa-se uma maior regularidade no consumo específico (maior variação 4%) que no consumo médio (maior variação 14%). Esta regularidade do CE é observada mesmo tendo índices de consumos tão diferente. Isto é, ao se isolar o efeito da temperatura no consumo da edificação, a variação deste durante os meses tende a se regular. Esta regularidade é devido à influência da temperatura no consumo. As variações maiores ocorridas no consumo específico em certos meses, como outubro e dezembro, podem ser explicadas através das variações relacionadas com a radiação solar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, etc.

## 7. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma discussão sobre o efeito da temperatura no consumo energético da edificação. Foi proposto um índice que servisse de referência para o cálculo do consumo de energia

durante o mês. Os valores obtidos reforçam a correlação da temperatura com o consumo de edifícios climatizados artificialmente. Pode-se observar que o consumo da edificação cresce com o aumento da temperatura média.

Através da equação do consumo específico obtida, é possível comparar o consumo de energia em meses quentes e meses frios. Este cálculo irá contribuir para o bom gerenciamento energético da empresa. De posse do modelo obtido, é possível estimar o consumo de energia tendo em mãos a expectativa do perfil da temperatura do mês.

Existem outros fatores, menos representativos, que influenciam o consumo além da temperatura externa. Como sugestão para futuros trabalhos, a análise destas outras variáveis poderá contribuir para o crescimento desta linha de pesquisa

## **8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALVES, Tatiana P. “Análise energética de edifícios comerciais: estudo de caso: Edifício Júlio Soares (sede da CEMIG), Belo Horizonte, M.G.” Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Ciências e Técnicas Nucleares. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003. 166p

BRASIL(2002). “BEN 2002 – Balanço Energético Nacional de 2002”. Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Energia,. Departamento Nacional de Política Energética, Coordenação Geral de Informações Energéticas (Ano Base 2001). Brasília, Brasil, dezembro de 2002, 201 p.

BAIRD, George; DONN, Michael R.; BRANDER, William D. S.; AUN, Chan Seong (1984). *Energy Performance of Buildings*. Energy Research Group – School of Architecture – Victoria University – Wellington, New Zealand – CRC Press, Inc – Boca Raton Florida –, USA, 202 p.

YANNAS, S. (1996). “Energy indices and performance targets for housing design” *Energy and Buildings*, 23, p.237-249.

LAM, J.C., HUI, S.C.M., CHAN, A.L.S. (1997). “Regression analysis of high-rise fully air-conditioned office buildings” *Energy and Buildings* 26, p. 189-197.

LAMBERTS, R., DUTRA, L., PEREIRA, F. (1997). *Eficiência Energética Na Arquitetura*. São Paulo: PW, 192p.

SIGNOR, Regis. “Análise de regressão do consumo de energia elétrica frente a variáveis arquitetônicas para edifícios comerciais climatizados em 14 capitais brasileiras”. Dissertação de mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. 314p

## **9. AGRADECIMENTOS**

Este trabalho está recebendo apoio técnico e financeiro integrado ao projeto de pesquisa das instituições CEMIG/CEFET-MG/PUC/UFMG através do convênio MS/AS 4020000011 – registro CEMIG/ANEEL P&D 016 –2001/2004 denominado Abordagem Integrada da Eficiência Energética e Energias Renováveis, coordenado na CEMIG pela Dra. Antônia Sônia A. Cardoso Diniz e Eng. Eduardo Carvalhaes Nobre.