

USO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS DE FLORIANÓPOLIS

Luis Marcio Arnaut de Toledo, MSc em Engenharia Civil,
doutorando em Planejamento de Sistemas Energéticos (Unicamp) - Bolsista FAPESP
Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica - Departamento de Energia
Cidade Universitária Zeferino Vaz - Distrito Barão Geraldo Caixa Postal 6123 CEP 13083-970 Campinas SP
e-mail: lmarcio@fem.unicamp.br Fone: (019) 788-8435
Roberto Lamberts, Ph.D, professor Depto. Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina
Núcleo de Pesquisa em Construção - UFSC - Campus Universitário - Trindade - CEP 88010-970
e-mail: lamberts@ecv.ufsc.br Fone: (048) 231-9772 - 231-9702

RESUMO

É apresentada uma metodologia de estimativa de uso final de energia elétrica consumida em edifícios de escritórios. Esta metodologia é aplicada para um grupo de 12 edifícios da cidade de Florianópolis (SC), a partir de uma visita de campo onde foram levantadas as potências instaladas com os aparelhos de iluminação artificial e condicionamento térmico. Os resultados são comparados com dados de outros autores que fizeram a mesma estimativa ou medições para edifícios semelhantes em outras cidades brasileiras.

ABSTRACT

A methodology is shown to break down electric energy consumption by end-use in buildings. It is applied to 12 office buildings in the city of Florianópolis (SC), starting from a field visit where it was observed the artificial lighting and air conditioning power installed. The results are compared with data from other authors for different Brazilian cities.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO

O interesse deste trabalho está centrado na energia elétrica consumida ao longo da vida útil do edifício pelos equipamentos de iluminação artificial, condicionamento térmico e outras instalações (bombas de recalque, elevadores, equipamentos de escritórios).

O trabalho consiste em uma pesquisa de campo em 12 edifícios onde são desenvolvidas atividades de escritórios dos setores público e comercial no município de Florianópolis (SC), a fim do levantamento do consumo de energia elétrica por uso final com equipamentos supra-citados. Os consumos totais dos edifícios foram fornecidos pela concessionária local - CELESC (Centrais Elétricas de Santa Catarina) - a partir de dados cadastrados.

Os edifícios que compõem esta pesquisa são: Assembléia Legislativa, Fórum-Florianópolis, Edifício das Secretarias, Edifício das Diretorias, Eletrosul, Palácio do Governo, Tribunal de Contas, Caixa Econômica Federal, Banco do Brasil, Secretaria de Educação, CASAN e EMBRATEL.

LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA INSTALADA NOS EDIFÍCIOS

O primeiro passo está na aquisição dos dados sobre a potência instaladas dos equipamentos de iluminação artificial e de ar condicionado de cada edifício em quilowatts (kW).

Iluminação: as luminárias foram contadas em cada um dos ambientes das edificações ou em plantas do projeto elétrico, quando estas estavam atualizadas. Lâmpadas de vapor de sódio, de mercúrio e outras semelhantes forma consideradas como fluorescentes. A potência foi estimada, considerando também os tipos de reator de cada lâmpada. Para efeito de cálculo, de acordo com Hunn et al (1992), deve-se adotar 90% de utilização da potência instalada com iluminação. Entretanto, para cada edifício foi considerada a porcentagem de utilização mais parecida com a real, observada na visita de campo.

Ar Condicionado: as centrais instaladas na edificação, geralmente, têm potências fornecidas em toneladas de refrigeração (TR). Os equipamentos de parede têm potências fornecidas em Btu/h. Considerando esta diversificação de unidades, utilizou-se os seguintes parâmetros de conversão baseado em Hunn et al (1992):

$$1 \text{ TR}_{\text{térmica}} = 0,7 \text{ kW}_{\text{elétrica}} \text{ (já considerando o rendimento da máquina)}$$

$$1 \text{ kBtu/h} = 0,833 \text{ TR}_{\text{térmica}}$$

$$1 \text{ Btu/h} = \frac{1}{2} \text{ TR}_{\text{elétrica}}$$

$$1 \text{ TR}_{\text{elétrica}} = 2 \text{ kW}_{\text{elétrica}} \text{ (já considerando o rendimento das máquinas)}$$

METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE ESTIMATIVA DO USO FINAL DE ENERGIA ELÉTRICA

Esta análise desmembra o consumo de energia em seus usos finais: ar condicionado, iluminação artificial e outros equipamentos).

O desmembramento é feito a partir de três valores de consumo de energia: média anual do período seco (kWh/m².mês), a média anual do período úmido (kWh/m².mês) e o maior valor no período úmido (kWh/m².mês). O período seco se refere aos meses de maio a novembro e o período úmido aos meses de dezembro a abril.

Para os três casos, considera-se o consumo com iluminação e outros equipamentos sempre constante ao longo do ano, deixando as diferenças de aumento no consumo de um período para outro somente com equipamentos de ar condicionado.

Cálculo do Consumo por Uso Final com Iluminação

$$C_i = P_i \cdot h \cdot d / A_t \quad \text{[equação 1]}$$

onde:

C_i = consumo com iluminação (kWh/m².mês)

P_i = potência instalada (kW), multiplicada pela porcentagem de utilização durante o dia, observada na visita de campo

h = total de horas que os equipamentos permanecem ligados durante o dia (horas)

d = total de dias que há ocupação e utilização destes equipamentos no mês, descontando feriados e finais de semana (dias)

A_t = área total construída (m²)

CÁLCULO DO CONSUMO POR USO FINAL COM AR CONDICIONADO

$$C_{AR} = Par \cdot h \cdot d / A_t \quad \text{[equação 2]}$$

onde:

C_{AR} = consumo com ar condicionado (kWh/m².mês)

Par = potência instalada (kW), multiplicada pela porcentagem de utilização média durante um dia

h = total de horas que os equipamentos permanecem ligados durante o dia (horas)

d = total de dias que há ocupação e utilização destes equipamentos no mês, descontando feriados e finais de semana (dias)

A_t = área total construída (m²)

CÁLCULO DO CONSUMO POR USO FINAL COM OUTROS EQUIPAMENTOS

$$C_{OUTROS} = C - C_i - C_{AR} \quad \text{[equação 3]}$$

onde:

C_{OUTROS} = consumo com outros equipamentos

C = consumo que se quer ter como base de cálculo (média ou o maior num determinado período)

C_i = consumo com iluminação (equação 1)

C_{AR} = consumo com ar condicionado (equação 2)

PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

Passo I: Estima-se a porcentagem da potência instalada com iluminação e com ar condicionado, de acordo com a visita de campo. Deve-se verificar a quantidade de lâmpadas queimadas e as que permanecem apagadas a maior parte do dia para se possa chegar o mais próximo possível da realidade do edifício. Observa-se, também, a quantidade de máquinas de ar condicionado que não funcionem e os dias e os horários que estão desligadas.

Passo II: Estima-se a quantidade de horas que aquela porcentagem de potência instalada com iluminação permanece em funcionamento em 1 dia, de acordo com o levantamento de campo. Deve-se verificar horário dos primeiros e últimos funcionários no prédio, o horário em que de fato todas aquelas lâmpadas que serão consideradas no cálculo estão ligadas.

Passo III: Estima-se a quantidade de dias num mês em que há expediente que ocorre aquela situação de utilização das lâmpadas num dia. Deve-se verificar a utilização do edifício nos fins-de-semana e feriados.

Passo IV: Faz-se a primeira tentativa de cálculo do consumo final com iluminação, utilizando a equação 1 e a porcentagem de utilização que mais se julga conveniente. Deve-se atentar para o fato de que é feita a suposição de que não existe alterações na potência instalada do edifício, o consumo de energia elétrica com iluminação artificial permanece o mesmo durante o ano todo. Portanto, é considerado o mesmo valor calculado para analisar tanto o período seco quanto o úmido. Isto também ocorre com o consumo com outros equipamentos do edifício.

Passo V: Faz-se a primeira tentativa de cálculo de uso final com ar condicionado para o período seco, considerando que neste período a quantidade de horas de utilização deste equipamentos é sempre bem menor que no outro período. Utiliza-se a equação 2.

Passo VI: Utiliza-se a equação 3 para calcular o consumo com outros equipamentos no edifício.

Passo VII: Deve-se fazer uma análise bastante cuidadosa dos resultados. Esta simples aplicação de fórmulas, poderá não refletir a realidade. Começa-se pela a análise do consumo com outros equipamentos. Deve-se buscar o valor mais coerente com aquele valor estimado a partir da quantidade de elevadores, quantidade e tipo de equipamentos de escritórios e bombas de recalque, bem como a existência de central de computação (como é o caso de alguns edifícios analisados neste trabalho) e equipamentos extras no edifício. Para edifícios que possuem 1, 2 ou 3 elevadores, bombas de recalque e equipamentos de escritórios o consumo mensal de energia elétrica com estes equipamentos deve estar entre 0,80 a 1,50 kWh/m².mês, dependendo das condições de utilização. Este intervalo foi definido considerando o consumo de 1 elevador (aproximadamente 2.700 kWh/mês) e de uma bomba de recalque (200 a 300 kWh/mês).

Passo VIII: Supondo que os valores calculados até o momento sejam incoerentes com os valores máximos de consumo destes equipamentos, deve-se partir para um processo de calibração destes resultados. Este processo se inicia a partir do valor do primeiro estudo do consumo com outros equipamentos do edifícios, deve ser utilizada a equação 2 para calcular novamente o consumo com ar condicionado no período úmido.

Passo IX: é feita uma análise bastante cuidadosa com os resultados obtidos. Verifica-se se os valores encontrados são perfeitamente possíveis para o prédio em questão. É de vital importância que a pessoa que visitou os edifícios seja a mesma que analisa estes resultados. Pois somente ela conhece particularidades específicas de cada prédio que possibilitará encontrar o verdadeiro caminho para se chegar a resultados coerentes. Deve-se fazer o cálculo inverso da equação 2 e calcular as horas e os dias para verificar se são admissíveis para a realidade do prédio. Se ocorrer incoerência de resultados, deve-se fazer a calibragem dos cálculos, buscando os valores mais adequados, recalculando os consumos finais com outros equipamentos e iluminação artificial e, novamente, analisando sua congruência.

Passo X: Apesar de estar se fazendo uma pesquisa de campo, acompanhando cada passo dos cálculos cuidadosamente, verificar-se-á que em termos de horas e dias de utilização e até de porcentagem de utilização das potências instaladas os cálculos raramente chegarão aos valores que foram anotados em visita de campo. Isto se dá pelo fato de que a utilização do sistema elétrico estará ligada às necessidades e vontades do homem no ambiente construído. Uma pessoa pode apagar uma lâmpada quando bem entender. Ligar e desligar um aparelho de ar condicionado, conforme sua vontade e disposição psicológica. Por isso, os valores obtidos serão apenas estimados. Não utilizado nenhum tipo de equipamento para medir o consumo ou verificar a tensão existente na rede de alimentação elétrica do edifício, pelo fato de se desejar desenvolver uma metodologia bastante simples, que não requeira a utilização de qualquer instrumento, a não ser uma cuidadosa visita de campo e de coleta de dados.

RESULTADOS

Tabela 1: Resumo do Consumo Médio de Energia Elétrica por Uso Final (kWh/m².mês)

<i>Uso Final</i>	<i>Período Seco</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Período Úmido</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Maior Úmido</i>	<i>Porcentagem</i>	<i>Média Anual</i>	<i>Porcentagem</i>
Ar Cond.	2,92	32%	6,17	49%	17,26	73%	4,55	42%
Iluminação	3,79	41%	3,79	31%	3,79	16%	3,79	35%
Outros	2,54	27%	2,54	20%	2,54	11%	2,54	23%
Total	9,25	100%	12,50	100%	23,59	100%	10,88	100%

COMPARANDO COM DADOS DO PROCEL [1988]

Tabela 2: Porcentagem do Uso Final de Energia Elétrica na Edificação

<i>Edifícios Públicos e Comerciais</i>	<i>Com Ar Condicionado</i>	<i>Sem Ar Condicionado</i>
Iluminação	24%	70%
Ar Condicionado	46%	-
Elevadores	15%	14%
Equipamentos - Escritórios	15%	16%
Total	100%	100%

Fonte: Procel, 1988

O Procel (1988) mostra que em edifícios públicos e comerciais, o consumo com ar condicionado representa 46%. Os dados de Florianópolis indicam uma média anual de 42%. O consumo com iluminação artificial é de 24%, segundo os dados do Procel (1988). Em Florianópolis este consumo é de 35%, 9 pontos percentuais a mais. O consumo com outros equipamentos nestes edifícios é de 23%, enquanto que nos dados do Procel (1988) este consumo é de 30%. Não se observa discrepâncias consideráveis nestes dados.

COMPARANDO COM DADOS DE GELLER [1990]

O consumo com iluminação é o mais importante nos prédios comerciais e públicos da pesquisa de JWCA [1989], apresentada em Geller [1990], pois representa 44% do consumo total no setor, 9 pontos percentuais a mais que neste mesmo consumo nos prédios de Florianópolis. O consumo com ar condicionado apresentado por JWCA [1989] é bastante reduzido, comparando com os 42% apresentado na tabela 1. O consumo com outros apresentado na tabela 2 representa 35%, valor esta acima daquele da cidade de Florianópolis, que é de 23%.

Tabela 3: Consumo de Energia Elétrica (MWh/mês) e valores percentuais por uso final em edifícios comerciais e de serviços da região metropolitana de São Paulo

Tipo de Edifícios	Total MWh/mês	Iluminação (%)	Ar Cond. (%)	Outros (%)
lojas/varejo	25,1	76	12	12
mercearias	38,2	25	2	73
posto de gasolina	2,0	43	-	57
restaurante	26,3	20	7	72
oficinas	4,8	56	4	39
serviços pessoais	5,6	9	3	88
bancos	15,9	52	34	16
escritórios	46,2	50	34	15
shoppings	58,2	49	34	17
Total	222,9	44	20	36

Fonte: JWCA, [1989] apud Geller [1990]

COMPARANDO COM DADOS DE MASCARÓ [1983]

Tabela 4: Consumo Médio de Energia Elétrica por uso final em Edifícios de Porto Alegre (kWh/m².mês)

Uso Final	Frio	%	Quente	%	Annual	%
Ar Cond	2,47	25%	6,07	45%	4,27	37%
Ilumin.	4,23	43%	4,23	31%	4,23	36%
Outros	3,13	32%	3,13	23%	3,13	27%
Total	9,83	100%	13,43	100%	11,63	100%

Fonte: Mascaró, 1983

No período frio, apresentado por Mascaró [1983], o consumo com ar condicionado é de 25% e o maior consumo por uso final é de 43% com iluminação. Nos edifícios de Florianópolis, o consumo com ar condicionado no período seco é de 32% e com iluminação é 41%, bastante semelhante com este autor. Os outros consumos representam 27% nos edifícios de Florianópolis e 32% nos edifícios de Porto Alegre.

No período quente, os edifícios de Porto Alegre consomem 45% com ar condicionado. Os de Florianópolis consomem 73%. A iluminação é responsável por 31% do consumo em prédios de Porto Alegre e, em Florianópolis, é responsável por apenas 16%. O consumo com outros nos prédios da tabela 1 é de 11% em contraponto com os prédios gaúchos, que é de 23% do montante total.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que se observou nesta comparação foram dados bastante discrepantes em algumas situações, principalmente ao se comparar com Mascaró [1983]. Todavia, deve-se considerar que foram pesquisados edifícios em diversas cidades brasileiras com contexto urbano, região climática e tempo diferenciados entre si.

Diante disto, pode-se dizer, em linhas gerais, que o consumo com ar condicionado é o mais importante a ser considerado e o que mais apresentou discrepâncias na comparação com outras pesquisas. A iluminação está em seguida, representando o segundo ponto de maior atenção. O consumo com outros é o que menos representa no contexto global do quadro energético da edificação.

A metodologia de cálculo dos consumos por usos finais na edificação mostrou-se suficiente e consistente para proceder à estimativa destes consumos. Trata-se de uma metodologia bastante simples, que não necessita de instrumentos de medição, apenas a leitura da concessionária. Para a aplicação desta metodologia é necessário que se faça cálculos de estimativas que somente uma pessoa que realmente participou pessoalmente da pesquisa de campo poderá realizar. Esta pode ser uma das limitações desta metodologia, uma vez que uma pessoa que não conhece o funcionamento do prédio não pode tomar decisões bastante importantes no processo do cálculo para uso final dos consumos. Observa-se, portanto, que não se trata de uma simples aplicação de fórmulas, mas um processo de calibragem dos valores, por tentativas feitas por quem conhece o funcionamento do edifício e não vai simplesmente considerar valores estimados sem critério de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GELLER, H. S. *Efficient Electricity Use: a development strategy of Brazil*. ACEEE, Washington, 1990.
- JWCA. *Consumo de Energia nos Setores de Comércio e Serviços*. Jorge Wilhen Consultores Associados, São Paulo, 1989.
- HUNN, B. D. et al. Energy Analysis of the Texas Capitol Restoration. In: *Tho Doe-2 user news*. PUB-439, vol. 13, nº4, Lawrence Berkeley Laboratory, Berkeley, 1993.
- MASCARÓ, J. L. *Consumo de Energia e Construção*. SECOVI, São Paulo (mimeografado), 1983.
- PROCEL. *Manual de Conservação de Energia Elétrica - Prédios públicos e comerciais*. ELETROBRÁS, Rio de Janeiro, 1988.
- TOLEDO, L. M. A. *Uso de Energia elétrica em edifícios públicos e comerciais de Florianópolis (SC)*. Dissertação de Mestrado. Dept. eng. Civil, UFSC. Florianópolis, 1995.

AGRADECIMENTOS ESPECIAIS:

CELESC, pela orientação e dados fornecidos gentilmente
Aos funcionários e responsáveis técnicos de todos os edifícios visitados no decorrer desta pesquisa
A Luis Alberto Gómez, professor Dep. Eng. Elétrica - UFSC
Ao Projeto RHAE-Energia do Núcleo de Pesquisa em Construção da UFSC
À FAPESP