

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM PRÉDIOS COMERCIAIS EM CURITIBA

**KRÜGER, Eduardo (1); DUMKE, Eliane (2); SHAFI, Mohiman (3); LAROCA,
Christine (4)**

(1) Eng. Civil, Dr.-Ing., Prof. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE),
Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR - Avenida Sete de
Setembro, 3165 CEP 80230-901 Curitiba - PR

e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Arquiteta, Mestranda do PPGTE, Prof. Curso de Arquitetura, Universidade Tuiuti do
Paraná - Rua Engº Niepce da Silva, 139 - CEP 80610-280

e-mail: pdumke@qualityware.com.br

(3) Engenheiro Eletricista, Aluno-Especial do PPGTE
Rua Rodrigo Otávio, 288-13 CEP 80050-230 Curitiba - PR

e-mail: mohiman@netpar.com.br

(4) Arquiteta, Prof. Departamento de Construção Civil - CEFET-PR

e-mail: chris@netpar.com.br

RESUMO

A energia elétrica, no Brasil, advinda principalmente de fontes hídricas, deve ser encarada como recurso finito e estratégico, passível de racionalização. Nas indústrias, esse recurso é permanentemente economizado, pois seus valores se agregam ao custo final dos produtos. Em edifícios comerciais, no entanto, esta atuação parte mais da consciência de seus administradores do que de uma cultura de uso parcimonioso de energia. A racionalização pode ser iniciada através da otimização de sistemas de iluminação e climatização artificial e da melhoria da eficiência de motores, bombas e elevadores até a observação das condições climáticas e dos códigos de obra, com um direcionamento não apenas para o aumento da arrecadação de IPTU e lucros imobiliários imediatos. Através de uma avaliação pós-ocupação do consumo energético em edifícios comerciais em Curitiba, o presente trabalho procura identificar as principais estratégias de conservação de energia em edificações.

ABSTRACT

Electric energy in Brazil, mainly generated by hydraulic power, should be regarded as a finite and strategic resource, and as such, be rationalised. In industries, energy is permanently saved, viewing a lower product cost. In commercial buildings, however, energy conservation should come primarily from the consciousness of the building administrators rather than a strictly rational use of energy. Rationalisation could start with the optimisation of artificial lighting and air conditioning systems, pumps and elevators up to the observation of climatic and regional peculiarities. Based on a systematic monitoring of electrical power consumption in commercial buildings in Curitiba, this survey has the following aim: to

identify the main strategies for the implementation of energy conservation measures in commercial buildings.

1. INTRODUÇÃO

A procura de uma maior eficiência energética, como medida de conservação nos diversos setores consumidores de energia, vem ganhando peso no Brasil através de programas de conservação como o Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica - PROCEL, criado em 1985 e transformado em programa de governo em 1991.

O suprimento atual de energia elétrica no Brasil é da ordem de 308 TWh/ano. Mantido o atual padrão de consumo de energia, haverá necessidade de suprimento, em 2010, de 700 TWh/ano, e em 2015, de 782 TWh/ano (PROCEL, 1999). Através de medidas de conservação de energia (GELLER, 1990):

- atua-se na redução do custo da energia;
- reduz-se a probabilidade de cortes na geração de energia;
- reduz-se a necessidade de novos investimentos em obras de geração e transmissão de energia;
- reduz-se o custo de produção em indústrias;
- evitam-se impactos ambientais com a implantação de novas usinas.

Quanto às vantagens econômicas da aplicação de medidas de conservação de energia, verifica-se que, entre 1996 e 1997, segundo dados do PROCEL, a energia economizada ou geração adicional evitada foi de 1.758 GWh/ano, o que significou uma economia de R\$830 milhões em investimentos.

No presente trabalho, procurou-se traçar um diagnóstico de consumo de energia elétrica de um prédio comercial de padrão moderno em Curitiba. Através do perfil de consumo, foi então possível visualizar algumas estratégias que poderiam levar à economia de energia e a uma maior eficiência energética da edificação.

2. PRÉDIO AVALIADO

O prédio avaliado, de uso comercial, abriga escritórios que desenvolvem diferentes atividades e está situado no Centro Cívico de Curitiba, onde existem vários outros edifícios com o mesmo tipo de uso. Distante destes, portanto livre de obstruções à radiação solar, este edifício destaca-se por sua arquitetura.

Caracterizado por um volume compacto, uma torre onde todas as fachadas receberam o mesmo tipo de revestimento em pele de vidro, sendo este reflexivo (vidro Suncool Monolítico 6mm). As poucas sacadas (37) em Alpolic são alternadas aleatoriamente nas diversas fachadas e pavimentos. O prédio é constituído de 2 subsolos, um andar térreo, 22 pavimentos tipo, e uma cobertura, possuindo área total de 10 036.07 m².

3. MEDIÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Através da medição e do registro de consumo de energia, procurou-se obter um quadro detalhado dos perfis de consumo dos principais circuitos do prédio. Essa pesquisa foi realizada em quatro campos :

1. Registro gráfico de consumo do Quadro de Distribuição Geral do condomínio, responsável pela alimentação dos elevadores e circuitos auxiliares do condomínio.
2. Registro de carga elétrica e perfil de consumo durante as 24 horas do dia, dos circuitos de iluminação e bomba de recalque de água, utilizando para isso o Medidor Universal de Grandezas - MUG, fornecido pela COPEL.
3. Análise do consumo de energia pelos condôminos, com base nos dados fornecidos pela COPEL.
4. Informações obtidas junto aos funcionários do prédio, responsáveis por ligar e desligar circuitos do Ar Condicionado, conforme a temperatura ambiente e pela iluminação externa e dos corredores, conforme o fim de expediente dos escritórios, o que ocorre de modo geral em diferentes horas da noite.

Os instrumentos registradores foram programados para leitura de dados a cada 5 segundos e o seu registro a cada 5 minutos. O Quadro de Distribuição dos circuitos do Condomínio alimenta os seguintes painéis auxiliares com tensão trifásica de 220 V :

1. QL-1 com disjuntor de 25 A para uma carga máxima prevista (potência instalada) de 4 420 W no 2º subsolo - garagem;
2. QL-2 : 40 A e 15 880 W, respectivamente, no 1º subsolo - garagem;
3. QL-3 : 90 A e 28 440 W - Iluminação de corredores de todos os andares;
4. QL-4 : 60 A e 18 800 W - Iluminação do hall de entrada e externa do prédio;
5. QF-1 : 40 A e 11 040 W - Bombas de recalque;
6. QF-2 : 25 A e 5 620 W - Bombas de drenagem;
7. QF-2 : fusíveis de 125 A e 28 900 W - Elevador 1;
8. QF-2 : fusíveis de 125 A e 28 900 W - Elevador 2;
9. QF-2 : fusíveis de 160 A e 35 350 W - Elevador 3;
10. QF-AC : Disjuntor de 200 A e 60 000 W - Central de refrigeração de ar.

Com os dados registrados e as informações obtidas da concessionária (COPEL), foram traçados os valores e perfis de consumo de energia no período de um dia útil, conforme gráficos abaixo (Fig. 1 e Tab. 1).

4. MEDIÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO NATURAL

A verificação das condições de iluminação natural oferece mais um elemento de comparação do consumo de eletricidade. Considerando-se que o prédio em estudo possui climatização artificial central, é possível atuar na redução da carga de climatização evitando-se o sobreaquecimento do ambiente através da iluminação artificial. A relação lumens por carga térmica da luz natural é consideravelmente maior que de lâmpadas incandescentes e fluorescentes (PEREIRA *apud* GHISI, 1997), o que traduz um maior

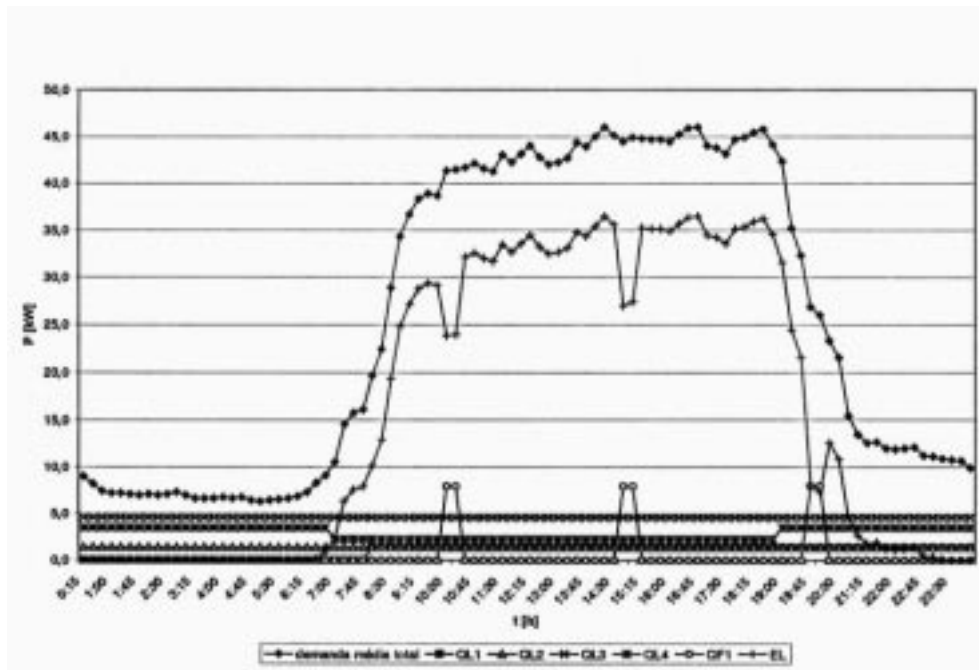


Fig. 1: Demanda de energia em um dia útil

Tab. 1: Dados de medições e da concessionária (COPEL)

DADOS DE MEDIÇÃO			
Circuito medido	Demanda Média [kW/dia útil]	Período de Monitoração [h]	Contribuição no Consumo Total do Prédio [%]
QL1 (subsolo2)	0.91	24	
QL2 (subsolo 1)	1.37	72	
QL3 (andares e escada)	4.58	24	
QL4 (recepção)	2.86	24	
ILUMINAÇÃO (área comum)	9.72		23.5%
QF1 (recalque)	0.50	48	
Qf2 (drenagem)	-		
BOMBAS	0.50		1.2%
AR CONDICIONADO	10.93	456 (19 dias)	26.4%
ELEVADORES	4.5	456 (19 dias)	10.9%
TOTAL ÁREAS COMUNS	25.65		62%
DADOS DA CONCESSIONÁRIA (COPEL)			
Áreas Privativas (69 de 184 aptos.)	15.70	-	38%
Consumo médio p/apto.	0.23	-	0.6%
DA ANÁLISE DAS FATURAS (COPEL)			
Consumo mensal áreas comuns	14104 kwh		62%
Consumo mensal aptos.	8669 kwh		38%

ganho de luz com uma menor carga térmica. Além disso, o uso da luz natural é por si só um forte instrumento de conservação de energia elétrica, por reduzir a necessidade do uso de iluminação artificial.

As medições (Fig. 2) foram feitas em três períodos (às 10, às 12 e às 14 horas) de um dia de inverno de céu claro, sem nuvens. Foi escolhido o 22º andar a fim de se evitar obstruções do entorno. Foram tomadas medidas em salas com orientações diversas (nos quatro cantos

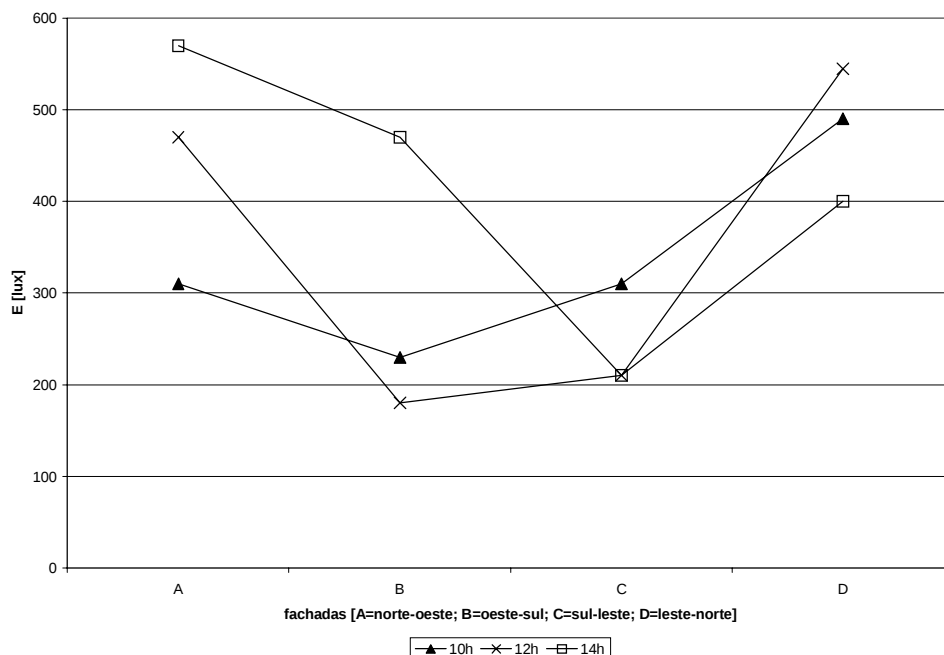


Fig. 2: Iluminâncias no prédio em 04/08/1999

do prédio, envolvendo assim as quatro fachadas) utilizando-se de um luxímetro da marca ICCEL-LD-500. As leituras foram realizadas a uma altura de 75 cm do piso (plano de trabalho) e em quatro pontos distanciados de um metro entre si.

5. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

Além da medição do consumo energético das áreas comuns do prédio (que incluiu também os circuitos de iluminação), foi feito o levantamento da potência instalada da iluminação interna e externa dessas áreas (Tab. 2).

O sistema de iluminação artificial dos subsolos (garagem comum), é feito através de luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 40W, distribuídas uniformemente nos ambientes. Estas luminárias permanecem acesas durante todo o horário de funcionamento do edifício, o que, se considerarmos a pequena taxa de ocupação do prédio (37%), se caracteriza como um consumo demasiado de energia, chegando à valores de 2560 kWh, nos dois subsolos e que poderiam ser sensivelmente reduzidos.

As circulações verticais e horizontais dos pavimentos não possuem iluminação natural. Nas escadas enclausuradas e nos halls dos pavimentos são utilizadas lâmpadas incandescentes, com exceção do 8º e do 18º pavimentos, onde os proprietários de ambos os andares alteraram a iluminação dos halls. No hall do 8º pavimento foram instaladas 8 lâmpadas dicróicas de 50W e no hall do 18º pavimento, 27 lâmpadas minidicróicas de 35W e 2 incandescentes de 40W. Durante o horário de funcionamento do prédio (das 7:00 às 19:30 horas de segunda à sábado), as circulações horizontais nos pavimentos tipo permanecem

iluminadas, mesmo com uso eventual e com a pequena taxa de ocupação dos conjuntos comerciais. Os circuitos de iluminação dessas circulações são interligados de 3 em 3

Tab. 2: Potência instalada para iluminação artificial

Pavimento	Número de lâmpadas	Potência lâmpadas	Tipo de lâmpadas	Período de funcionamento	Dias da semana
Segundo subsolo	34	40 W	Fluorescente	8:00 às 23:00hs	Seg à sab / Dom eventual
	01 (depósito)	60 W	Incandescente	eventual	Eventual
Primeiro subsolo	30	40 W	Fluorescente	8:00 às 23:00hs	Seg à sab / Dom eventual
	06 (casa força)	40 W	Fluorescente	Eventual	Eventual
Térreo	12 (hall elev.)	23 W	PI	7:00 às 23:00; 23:00 às 7:00: 1/2 das lamp.	Seg à sab / Dom eventual
	04 (pendente)	23 W	PI	Constantemente ligadas	Seg à sab / Dom eventual
	04 (spot)	150 W	Halógena	Eventual	Seg à sab / Dom eventual
	04 (arandela)	150 W	Halógena	Eventual	Seg à sab / Dom eventual
	02	300 W	Vapor mercúrio	Constantemente ligadas	Seg à sab / Dom eventual
	02 (s. telefone)	40 W	Fluorescente	Constantemente ligadas	Seg à sab / Dom eventual
	02 (depósito)	60 W	Incandescente	Eventual	Eventual
Escada *(23tipos+1térreo +2subsolo+2serv. x 3 lamp.)	84*	60 W	Incandescente	Botoeira (3 pavto por acionamento)	Indefinido
	03 (dep./ acessos)	60 W	Incandescente	Eventual	Eventual
8º pavto	08	50 W	Dicróica	7:00 às 19:30hs	Seg à sab / Dom eventual
18º pavto	27	35 W	Mini dicróica	7:00 às 19:30hs	Seg à sab / Dom eventual
	02	40 W	Incandescente	7:00 às 19:30hs	Seg à sab / Dom eventual
Pavto tipo *(21(excluídos os 8º e 18º pavtos)x 4lamp.)	84*	60 W	Incandescente	7:00 às 19:30hs	Seg à sab / Dom eventual
Externo	16 (jardim)	100 W	Incandescente	18:00 às 23:00	Seg à sab
	04 (jardim)	60 W	Halógena	18:00 às 23:00	Seg à sab
	04 (marquise)	60 W	Halógena	18:00 às 7:00hs	Seg à dom

pavimentos, o que significa que, para acender as lâmpadas do hall de um pavimento, acende-se as de mais dois que podem não estar sendo utilizados.

A iluminação natural do hall de entrada com a maior parte de sua vedação externa em vidro, é reduzida pelo tipo de vidro utilizado e pelo sombreamento da sacada, levando ao uso de iluminação artificial durante o dia todo, mesmo para a orientação noroeste. Observa-se que o tipo e distribuição de lâmpadas e luminárias foi projetado em função do aspecto decorativo, e não em função da eficiência energética.

O acesso do prédio é iluminado externamente por quatro lâmpadas halógenas que permanecem ligadas das 18:00 às 7:00 horas. Além delas, a iluminação do jardim é feita

através de dezesseis lâmpadas incandescentes e quatro lâmpadas halógenas, durante o início da noite.

6. CONCLUSÕES

Da pesquisa realizada, pôde-se extrair algumas conclusões e recomendações de caráter qualitativo.

Quanto à medição de consumo de energia, o método usado apresenta vantagens em relação à simples estimativa do uso final de energia elétrica. Comparando-se esta com a simples estimativa do consumo e operação da iluminação artificial, observou-se que as informações fornecidas pelos porteiros e vigias do prédio eram díspares, encobrindo a real utilização do sistema.

Quanto à iluminação natural, a comparação dos iluminâncias medidas com os valores da NB-57 para pessoas de idade entre 40 e 55 anos, desenvolvendo atividades em escritórios com boa refletância (pintura branca, $\rho > 80\%$) onde velocidade e precisão possuem importância relativa, mostrou valores abaixo dos recomendados. Foram realizados testes com o vidro usado nas janelas do prédio, que indicaram um fator solar de cerca de 0.11. O vidro simples mostrou para as mesmas variações de angulação valores entre 0.67 e 0.87, a média situando-se em 0.82. A utilização de vidro simples teria sido suficiente para preencher as exigências de iluminação. Neste caso, um sombreamento solar elementar do tipo persiana móvel poderia regular a iluminação em excesso, sem prejuízos à quantidade de iluminação recomendada pela norma.

Em relação ao uso complementar de iluminação artificial, para a redução do consumo de energia em iluminação artificial recomendam-se as seguintes medidas (SLATER, 1997):

1. Minimização do tempo de utilização das lâmpadas, com um maior aproveitamento da luz natural, sistemas de controle da iluminação artificial, utilização de sensores de presença e temporizadores;
2. Minimização da potência instalada, com a utilização de componentes de maior eficiência, utilização de reatores com alto fator de potência e utilização de lâmpadas de maior rendimento (maior eficiência luminosa: lm/W).

No prédio avaliado, o revestimento em vidro foi projetado para reduzir significativamente a transmissão de calor proveniente da radiação solar para o interior da edificação e assim reduzir o consumo de energia para o condicionamento de ar. No entanto, a pouca transmissividade de luz natural para o interior do edifício devido ao tipo de vidro escolhido, acarreta em um aumento do consumo de energia em iluminação artificial para manter níveis de iluminamento adequados às atividades a serem desenvolvidas nestes ambientes durante o dia. Conforme os resultados das medições de iluminação natural, há necessidade de iluminação artificial permanente em ambientes voltados para Sul e Leste.

Recomenda-se que a quantidade e distribuição dos circuitos de iluminação e o tipo de lâmpadas e luminárias sejam projetadas conforme a necessidade de iluminação para cada função, e levando-se em conta sua integração com a luz natural.

Na área dos subsolos, o uso de sensores de presença para a iluminação automática da área, apenas quando esta for utilizada, ou a setorização das garagens por horário de uso, poderiam significar uma maior economia no consumo energético. Nas áreas de circulação vertical e horizontal, recomenda-se também a utilização de circuitos separados e sensores de presença.

Para a iluminação externa poderiam ser acopladas células fotoelétricas para que as lâmpadas acendam somente quando houver necessidade, uma vez que no verão há disponibilidade de iluminação natural durante um período mais longo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. Avaliação das condições de iluminação natural nas salas de aula da Universidade Federal de Santa Catarina. In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS (1997: Canela, RS). **Anais...** Canela: ANTAC, 1997.

SLATER, Anthony. Energy Efficient Lighting in Buildings. In: IV RIGHT LIGHT (1997: Copenhagen). **Proceedings...** Copenhagen: IAEEL, 1997.

GELLER, H.S. *Efficient Electricity Use: A Development Strategy for Brazil*. Washington: ACEEE, 1990.

PROGRAMA DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL. http://www.eletrobras.gov.br/procel/index_java.htm, (1999).

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos colegas, professores e mestrandos do CEFET-PR, que nos auxiliaram na pesquisa. Em especial ao Oto Roberto Bormann (Mestrando do PPGTE), Mauricio Diogo dos Santos (Aluno-Especial do PPGTE), César Castañeda, Severino Cervelin e Ayres da Silva Sória (Professores do Departamento de Eletrotécnica do CEFET-PR). Agradecemos também ao Departamento de Medições da Concessionária de Energia Elétrica (COPEL), pelo empréstimo de aparelhos e pelo fornecimento de dados de consumo.