



RETROFIT DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL NA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFSC

Martin Ordenes¹; Roberto Lamberts²; João Carlos S. Fagundes³.

(1) Eng. Civil, Doutorando. E-mail: martin@labeee.ufsc.br

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

(3) Eng. Eletricista, PhD. E-mail: fagundes@inep.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina

Campus Universitário – Trindade

RESUMO

O Programa de Racionalização do Uso de Energia (PRUEN), começou no ano 2000 a responder pela preocupação com o desperdício de energia elétrica na UFSC. A partir de 2003, foi realizado um trabalho para avaliar as possíveis oportunidades de melhoria no sistema de iluminação artificial de um dos principais prédios da Universidade, a Biblioteca Central (BC). Este artigo apresenta a metodologia adotada e resultados obtidos no estudo de retrofit no sistema de iluminação de todos os seus ambientes internos. Os resultados do levantamento mostram um diagnóstico desfavorável nas condições do sistema de iluminação atual. O novo projeto luminotécnico proposto considera a substituição de todo o sistema de iluminação (luminárias, lâmpadas e reatores), a redistribuição dos equipamentos por ambientes, a setorização de circuitos e a integração do sistema com a luz natural. A estimativa de potência requerida atualmente para iluminação (157,32 kW) representa o 63% da demanda média diária de energia elétrica no horário de serviço da BC. No novo projeto luminotécnico a potência instalada seria reduzida em 50% na BC. Considerando o preço de compra dos equipamentos, a redução da potência instalada se traduz em uma estimativa de economia mensal de R\$ 7.950, com um período de retorno do investimento estimado em um ano.

ABSTRACT

The Program for Rationalize the Use of Energy, started in 2000 to consider the energy wasting in the Universidade Federal de Santa Catarina (Brazil) as a matter of concern. Thus, in 2003 the program focused in evaluating the improvement possibilities in the lighting system of one of the most important buildings, the Central Library. This work presents the methodology adopted and results obtained by a retrofit study on the lighting system in each ambient. Results from survey show an adverse diagnosis in the existing lighting system conditions. A new lighting project is suggested considering three measures: the replacement of the all lighting equipments (fluorecent lamps, luminaries and electronic control gear), a new distribution of these equipments and a new arrangement for switches and connections to incorporate daylight profit. The power estimated for the current lighting system (157,32 kW) corresponds to 63% of the daily average electric demand (during the working period). The new lighting project would reduce the electric demand in 50% and would mean a monthly saving of R\$ 7.950. Considering the purchasing value of new equipments, the pay back investment is estimated in one year.

1. INTRODUÇÃO

O Programa de Racionalização do Uso de Energia (PRUEN), preocupado com o combate ao desperdício de energia elétrica na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), começou em 2003 um trabalho de reformas nos equipamentos e instalações elétricas de vários prédios da UFSC visando melhoria na eficiência energética e reduzir, racionalmente, o consumo de energia elétrica.

Já estudos anteriores feitos no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), mostram a tendência de crescimento do consumo de energia elétrica nas contas da UFSC e a importante participação (63 %) que o uso da iluminação artificial tem nos usos finais de energia elétrica dentro da UFSC (GHISI e LAMBERTS, 1997). Substituindo os equipamentos de iluminação usados por sistemas mais eficientes, WESTPHAL et al (2002) estimam uma economia de 9,5% no consumo e 12% na conta de energia elétrica anual da Cidade Universitária.

Por isso, foi realizado um trabalho em conjunto com o LabEEE e o Instituto de Eletrônica de Potência (INEP) para avaliar as possíveis oportunidades de melhoria no sistema de iluminação artificial de um dos principais prédios da Universidade, a Biblioteca Central.

Este trabalho apresenta a metodologia adotada no estudo de retrofit no sistema de iluminação de todos os ambientes internos da Biblioteca Central da UFSC. Como resultado deste trabalho obteve-se um diagnóstico das condições do sistema de iluminação atual e uma proposta de um novo projeto luminotécnico para a Biblioteca Central (BC).

A Biblioteca Central foi inaugurada em 1976 visando melhorar as condições de prestação de serviços e de otimização do uso de informação pela Comunidade Universitária. Em 1995 o prédio da Biblioteca Central foi ampliado em 3.594m², resultando uma área total de 9.134m² (Figuras 1a e 1b).



1a)



1b)

Figuras 1a e 1b - A Biblioteca Central da UFSC.

O padrão de uso da Biblioteca Central pode ser classificado de acordo com os diferentes tipos de usuários e ambientes (Tabela 1).

Tabela 1 - Padrão de uso para os diferentes ambientes da Biblioteca Central.

	Dia útil	Sábado	Domingo
Usuário	7 - 21 horas	8 - 16 horas	----
Sala de estudos	7 - 18 horas	8 - 17 horas	----
Salas administrativas	8 - 18 horas	8 - meio-dia	----
Lab. de informática	8 - 23 horas	8 - 18 horas	8 - 18 horas

2. OBJETIVO

Dentro do uso racional da energia elétrica destinada à iluminação deve ser considerado um projeto luminotécnico que vise garantir as condições de conforto visual aos usuários, com o menor consumo energético possível. Neste sentido, o objetivo principal do trabalho é fazer um diagnóstico dos sistema de iluminação artificial atual e as condições de iluminação internas para avaliar as reformas

necessárias visando reduzir o consumo de energia em iluminação e melhorar o conforto visual dos usuários e propor um novo projeto luminotécnico para a Biblioteca Central.

3. METODOLOGIA

Inicialmente fez-se o levantamento das características arquitetônicas, do sistema de iluminação atual e medições de demanda de energia elétrica da edificação. O projeto luminotécnico para a Biblioteca Central foi desenvolvido de acordo com as diretrizes da Portaria N°161/GR/2003 que definem níveis de iluminância mínimos para cada atividade e especificações técnicas para a aquisição de equipamentos eficientes (PRUEN, 2003). Além disso, as diretrizes definem também recomendações para a aquisição de equipamentos de ar condicionado e para construção ou reformas nas edificações. Mais detalhes sobre as diretrizes no site www.pruen.ufsc.br

3.1 Levantamento de dados

O levantamento referente aos espaços físicos que compõem a Biblioteca Central e os sistemas de iluminação artificial instalados em cada um deles foi feito de acordo com as plantas fornecidas pelo Escritório Técnico Administrativo da UFSC (ETUSC). Nas plantas arquitetônicas e de instalações elétricas, datadas de 1999, observou-se que existe uma diferença com o layout atual. Isto se traduz em uma distribuição inadequada das luminárias com respeito ao uso real de cada ambiente. Desta forma foram realizadas visitas técnicas com o objetivo de registrar e atualizar as dimensões físicas, atividades desenvolvidas, quantidade de luminárias e potência instalada em cada um dos ambientes.

A Biblioteca Central está integrada no medidor principal da Cidade Universitária que é atendida em alta tensão, dentro do subgrupo A4, enquadrado em Tarifa Horo-Sazonal Verde (Tabela 2). Estas contas são elaboradas a partir de um único medidor principal no campus e incluem o total do consumo e demanda de vários pontos da Cidade Universitária (Biblioteca Central, Reitoria, iluminação externa, etc). Desta forma, foi feita uma medição de cargas na Biblioteca durante o mês de Outubro de 2003. O equipamento utilizado foi o RE1000, fabricado pela Embrasul, que consiste em um medidor de tensão e corrente trifásico, sendo as medidas registradas em memória a cada intervalo de 5 minutos.

Tabela 2 - Tarifas praticadas pela CELESC em Maio de 2005, em R\$/kW para demanda e R\$/kWh para consumo, com a incidência do ICMS.

Parâmetro medido	Tarifa cobrada
Demanda	11,530
Ultrapassagem de demanda	34,600
Consumo ativo ponta	1,027
Consumo ativo fora de ponta	0,133

Através da contagem de lâmpadas e luminárias instaladas e usadas em cada ambiente fez-se uma estimativa da potência instalada para iluminação interna. O consumo de energia diário foi estimado através da multiplicação da potência do sistema utilizado pelas horas de uso para dias úteis e fins de semana. Neste sentido, é importante explicar que devido a uma estratégia de redução de consumo energético anterior muitas lâmpadas foram desligadas e atualmente não está sendo utilizada toda a potência instalada para iluminação.

As medições de iluminância foram executadas executadas no plano de trabalho, a 70 cm do piso, na posição horizontal e conforme os procedimentos do projeto de norma 02:135.02-004 (ABNT, 1999). Utilizou-se um luxímetro digital da marca MINIPA, modelo MLM-1332. Foram escolhidos 4 ambientes representativos de acordo com o padrão de uso da edificação. As medições foram feitas à noite para não ter influência da luz natural. É importante salientar também que o projeto original de iluminação da BC foi concebido com o mesmo nível de iluminância para todos os locais, sem considerar as necessidades específicas de cada setor.

3.2 Proposta de retrofit

Para o dimensionamento do sistema de iluminação de cada ambiente foi utilizado o programa E2-Iluminação, desenvolvido no LabEEE. O programa adota o método dos lumens para estimar a quantidade de luminárias necessárias em um ambiente e permite determinar a distribuição espacial das luminárias. O programa conta com uma base de dados de equipamentos nacionais, permitindo a montagem de sistemas com componentes de diferentes marcas. Além de incluir nesta base de dados os equipamentos (lâmpadas+luminária+reator=kit) definidos nas diretrizes do PRUEN, o E2-Iluminação considera também nas suas rotinas de cálculo todas as especificações de fator de depreciação e valor final da iluminância estabelecidos pelo PRUEN (LabEEE, 2003). O software é de distribuição gratuita e poder ser obtido no site do LabEEE (www.labeee.ufsc.br).

As diretrizes do PRUEN definem vários níveis de iluminância final para os diversos ambientes da UFSC. Atendendo as diretrizes, foram adotados especificamente os níveis apresentados na Tabela 3 para a elaboração de um novo projeto do sistema de iluminação artificial dos ambientes internos da Biblioteca Central, considerando um período de uso de 24 meses.

Tabela 3 - Iluminância média final adotada para o projeto do sistema proposto.

Ambiente	Iluminância (lux)
Área de circulação interna	150
Banheiros	150
Depósito	150
Estantes da biblioteca	300
Áreas de leitura	400
Sala de informática	400
Sala administrativa	400
Auditório (platéia)	300
Auditório (tribuna)	500

No novo sistema de iluminação, adotou-se luminárias com refletores de alumínio de alta pureza, com duas lâmpadas fluorescentes de dois níveis de potência, 32 e 16 W e reatores eletrônicos duplos (duas lâmpadas por reator). Como perdas de potência, considerou-se perdas de 7 W para lâmpadas de 32 e 16 W. O conjunto com lâmpadas de 32 W totaliza uma potência de 71 W e o conjunto de 16 W totaliza uma potência de 39 W (Tabela 4). As especificações técnicas de equipamentos de iluminação podem ser obtidas nas diretrizes do PRUEN (www.pruen.ufsc.br/diretrizes.htm).

Tabela 4 - Dados técnicos das lâmpadas adotadas no projeto de retrofit.

Equipamento	Potência * (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	IRC (%)	Temp. Cor (K)
KIT 32	32+7	2.700	75,0	85	4.000
KIT 16	16+7	1.200	62,0	85	4.000

(*) Potência = potência da lâmpada + perdas do reator.

3.3 Análise econômica

A proposta de retrofit foi analisada do ponto de vista econômico comparando as estimativas de custos mensais de consumo e demanda de energia elétrica do sistema atual com o projeto luminotécnico proposto. Estes custos são estimados através da aplicação das tarifas apresentadas na Tabela 2 nos horários em que o sistema é utilizado, de acordo com o padrão de uso da edificação para dias úteis e fins de semana. O custo de energia anual foi estimado como custo mensal vezes 12.

Com base no preço dos equipamentos e na economia anual proporcionada na conta de energia elétrica com a adoção do novo sistema, calcula-se o período de retorno do investimento (PRI), conforme a equação 1:

$$PRI = \frac{\text{CustoInvestimentoEstimado}}{\text{EconomiaAnualEstimada}} \quad (1)$$

4. RESULTADOS DO LEVANTAMENTO

4.1 Características do sistema de iluminação atual

Todas as salas da Biblioteca Central apresentam o mesmo tipo de sistema de iluminação artificial, reatores eletromagnéticos para lâmpadas fluorescentes tubulares de 58 W, bulbo 26 mm de diâmetro. As luminárias possuem refletores brancos e são suspensas em perfis metálicos a uma altura de cerca de 2,6 m do piso no andar térreo e 3,00 m no andar superior. Observa-se que as conexões dos interruptores e disjuntores não correspondem aos ambientes definidos na planta. Estes problemas de setorização dificultam o correto uso do sistema atual de iluminação.

A Tabela 5 apresenta um resumo geral da quantidade de luminárias instaladas inicialmente e utilizadas atualmente na Biblioteca Central, visto que algumas foram desativadas como medida para reduzir o consumo de energia elétrica. Tanto a potência instalada como a utilizada foram estimadas considerando perdas médias de 4 W para os reatores de lâmpadas fluorescentes de 58 W.

Tabela 5 - Resumo do levantamento de luminárias instaladas e usadas na Biblioteca.

Andar	Nº de Luminárias (2 x 58 W)		Potência estimada (kW)		Área (m ²)	Densidade potência (W/m ²)	
	Instaladas	Utilizadas	Instalada	Utilizada		Instalada	Utilizada
Térreo	973	682	116,76	81,84	4.708	24,80	17,38
Superior	1.189	629	142,68	75,48	4.708	30,31	16,03
Total	2.162	1.311	259,44	157,32	9.416	27,55	16,71

Constatou-se também que, de modo geral, todo o sistema de iluminação necessita manutenção, pois existem várias lâmpadas queimadas ou com fluxo luminoso visivelmente mais baixo, além de luminárias com refletores escurecidos e necessitando de limpeza.

4.2 Medições de carga e consumo de energia

Na medição das cargas para o mês de Outubro de 2003 (Figura 2) é possível observar o acionamento dos equipamentos e sistemas de iluminação artificial por volta das 8 horas, com desativação às 21 horas, completando um ciclo de 13 horas de funcionamento com uma demanda média de 250 kW nos dias de semana. Este comportamento se verifica no padrão de uso da edificação, ligando a maior parte dos equipamentos e sistema de iluminação desde o começo do expediente.

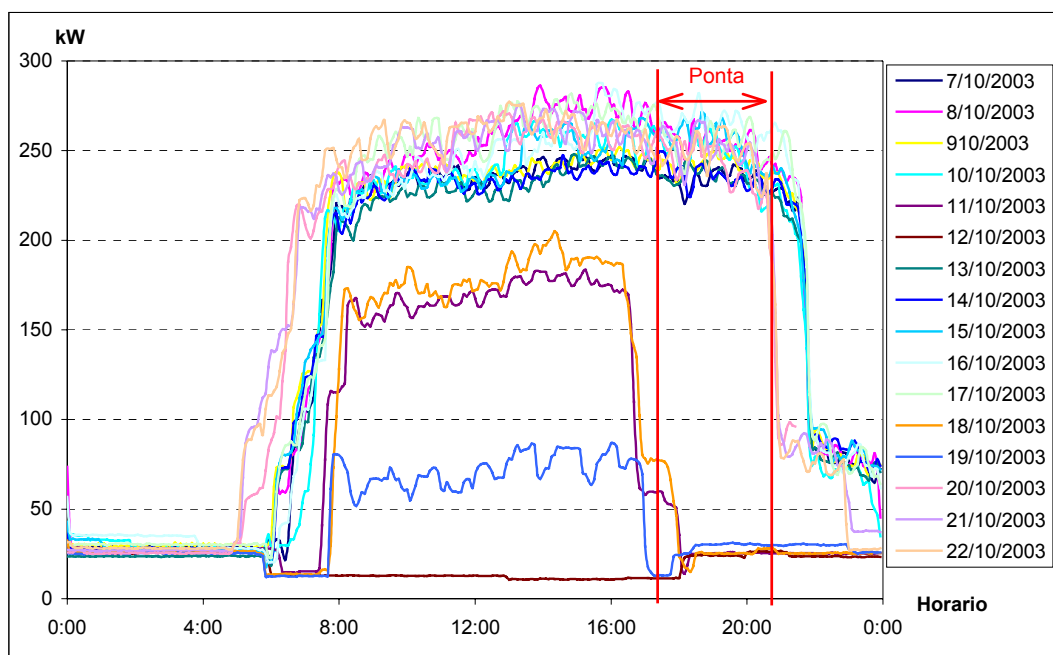


Figura 2. Curvas de cargas diárias para o mês de Outubro de 2003.

Considerando que a demanda média durante o período de funcionamento em Outubro de 2003 foi de 250 kW, a estimativa de potência utilizada atualmente para iluminação da Biblioteca Central – 157,32 kW – (Tabela 5), representaria 63 % desta demanda. Observa-se também que nos dias de semana é mantida uma demanda elevada (250 kW) no horário de ponta. O consumo durante o horário de ponta representa, em média, 15% do consumo de energia elétrica diária da BC.

O consumo mensal de energia elétrica estimado para o sistema de iluminação artificial é apresentado na Tabela 6, incluindo uma comparação entre o sistema instalado inicialmente e o sistema utilizado atualmente que considera várias luminárias desligadas (cerca de 40 %). De acordo com as medições apresentadas na Figura 2, estima-se que o consumo da BC naquele mês foi de 98.780 kWh. Assim, o consumo de iluminação representaria 47,7% do consumo total mensal da edificação. A partir das contas da Cidade Universitária para Outubro de 2003, estima-se que a Biblioteca Central representa 8% do consumo do campus e a partir das medições realizadas no mesmo período, o uso final em iluminação representa 53% do consumo mensal da edificação.

Tabela 6 - Consumo mensal de energia elétrica estimado para o sistema de iluminação da Biblioteca Central.

Andar	Potência estimada (kW)		Consumo mensal (kWh)	
	Instaladas	Utilizadas	Instalada	Utilizada
Térreo	116,8	81,8	34.217	23.983
Superior	142,7	75,5	43.645	23.089
Total	259,4	157,3	77.862	47.072

4.3 Níveis de iluminância

A iluminância média verificada para cada um dos ambientes analisados é apresentada na Tabela 7. Na mesma tabela também são apresentados os valores de iluminância adotados no projeto de retrofit segundo as diretrizes do PRUEN para os 4 tipos de ambientes. Observa-se que existe uma distribuição inadequada da iluminância entre os diferentes ambientes, sendo que o laboratório de informática e o corredor apresentam valores superiores aos definidos nas diretrizes, enquanto o ambiente de leitura e a sala de base de dados encontram-se por baixo dos níveis requeridos (24 e 12 % respectivamente).

Tabela 7 - Iluminância média para os ambientes analisados.

Sala	Densidade potência (W/m ²)	Iluminância média (lux)			
		Medida	Diretrizes	Diferença	
Lab. Informática	24,1	631	400	231	58%
Leitura	13,3	306	400	-94	-24%
Base de dados	13,6	351	400	-49	-12%
Corredor	10,7	184	150	34	23%

Verificou-se que também nas medições que os quatro ambientes não possuem uma distribuição uniforme dentro de cada um deles. Devido a uma estratégia de redução de consumo energético anterior, algumas luminárias foram desligadas da rede elétrica, mas este procedimento não seguiu nenhum critério de uniformidade, o que provocou uma desigualdade nos níveis de iluminância. A Figura 3 apresenta uma visualização das curvas isolux com a disposição dos níveis de iluminância no espaço de leitura.

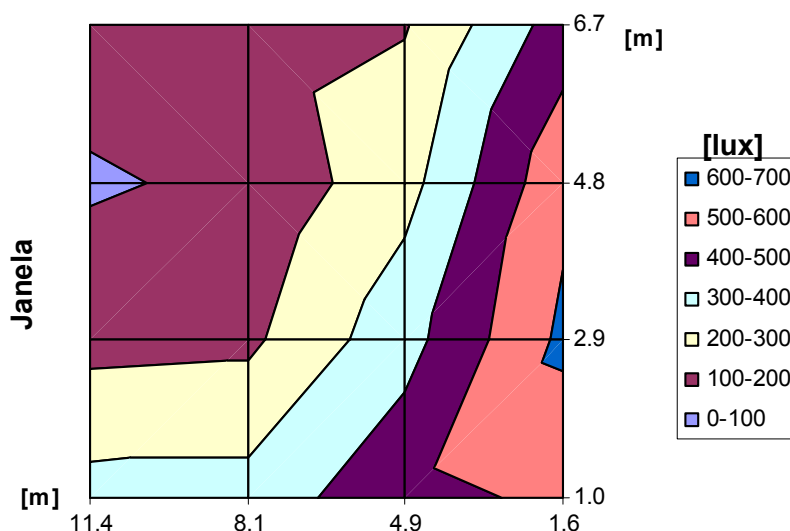


Figura 3. Curvas isolux medidas no sistema de iluminação artificial da área de leitura.

5. PROPOSTA DE RETROFIT

A Tabela 8 apresenta um resumo geral da quantidade de luminárias obtidas com o novo projeto do sistema de iluminação para os ambientes estudados. Apresenta-se também a potência estimada para o sistema e a redução obtida na potência instalada em cada andar. A potência total alcançada com o retrofit representa uma redução de 50 % em relação ao sistema utilizado atualmente.

No projeto luminotécnico foi considerado uma redistribuição da posição de todas as luminárias em cada ambiente e determinou-se a divisão dos circuitos de maneira que as fileiras de luminárias possam ser acionadas paralelamente as janelas, e de forma que as fileiras perimetrais sejam acionadas independentes das internas, possibilitando a economia de energia através do aproveitamento da luz natural com baixo custo de instalação.

Tabela 8 - Resumo do sistema de iluminação proposto para a Biblioteca Central.

Andar	Nº luminárias		Potência estimada (kW)	Densidade potência (W/m ²)	Redução (%)
	Kit 32 W	Kit 16 W			
Térreo	497	84	38,56	7,82	47%
Superior	503	98	39,54	6,04	52%
Total	1000	182	78,10	6,93	50%

6. ANALISE ECONÔMICA DA PROPOSTA

A partir do número de luminárias a utilizar tanto no projeto atual como no novo projeto luminotécnico, estimou-se o custo por consumo e demanda mensal com energia elétrica (Tabela 9). A estimativa mostra que a implementação da proposta de retrofit poderia diminuir os gastos com energia elétrica de iluminação em 45,9% comparado com o sistema usado atualmente. Neste sentido, destacam-se as economias obtidas dentro do consumo no horário de ponta (54% do total mensal).

Após o processo de licitação (Fevereiro de 2005), o preço de compra do kit de 32 W é R\$ 82,45 e o preço de compra do kit de 16 W é de R\$ 73,00. Para a instalação dos 1.000 kits de 32 W e dos 182 kits de 16 W, o valor de investimento na compra dos equipamentos é estimado em R\$ 95.736. Considerando uma economia anual aproximada de R\$ 95.407, o período de retorno do investimento é estimado em 1 ano.

Tabela 9 - Comparação de custo mensal de energia elétrica estimado para o sistema de iluminação atual e a proposta de retrofit.

	Custo consumo (R\$)			Custo demanda (R\$)	Total mensal (R\$)
	Ponta	Fora de Ponta	Total		
Sistema atual	7.605,14	5.275,71	12.880,85	1.813,90	14.694,75
Proposta retrofit	3.463,99	2.379,68	5.843,68	900,47	6.744,15
Diferença	4.141,15	2.896,02	7.037,17	913,43	7.950,60

7. CONCLUSÕES

A significativa redução (50%) da potência instalada no sistema de iluminação da Biblioteca Central facilita a implementação do novo projeto porque acelera a recuperação do investimento nos novos equipamentos eficientes (1 ano). O projeto de retrofit pode ser implementado por etapas para não alterar o funcionamento regular da biblioteca.

As curvas de demanda levantadas a partir das medições de carga sugerem que a divisão dos circuitos impede o uso adequado do sistema de iluminação - o que foi conferido através de entrevistas com os funcionários da Biblioteca -. Assim, é necessário verificar o uso regular do sistema de iluminação nos diferentes setores para detectar pontos de consumo desnecessários. Neste sentido é importante explicar a importância da setorização de circuitos e a integração com a luz natural para que o novo sistema seja utilizado corretamente.

Para manter os níveis de iluminância é necessário considerar uma limpeza das lâmpadas e luminárias periodicamente. Após o período que define o fator de depreciação (24 meses), pode ser necessária a substituição de lâmpadas e reatores desgastados.

Por último, cabe destacar a importância que este tipo de trabalho pode ter nas contas de energia elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. A metodologia adotada pode ser expandida para o Campus todo, realizando estudos de retrofit de outros prédios importantes como a Reitoria e o Hospital Universitário.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio financeiro deste trabalho

9. REFERÊNCIAS

- ABNT (1999). *Projeto 02:135.02-004: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, Brasil. 15 p.
- GISHI, E; LAMBERTS, R. (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. UFSC. Florianópolis, Brasil, 246 p.
- LABEEE (2003) *E2-ILUMINAÇÃO, versão 2.0. Análise energética de sistemas de iluminação interna (incluindo base de dados de equipamentos nacionais)*. UFSC, LabEEE, SEBRAE. Florianópolis, Brasil. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/edois/modulos.html>
- PRUEN (2003) *Diretrizes*. UFSC. Portaria N° 161 /GR/2003, Florianópolis, Brasil. Disponível em: <http://www.pruen.ufsc.br/diretrizes.htm>
- WESTPHAL, F. S.; MARINOSKI, D. L.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. (2002) *Proposta de retrofit para o sistema de iluminação artificial da UFSC*. IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Foz do Iguaçu, 7 a 10 de maio de 2002, Brasil. 10 p.