



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
Campus Universitário – Trindade
Florianópolis – SC – CEP 88040-900
Caixa Postal 476

LabEEE Laboratório de Eficiência Energética
em Edificações

<http://www.labeee.ufsc.br> | e-mail: energia@labeee.ufsc.br

Telefones: (48) 3331-5184 / 3331-5185

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO

Elaborado por: Eloir Carlos Gugel, Eng. Civil
Fernando Simon Westphal, Eng. Civil, M. Eng.

Florianópolis, maio de 2006.

1 INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta as considerações adotadas e os resultados obtidos através da análise de quatro sistemas de iluminação distintos. O objetivo da análise é comparar as alternativas através da verificação da potência requerida por cada sistema e do custo de implantação, operação e manutenção para manter o mesmo nível de iluminância, levando-se em consideração os seguintes itens:

- a) Dimensões das salas e, por conseqüência, sua área e o índice de ambiente (K);
- b) Refletância das superfícies: teto, parede e piso;
- c) Tipo de luminária, reator e lâmpada, com suas respectivas vidas úteis;
- d) Custo de instalação e manutenção para cada sistema estudado;

Foram consideradas quatro salas, com dimensões que possibilitassem a obtenção de índices de ambiente variando de 0,60 até 5,00. O ciclo de vida considerado no estudo é de 10 anos, com um padrão de uso de 3.000 horas anuais. Como os equipamentos têm vida útil diferenciada, tem-se um número diferente de substituições para cada sistema no que se referem às lâmpadas, todas fluorescentes tubulares. As lâmpadas de 28W apresentam uma vida útil de 16.000 horas, enquanto que as de 32W e 40W apresentam vida útil de 7.500 horas, segundo catálogos de fabricantes. Para este tempo de estudo não serão substituídas luminárias nem reatores, visto que a vida útil adotada para os mesmos é de 50.000 horas. As luminárias são fabricadas em chapas de aço e, quando apresentarem refletores, estes são em alumínio polido. Os reatores são do tipo eletrônico ou eletromagnético.

O custo de cada sistema foi obtido através de consulta aos fornecedores da região da Grande Florianópolis. Para a comparação entre os sistemas também foi efetuado o cálculo da relação custo-benefício (RCB) do sistema “A” em relação aos demais sistemas, segundo a metodologia da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

2 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS ADOTADOS

A Tabela 1 apresenta os sistemas adotados. Adotaram-se quatro tipos de sistemas, classificados como A, B, C e D, conforme a descrição da tabela. Para os cálculos foi considerando um fator de fluxo luminoso dos reatores igual a 1,00. A luminária do sistema “A” apresenta aletas em chapa de aço, com pintura eletrostática em epóxi pó na cor branca. A potência total indicada na tabela contempla o conjunto formado por duas lâmpadas e um reator relativo a cada sistema.

Tabela 1 – Descrição dos sistemas

EQUIPAMENTO	A - 28W – com refletor e aletas	B – 32W - com refletor	C – 32W – sem refletor	D – 40W – sem refletor
Luminária	2x28W com refletor e aletas de alumínio. Marca Indelpa. Modelo BNI 515	2x32W com refletor de alumínio. Marca Itaim. Modelo 2600	2x32W. Marca Itaim. Modelo 4010	2x40W. Marca Itaim. Modelo 4010
Lâmpada	28W. Marca Osram Modelo HE 28W/840, com fluxo luminoso de 2900 lumens	32W. Marca Osram. Modelo FO 32/840, com fluxo luminoso de 2700 lumens	32W. Marca Osram. Modelo FO 32/840, com fluxo luminoso de 2700 lumens	40W. Marca Philips. Modelo TLTRS40W-ELD-25, com fluxo luminoso de 2600 lumens
Reator	Eletrônico 2x28W. Marca Osram	Eletrônico 2x32W. Marca Osram	Eletromagnético 2x32W. Marca Philips	Eletromagnético 2x40W Marca Philips
Potência total (W)	62,0	70,0	76,5	95,0

As luminárias adotadas podem ser visualizadas na Figura 1.



Luminária do sistema A



Luminária do sistema B



Luminária dos sistemas C e D

Figura 1 – Luminárias adotadas para os sistemas

3 DESCRIÇÃO DOS AMBIENTES CONSIDERADOS

As dimensões do ambiente influenciam na potência instalada do sistema de iluminação, considerando-se o mesmo nível de iluminância. A Tabela 2 apresenta as dimensões dos ambientes considerados neste estudo.

Tabela 2 – Dimensões dos ambientes

	AMBIENTE 1	AMBIENTE 2	AMBIENTE 3	AMBIENTE 4
Comp. X largura (m)	3,00 x 2,20	6,60 x 6,00	16,00 x 13,60	21,00 x 21,00
Área (m ²)	6,60	39,60	217,52	441,00
Índice de ambiente (K)	0,60	1,50	3,50	5,00

Outro fator que influencia na potência instalada é a refletância das superfícies. Cada um dos ambientes foi testado com quatro condições de refletância de teto, parede e piso, nesta ordem, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Refletâncias adotadas

CONDIÇÃO	TETO (%)	PAREDE (%)	PISO (%)
70-50-10 (751)	70	50	10
70-30-10 (731)	70	30	10
50-50-10 (551)	50	50	10
50-30-10 (531)	50	30	10

4 COEFICIENTES DE UTILIZAÇÃO

Em função dos índices de ambiente, dos sistemas adotados e das refletâncias, foram obtidos nos catálogos dos fabricantes os coeficientes de utilização relativos a cada luminária, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de utilização para cada ambiente, sistema e refletância

AMBIENTES	751	731	551	531
SISTEMA A				
1 (K = 0,60)	0,47	0,44	0,47	0,43
2 (K = 1,50)	0,70	0,67	0,68	0,66
3 (K = 3,50)	0,77	0,76	0,76	0,74
4 (K = 5,00)	0,78	0,76	0,76	0,75
SISTEMA B				
1 (K = 0,60)	0,34	0,29	0,33	0,28
2 (K = 1,50)	0,58	0,53	0,56	0,52
3 (K = 3,50)	0,72	0,69	0,70	0,68
4 (K = 5,00)	0,75	0,73	0,73	0,72
SISTEMA C				
1 (K = 0,60)	0,33	0,27	0,21	0,25
2 (K = 1,50)	0,57	0,51	0,53	0,48
3 (K = 3,50)	0,74	0,7	0,69	0,66
4 (K = 5,00)	0,79	0,75	0,73	0,71
SISTEMA D				
1 (K = 0,60)	0,33	0,27	0,21	0,25
2 (K = 1,50)	0,57	0,51	0,53	0,48
3 (K = 3,50)	0,74	0,7	0,69	0,66
4 (K = 5,00)	0,79	0,75	0,73	0,71

5 CUSTOS

O estudo em questão contempla quatro sistemas distintos. Para uma análise econômica coerente adotou-se um quinto cenário com preços estimados em uma redução de valores que porventura venha a ocorrer em caso de aquisição de grandes quantidades de equipamentos. Esta situação verifica-se no caso do sistema com lâmpadas de 28W, cujo preço unitário referente a um conjunto completo (luminária + 2 lâmpadas + reatores) mostra-se muito elevado em relação a um conjunto completo dos outros sistemas adotados. Levando-se em consideração uma quantidade maior de conjuntos, o custo unitário para o sistema com lâmpadas de 28W reduz significativamente, viabilizando o uso deste sistema em comparação aos demais. Os preços reduzidos foram extraídos da proposta vencedora de licitação para reforma do sistema de iluminação do Edifício sede da Eletrosul em Florianópolis, conforme estudo de *retrofit* recentemente elaborado por este laboratório.

A Tabela 5 mostra os custos inerentes a cada sistema, contemplando também o cenário com os preços reduzidos do sistema de 28W, intitulado nesta tabela como “A – licit”. Os preços totais de cada sistema foram indexados ao valor do Custo Unitário Básico (CUB) para o mês de maio de 2006, obtido através de consulta ao Sindicato da Indústria de Construção Civil (SINDUSCON) da Grande Florianópolis. O valor fornecido pelo órgão é de R\$713,29, na modalidade salas e lojas.

Tabela 5 – Custos dos sistemas

EQUIPAMENTO	A	A – licit	B	C	D
Luminária (R\$)	257,00	56,69	93,90	15,00	15,00
Lâmpadas (R\$)	52,00	24,36	11,94	11,94	7,48
Reator (R\$)	46,00	46,31	34,70	34,70	34,70
TOTAL (R\$)	355,00	127,36	140,54	61,64	57,18
TOTAL (% CUB)	49,77	17,86	19,70	8,64	8,02

6 POTÊNCIA INSTALADA

Os sistemas adotados foram avaliados, juntamente com os ambientes para a obtenção de um índice contemplando a potência de cada sistema por m² necessária para o fornecimento de uma iluminância igual a 100lux, depois de decorridos 24 meses do início da utilização dos sistemas (E24meses), considerando-se um fator de manutenção igual a 0,80. A partir deste índice pode-se calcular a potência a ser instalada para qualquer iluminância desejada.

A Tabela 6 mostra a potência relativa a cada sistema, para cada 100lux de iluminância média proporcionada em cada ambiente e refletância. A título de comparação, para ambientes de escritório, a norma ANSI/ASHREA/IESNA Standard 90.1 2001 diferencia as salas em abertas (sem divisórias) e fechadas (com divisórias), sendo os valores de potência instalada fixados, respectivamente, em 14,00W/m² e 17,00W/m² para uma iluminância de 500lux, correspondendo, respectivamente, a 2,80W/m². 100lux e 3,40W/m² . 100lux, valores estes para projetos de iluminação eficiente.

Tabela 6 – Potência relativa a cada sistema (valores em W/m² . 100lux)

REFLET. 751	A - 28W ref al	B - 32W ref al	C - 32W sem ref	D - 40W sem ref
Ambiente 1 - K=0,60	2,84	4,77	5,37	6,92
Ambiente 2 - K=1,50	1,91	2,79	3,11	4,01
Ambiente 3 - K=3,50	1,74	2,27	2,39	3,09
Ambiente 4 - K=5,00	1,71	2,16	2,24	2,89
REFLET. 731				
Ambiente 1 - K=0,60	3,04	5,59	6,56	8,46
Ambiente 2 - K=1,50	1,99	3,06	3,47	4,48
Ambiente 3 - K=3,50	1,77	2,35	2,55	3,29
Ambiente 4 - K=5,00	1,76	2,22	2,36	3,04
REFLET. 551				
Ambiente 1 - K=0,60	2,84	4,91	5,71	7,37
Ambiente 2 - K=1,50	1,97	2,89	3,34	4,31
Ambiente 3 - K=3,50	1,76	2,31	2,57	3,31
Ambiente 4 - K=5,00	1,76	2,22	2,43	3,13
REFLET. 531				
Ambiente 1 - K=0,60	3,11	5,79	7,08	9,13
Ambiente 2 - K=1,50	2,02	3,12	3,69	4,76
Ambiente 3 - K=3,50	1,81	2,40	2,70	3,49
Ambiente 4 - K=5,00	1,78	2,25	2,49	3,22

A Figura 2 ilustra os valores, em W/m². 100lux, para todos os sistemas e ambientes estudados.

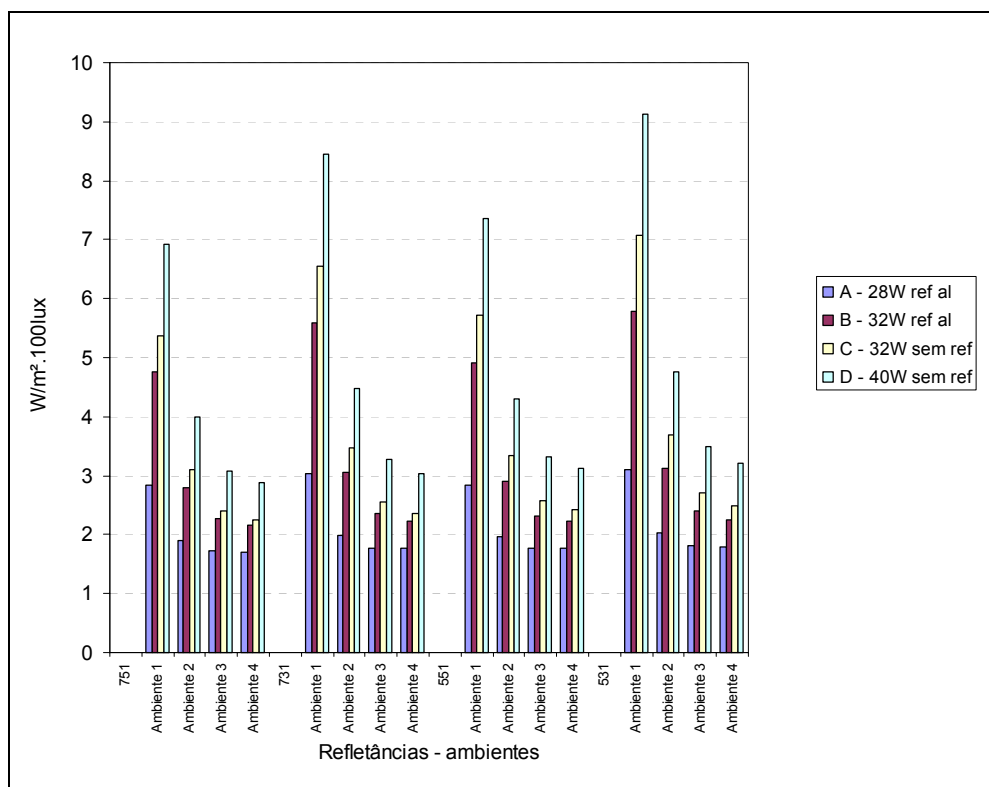


Figura 2 - Potência relativa a cada sistema.

Para todos os ambientes e todas as refletâncias estudadas, verifica-se que o sistema A é o mais eficiente, requerendo uma potência instalada por metro quadrado menor que os demais

sistemas para a obtenção de uma iluminância de 100lux. Na seqüência e em ordem crescente de potência instalada, têm-se os sistemas B, C e D.

Para uma melhor visualização do comportamento dos sistemas em relação ao índice de ambiente, um novo grupo de salas foi testado, considerando-se somente a refletância 751. Desta maneira, em onze ambientes, numerados de 5 até 15, foi determinada a potência instalada por unidade de área para o fornecimento de uma iluminância de 100lux no ambiente. A Tabela 7 mostra as dimensões dos ambientes e os coeficientes de utilização.

Tabela 7 – Dimensões dos ambientes para novo grupo de salas e índice de ambiente para refletância 751

AMBIENTE	COMP. x LARGURA (m)	ÁREA (m ²)	ÍNDICE DE AMBIENTE (K)
5	3,00 x 2,20	6,60	0,60
6	4,50 x 2,70	12,15	0,80
7	4,70 x 3,80	17,86	1,00
8	6,00 x 4,75	27,90	1,25
9	6,60 x 6,00	39,60	1,50
10	9,00 x 7,85	70,65	2,00
11	12,60 x 9,00	113,40	2,50
12	17,00 x 10,00	170,00	3,00
13	16,00 x 13,60	217,60	3,50
14	18,50 x 15,40	284,90	4,00
15	21,00 x 21,00	441,00	5,00

A Tabela 8 mostra a potência, em W/m² . 100lux, para cada ambiente do novo grupo de salas. Para todos os ambientes, a alternativa que contempla o sistema A é o mais eficiente, seguidos pelos sistemas B, C e D, nesta ordem, mostrando que para os vários valores de K estudados a tendência é a mesma.

Tabela 8 – Potência relativa a cada sistema para novo grupo de salas.

AMBIENTE	A - 28W ref al	B - 32W ref al	C - 32W sem ref	D - 40W sem ref
5	2,84	4,77	5,37	6,92
6	2,43	3,86	4,32	5,57
7	2,34	3,38	3,77	4,86
8	2,12	3,00	3,34	4,31
9	1,91	2,79	3,11	4,01
10	1,88	2,53	2,77	3,57
11	1,88	2,38	2,57	3,31
12	1,74	2,31	2,46	3,17
13	1,74	2,22	2,39	3,09
14	1,74	2,16	2,33	3,00
15	1,71	1,91	2,24	2,89

A Figura 3 também ilustra os valores, em $W/m^2 \cdot 100lux$, considerando-se os novos ambientes.

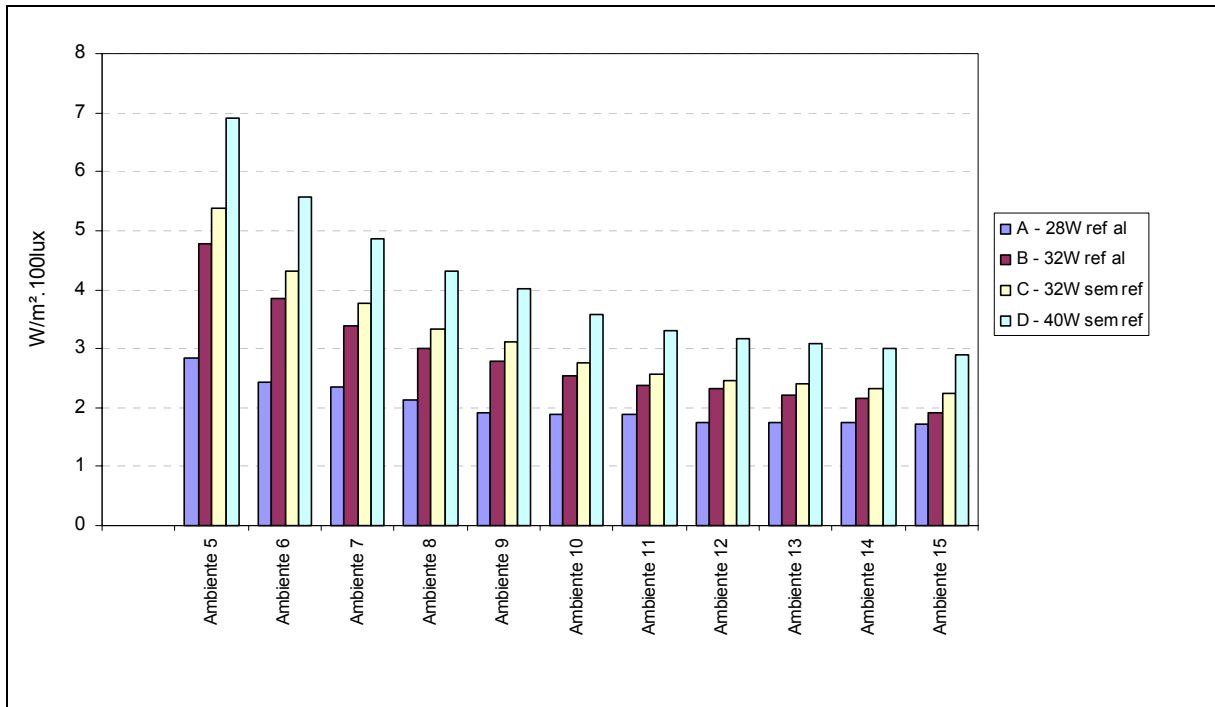


Figura 3 - Potência relativa a cada sistema para novo grupo de salas.

7 ANÁLISE ECONÔMICA

A análise econômica considera os custos de implantação, operação e manutenção dos sistemas. Desta maneira, foram somados os seguintes gastos:

- Aquisição dos conjuntos (luminária + 2 lâmpadas fluorescentes tubulares + reator);
- Custo com o consumo de energia elétrica;
- Substituição das lâmpadas após sua vida útil.

Os custos foram estimados levando-se em consideração o valor presente de cada item acima mencionado. A taxa de juros adotada é de 12% ao ano. O valor estimado por kWh foi fixado em R\$0,35. Este valor leva em consideração uma média de preços baseados nas tarifas atuais para consumo e demanda de edifícios com padrão de uso comercial, com fornecimento em alta tensão, modalidade horo-sazonal azul e subgrupo A4. O valor da aquisição dos conjuntos é aquele apresentado na Tabela 5. Para as substituições das lâmpadas, os valores são aqueles descritos na Tabela 9, considerando-se que haverá uma substituição regular das lâmpadas ao longo dos 10 anos.

Tabela 9 – Custo da substituição das lâmpadas (R\$/ano)

EQUIPAMENTO	A	A - licit	B	C	D
Lâmpada (X2)	9,75	4,57	4,48	4,48	2,81

A Tabela 10 mostra os custos totais, em reais, trazidos para o valor presente com taxa de 12% ao ano, contemplando os gastos acima mencionados, para a instalação de sistemas que forneçam uma iluminância de 500lux aos 24 meses de uso.

Tabela 10 – Custo de cada sistema (valores em R\$ / 500lux)

REFLET. 751	A - 28W ref al	A - licit	B - 32W ref al	C - 32W sem ref	D - 40W sem ref
Ambiente 1 - K=0,60	1.145,35	756,57	1.252,33	1.191,80	1.452,96
Ambiente 2 - K=1,50	4.614,11	3.047,90	4.404,74	4.139,94	5.047,13
Ambiente 3 - K=3,50	23.041,31	15.220,17	19.626,99	17.516,59	21.355,01
Ambiente 4 - K=5,00	46.114,20	30.461,20	37.934,12	33.264,86	40.554,20
REFLET. 731					
Ambiente 1 - K=0,60	1.223,44	808,15	1.468,25	1.456,65	1.775,84
Ambiente 2 - K=1,50	4.820,71	3.184,37	4.820,28	4.627,00	5.640,91
Ambiente 3 - K=3,50	23.499,08	15.420,43	20.338,12	18.650,76	22.737,71
Ambiente 4 - K=5,00	47.327,74	31.262,81	38.973,41	35.038,98	42.717,09
REFLET. 551					
Ambiente 1 - K=0,60	1.145,35	756,57	1.290,28	1.268,69	1.546,70
Ambiente 2 - K=1,50	4.749,82	3.137,54	4.562,05	4.452,39	5.428,05
Ambiente 3 - K=3,50	23.344,48	15.420,43	20.047,57	18.785,91	22.902,47
Ambiente 4 - K=5,00	47.327,74	31.262,81	38.973,41	35.998,95	43.887,43
REFLET. 531					
Ambiente 1 - K=0,60	1.251,89	826,95	1.520,68	1.573,18	1.917,91
Ambiente 2 - K=1,50	4.893,75	3.232,62	49.12,97	4.916,18	5.993,47
Ambiente 3 - K=3,50	23.975,42	15.837,20	20.790,07	19.789,73	24.126,27
Ambiente 4 - K=5,00	47.958,77	31.679,65	39.514,71	37.013,01	45.123,69

A Tabela 11 mostra os valores considerando-se a área de cada ambiente, mantendo-se o mesmo nível de iluminância.

Tabela 11 – Custo de cada sistema (valores em R\$ / 500lux. m²)

REFLET. 751	A - 28W ref al	A - licit	B - 32W ref al	C - 32W sem ref	D - 40W sem ref
Ambiente 1 - K=0,60	173,54	114,63	189,75	180,58	220,15
Ambiente 2 - K=1,50	116,52	76,97	111,23	104,54	127,45
Ambiente 3 - K=3,50	105,93	69,97	90,23	80,53	98,17
Ambiente 4 - K=5,00	104,57	69,07	86,02	75,43	91,96
REFLET. 731					
Ambiente 1 - K=0,60	185,37	122,45	222,46	220,70	269,07
Ambiente 2 - K=1,50	121,74	80,41	121,72	116,84	142,45
Ambiente 3 - K=3,50	108,03	70,89	93,50	85,74	104,53
Ambiente 4 - K=5,00	107,32	70,89	88,38	79,45	96,86
REFLET. 551					
Ambiente 1 - K=0,60	173,54	114,63	195,50	192,23	234,35
Ambiente 2 - K=1,50	119,94	79,23	115,20	112,43	137,07
Ambiente 3 - K=3,50	107,32	70,89	92,16	86,36	105,29
Ambiente 4 - K=5,00	107,32	70,89	88,38	81,63	99,52
REFLET. 531					
Ambiente 1 - K=0,60	189,68	125,30	230,41	238,36	290,59
Ambiente 2 - K=1,50	123,58	81,63	124,07	124,15	151,35
Ambiente 3 - K=3,50	110,22	72,81	95,58	90,98	110,92
Ambiente 4 - K=5,00	108,75	71,84	89,60	83,93	102,32

Verifica-se que o menor valor presente entre os sistemas é o que contempla as lâmpadas de 28W com os preços reduzidos (A – licit). A Figura 4 e a Figura 5 demonstram a afirmação para os ambientes 1 e 4. Levando-se em consideração os custos por metro quadrado e a refletância 751, nota-se que o segundo melhor colocação é ocupada pelo sistema C, embora este apresente valores muito próximos aos do sistema B.

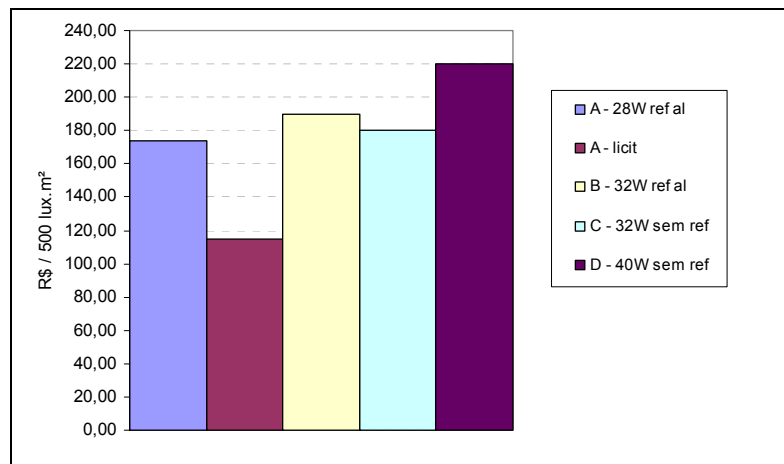


Figura 4 – Custo/m² dos sistemas para ambiente 1.

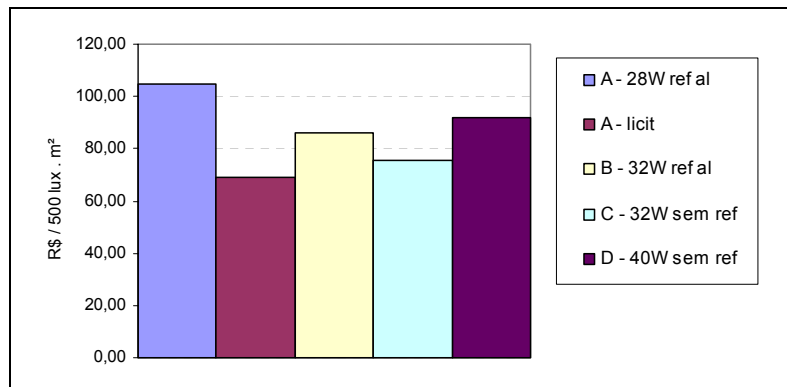


Figura 5 – Custo/m² dos sistemas para ambiente 4.

A relação custo-benefício (RCB) entre os sistemas é calculada comparando-se o sistema A com os demais. Para ser viável economicamente, a comparação deve resultar num RCB calculado menor do que 1,00. A taxa de juros considerada é de 12% ao ano. O cálculo contempla também a vida útil em anos, o Fator de Recuperação do Capital (FRC), o custo dos equipamentos (CPE), incluindo o custo proporcional com mão-de-obra, estimado neste estudo em R\$20,00 por luminária e o Custo Anualizado de cada equipamento (CAequip). A análise econômica foi desenvolvida considerando-se os custos unitários para a tarifa Horo-sazonal Azul cobrados pela concessionária local (CELESC), para o subgrupo A4. A Tabela 12 apresenta esses valores, sem a incidência do ICMS. A metodologia aplicada para os cálculos é aquela apresentada no Manual de conservação de Energia Elétrica da ANEEL.

Tabela 12 – Custos unitários cobrados pela CELESC.

CUSTO UNITÁRIO	(R\$)
C1 – demanda no horário de ponta (R\$/kW)	30,92
C2 – demanda fora do horário de ponta (R\$/kW)	9,05
C3 – energia no horário de ponta de períodos secos (R\$/MWh)	245,44
C4 – energia no horário de ponta de períodos úmidos (R\$/MWh)	221,68
C5 – energia fora do horário de ponta de períodos secos (R\$/MWh)	134,51
C6 – energia fora do horário de ponta de períodos úmidos (R\$/MWh)	119,81

Pode-se visualizar, na Tabela 13, um resumo geral com o cálculo da RCB para o fator k igual a 0,15; 0,20; 0,25 e 0,30; mostrando apenas os valores máximos de RCB, levando em

consideração as múltiplas opções de Fator de Carga. O estudo considera o padrão de uso de 3.000 horas anuais e pelo menos uma hora de uso no horário de ponta, bem como os custos de implantação do sistema A, de acordo com a quantidade de luminárias necessárias para a obtenção de um mesmo nível de iluminância em comparação aos demais sistemas.

Tabela 13 – Valores de RCB.

	A x B	A x C	A x D
AMBIENTE1			
k=0,15 a 0,30	0,36	0,31	0,13
AMBIENTE2			
k=0,15 a 0,30	0,23	0,17	0,13
AMBIENTE3			
k=0,15 a 0,30	0,32	0,24	0,18
AMBIENTE4			
k=0,15 a 0,25	0,48	0,38	0,26
k=0,30	0,48	0,38	0,27

8 CONCLUSÕES

Este estudo contemplou a comparação entre quatro sistemas de iluminação distintos. A análise foi elaborada levando-se em consideração a potência instalada e o custo de implantação, operação e manutenção de cada sistema, para manter o mesmo nível de iluminância. A análise da relação custo-benefício entre o sistema A e os demais serviu para a definição da viabilidade econômica da implantação do referido sistema.

Quanto à potência instalada, por unidade de área, requerida por cada sistema para o fornecimento de uma iluminância de 100lux, o sistema com lâmpadas de 28W se mostrou mais eficiente em relação aos demais. O uso de luminárias com refletor de alumínio polido e de reatores eletrônicos também influenciam na potência instalada, mostrando-se como alternativas mais eficientes em relação às luminárias sem refletores e utilização de reatores eletromagnéticos. Para todos os casos a opção com lâmpadas de 40W é a que se mostrou menos eficiente. O teste efetuado com diversas salas comprova a afirmação que o sistema A é o mais eficiente para todos os índices de ambiente testados.

Quanto ao aspecto financeiro, à alternativa que contempla o sistema de 28W com preços reduzidos mostrou-se, em todos os casos, a opção mais vantajosa. Na seqüência, o sistema C, composto por luminária sem refletor e lâmpada de 32W com reator eletromagnético ocupa a segunda colocação em termos de custos, com o sistema B na terceira colocação, apresentando valores próximos. Os sistemas de 28W (com preços de pauta, obtidos juntos aos fornecedores com relação à aquisição de pequenas quantidades de equipamentos) e 40W mostraram-se como as opções menos atraentes, alternando-se como pior caso em função também das dimensões do ambiente e condições de refletância.

O cálculo da relação custo-benefício, para todos os cenários de k e todos os fatores de carga considerados no projeto, resultou em valores abaixo de 1,00, indicando a viabilidade da implantação do sistema A em relação aos demais sistemas, desde que sejam adotados os custos referenciados neste estudo como “A-licit”, que indica uma redução nos preços unitários dos equipamentos referentes a este sistema.