

ANÁLISE COMPARATIVA DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO - VIABILIDADE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE LED

Nadya Kalache (UFMS)

nadyakalache@gmail.com

Saulo Gomes Moreira (UFMS)

saulo.moreira@ufms.br

RENATA MILANI ARAUJO (UFMS)

renata.engprod@hotmail.com

Bruna Helena Dias de Oliveira (UFMS)

bruninha_angel_@hotmail.com

Tainara Pereira do Prado (UFMS)

tainara.p.prado@hotmail.com



Os sistemas de iluminação são importantes componentes da matriz de consumo de energia elétrica de diversas instalações, sobretudo, instalações residenciais, comerciais e prédios públicos. Para os consumidores citados, metodologias que impliquem em uma melhor utilização da energia nos sistemas de iluminação são importantes para a redução dos custos com tal insumo. No presente trabalho, foi elaborado um estudo de viabilidade econômica baseado na projeção dos custos totais (instalação + custo operacional + custo com reposição) ao longo de um determinado período, comparando dois sistemas de iluminação distintos aplicados ao mesmo ambiente: sistema com lâmpadas fluorescentes compactas e sistema com lâmpadas LED. O objetivo foi verificar se atualmente é economicamente viável investir em uma tecnologia relativamente mais nova na implantação de sistemas de iluminação, no caso a tecnologia LED. Conforme as análises realizadas no estudo de caso, para um ambiente de 45 m² observou-se que apesar de ser tecnicamente viável a utilização da tecnologia LED, tal sistema não se mostrou economicamente atrativo.

Palavras-chaves: Energia, Iluminação, Eficiência Energética, LED

1. Introdução

As lâmpadas incandescentes foram utilizadas durante muitos anos principalmente em iluminação de interiores. No entanto, este é um método pouco eficaz, pois a maior parte da energia elétrica consumida é convertida em calor (aproximadamente 90%), e apenas uma reduzida parcela (8%) é convertida em luz visível (INEE, 2008). Este fato faz com que a comercialização destas lâmpadas esteja sendo abolida em alguns países (Philips, 2008).

A lâmpada fluorescente possui um princípio de funcionamento diferente das lâmpadas incandescentes. Ela é classificada entre as lâmpadas de descarga. Nas lâmpadas de descarga, a luz é produzida pela passagem da corrente elétrica em um gás ou mistura de gases contidos em um tubo. Isto acontece quando uma tensão elevada é aplicada em seus eletrodos, vencendo a rigidez dielétrica do meio gasoso, este processo é conhecido como ignição da lâmpada.

Em ambientes pequenos que necessitem de um consumo de energia reduzido, aconselha-se o uso das lâmpadas fluorescentes compactas, principalmente em aplicações residenciais. No entanto, em ambientes externos como parques, rodovias, estacionamentos e iluminação pública, o mais indicado é o uso de lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão.

No início dos anos 60, surgiram os Diodos Emissores de Luz (Light Emitting Diode, LED). O LED é um dispositivo semicondutor que tem como princípio de funcionamento a eletroluminescência, emitindo luz através da combinação de elétrons e lacunas em um material sólido (Sá Junior, 2007a). Possuem a característica de emitir luz em uma faixa específica do espectro visível, principalmente nas cores azul, verde, vermelho e branco e suas combinações. Também são encontrados LEDs operando na faixa de ultravioleta e infravermelho.

Primeiramente, eram utilizados em iluminação indicativa (indicando quando os equipamentos elétricos e eletrônicos estavam ligados), mas o desenvolvimento de LEDs mais potentes e com maior luminosidade tornou possível sua utilização em outras aplicações como semáforos, iluminação de emergência, lanternas e iluminação de ambientes (Bullough, 2003).

Atualmente, estes dispositivos apresentam maior eficácia luminosa agregada à longa vida útil comparados às lâmpadas fluorescentes (Cervi, 2005a). Além disso, o índice de reprodução de cores e a temperatura de cor são satisfatórios para o uso em iluminação de interiores. Sua discricção é outra vantagem na arquitetura por serem dispositivos de tamanho reduzido.

2. Objetivos

De forma geral, o objetivo deste trabalho é abordar o assunto iluminação sob o ponto de vista da utilização de energia elétrica.

Para tanto, será realizada uma revisão dos tipos de tecnologias mais utilizadas para construção de lâmpadas para sistemas de iluminação de ambientes, destacando as características que influenciam na qualidade destes sistemas, tais como: índices de reprodução de cor, fluxo luminoso e intensidade luminosa. Será realizada uma análise da tecnologia LED, de forma a destacar seus princípios de funcionamento, aspectos positivos e negativos.

Especificamente, pretende-se elaborar um estudo de viabilidade econômica baseado na projeção dos custos totais (instalação + custo operacional + custo com reposição) ao longo de um determinado período comparando dois sistemas de iluminação distintos aplicados ao mesmo ambiente: sistema com lâmpadas fluorescentes compactas e sistema com lâmpadas LED.

Desta forma, busca-se verificar se atualmente é economicamente viável investir em uma tecnologia relativamente mais nova na implantação de sistemas de iluminação, no caso a tecnologia LED.

3. Estado da arte

O avanço das pesquisas desde quando foram inventados na década de 1960 resultou em LEDs mais potentes e com maior eficiência luminosa tornando possível sua utilização em sinalizadores e iluminação decorativa. Desde então, os LEDs tem sido empregados principalmente em semáforos, iluminação de emergência, lanternas e iluminação decorativa.

O maior marco de sua evolução foi a descoberta do LED de luz branca, em 1995, pelo pesquisador japonês Shuji Nakamura, que nada mais é que o Led azul com uma camada de

fósforo. Esse material, em cima do semicondutor, converte a luz ultravioleta em luz branca. Sua temperatura de cor pode variar entre 2.700 K e 6.500 K. (GOEKING, 2009).

A iluminação com LEDs pode ser descrita como o terceiro estágio na evolução da lâmpada elétrica, sendo o primeiro representado pela lâmpada incandescente e o segundo pela fluorescente.

Segundo Chuang et al (2010), as lâmpadas de LED tem eficiência de 30% se comparada com as lâmpadas tradicionais e com muito espaço a melhorar. Ao contrário da fluorescente compacta, não possui mercúrio e não é fácil de quebrar e vida útil de 100.000 horas. Os LEDs para fonte de alimentação receberam grande atenção nos últimos anos devido às vantagens de peso, tamanho pequeno, economia de energia, alta eficiência luminosa e vida longa.

Koh et al (2011) desenvolveu um sistema de iluminação de baixa tensão DC com controle de intensidade de luz. Foram instalados um retrofit regulável com lâmpadas de LED em dois escritórios de teste, no qual introduziu um mecanismo de economia de energia para ajustar o nível de iluminação de acordo com a preferência dos usuários. Verificou-se que o sistema de iluminação de LED de baixa tensão DC possui desempenho lumens por watts muito superior aos sistemas tradicionais AC. Esse sistema de LED de baixa tensão proporcionou uma economia de energia de 44,2% em comparação com as lâmpadas fluorescentes comuns.

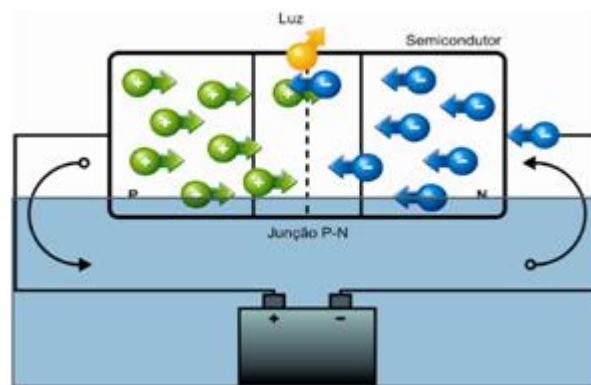
Os diodos de luz branca têm possibilitado a substituição das lâmpadas incandescentes e fluorescentes na iluminação residencial, industrial e comercial. Chuang et al (2010) construíram um protótipo com conversor flyback monofásico para um lâmpada de LED de 18W. O desempenho do aparelho alcançou um alto fator de potência, maior que 0,998 e uma baixa distorção harmônica (menor que 5%). Verificou-se através dos resultados experimentais a funcionalidade de todo o sistema, podendo ser aplicado nos sistemas de iluminação.

Kawasaki (2011) cita que alguns cuidados precisam ser observados ao especificar ou comprar LEDs para retrofit de instalações elétricas. Existe uma variedade de produtos no mercado brasileiro e ainda não se tem em vigor nenhuma norma ou recomendação para o uso de equipamentos de qualidade. Em um estudo de retrofit devem ser analisados a potência consumida, o fluxo luminoso, o preço e as características de temperatura e reprodução de cor para que a substituição seja compatível visualmente com a situação existente.

4. LED: Características e Aplicações

Os LEDs são semicondutores que emitem luz quando energizados. Em uma junção p-n polarizada diretamente, o lado p que contém em sua maioria lacunas (falta de elétrons) e o n essencialmente cargas negativas (excesso de elétrons), se movimentam de tal maneira que os elétrons movimentam-se num sentido e as lacunas em sentido contrário. Uma parte dessa energia é emitida na forma de calor e a outra em forma de fótons (BOYLESTAD, 2004). A figura 4.1 apresenta o processo de emissão de luz de um elétron.

Figura 4.1 – Processo de emissão de luz num LED



Fonte: (PINTO, 2008)

A combinação de diferentes materiais semicondutores utilizados na construção do LED influencia na produção de diferentes cores (comprimento de onda) e na eficiência do dispositivo. Pode-se citar as principais combinações: AlInGaP (fosforeto de alumínio-índio-gálio) que produz as cores vermelha e âmbar, e o InGaN (nitreto de índio-gálio) que emite as cores azul, verde e ciano (RANGEL, 2011).

A luz branca produzida pelos LEDs atuais possibilitou obter comprimentos de onda mais próximos do limite da visão humana. Basicamente existem três maneiras de produzir a luz branca nos LEDs.

A primeira técnica mistura as luzes de três fontes monocromáticas, a vermelha, verde e azul, processo conhecido como RGB, em inglês red, green e blue. A combinação destas cores produz uma fonte de luz branca sensível ao olho humano.

Na segunda utiliza-se de um LED ultravioleta (UV) que excita o fósforo, este está depositado no material semicondutor do LED ultravioleta. Com isto faz-se a conversão da luz UV para luz branca, semelhante a uma lâmpada fluorescente comum.

A terceira forma usa um LED azul para excitar o fósforo. Parte da luz azul emitida converte-se em amarela devido a presença do fósforo, assim a combinação da cor azul com a amarela produz a luz branca (SALES, 2011).

As lâmpadas de LED podem proporcionar uma economia de até 80% em relação às demais. Devido a sua elevada vida útil, variando-se de 20.000 a 50.000 horas e uma perda de fluxo luminoso de 30%, as lâmpadas requerem o mínimo de manutenção. Os fabricantes informam eficiências luminosas de até 110 lm/W.

Para LEDs brancos com temperatura de 3000 K, o índice de reprodução varia de 85 a 90. Tem a disponibilidade de temperatura de cor de 2.700 K a 8000 K, o que compatibiliza com as lâmpadas utilizadas em indústrias. As Lâmpadas de LED não irradiam comprimentos de onda ultravioletas e infravermelhos. É uma tecnologia ecológica, pois não se utilizam de mercúrio, chumbo e outros materiais que agredem o meio ambiente.

5. Análise Comparativa entre Lâmpadas de LED e Lâmpadas Tradicionais

Sales (2011) em seu estudo comparou entre os catálogos de 2010 dos fabricantes Sylvania, Osram, Ledmax, LLUM e Philips, encontrados nos sites dos fabricantes, as informações de IRC (Índice de reprodução de cores), eficiência luminosa, vida média e temperatura de cor. Como os dados variam de fabricante para fabricante, foi considerado os valores máximos e mínimos fornecidos nos catálogos. As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os resultados das comparações.

Tabela 5.1 – Comparativo entre índice de reprodução de cores (IRC), eficiência luminosa e vida média

FONTE LUMINOSA	IRC (%)	EFICIÊNCIA LUMINOSA (LM/W)	VIDA MÉDIA (HORAS)
Incandescente	100	10-15	750 - 1.000
Halógena	100	15-35	1.500 - 2.000
Fluorescente tubular	80-85	40-100	6.000 - 24.000
Fluorescente compacta	80	40-80	6.000 - 24.000
Vapor de mercúrio	40-55	45-58	9.000 – 15.000
Vapor de sódio	22	80 – 150	18.000 – 32.000
Vapor metálico	65 – 85	65 – 90	8.000 – 12.000
Indução	80 – 90	80 - 110	60.000
LED	70-95	35-130	25.000 - 100.000
LED tubular	85	33-97	50.000

Fonte: (Sales, 2011)

Tabela 5.2 – Comparativo para Temperatura de cor

FONTE LUMINOSA	2.700 K	3.000 K	3.500 K	4.100 K	5.000 K - 6.500 K
Incandescente	X				
Halógena		X			
Fluorescente tubular				X	X
Fluorescente compacta	X	X	X	X	X
LED	X	X	X	X	X
LED tubular					X

Fonte: (Sales, 2011)

Ao observar os dados na tabela 5.2, verifica-se que lâmpada de LED apresentou o menor valor de IRC, de 70%. Geralmente estas lâmpadas apresentam valores semelhantes a este quando são equivalentes as dicróicas, utilizadas para iluminação decorativa, é o caso da lâmpada MASTER LED Twist da Philips. Observa-se também que lâmpadas de LED têm uma eficiência luminosa de 130 lm/W e vida útil de 100.000 horas. A lâmpada de vapor de sódio apresenta eficiência de até 150 lm/W, tendo sua principal aplicação na iluminação pública. A tabela 5.2 mostra que as lâmpadas fluorescentes compactas e as de LED são as mais abrangentes no quesito temperatura de cor (Marteleto, 2011).

5.1. Iluminação de interiores

Iluminação de interiores é a instalação executada para iluminar artificialmente locais fechados, tais como residências, lojas, escritórios, galpões industriais, etc. Nos projetos de iluminação deve-se procurar (MOREIRA, 1999):

- Boas condições de visibilidade;
- Boa reprodução de cores;
- Economia de energia elétrica;
- Preço inicial compatível;
- Utilizar iluminação local de reforço;
- Combinar iluminação natural com artificial.

Na execução de um projeto de iluminação deve-se considerar alguns fatores.

Determinar o nível de iluminância do local de acordo com a atividade a ser desenvolvida no ambiente. Para isto, têm-se a norma brasileira NBR 5413/1992 – Iluminância de interiores, que serve para orientar o projetista quanto o valor correto a ser adotado. De acordo com a norma NBR 5413, a idade média dos ocupantes do recinto também influencia no valor da iluminância.

A distribuição das iluminâncias nos planos iluminados deve ser razoavelmente uniforme. O fator de uniformidade (a relação entre a menor e a maior iluminância obtida no local) mínimo está relacionado com a utilização a ser feita do local. Nas aplicações gerais de iluminação interior considera-se um fator superior a 0,33.

Deve-se evitar o ofuscamento, ou seja, a impressão de mal estar que o olho humano experimenta ao receber um fluxo luminoso de alta luminância. Também, deve-se ser criterioso na escolha das fontes de luz para que o ambiente não fique com as cores deformadas e a decoração prejudicada pela iluminação artificial. Quando se deseja uma boa reprodução de cores, utiliza-se de fontes de elevado índice de reprodução de cores (IRC).

Em instalações residenciais e comerciais a iluminação tem a função decorativa mais acentuada, enquanto que em escritórios, fábricas e locais de trabalho prioriza-se o máximo de funcionalidade. Na elaboração do projeto de iluminação deve-se avaliar a decoração do ambiente. As soluções são praticamente pessoais, em função do proprietário da casa, ou do arquiteto. A tabela 5.3 mostra os níveis de iluminâncias recomendados em residências.

Tabela 5.3 – Níveis de iluminação recomendadas para residências

LOCAL	ILUMINÂNCIA (LUX)
Sala de estar, dormitórios, quartos de banho (geral)	150
Cozinhas (fogão, mesa, pia) espelhos (penteadeira, banheiro).	250-500
Mínimo recomendados para ambientes não destinados a trabalho	100

Fonte: (NBR 5413, 1992)

Entre as lâmpadas mais para iluminação residencial, tem-se a incandescente, em razão do seu menor custo inicial, melhor produção de cores e maior versatilidade em caso de modificações no projeto de decoração. As incandescentes halógenas são mais utilizadas nas partes sociais e sofisticadas das residências, comumente na decoração. Já a fluorescente compacta é a opção às incandescentes, onde deseja-se maior economia de energia elétrica e menor manutenção (MOREIRA, 1999).

Vários fabricantes já dispõem no mercado lâmpadas de LED equivalente às utilizadas na iluminação residencial. Mota (2011) avaliou a viabilidade econômica da instalação de lâmpadas de LED em residências. Foram utilizadas duas plantas de um mesmo apartamento de 46 m², uma iluminada por lâmpadas convencionais e outra por LEDs. Os resultados mostraram que o custo inicial do investimento chega a ser 500% a mais do que um projeto convencional, o que faz com que o retorno financeiro seja em longo prazo. Porém, devido à economia das lâmpadas de LED ser em torno de 75%, em 18 anos (tempo de vida útil do LED) a economia poderia chegar até R\$ 7.000,00.

Conforme a popularização e os avanços tecnológicos os preços das lâmpadas de LED tende a reduzir. De acordo com o catálogo da fabricante *Philips* (2012) a lâmpada MASTER LED A60 substitui uma incandescente de 60 W, utilizando 12 W de potência e possui uma eficiência luminosa de 67 lm/W. Seu tempo de vida médio é de 25.000 horas.

Figura 5.1 – Lâmpadas de LED residenciais



MASTER LED PAR 38



MASTER LED A60

6. Estudo de caso

Com o intuito de analisar a viabilidade econômica na instalação de lâmpadas LED em substituição às lâmpadas mais utilizadas atualmente, foi realizada uma análise comparativa entre dois sistemas de iluminação distintos.

Considerou-se como ambiente de estudo, uma área retangular de 9,0 x 5,0 m com pé direito de 3,0 m. A altura do plano de trabalho considerada foi de 0,8 m. O fator de perda (fator de manutenção) utilizado foi de 0,85.

6.1. Cálculo luminotécnico

A metodologia de cálculo luminotécnico utilizada foi o Método dos Lúmens, técnica bastante utilizada para cálculos simplificados de sistemas de iluminação. Utilizou-se o *software Lumisoft* (versão 2010) da fabricante de luminárias *Lumicenter* para o cálculo da quantidade de luminárias necessárias para proporcionar um nível de iluminamento de 300 lux no ambiente analisado.

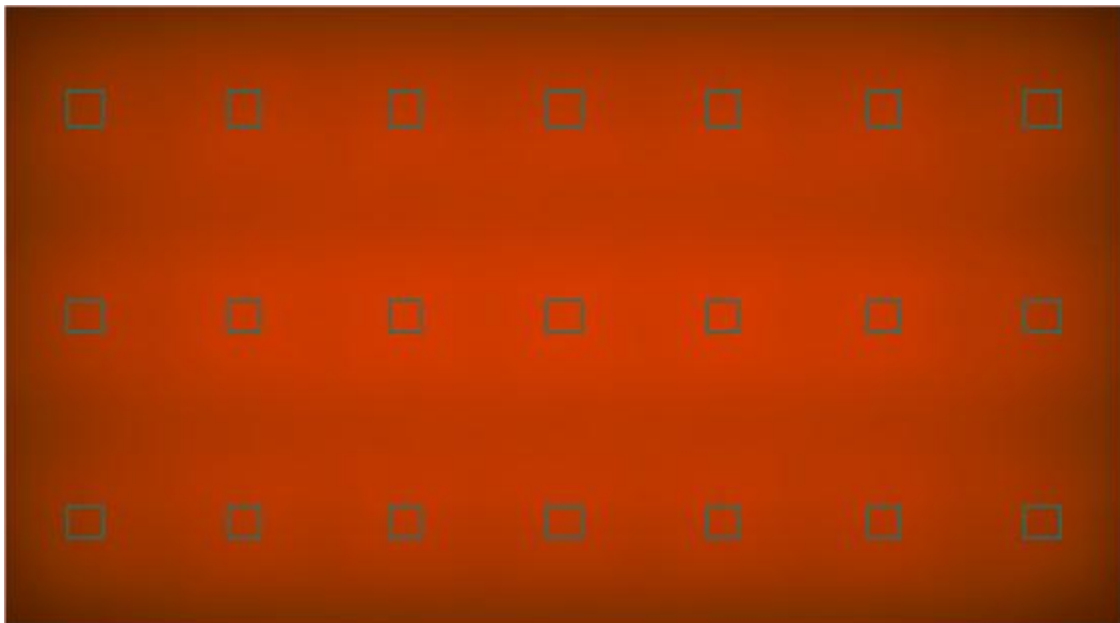
Inicialmente realizou-se o cálculo considerando a utilização de luminária de embutir no forro com lâmpada fluorescente compacta de 26 W, ilustrada na figura 6.1. Tal lâmpada produz um fluxo luminoso de 1800 lúmens. Dessa forma, essa lâmpada possui eficiência luminosa de 69 lm/W.

Figura 6.1 - Luminária cilíndrica de embutir



A figura 6.2 apresenta o resultado do cálculo luminotécnico utilizando a lâmpada fluorescente compacta de 26W.

Figura 6.2 – Tomografia simples de ambiente iluminado por lâmpadas fluorescentes compactas de 26 W (Iluminância média – 331 lux)



Verifica-se na figura 6.2 que foram necessárias 18 luminárias (distribuídas de forma matricial 6 x 3) com lâmpadas fluorescentes compactas de 26 W no ambiente analisado. Estas 18 luminárias proporcionam uma iluminância média de 331 lux na área considerada.

Posteriormente, realizou-se o cálculo luminotécnico considerando a utilização de lâmpadas LED do tipo globo de 12 W. Esse tipo de lâmpada, da fabricante *Stella Tech Led Technology*,

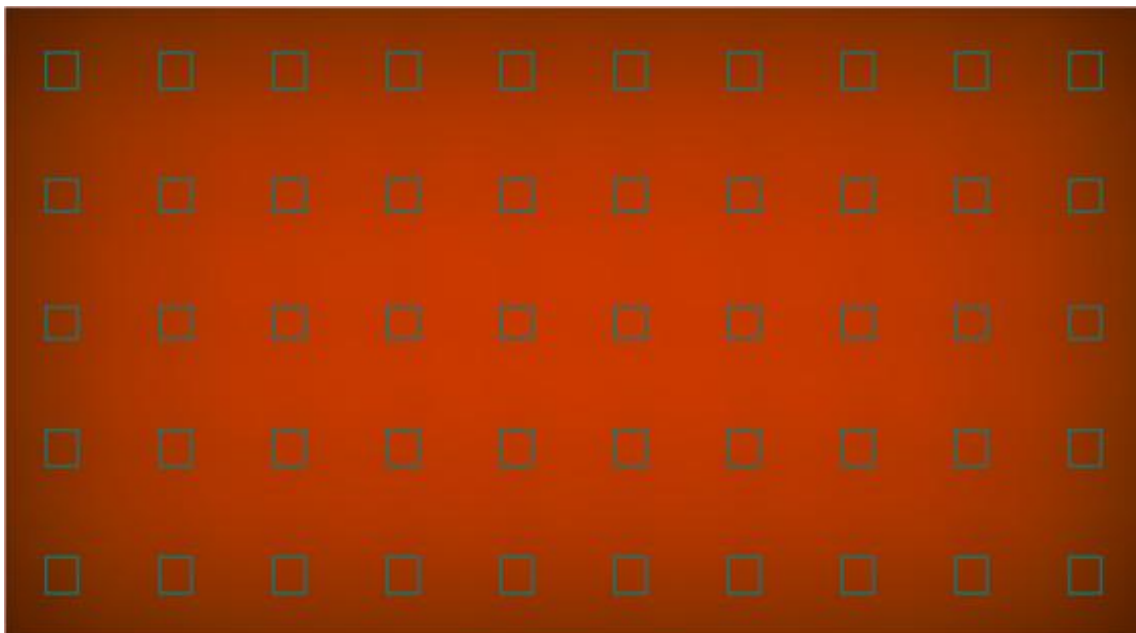
ilustrada na figura 6.3, emite um fluxo luminoso de 750 lúmens. Portanto, a eficiência luminosa dessa lâmpada LED é de 62,5 lm/W.

Figura 6.3 – Lâmpada LED 12W



A figura 6.4 apresenta o resultado do cálculo luminotécnico utilizando a lâmpada LED de 12W.

Figura 6.4 – Tomografia simples de ambiente iluminado por lâmpadas LED de 12 W
(Iluminância média – 331 lux)



Observa-se através da figura 6.4 que foram necessárias 50 luminárias (distribuídas de forma matricial 10 x 5) com lâmpadas LED de 12 W no ambiente de estudo. Estas 50 luminárias proporcionam uma iluminância média de 323 lux na área analisada.

6.2. Análise da viabilidade econômica

Conforme pôde ser observado no item anterior, a utilização de lâmpadas fluorescentes compactas de 26 W demanda que 18 luminárias com uma lâmpada desse tipo cada sejam instaladas no ambiente, enquanto que para proporcionar o mesmo nível de iluminação são necessárias 50 luminárias com lâmpadas LED de 12 W. O custo unitário de uma lâmpada fluorescente compacta de 26 W é de aproximadamente R\$ 10,00 (Dez Reais). Portanto, o custo de implantação da 1ª opção é de R\$ 180,00 (Cento e Oitenta Reais).

A lâmpada LED de 12 W tem um custo aproximado de R\$ 170,00 (Cento e Setenta Reais). Desta forma, o custo de implantação da 2ª opção é de R\$ 8.500,00 (Oito Mil e Quinhentos Reais).

Destaca-se que não foram considerados os custos da luminária, pois ambos seriam os mesmos tanto para a 1ª opção quanto para a 2ª e, portanto não influenciariam na análise de viabilidade econômica comparativa.

Considerando um cenário de utilização baseado em 4 horas de uso diário do sistema de iluminação e uma tarifa média de energia elétrica de R\$ 0,50 / kWh, pode-se calcular o custo operacional da 1ª e 2ª opção. Considerou-se também um ciclo mensal de 30 dias e um ciclo anual de 12 meses.

O Quadro 6.1 ilustra a comparação entre os custos operacionais anuais das opções analisadas.

Quadro 6.1 – Consumos e Custos Operacionais dos Sistemas de Iluminação

Opção	Lâmpada	Potência Unitária (W)	Quant.	Potência total (W)	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)	Consumo anual (kWh)	Custo operacional anual
-------	---------	-----------------------	--------	--------------------	----------------------	----------------------	---------------------	-------------------------

1	Fluor. Compacta	26	18	468	1,9	56	674	R\$ 336,96
2	LED	12	50	600	2,4	72	864	R\$ 432,00

De acordo com a análise do Quadro 6.1, verifica-se que o custo operacional do sistema utilizando lâmpadas fluorescentes compactas é 22% menor do que o custo do sistema configurado com lâmpadas LED.

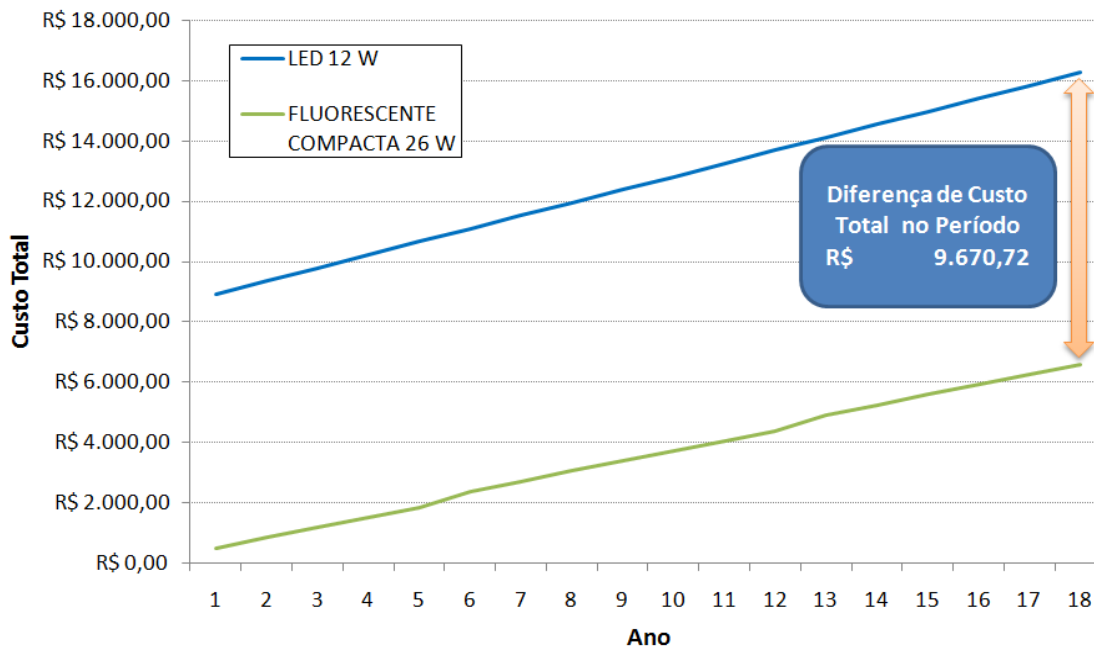
Além do custo inicial da instalação e do custo operacional, também deve ser considerado o custo com reposição das lâmpadas à medida que forem “queimando”. Neste aspecto, as lâmpadas LED se sobressaem positivamente em relação às lâmpadas fluorescentes compactas.

Enquanto as fluorescentes compactas de 26 W têm vida útil mediana de 10.000 horas (Referência: *Osram Dulux® Superstar Micro Twist*) as lâmpadas LED de 12 W têm vida útil de 30.000 horas, ou seja, o triplo da primeira.

Considerando essas vidas úteis supracitadas e o cenário de utilização do sistema de iluminação descrito anteriormente, a reposição (troca) das lâmpadas na 1ª opção seria entre o 6º e o 7º ano de funcionamento, enquanto que na 2ª opção seria entre o 20º e o 21º ano de instalação do sistema.

Com todos os custos envolvidos na implantação, operação e reposição dos sistemas já considerados, ilustra-se na figura 6.5 a projeção em um cenário de 18 anos dos custos totais para as duas opções analisadas.

Figura 6.5 – Custos totais dos sistemas de iluminação



Conforme pode ser observado na figura 6.5, ao longo de 18 anos a opção pela utilização de lâmpadas LED para iluminação do ambiente analisado representará um custo de R\$ 9.670,72 (Nove Mil Seiscentos e Setenta Reais e Setenta e Dois Centavos) superior à opção pela utilização de lâmpadas fluorescentes compactas.

Portanto, baseado na análise realizada, conclui-se que a utilização da tecnologia LED para iluminação de ambientes inteiros ainda não é economicamente atrativa. Essa afirmação se justifica devido aos altos custos das lâmpadas LED no mercado em relação às lâmpadas mais tradicionais como a fluorescente compacta.

Salienta-se também que a eficiência luminosa da lâmpada LED, em muitos casos, é similar à eficiência luminosa das lâmpadas fluorescentes compactas, o que não contribui para aumentar sua atratividade.

Ressalta-se, entretanto, que devido à vida útil das lâmpadas LED ser consideravelmente superior às fluorescentes compactas (três vezes maior no caso analisado) prevê-se que, futuramente, caso o custo destas primeiras tenda a ser reduzido, sua utilização para iluminação de ambientes poderá ser mais economicamente viável, condição que não se observa atualmente.

7. Conclusões

Os sistemas de iluminação por representarem parcela significativa nos custos com energia elétrica em diversos segmentos da economia, especialmente os setores comercial, residencial e órgãos públicos, devem ser foco de atenção nas análises relativas à otimização no uso da energia. Na iluminação residencial e comercial, a tecnologia LED, que em outros tempos era mais restrita às aplicações de sinalização e balizamento, aparece atualmente como uma alternativa de aplicação.

Conforme as análises realizadas no estudo de caso para um ambiente de 45 m², observou-se que apesar de ser tecnicamente viável a utilização da tecnologia LED, economicamente, tal sistema não se mostrou economicamente atrativo.

Contribuem para esta afirmação os altos custos das lâmpadas LED quando comparadas com as lâmpadas fluorescentes compactas. Na comparação realizada o investimento em lâmpadas LED para iluminar o ambiente de 45 m² analisado era de R\$ 8.500,00 (Oito Mil e Quinhentos Reais) enquanto que o investimento em lâmpadas fluorescentes compactas era de R\$ 180,00 (Cento e Oitenta Reais). As duas lâmpadas comparadas, LED de 12W e fluorescente compacta de 26 W, apresentam eficiência luminosa aproximadamente iguais.

Adicionalmente, verificou-se que a vida útil das lâmpadas LED hoje é o seu maior atrativo, sendo 3 vezes maior do que a fluorescente compacta.

Na projeção para 18 anos, o custo total (implantação + custo operacional + custo de reposição) do sistema LED foi R\$ 9.670,72 (Nove Mil Seiscentos e Setenta Reais e Setenta e Dois Centavos) superior à opção pela utilização de lâmpadas fluorescentes compactas.

Desta forma, conclui-se que a utilização da tecnologia LED para iluminação de ambientes inteiros ainda não é economicamente atrativa devido aos fatores e características citadas nos parágrafos anteriores.

Destaca-se que a análise foi baseada em um tipo de lâmpada comercial de uma potência específica. Estudos mais abrangentes, envolvendo vários modelos, podem criar melhores

condições de análise da viabilidade técnica e econômica da aplicação da tecnologia LED na iluminação.

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R.L.; NASHELSKY L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. ed. 8ª, Editora Prentice Hall, 2004.

BULLOUGH, J. D. **Lighting answers: LED Lighting Systems**. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute. Vol. 7, Issue 3, 2003.

CERVI, M. **Rede de iluminação semicondutora para aplicação automotiva**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CHUANG, Y. C.; Ke, Y. L.; CHUANG, H. S.; Hu, C. C. **Single-Stage Power-Factor-Correction Circuit with Flyback Converter to Drive LEDs for Lighting Applications**. Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), IEEE, 2010.

COPEL, **Manual de Iluminação Pública**. Disponível em: <<http://www.copel.com>>. Acesso em 28 de novembro de 2012.

COSTA, G. J. C. da; **Iluminação Econômica – Cálculo e Avaliação**. n, 3ª ed., Editora EDIPUCRS, 2005.

KOH, L.H.; Tan, Y.K.; Wang, Z.Z.; Tseng, K.J. **An energy-efficient low voltage DC grid powered smart LED lighting system**. IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, IEEE, 2011.

KAWASAKI, J. I. **Precauções no Retrofit com LEDs**. Portal o Setor Elétrico. Edição 65, Junho de 2011.

GOEKING, W. **Lâmpadas e LEDs**. Portal o Setor Elétrico. Edição 46, Novembro de 2009.

HARRIS, J. B. **Electric lamps, past and present**. IEE Engineers. IEEE Std 446-1995: recommended practice for emergency and standby power systems for industrial and commercial applications. 1995.

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética – Eficiência Energética – **Por que Desperdiçar Energia?** Disponível em <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em 3 de janeiro de 2013.

MOREIRA, Vinicius de Araujo, **Iluminação Elétrica**, 1ª ed., Editora EDGARD BLÜCHER, 1999.

MOTA, R. E., SILVA, T. A., GUEDE, J. R.A. **Análise da Viabilidade de Iluminação à LED's em Residências**. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

NISKIER, J. **Instalações elétricas**. 5ª ed., Editora LTC, 2008.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e Projetos**. Disponível em: <<http://www.osram.com.br>>
Acesso em 15 de novembro de 2012.

PINTO, R. A. **Projeto e Implementação de Lâmpada para Iluminação de Interiores Empregando Diodos Emissores de Luz (LEDS)**. Dissertação de Mestrado, UFSM, 2008.

RANGEL, M. G. SILVA, P. B., GUEDE, J. R. A. **LED - Iluminação de Estado Sólido**. XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2011.

SÁ JUNIOR, E. M. **Design of an electronic driver for LEDs**. In: 9º Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência, p. 341-345, 2007.

SALES, R. P. **LED, O Novo Paradigma da Iluminação Pública**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2011.