

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES POR LED EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO – UM ESTUDO DE CASO

Fernando Ernesto Ucker¹, Dhiéssica Cristina Ferreira Rezende Esteves², Leonardo Robson Rezende Esteves³, Letícia Chaves Fonseca Ucker⁴, Renan Krupok Matias⁵

¹ Prof. Doutor do Centro Universitário Araguaia-UniAraguaia, Campus Bueno, Goiânia - GO.

² Engenheira Ambiental pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC.

³ Engenheiro Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC.

⁴ Profa., Especialista, Engenheira Eletricista, Instituto Federal de Goiás - Campus Valparaíso de Goiás - GO.

⁵ Prof., Mestre, do Centro Universitário Araguaia - UniAraguaia, Campus Bueno, Goiânia - GO.

E-mail de contato: ferucker@gmail.com

Recebido em: 15/11/2023 – Aprovado em: 15/12/2023 – Publicado em: 30/12/2023
DOI: 10.18677/EnciBio_2023D3

RESUMO

As lâmpadas tubulares LED surgiram como alternativa à utilização das lâmpadas tubulares fluorescentes, oferecendo vantagens em relação às tecnologias anteriores, embora o seu custo ainda seja elevado. Nesse sentido, esse estudo teve o objetivo de avaliar a eficiência energética, econômica e ambiental da substituição de lâmpadas tubulares fluorescentes por lâmpadas tubulares LED, utilizando como estudo de caso uma instituição de ensino em Campos Belos de Goiás. Foram realizadas as seguintes etapas: revisão bibliográfica, visita técnica, levantamentos, orçamentos, cálculos e comparações entre os dois sistemas de iluminação. Constatou-se que as lâmpadas tubulares LED superaram em 21,80% a eficiência energética das lâmpadas tubulares fluorescentes. O custo de instalação do sistema LED resulta em economia de 7,27%, além de proporcionar uma economia de 43,75% no consumo de energia elétrica e de 35,17% no custo de substituições de equipamentos, em comparação ao sistema fluorescente. Em termos ambientais, as lâmpadas LED, que possuem maior vida útil, geram menor volume de resíduos, com a vantagem desses resíduos não serem perigosos, diferentemente das lâmpadas fluorescentes, que possuem mercúrio. Assim, o uso das lâmpadas tubulares LED em substituição às lâmpadas tubulares fluorescentes se mostrou viável diante dos aspectos analisados nesse estudo.

PALAVRAS-CHAVE: eficiência ambiental; eficiência energética; Lâmpadas LED.

ASSESSMENT OF THE ENERGY, ECONOMIC, AND ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF REPLACING FLUORESCENT LIGHTS WITH LEDS IN AN EDUCATIONAL INSTITUTION

ABSTRACT

LED tubular lamps have emerged as an alternative to the use of fluorescent tubular lamps, offering advantages over previous technologies, although their cost is still high. In this sense, this study had the objective of evaluating the energy, economic and environmental efficiency of the replacement of fluorescent tubular lamps by LED tubular lamps, using as a case study a teaching institution in Campos Belos de Goiás. The following steps were performed: literature review, technical visit, surveys, budgets, calculations and comparisons between the two lighting systems. It was verified that the LED tubular lamps exceed 21,80% the energy efficiency of the fluorescent tube lamps. The cost of installation of the LED system results in a saving of 7.27%, in addition to providing a saving of 43.75% in the consumption of electric energy and 35.17% in the cost of replacements of equipment, in comparison to the fluorescent system. In environmental terms, the LED lamps, which have longer life, generate less waste, with the advantage that such waste is not hazardous, unlike mercury-containing fluorescent bulbs. Thus, the use of LED tubular lamps instead of fluorescent tubular lamps proved to be viable in view of the aspects analyzed in this study.

KEYWORDS: Led lamps; energy efficiency; environmental efficiency.

INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico brasileiro, aliado ao aumento do poder aquisitivo da população, provocou o aumento do consumo de energia elétrica no País. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), a demanda por energia elétrica no Brasil crescerá 3,6% ao ano entre os anos de 2017 e 2026. Por isso, as ações que permitem a redução do consumo de energia elétrica, especialmente pelo uso de tecnologias de maior eficiência energética, têm se mostrado bem-vindas no atual cenário brasileiro, inclusive no segmento de iluminação, que até 2015 foi responsável por cerca de 20% do consumo de energia elétrica em todo o Brasil (ABILUX, 2015).

As lâmpadas com tecnologia LED (*Light Emitting Diode*, ou Diodo Emissor de Luz, em português) surgiram como uma alternativa às lâmpadas convencionais, por serem mais eficientes e possuírem maior vida útil. Embora venham se popularizando, as lâmpadas LED ainda possuem preço de venda muito superior ao das lâmpadas fluorescentes. Essas, por sua vez, ainda são muito utilizadas em instalações comerciais e institucionais, por possuírem baixo preço no mercado e eficiência reconhecidamente superior à das lâmpadas incandescentes e halógenas. Todavia, alguns estudos mostram que a substituição pela nova tecnologia (LED) pode se tornar economicamente viável, considerando o menor consumo de energia e a maior durabilidade do LED, o que contribui significativamente para o menor custo de manutenção do sistema.

Padilha *et al.* (2015), realizaram um estudo de caso em uma instituição de ensino do Estado de Santa Catarina, propondo a instalação de lâmpadas tubulares LED onde seriam instaladas lâmpadas tubulares fluorescentes. Em suas considerações, os autores afirmaram que esse investimento seria ambientalmente viável, pois os resíduos sólidos das lâmpadas LED não são contaminantes e, por

possuírem vida útil maior, as substituições de lâmpadas ocorreriam com menor frequência. Quanto ao aspecto econômico, concluíram que o investimento na nova tecnologia teria preço mais elevado, porém seria viável, apresentando um tempo de retorno entre dois e três anos.

Considerando que o preço das lâmpadas LED vem diminuindo gradativamente, espera-se que o custo de instalação dessa tecnologia esteja mais acessível. Nesse contexto, realizou-se esse estudo para avaliar a viabilidade da proposta de utilização de lâmpadas tubulares LED em uma instituição de ensino do município de Campos Belos de Goiás, onde se previa, inicialmente, a instalação de lâmpadas tubulares fluorescentes. Como se trata de uma construção nova, a viabilidade da adoção da nova tecnologia é potencialmente maior, uma vez que a iniciativa e as providências para a substituição foram tomadas antes da aquisição dos componentes do sistema de iluminação da instituição.

Gallego *et al.*, (2022) apontam a necessidade de se estudar a eficiência energética em todos os setores da sociedade. Para os autores, é crucial destacar que, principalmente as indústrias com maior consumo energético, por exemplo, têm maior potencial de economia; por esse motivo, a regulamentação energética deve fornecer incentivos adicionais enquadrados na eficiência energética, sem negligenciar organizações com menor consumo.

Constatou-se na literatura poucos trabalhos que pretendem analisar o ganho de eficiência energética por meio da troca de lâmpadas. Cabe citar alguns trabalhos, como o de Bier e Bassan (2015), que aborda as práticas sustentáveis de uma empresa, também Pontes e Giordano (2015), os quais levantam atitudes ecológicas adotadas por uma organização educacional, além de Fernandes e Santos (2018), tratando das práticas adotadas por uma corporação da área tecnológica. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a eficiência energética, econômica e ambiental da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED, utilizando como estudo de caso um projeto de iluminação implantado em uma instituição de ensino no município de Campos Belos de Goiás.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde ao espaço físico do novo *campus* do Instituto Federal Goiano, identificado na Figura 1. Esse empreendimento situa-se na cidade de Campos Belos, no norte do Estado de Goiás, cuja localização encontra-se identificada na Figura 2. A edificação foi escolhida para essa pesquisa por se tratar de uma importante obra de engenharia da região, sendo uma instituição pública de ensino com área construída considerável, a saber 4.151,22 m². A atividade predominante no local requer amplo uso de iluminação artificial, o que justifica o desenvolvimento desse estudo, voltado para a análise da viabilidade de se implantar uma tecnologia mais moderna no sistema de iluminação do *campus*.

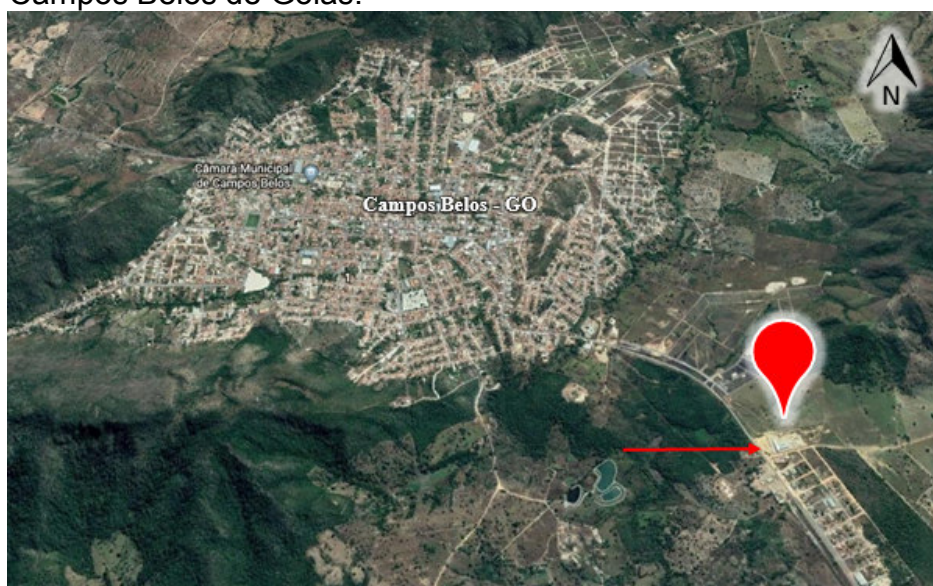
FIGURA 1. Construção do Instituto Federal Goiano em Campos Belos de Goiás.



Fonte: Instituto Federal Goiano (2023).

A metodologia utilizada iniciou-se com uma ampla revisão bibliográfica sobre o tema, com base em artigos científicos, livros e publicações técnicas, sites especializados e na legislação vigente, levantando-se informações relevantes que viessem a contribuir com o objetivo dessa pesquisa. Numa segunda etapa, realizou-se uma visita técnica à área de estudo, que foi acompanhada pelo engenheiro responsável pela construção do empreendimento. Durante essa visita fez-se um registro fotográfico e se obteve acesso aos projetos executivos da instituição, que possibilitaram a realização de levantamentos relativos aos ambientes que compõem a obra, suas respectivas áreas construídas e quantidade de pontos de iluminação projetados para cada espaço. Realizou-se também uma entrevista com o gerente de planejamento da instituição, obedecendo ao roteiro do Quadro 1.

FIGURA 2. Localização do empreendimento na cidade de Campos Belos de Goiás.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

QUADRO 1. Roteiro da entrevista

1) Frequência e duração das utilizações previstas para o auditório;
2) Horários de funcionamento e necessidade de iluminação artificial na biblioteca;
3) Horários de funcionamento, taxa de ocupação e necessidade de iluminação artificial nas salas de aula, salas administrativas, laboratórios, circulações e banheiros;

Numa etapa posterior, foram consultados três fornecedores de equipamentos de iluminação, que elaboraram os orçamentos de ambos os sistemas comparados. As características técnicas das lâmpadas, por sua vez, foram obtidas nos sites dos respectivos fabricantes. Para a determinar a diferença percentual entre a eficiência energética do sistema LED em relação ao sistema fluorescente, utilizou-se a seguinte fórmula, onde “EEL” corresponde à eficiência energética da lâmpada LED e “EEF” trata-se da eficiência energética da lâmpada fluorescente, ambas as informações dadas em *lúmens* por watt (Equação 1):

$$\Delta EE(\%) = (EEL - EEF) / (EEF) \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Na comparação entre o custo de instalação dos sistemas LED e fluorescente, multiplicou-se a quantidade de lâmpadas previstas no projeto elétrico pelo valor unitário obtido na cotação realizada com os fornecedores, obtendo-se o preço final de cada sistema em reais (R\$). No caso das lâmpadas fluorescentes, acrescentou-se o custo de um reator eletrônico para cada par de lâmpadas. Foram desprezados os custos de mão de obra, soquetes, cabos e luminárias, pois são custos idênticos em ambos os sistemas.

Para os cálculos seguintes, estimou-se o Tempo Mensal de Funcionamento das Lâmpadas (TMFL), dado pelo somatório do produto entre o tempo equivalente de utilização mensal de cada ambiente, em horas, e a quantidade de lâmpadas existente nesses ambientes. A quantidade de lâmpadas dos ambientes foi extraída do projeto elétrico, enquanto o tempo equivalente de funcionamento de cada ambiente foi obtido a partir da entrevista com o gerente de planejamento da instituição e correspondeu à soma mensal dos períodos previstos para utilização da iluminação dos espaços mencionados. Essas informações foram apresentadas em forma de quadros e tabelas, para melhor compreensão.

Para ambos os sistemas, o consumo mensal de energia elétrica, em KWh, foi calculado a partir da fórmula abaixo, onde o TMFL é dado em horas e a potência elétrica da lâmpada correspondente, em KW (Equação 2).

$$\text{Consumo (KWh)} = \text{TMFL} \times \text{Potência da Lâmpada} \quad (\text{Eq. 2})$$

Estimou-se, também, o custo médio de manutenção mensal de cada sistema, relacionado às substituições de lâmpadas e reatores, quando fosse o caso. Para isso, calculou-se a quantidade média de substituições mensais desses equipamentos, cujo resultado é dado pela divisão entre o TMFL e a vida útil média de cada equipamento, informada pelos seus fabricantes. No caso dos reatores, o tempo médio de utilização mensal corresponde à metade do TMFL, uma vez que cada reator atende duas lâmpadas simultaneamente. Então, as quantidades médias de substituições foram multiplicadas pelo custo unitário de cada equipamento, obtendo, assim, o custo mensal médio de manutenção de cada sistema.

Finalmente, realizou-se a tabulação dos dados obtidos, gerando as tabelas

e comparações que compuseram os resultados desse trabalho, proporcionando as análises e conclusões pertinentes, tornando possível a redação do presente artigo científico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Instituto Federal Goiano do município de Campos Belos de Goiás trata-se de uma instituição pública de ensino, que oferece cursos técnicos integrados ao ensino médio, cursos de graduação e pós-graduação, sendo uma construção muito relevante para a região em que está inserida, recebendo alunos do município de Campos Belos de Goiás e das cidades circunvizinhas, inclusive do sul do estado do Tocantins. O prédio possui 10 salas de aula, uma biblioteca aberta ao público, um auditório para cerca de 190 pessoas, vários laboratórios para aulas práticas, dentre outros espaços.

Inicialmente, o projeto elétrico desse empreendimento contemplava a instalação das tradicionais lâmpadas tubulares fluorescentes, mas optou-se pela utilização das lâmpadas tubulares LED, em busca de uma instalação mais eficiente. Então, para possibilitar esse estudo, a apresentação dos resultados iniciou-se com uma comparação entre as características técnicas das lâmpadas LED instaladas na instituição e das lâmpadas fluorescentes previstas no projeto inicial, cujas informações foram obtidas nos catálogos disponibilizados pelos fabricantes e transcritas no quadro 2.

No tocante à eficiência energética, observou-se que a lâmpada LED fornece 102,8 *lúmens* para cada *watt* consumido, enquanto a lâmpada fluorescente oferece 84,4 *lúmens* para cada *watt* consumido (Quadro 2). Nesse aspecto, para se obter uma iluminância equivalente, a utilização da lâmpada LED resulta em um ganho de eficiência energética da ordem de 21,80% em relação à lâmpada fluorescente, cujo cálculo foi feito a partir da Eq. 1. Deve-se observar que, ao manter a mesma quantidade de lâmpadas, a iluminância obtida com o sistema LED é menor, pois essas lâmpadas oferecem um fluxo luminoso inferior ao das lâmpadas fluorescentes comparadas no quadro 2. Então, caso se desejasse preservar a iluminância projetada, deveria ser feita uma compensação, aumentando a quantidade de lâmpadas LED. Todavia, a equipe de engenharia envolvida na construção desse empreendimento avaliou que, apesar de ser menor, a iluminância obtida atendia plenamente aos requisitos da norma NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) em todos os espaços do prédio, sendo que, nas áreas mais restritivas (salas de aula, laboratórios, salas de professores e biblioteca), a exigência mínima seria superada em 40%, aproximadamente.

QUADRO 2- Comparação das características das lâmpadas LED e fluorescentes.

Característica técnica	Lâmpada LED	Lâmpada fluorescente
Tensão	100 ~ 240 V (Bivolt)	220 V
Potência	18 W	32 W
Soquete	G13	G13
Bulbo	T8	T8
Comprimento nominal	120 cm	120 cm
Temperatura de cor	6.500 K	4.000 K
Fluxo luminoso	1850 lm	2700 lm
Eficiência energética	102,8 lm/W	84,4 lm/W
Índice de reprodução de cor (IRC)	IRC >80	IRC >80
Vida útil	25.000 horas	15.000 horas
Uso de reator	Não	Sim

Fonte: Adaptado de Osram (2013) e Alper (2019).

Assim, optou-se por manter a quantidade de lâmpadas do projeto original, a saber, 954 lâmpadas tubulares, distribuídas conforme a Tabela 1, as quais foram instaladas em 477 pontos de iluminação, ou seja, duas lâmpadas em cada ponto de iluminação.

Uma lâmpada incandescente converte apenas 8% da energia consumida em luz visível, de modo que a maior parte da energia é dissipada em forma de calor. Além disso, o filamento interno geralmente se rompe com cerca de 750 horas de uso, o que significa uma vida útil muito curta, em comparação com outros tipos de lâmpadas disponíveis no mercado. Embora tenham sido muito utilizadas durante muitos anos no Brasil, essas características de baixa eficiência energética e curta vida útil fizeram com que as lâmpadas incandescentes perdessem espaço para outras tecnologias de iluminação (SINGH; SADHU, 2019).

Segundo Rodrigues (2017) as lâmpadas fluorescentes são mais eficientes que as lâmpadas incandescentes convencionais, pois podem gerar economia de até 80% no consumo de energia elétrica, produzindo o mesmo fluxo luminoso. Contribui ainda o fato de que possuem maior vida útil e geram menos calor em sua utilização. Essas vantagens fazem com que as lâmpadas tubulares fluorescentes sejam muito utilizadas no Brasil, principalmente em instalações comerciais, industriais e institucionais, tais como escolas, hospitais, mercados, restaurantes, igrejas, repartições públicas, dentre outros. Nesse aspecto, Aguilar (2015) afirma que as lâmpadas fluorescentes se tornaram a principal fonte de iluminação do País, desde que foram criadas

TABELA 1. Quantidade de lâmpadas tubulares instaladas na instituição.

Ambiente	Total de luminárias	Total de lâmpadas
Auditório	37	74
Biblioteca	36	72
Guarita	4	8
Circulações	69	138
Laboratórios convencionais	60	120
Laboratórios especiais	48	96
Salas de aula	120	240
Salas administrativas	79	158
Sanitários	24	48
Total geral	477	954

Segundo Ferreira (2014) a grande quantidade de radiação ultravioleta (UV) emitida pelas lâmpadas fluorescentes é uma desvantagem que pode limitar suas condições de uso, pois a exposição prolongada aos raios UV pode provocar manchas na pele das pessoas e, até mesmo, causar alterações na pigmentação de obras de arte. Além disso, Gonçalves *et al.*, (2023) afirmam que faltam estudos sobre outros sintomas que a população brasileira possa apresentar em decorrência da exposição à radiação ultravioleta. Acredita-se, entretanto, que por residirem em um país de clima tropical, os brasileiros não são muito sensíveis aos raios ultravioletas quando comparados aos europeus, por exemplo.

Ressalta-se também que a lâmpada fluorescente é considerada um resíduo perigoso, conforme classificação da NBR 10.004 (ABNT, 2004) e, portanto, requer cuidados especiais em seu descarte, devido à presença de mercúrio em sua composição. Sabe-se que o mercúrio é um metal pesado e tóxico, altamente

poluente, que pode contaminar cursos hídricos, animais e plantas aquáticas, gerar riscos ao meio ambiente e prejudicar a saúde humana.

Em caso de inalação, o mercúrio causa intoxicação e problemas neurológicos e, quando volatilizado na atmosfera, pode provocar a ocorrência de chuvas contaminadas. Em eventual caso de quebra das lâmpadas fluorescentes, a área deve ser ventilada, as crianças e animais devem ser afastados do local e a remoção do material deve ser feita com o uso de máscara, luvas, vassoura e pá, evitando as chances de contato com o metal poluente. Recomenda-se que o descarte dos resíduos seja feito em garrafas plásticas descartáveis transparentes e sem rótulo, para facilitar a identificação do material. Havendo contato com roupas, essas devem ser inutilizadas (ECYCLE, 2013).

A despeito disso, é comum que as lâmpadas fluorescentes queimadas sejam descartadas de forma inadequada, principalmente pelo fato de que os responsáveis pelo descarte desconhecem os riscos envolvidos. Aguiar (2015) realizou um estudo de caso em que constatou que os colaboradores da empresa estudada, deliberadamente, quebravam as lâmpadas fluorescentes antes de descartá-las, o que se trata de um procedimento expressamente proibido, pois, assim, liberam os poluentes tóxicos no meio ambiente.

Outra desvantagem das lâmpadas tubulares fluorescentes se deve ao fato de que estas não são capazes de limitar a corrente elétrica em seu interior, de modo que se fossem ligadas diretamente à rede elétrica, as lâmpadas queimariam rapidamente devido ao excesso de corrente elétrica. Por isso, faz-se necessária a instalação de um reator para controlar a corrente, o que aumenta consideravelmente o custo do sistema, já que o preço dos reatores é muito superior ao preço das lâmpadas (PADILHA *et al.*, 2015).

Diante desse cenário, surgiram as lâmpadas de tecnologia LED, formadas por componentes eletrônicos semicondutores, que, submetidos à passagem de uma corrente elétrica, emitem luz visível. O funcionamento difere completamente das lâmpadas até então existentes, pois não utilizam descarga de gás, como as lâmpadas fluorescentes, tampouco possuem filamento, como nas lâmpadas incandescentes (SANTOS *et al.*, 2015). As características das lâmpadas LED fazem com que estas tenham maior resistência aos impactos, uma vez que os componentes não são facilmente danificados durante o manuseio, diferentemente das lâmpadas mais antigas. Além disso, possuem dimensões bastante reduzidas, aumentando as suas opções de utilização (SINGH; SADHU, 2019).

Quanto ao custo de instalação das lâmpadas, foram realizados orçamentos em três revendas de materiais elétricos da cidade de Goiânia- Goiás, nas mesmas condições de entrega e forma de pagamento, para que se pudesse comparar o custo de ambos os sistemas (LED e fluorescente). Sabe-se que, diferentemente das lâmpadas LED, as lâmpadas fluorescentes requerem a utilização de reatores, cujo custo também foi considerado no orçamento realizado. No caso em questão, seria necessário adquirir um reator para cada luminária, ou seja, um reator para cada par de lâmpadas fluorescentes, já que cada luminária possui duas lâmpadas.

Foram desprezados os custos relativos à mão de obra, cabos elétricos, luminárias e soquetes, pois esses custos são semelhantes nos dois sistemas, uma vez que as lâmpadas comparadas possuem o mesmo tamanho e podem ser instaladas nas mesmas luminárias. Os preços obtidos junto aos fornecedores encontram-se na Tabela 2, sendo que a última coluna da tabela contém o menor preço encontrado para cada item dentre os três fornecedores consultados. Comparando-se o menor preço do conjunto de lâmpadas fluorescentes e reatores

com o menor preço das lâmpadas LED, observou-se vantagem financeira de 7,27 % em favor da tecnologia LED, onde o total gasto com o sistema fluorescente seria de R\$ 18.507,60, e no sistema com tecnologia LED o valor total ficaria em R\$ 17.162,46.

TABELA 2. Orçamento de lâmpadas e reatores

Descrição	Fornecedor	Fornecedor B	Fornecedor C	Menor preço
	A			
	Valor (R\$)	Valor (R\$)	Valor (R\$)	Valor (R\$)
Lâmp. fluorescente 32W	8,40	12,50	10,90	8,40
Reator para 2 lâmp. 32W	23,87	22,00	32,50	22,00
Lâmpada tubular LED 18W	17,99	22,00	22,08	17,99
Descrição	Qtd.	Valor unit.	Valor total	
Lâmpada fluorescente 32W	954	R\$ 8,40	R\$ 8.013,60	
Reator para 2 lâmpadas de 32W	477	R\$ 22,00	R\$ 10.494,00	
Total do sistema fluorescente			R\$ 18.507,60	
Lâmpada LED 18W	954	R\$ 17,99	R\$ 17.162,46	
Total do sistema LED			R\$ 17.162,46	

A partir da entrevista com o gerente de planejamento do *campus*, estimou-se o tempo equivalente de utilização mensal da iluminação nos diversos ambientes, cujo resultado, quando multiplicado pelos respectivos números de lâmpadas em funcionamento, indicou que as lâmpadas da instituição funcionarão, em média 65.813 horas por mês, conforme a Tabela 3. Esse resultado representa cerca de 69 horas de funcionamento mensal para cada uma das 954 lâmpadas instaladas.

TABELA 3. Tempo Mensal de Funcionamento das Lâmpadas (TMFL).

Ambiente	Tempo equivalente de utilização mensal (horas)	Quantidade de lâmpadas	Horas x lâmpadas / mês
Auditório	17,6	74	1.302,4
Biblioteca	60,5	72	4.356,0
Guarita	180	8	1.440,0
Circulações	77	138	10.626,0
Laboratórios convencionais	8,8	120	1.056,0
Laboratórios especiais	26,4	96	2.534,4
Salas de aula	105,6	240	25.344,0
Salas administrativas	67,76	158	10.706,1
Sanitários	176	48	8.448,0
Total	719,66	954	65.812,9

Com as informações anteriores, calculou-se e comparou-se o consumo de energia mensal estimado para a iluminação com ambos os sistemas, conforme apresentado na Tabela 4. Nota-se que a economia mensal é da ordem de 921,4 KWh por mês, o que, em termos percentuais, representa uma economia de 43,75% no consumo de energia elétrica com iluminação interna da instituição.

TABELA 4. Comparação do consumo mensal de energia elétrica das lâmpadas analisadas.

Itens comparados	LED	Fluorescente
Tempo de Funcionamento (h)	65.813	65.813
Potência (kW)	0,018	0,032
Consumo (kW.h)	1184,6	2106,0

No que se refere ao custo de manutenção mensal com substituições de lâmpadas e reatores, estimou-se inicialmente a quantidade média de substituições mensais desses equipamentos, considerando a vida útil média informada pelos fabricantes e o tempo médio de utilização mensal estimado. No caso dos reatores, o tempo médio de utilização mensal corresponde à metade do tempo de utilização das lâmpadas, uma vez que cada reator atende duas lâmpadas simultaneamente. Então, as quantidades médias de substituições foram multiplicadas pelo custo unitário de cada equipamento, obtendo, assim, o custo mensal médio de manutenção de cada sistema, conforme mostrado na Tabela 5.

Sabe-se que esse custo é estimado e está sujeito a variações, pois a vida útil de um equipamento pode se alterar em função de outros fatores não contemplados nesse estudo. Além disso, o tempo médio de utilização também se tratou de uma estimativa realizada as alterações.

Quanto às substituições de equipamentos, espera-se que as primeiras trocas venham a ocorrer somente após seis meses de funcionamento, mas, para efeitos de cálculos e comparações, optou-se por estimar uma quantidade média mensal, razão pela qual as quantidades médias calculadas não são números inteiros. Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam que o sistema LED apresenta custo de manutenção mensal muito inferior ao do sistema fluorescente, resultando em economia mensal média de 35,17%, aproximadamente.

TABELA 5. Quantidade média de substituições mensais e custo mensal médio correspondente.

Item	Tempo de utilização mensal (h)	Vida útil (h)	Quantidade média de substituições mensais	Custo unitário (R\$)	Custo mensal médio (R\$)
Lâmpadas fluorescentes	65.813	15.000	4,39	R\$ 8,40	R\$ 36,85
Reatores	32.906,5	20.000	1,65	R\$ 22,00	R\$ 36,20
Total do sistema fluorescente					R\$ 73,05
Lâmpadas LED	65.813	25.000	2,63	R\$ 17,99	R\$ 47,36
Total do sistema LED					R\$ 47,36

Considerando que, anualmente, essa instituição de ensino tem um funcionamento pleno durante 10 meses e recesso de dois meses, estimou-se o volume anual de descartes de materiais de iluminação multiplicando as quantidades mensais da Tabela 5 por dez meses. Assim, concluiu-se que serão descartadas cerca de 26 lâmpadas tubulares LED por ano. Caso fosse utilizado o sistema de iluminação fluorescente, o descarte anual seria de 44 lâmpadas tubulares fluorescentes e 16 reatores eletrônicos.

Observou-se que, além de oferecer maior eficiência energética e resultar em economia financeira, a utilização de lâmpadas tubulares LED em substituição às

lâmpadas tubulares fluorescentes resultam em benefício ambiental por possibilitar um volume de resíduos descartados significativamente menor e, principalmente, por se tratar de resíduos menos impactantes ao meio ambiente. Ao mesmo tempo, reduzindo as substituições de lâmpadas, tem-se menor necessidade de novas aquisições e, conseqüentemente, o consumo de matéria-prima na fabricação de novas lâmpadas diminui.

Segundo Valentim *et al.*, (2020), cada lâmpada fluorescente tubular do tipo previsto nessa instituição possui cerca de 21mg de mercúrio em sua composição, logo, conclui-se que a utilização das lâmpadas LED, nesse caso, reduziria a destinação de aproximadamente 924 mg de mercúrio anualmente. Embora seja uma quantidade pequena, inferior a 1 (um) grama, deve-se considerar que se refere a apenas uma edificação.

A indisponibilidade de informações mais recentes dificultou uma análise precisa, todavia, os autores acima afirmam que, em todo o Brasil, apenas no ano de 2020, houve um descarte de 80 milhões de lâmpadas fluorescentes desse tipo, ou seja, aproximadamente 1,68 toneladas de mercúrio. Estima-se que apenas 3% desse total tenham sido descartados corretamente, enquanto 97% foram destinados ao lixo comum, representando alto risco de contaminação ao meio ambiente. Além disso, afirmam os autores, as lâmpadas fluorescentes possuem outros poluentes, como o chumbo, em quantidade considerável.

Já os resíduos das lâmpadas LED, por sua vez, trata-se de resíduos comuns. De acordo com a ECYCLE (2012), essas lâmpadas não possuem metais pesados em sua composição e 98% dos componentes podem ser reciclados, embora ainda existam poucas empresas fazendo a reciclagem desse material no País.

Assim, para Méndez-Rodríguez *et al.*, (2020) a gestão dos recursos naturais, especialmente os recursos energéticos, é um desafio para a sociedade atual. Por esse motivo, a eficiência energética é considerada ferramenta fundamental para promover o crescimento econômico, reduzir o consumo de recursos energéticos naturais e ajudar a resolver múltiplos impactos ambientais. Isso demanda o desenvolvimento de processos metodológicos, sociológicos e tecnológicos que permitam entender a eficiência energética a partir de uma perspectiva sistêmica.

CONCLUSÃO

Diante da análise efetuada sobre a eficiência energética, econômica e ambiental da substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED no Instituto Federal Goiano, campus de Campos Belos de Goiás, é possível afirmar que a adoção da tecnologia LED apresenta vantagens substanciais. Os resultados indicam uma melhoria significativa na eficiência energética, com uma economia mensal de aproximadamente 43,75% no consumo de energia elétrica em comparação ao sistema fluorescente. Além disso, a economia financeira é evidente, com um custo de manutenção mensal médio cerca de 35,17% inferior ao sistema fluorescente.

Outro ponto crucial é o impacto ambiental positivo. A utilização de lâmpadas LED não apenas reduz a quantidade de resíduos gerados, mas também minimiza a presença de substâncias tóxicas, como o mercúrio presente nas lâmpadas fluorescentes. A redução estimada de 924 mg de mercúrio anualmente destaca a importância da escolha da tecnologia LED em termos de sustentabilidade.

A continuidade desses estudos é crucial para aprimorar a compreensão sobre a transição para tecnologias de iluminação mais eficientes e sustentáveis,

garantindo benefícios tanto para o consumidor quanto para o meio ambiente. A pesquisa contínua é fundamental para manter atualizadas as informações e orientações no cenário dinâmico da eficiência energética.

REFERÊNCIAS

ABILUX – Associação Brasileira da Indústria de Iluminação. **Abilux aponta medidas para reduzir o consumo de energia**. São Paulo – SP, 2015.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.004 – **Resíduos Sólidos: Classificação**. Rio de Janeiro – RJ, 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ISO/CIE 8995-1 – Iluminação de ambientes de trabalho – parte 1: interior**. Rio de Janeiro – RJ, 2013.

AGUILAR, R. C. S. **Destino de lâmpadas fluorescentes pós-consumo: estudo de caso em um estabelecimento de Governador Valadares – MG**. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG). Governador Valadares – MG, 2015.

ALPER. **Led Tube – 80% mais econômicas que as lâmpadas tubulares tradicionais**. Disponível em <http://www.alper.com.br/led-tube/>. Acesso em: 23 out. 2023.

BIER, F.; BASSAN, D. S. Responsabilidade social e ambiental: um estudo de caso em uma empresa de tecnologia em Porto Alegre. **Colóquio**, v. 12, n. 1, p. 149-164, 2015. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/coloquio/article/view/226>. Acesso em: 23 out. 2023.

ECYCLE. **Lâmpadas LED podem ser recicladas?** 2012. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/49-lampadas/685-lampadas-led-podem-ser-recicladas.html>. Acesso em: 23 out. 2023.

ECYCLE. **Onde fazer o descarte de lâmpadas fluorescentes**. 2013. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/144-descarte-de-lampadas-fluorescentes>. Acesso em: 23 out. 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026)**. Rio de Janeiro – RJ, 2017.

FERNANDES, C. H. V.; DOS SANTOS, W.H. Economia verde: a importância das energias renováveis. **Prociências**, v. 1, n. 1, p. 62-73, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/prociencias/article/view/17471>. Acesso em: 23 out. 2023.

FERREIRA, J. Z. **Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes tubulares T8 e tubulares de LED**. Monografia de especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Curitiba – PR, 2014.

GALLEGO, J. D. B.; QUINTERO RÍOS, M.; GARCÍA, D. L.; CARVAJAL QUINTERO, S. X. Sistemas de gestión de la energía en la industria latinoamericana: caso de estudio Colombia. **Tecnológicas**, [S. l.], v. 25, n. 54, p. e2379, 2022. DOI:

10.22430/22565337.2379. Disponível em: <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2379>. Acesso em: 29 out. 2023.

GONÇALVES, J. J. M.; TOSIN, C. E.; CUNHA, M. D.; DALCANTON, F.; MELLO, J. M. M. Estudo de viabilidade para substituição de monitores com tecnologia CRT e LCD por LED. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 20, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.24021/raac.v20i1.6353>. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/acta/article/view/6353>. Acesso em: 26 out. 2023.

GOOGLE EARTH. **Imagem de satélite da cidade de Campos Belos de Goiás**. 2018. Disponível em <https://earth.google.com/web/@-13.04158968,-46.76254397,630.8375377a,7313.83202694d,35y,0.46454822h,32.11553233t,0r>. Acesso em: 23 out. 2023.

INSTITUTO FEDERAL GOIANO. **Álbum: Outubro de 2018 – IF Goiano – Campus Campos Belos**. 2018. Disponível em <https://www.flickr.com/photos/ifgoiano-campuscampos belos/albums/72157700570434372>. Acesso em: 23 out. 2023.

MÉNDEZ-RODRÍGUEZ, C.; RENGIFO-RODAS, C. F.; CORRALES-MUÑOZ, J. C.; FIGUEROA-CASAS, A. Systematic review of energy efficiency (E.E.). Basis for an alternative vision of E.E. in Colombia. **Revista Scientia et Technica**, v. 25, n. 2, p. 329–336, Jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.22517/23447214.24449>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/344444805_Systematic_review_of_Energy_Efficiency_EE_Basis_for_an_alternative_vision_of_EE_in_Colombia. Acesso em: 29 out. 2023.

OSRAM. **Catálogo Geral 2013**. Disponível em <http://www.alceletrica.com.br/pdf/Osram%20catlogo-geral-2013---sistemas-eletrnicos.pdf>. Acesso em: 23 out. 2023.

PADILHA, M.; JUNG, F.; RODRIGUES, E. **Estudo comparativo entre lâmpadas fluorescentes e LED aplicado no IFG – Câmpus Luzerna**. VIII MICTI – Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar. IFC. Santa Rosa do Sul – SC, 2015.

PONTES, F. N.; GIORDANO, F. Práticas de TI verde em uma empresa educacional para fomentar a responsabilidade socioambiental. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 4, n. 2, p. 118-126, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/geas/article/view/9973>. Acesso em: 23 out. 2023.

RODRIGUES, S. F. **Substituição de lâmpadas fluorescentes por LEDs em uma instituição de ensino: uma preocupação ambiental, energética e econômica**. Dissertação de Mestrado. Universidade Brasil. Fernandópolis – SP, 2017.

SANTOS, T. S.; BATISTA, M.C.; POZZA, S.A.; ROSSI, F.S.; Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro – RJ, v.20 n.4, out./dez. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/gZgg9y4kV5RrgK8Mv6J9YNh/>. Acesso em: 23 out. 2023.

SINGH, P.; SADHU, A. Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling. **Sustainable Cities and Society.**, v. 49, p. 101603, 2019, DOI.1016/J.SCS.2019.101603. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718319978>. Acesso em: 23 out. 2023.

VALENTIM, A. A.; FERREIRA, H. S.; COLETTI, M. A. Lâmpadas de LED: Impacto no consumo e fator de potência. **Revista Ciências do Ambiente On-Line.** UNICAMP, v. 6, n. 1, jun. 2020. Disponível em: <https://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/222/168>. Acesso em: 23 out. 2023.