ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE SALAS DE AULA EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA[1]

PIETRO. L. W. , Universidade Estadual de Londrina; BALVEDI. N. M. W. , Universidade Estadual de Londrina, email: nadiabalvedi@gmail.com; GIGLIO. T. G. F. , Universidade Estadual de Londrina, email: thalita@uel.br

ABSTRACT

The reduction of energy consumption in public buildings through energy efficiency actions in the lighting system is the object of study in several works. This paper analyzes the impact on energy consumption and economic viability of energy efficiency proposals for the classroom lighting system of State University of Londrina. Computational simulations were performed using DIALux and DIVA-for-Rhino software, for the design of the lighting project, and to analyze the use of natural light in the artificial lighting system. The final proposal uses luminaires with integrated LED boards and light sensors in the luminaires near the window, and resulted in areduction of 75% energy consumption. The energy savings would be R$ 13,820.00 / year, applying the same proposal in another 12 rooms similar to the room analyzed.

***Keywords**: energy efficiency, computer simulation, natural lighting, DIALux, DIVA.*

1 INTRODUÇÃO

Em 2015 no Brasil, a oferta interna de energia elétrica para o país foi de 615 TWh sendo que cerca de 7% deste montante foi consumido por edifícios públicos (EPE, 2016). A iluminação artificial é um dos usos finais de grande representatividade. De acordo com estudos de Zanin et al (2015); Westphal, Ghisi e Lamberts (1996) e Segatto e Kurata (2016), ações no sistema de iluminação podem proporcionar significativa economia de energia. Dentre as ações de eficiência energética relativas ao sistema de iluminação, tem-se a modernização dos equipamentos, os quais podem gerar economia de energia elétrica, assim como a integração do sistema artificial de iluminação com o sistema de iluminação natural (LAMBERTS; DUTRA, PEREIRA, 2014).

Deste modo, este trabalho tem como objetivo propor soluções de eficiência energética para o sistema de iluminação das salas de aulas do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, e analisar a viabilidade econômica das soluções propostas.

2 MÉTODO

2.1 Caracterização do ambiente

A sala de aula está localizada no piso intermediário do Centro de Tecnologia e Urbanismo no campus da Universidade Estadual de Londrina. A Figura 1

[1] PRIETO. L. W., BALVEDI. N. M. W, GIGLIO. T. G. F. Análise de Soluções de Eficiência Energética para o Sistema de Iluminação de Salas de Aula em Edificação Pública. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2018.

mostra a fachada norte com destaque para a sala analisada.

Figura 1 – Fachada norte da sala escolhida



Fonte: Google Maps

A sala de aula possui 72,96 m² de área com capacidade para 40 lugares. O sistema de iluminação é formado por 32 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40W cada, dispostas em 8 luminárias simples, sem aletas refletoras ou dispositivos antiofuscamento. As aberturas para ventilação e iluminação natural apresentam dispositivo de sombreamento formado por brises horizontais. O resumo das características da sala encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Características da sala

Elementos	**Características**
Dimensões	7,60 x 9,60 m
Área	72,96 m²
Pé direito	3,35 m
Orientação	Norte
Piso	Granilite cor cinza
Paredes	Cor branca
Teto	Cor branca
Carteiras	40 carteiras de cor branca
Quadro negro	Cor verde musgo
Janelas	Maxim-ar metálica, vidro transparente com 3,0 mm de espessura
Proteção solar	Brise-soleil de 1,50 m em placa cimentícia a 26°
Luminárias	08 luminárias
Lâmpadas	32 lâmpadas fluorescentes tubulares de 40 W

Fonte: Autor

2.2 Modelagem e calibração do sistema de iluminação

A sala de aula inicialmente foi modelada no *software* DIALux. A Figura 2 apresenta em (a) a imagem real da sala de aula, e em (b) a imagem da sala modelada no *software*.

Figura 2 – (a) Imagem real da sala de aula (b) Perspectiva da sala modelada no DIALux



(a)



(b)

Fonte: Autores

Após a primeira modelagem, foi analisado se a iluminância fornecida pelo software está de acordo com a condição real, visando calibrar a ferramenta de simulação. Para que não houvesse interferência da luz natural, a medição foi realizada às 20:00, com um luxímetro posicionado no plano de trabalho. Os pontos de medição foram determinados por uma malha, segundo o método estabelecido pela NBR ISO/CIE 8995-1, sendo a iluminância média a média aritmética da leitura de todos os pontos.

Após análise comparativa entre a iluminância fornecida pelo software DIALux e a iluminância real medida, os dados de entrada da modelagem foram calibrados através do ajuste das refletâncias de piso, parede e teto. A simulação foi realizada com o plano de uso na altura de 75 cm e um nível de depreciação de 0,67, ambiente de sala limpa.

2.1 Ajuste da linha de base

Para determinar a economia de energia, definiu-se uma linha de base de referência de consumo, a qual, de acordo com PROPEE (ANEEL, 2013) deve atender ao nível de iluminância média definida na NBR ISO/CIE 8995 1 (2013).

De acordo com a norma, salas de aula de "construções educacionais" devem apresentar Iluminância mantida na superfície do plano de tarefa de 500 lux. Assim, a linha de base foi ajustada utilizando o software DIALux, alterando o sistema de iluminação artificial para atender à iluminância média de 500 lux e ser a referência de consumo de energia para o estudo.

2.4 Propostas de eficiência energética

Após calibração e obtenção da linha de base de referência neste estudo, foram realizadas três propostas de eficiência energética. A primeira constitui de lâmpadas de LED tubular de 18 W e luminosidade de 1600 lumens, e luminárias compostas por duas lâmpadas, aletas e refletores de alumínio. Este padrão de sistema de iluminação vem sendo adotado pela instituição em substituição ao sistema antigo, porém mantendo a mesma quantidade de luminárias do sistema antigo. A segunda proposta consiste em luminárias com placas de LED integradas, aletas e refletores em alumínio, potência de 37 W e luminosidade de 3670 lumens. A proposta 3 incorpora a proposta 2 e busca o aproveitamento da luz natural, empregando sensores de luminosidade. Para esta análise, uma nova modelagem foi feita utilizando-se o *software*

Rhinoceros 5.0.

Foi inserido um arquivo climático da cidade de São Paulo/SP, com condições climáticas semelhantes às da cidade analisada. As análises do desempenho da iluminação natural foram feitas a partir da simulação dinâmica da autonomia da luz natural do dia (ALN), a qual fornece os valores de iluminância em um determinado ponto analisado, posicionado onde o sensor de luminosidade da luminária será instalado.

2.5 Consumo e Viabilidade econômica

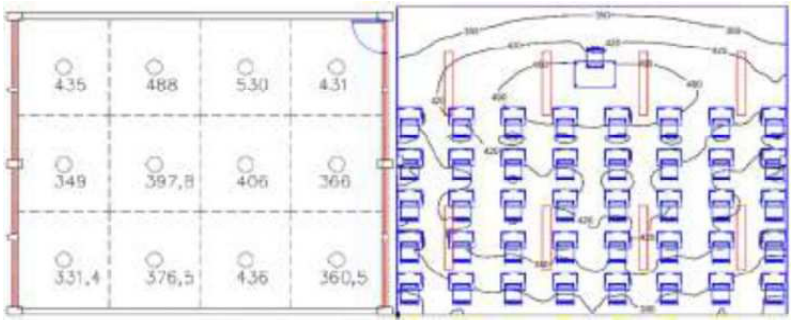
O consumo de energia elétrica foi calculado para o período de um ano letivo, das 8:00 às 12:00, 14:00 às 17:30 e das 19:00 às 22:00 para os dias de semana. A partir da determinação do consumo de energia da linha de base ajustada e das propostas, obteve-se a economia de energia. Posteriormente, o investimento necessário para a implantação de cada proposta foi levantado por meio do método payback descontado, utilizando uma uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 8%. O custo da tarifa de energia para o consumo de ponta foi de R$ 1,27/kWh e para fora de ponta foi de R$ 0,30/kWh.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

3.1 Condições reais do objeto de estudo e linha de base de referência

A sala de aula, em sua condição real de uso, obteve iluminância média de 409 lux, abaixo do valor recomendado de 500 lux, não atendendo, portanto, às condições mínimas de conforto lumínico no período noturno. A partir das simulações, obteve-se a iluminânica média de 407 lux, após ajustes de refletância de parede, piso e teto, tendo uma diferença de resultados de apenas 0,5% na iluminância média. A Figura 3b apresenta os níveis de iluminância simulada por meio de linhas isograficas, apresentando resultados de iluminância próximos da medição realizada na sala de aula (Figura 3a).

Figura 3 – (a) Iluminância medida com uso do luxímetro, (b) Iluminância simulada no DIALux, para o período noturno.



(a) (b)

Fonte: Autores

Salienta-se que, do total de lâmpadas existentes no ambiente, seis encontravam-se queimadas. Porém, nas simulações, mantendo todas as lâmpadas do ambiente em funcionamento, foi possível obter a iluminância

recomendada pela norma. Assim, a linha de base de referência, apresenta-se com a mesma quantidade de lâmpadas e luminárias presentes na sala de aula, porém com todas em funcionamento, obtendo iluminância média de 503 lux e densidade de potência de 18,18 W/m², conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Características do sistema de illuminação – linha de base de referência

Elemento	Quantidade
Lâmpadas	32 lâmpadas de 40 W cada
Luminárias	8
Iluminância média	503 lux
Potência total	1280 W
Densidade de portência	18,18 W/m²

Fonte: Autores

3.2 Propostas simuladas

Para a proposta 1 atingir a iluminância recomendada em norma, seriam necessárias 14 luminárias, obtendo iluminância média de 502 lux e densidade de potência de 7,16 W/m², 61% menor do que o sistema atual (Tabela 3).

Tabela 3 – Características do sistema de illuminação – Proposta 1

Elemento	Quantidade
Lâmpadas	28 lâmpadas de 18 W cada
Luminárias	14
Iluminância média	502 lux
Densidade de portência	7,16 W/m²

Fonte: Autores

Já a proposta 2 atinge o nível mínimo de iluminância com 10 luminárias compostas por placas de LED integradas, resultando em 509 lux de iluminância média e densidade de potência de iluminação de 5,27 W/m², valor 3 vezes menor comparado ao sistema atual (Tabela 4).

Tabela 4 – Características do sistema de illuminação – Proposta 2

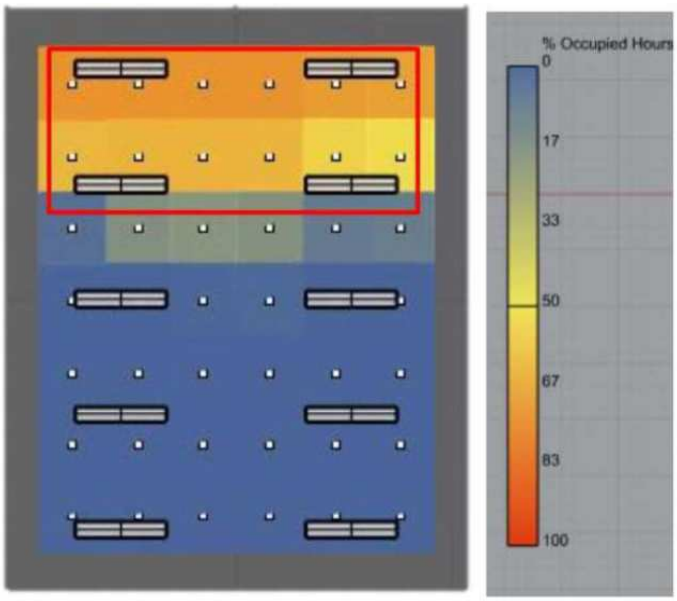
Elemento	Quantidade
Luminárias com placas de LED integradas	10
Iluminância média	509 lux
Potência total	370 W
Densidade de portência	5,27 W/m²

Fonte: Autor

Para proposta 3, fez-se a análise da autonomia anual de iluminação natural, ou seja, a porcentagem de horas no ano em que os níveis de iluminância atingem 500 lux. Para a escolha das lâmpadas que terão controle por meio da dimerização, foram posicionados 396 nós na altura do plano de trabalho.

Na Figura 4, a região destacada pelo retângulo vermelho apresenta incidência de luz natural maior que o restante das áreas. Neste estudo, foram utilizados sensores de luminosidade somente nas duas luminárias próximas das janelas, visando o maior custo benefício da solução proposta.

Figura 4 – Autonomia de iluminação natural

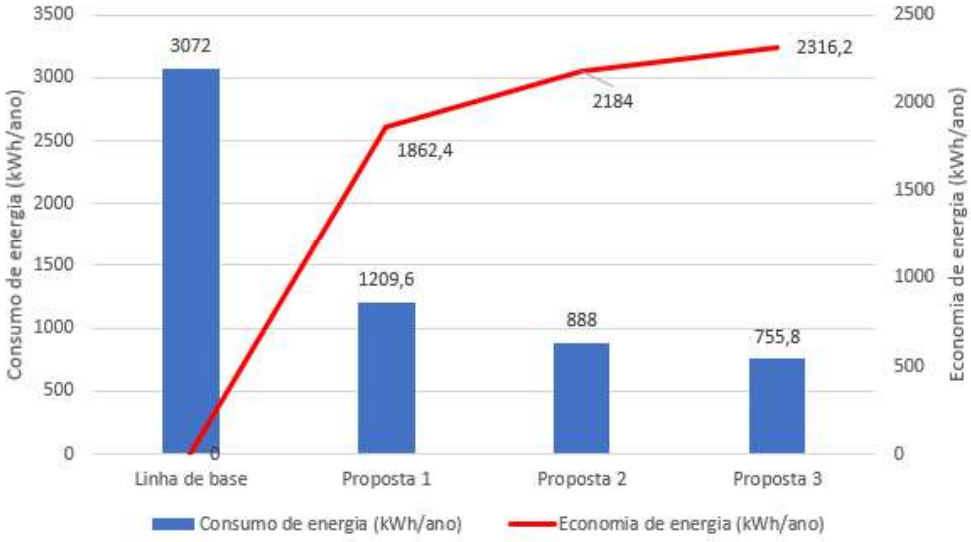


Fonte: Autor

3.3 Consumo de energia

A Figura 5 apresenta o consumo de energia anual do sistema de iluminação da linha de base, e o consumo obtido pelas propostas apresentadas.

Figura 5 – Consumo de energia dos sistemas de iluminação



Fonte: Autor

As três propostas apresentam significativa redução de energia comparada à linha de base. A primeira apresentou economia de 1862,4 kWh/ano com redução de 60% no consumo. A proposta 2 reduziu 71% do consumo comparado à linha de base, e a proposta 3 apresentou 75% de redução no consumo de energia.

3.4 Viabilidade econômica

A Tabela 5 contém a economia gerada por cada proposta, além do custo e o tempo de retorno do investimento.

Tabela 5 – Dados de custos e economia das propostas

Sistema de iluminação	**Custos de energia**	**Economia**	**Custo do investimento**	**Tempo de retorno**
Atual – Linha de base ajustada	R$ 1666,56/ano	-	-	-
Proposta 1	R$ 656,21/ano	R$ 1010,35/ano	R$ 2422,00	2,77 anos
Proposta 2	R$ 481,74/ano	R$ 1184,82/ano	R$ 2954,00	2,89 anos
Proposta 3	R$ 440,78/ano	R$ 1225,78/ano	R$ 3.129,58	2,97 anos

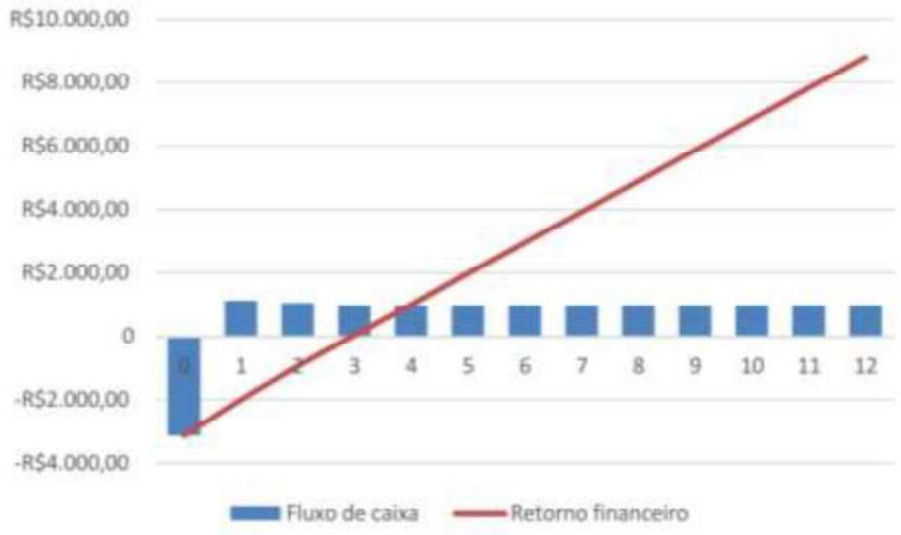
Fonte: Autor

A proposta 1 possui menor custo de investimento, porém necessita de muitas luminárias para um ambiente pequeno e oferece menor economia anual.

A proposta 3, que contempla o aproveitamento da iluminação natural, proporciona maior economia anual com R$ 440,78/ano para uma única sala de aula. Esta proposta apresenta maior payback, pois o período noturno é o de maior custo da tarifa, quando o sensor não executa sua função. Entretanto, a implementação da dimerização nas luminárias próximas às janelas favorece o uso mais eficiente da iluminação natural conforme pré-requisito definido em Brasil (2012).

Para o período de funcionamento da sala de aula em 2400 horas por ano e lâmpadas com vida útil de 30.000 horas, apesar dos 2,97 anos de tempo de retorno do investimento da proposta 3, o investidor teria lucro ao longo de 9 anos, totalizando R$ 8790,00 reais de economia para uma única sala da instituição (Figura 6).

Figura 6 – Fluxo de caixa e curva de retorno financeiro



Fonte: Autores

4 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi analisado o impacto de estratégias de iluminação de uma sala de aula no consumo de energia e viabilidade econômica para um edifício público educacional.

O sistema de iluminação com melhor resultado de eficiência energética e viabilidade econômica é composto por 10 luminárias com placas LED integrada e 2 sensores de luminosidade nas luminárias próximas à janela, reduzindo em 75% o consumo de energia elétrica. É um sistema de alta eficiência energética com densidade de potência de 5,27W/m² que atende os requisitos do RTQ-C e o classifica com nível A.

A aplicação da mesma proposta em outras 12 salas semelhantes à sala analisada, proporcionaria à instituição uma economia anual de R$ 13.820,00, que poderia ser revertida em melhoria dos espaços destinados a ensino, além de assegurar melhor qualidade lumínica aos usuários.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE**. Brasília, 2013. Disponível em http://www.aneel.gov.br. Acesso em 21/08/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO CIE 8995-1**: Iluminância de ambientes de trabalho. Rio de Janeiro, 2013. 46 p.

BRASIL, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **RTQ-C**: Requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos. Rio de Janeiro, 2010. 90 p.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Resultados Procel 2015**: ano base 2014. Brasília: MME, 2015. Disponível em <http://www.procelinfo.com.br/resultadospro-cel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf?1>

DIAL. **DIALux**. Disponível em: <http://www.dial.de/DIAL/de/dialux.html> Acesso em 21/06/2017

EPE. **Balanço Energético Nacional 2016 –** ano base 2015 **–** Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_ BEN_2016.pdf> Acesso em 23/06/2017

INMETRO. **Anexo Geral V – Catálogo de Propriedades Térmicas de Paredes, Coberturas e Vidros**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtosPBE/regulamentos/AnexoV.pdf> Acesso em 20/03/2018

LAMBERTS, R.; DUTRA, L., PEREIRA, F. **Eficiência Energética na Arquitetura.** UFSC/Procel/ Eletrobrás, Rio de Janeiro, 2014.

PROCEL. **Manual de Iluminação Eficiente**. Eletrobrás. 2002.

PROCEL. **PROCEL INFO** - Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética. 2015. Acessado em Março de 2017. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br>.

WESTPHAL, F. S.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Simulação energética do edifício sede da FIESC: Estudo de retrofit no sistema de iluminação**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 1996, Florianópolis. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 1996.

ZANIN, A.; FABIANO, M. B.; BARICHELLO, R.; TIBOLA, A. **Análise do Custo x Benefício na troca de Lâmpadas Convencionais por Lâmpadas LED: O Caso de uma Universidade Comunitária do Sul do Brasil**. In: XXIII Congresso Brasileiro de Custos, n.13, 2015, Foz do Iguaçu. Anais...Foz do Iguaçu. 2015.