



## METODOLOGIA DE ENSINO DE PROJETO LUMINOTÉCNICO INCORPORANDO A CERTIFICAÇÃO GBC BRASIL LIFE E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3933

José Antonio Moreira de Rezende - jose.rezende@ifmg.edu.br  
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais

André Roger Rodrigues - andre.roger@ifmg.edu.br  
IFMG

João Paulo Santos de Sant Ana - joaopaulodados@gmail.com  
IFMG

Ana Flávia Peixoto de Camargos - anaflavia@ifmg.edu.br  
IFMG

Thaíza Soares Couto - thacouto21@gmail.com  
Thaíza Couto Arquitetura e Interiores

**Resumo:** Entidades internacionais e nacionais têm desenvolvido sistemas de classificação das edificações para obtenção de certificação baseados em critérios que visam a melhoria do seu desempenho energético e incentivam a adoção de conceitos e práticas ambientalmente corretas. O conforto lumínico das edificações é uma das categorias avaliadas para recebimento de certificação como edificação verde. Neste sentido este trabalho apresenta uma metodologia de projeto luminotécnico que contempla tanto os níveis de desempenho luminoso estabelecidos por normas quanto os critérios de certificação nacional necessários ao aprimoramento dos sistemas de iluminação. Neste trabalho o projeto luminotécnico foi desenvolvido empregando-se o software DIALux para modelagem computacional e simulação dos sistemas de iluminação de uma residência típica enquadrada no programa habitacional do governo brasileiro. A metodologia proposta incorporou os critérios técnicos exigidos pela certificação GBC Brasil LIFE como parâmetros para o projeto luminotécnico. A análise dos resultados obtidos evidencia a importância de utilização de ferramentas voltadas à aferição da qualidade do projeto luminotécnico simulado para o correto dimensionamento, seleção e instalação dos sistemas de iluminação. Adicionalmente, a metodologia desenvolvida incorpora um estudo técnico-econômico com cálculo de payback, do valor presente líquido e da taxa





*interna de retorno aplicado ao conjunto luminária-lâmpada selecionado a partir da modelagem e simulação computacional cujos resultados fornecem ao consumidor em nível de baixa tensão os benefícios financeiros obtidos com a modernização de seus sistemas de iluminação. Finalmente é esperado que tal metodologia aprimorada seja empregada no ensino de procedimentos de projetos luminotécnicos em cursos acadêmicos para ampliar o conhecimento e desenvolver as habilidades dos estudantes e também para capacitação dos profissionais atuantes no mercado. Tal fato permite agregar valor aos serviços prestados por meio do desenvolvimento de projetos luminotécnicos modernos, viáveis economicamente, energeticamente eficientes e em conformidade com exigências ambientais.*

**Palavras-chave:** *Ensino de Luminotécnica; Projeto luminotécnico; DIALux; Conservação de energia; Eficiência energética; Certificação de edificações verdes;*



# METODOLOGIA DE ENSINO DE PROJETO LUMINOTÉCNICO INCORPORANDO A CERTIFICAÇÃO GBC BRASIL LIFE E ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia (ABESCO), estima-se que o Brasil desperdiçou um total de 143.647 GWh de energia entre os anos de 2013 e 2016. Esta quantidade de eletricidade seria suficiente para abastecer por um período de um mês uma cidade com cerca de 533 mil habitantes (ABESCO, 2017). À época, este desperdício resultou em gastos da ordem de 61,71 bilhões de reais, considerando o valor médio da tarifa a 0,41902 R\$/kWh. O consumo residencial de energia elétrica no Brasil registrou aumento de 3,8% entre os anos de 2019 e 2020 atingindo a soma de 148.173 GWh neste último, o que representa 31,2% de toda a energia elétrica consumida anualmente no país (EPE, 2021). Especificamente para o consumo de energia elétrica no setor residencial, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020) prevê uma taxa de crescimento de 3,4% a.a. entre os anos de 2019 e 2030.

Quando é analisado o uso final da energia elétrica no setor residencial, as atividades de condicionamento de alimentos, aquecimento de água e de iluminação já representavam 76% de toda energia elétrica consumida em 2010 (BRASIL, 2011). Neste ano, o consumo de eletricidade pelo setor residencial representou 50,32% do consumo total, com previsão de aumento para 52,29% em 2030 (EPE, 2020). As edificações – residenciais, comerciais e públicas - irão consumir 392 TWh de eletricidade. Neste cenário de crescimento do consumo de energia, a atividade de iluminação poderá contribuir para a redução da demanda caso os consumidores façam a opção pela adoção de tecnologias mais eficientes tais como as lâmpadas LEDs.

Por meio de estudos do plano decenal de expansão de Energia 2030, a EPE afirma que a energia elétrica destinada à atividade de iluminação poderá proporcionar a economia de aproximadamente 3,41 TWh no período de 2019 a 2030 (EPE, 2020).

Ressalta-se que esta meta de economia de energia elétrica utilizada no setor de iluminação é fortemente dependente do aprimoramento e da modernização da metodologia de projeto luminotécnico das habitações brasileiras. Para tanto, faz-se necessário que a metodologia de ensino de projeto luminotécnico incorpore além do uso de *softwares* especializados, parâmetros de projeto voltados ao aumento da eficiência energética dos sistemas de iluminação. O caminho para esta mudança passa obrigatoriamente pelo envolvimento das instituições de ensino responsáveis pela oferta de cursos técnicos, tecnológicos e de bacharelados associados à área de Engenharia Elétrica. Desta forma, as disciplinas relacionadas ao ensino de instalações elétricas e de eletrotécnica precisam desenvolver nos alunos competências para que os futuros profissionais sejam agentes de transformação da atual condição das habitações brasileiras em instalações eficientes quanto ao consumo de energia elétrica por seus sistemas de iluminação.

O projeto luminotécnico é composto por etapas fundamentadas em aspectos técnicos que devem atender a critérios estabelecidos por normas. Portanto constitui uma atividade muito abrangente e que de forma alguma pode ser reduzida à simples ação de substituição de lâmpadas por modelos com tecnologias mais eficientes tais como as lâmpadas LED. Assim é necessário considerar desde parâmetros elementares de projeto

tal como a simples e apropriada utilização de cores claras nas paredes interiores com intuito de promover o conforto lumínico, até a seleção correta do conjunto luminária-lâmpada com base na análise de suas especificações elétricas e fotométricas, tais como fluxo luminoso, potência elétrica, fator de potência, eficiência luminosa, índice de reprodução de cor (IRC), temperatura de cor correlata (TCC) e vida útil. Além disso, os parâmetros de projeto requerem a realização de cálculos com intuito de atender aos níveis limítrofes para iluminância mantida e índice de ofuscamento unificados especificados na norma técnica correlata (ABNT, 2013).

Além destes parâmetros tradicionais de projeto supracitados, um fator adicional e necessário para o aprimoramento dos sistemas de iluminação diz respeito à incorporação de ações na metodologia de projeto voltadas ao aumento da eficiência energética do sistema de iluminação. A entidade *United States Green Building Council* (USGBC) criou um sistema de classificação denominado *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) (CAMPOS; SANTOS, 2014) que é mundialmente aceito e reconhecido para certificação e orientação ambiental de Edifícios Verdes (KUBBA, 2015). No Brasil, a entidade *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil, 2022) é responsável pela adaptação dos critérios do LEED para as condições e realidades das instalações brasileiras, tendo desenvolvido a certificação GBC Brasil LIFE. Esta certificação fornece ferramentas para projeto, construção e operação de ambientes internos com elevado desempenho energético e aplicação de práticas sustentáveis. As edificações que proporcionam conforto luminoso são também essenciais para uma vida saudável. Viver em um lar escuro pode levar a piores condições de saúde, provocadas por dores de cabeça, insônia, depressão e até câncer de mama e suicídio, dentre os efeitos relatados (GBC Brasil, 2022). Para que uma edificação receba a certificação GBC Brasil LIFE é necessário que esta alcance objetivos que são a base para a obtenção de créditos classificados em 6 categorias. Há duas categorias relacionadas aos sistemas de iluminação, a saber, a categoria Conforto (CON) e a categoria Uso Eficiente dos Recursos Naturais (UER). Na categoria CON o crédito 2 trata do Conforto Lumínico tendo valor de 5 pontos. Já na categoria UER o crédito 3 trata do Uso Eficiente da Iluminação Artificial sendo associada ao total de 6 pontos.

Portanto um projeto luminotécnico moderno deve contemplar além dos parâmetros técnico-econômicos inerentes ao cálculo luminotécnico, o atendimento dos objetivos estabelecidos pelas certificações das edificações que visam proporcionar a melhoria da qualidade e eficiência dos sistemas de iluminação das edificações.

Neste sentido, este trabalho apresenta os resultados do projeto luminotécnico de uma edificação enquadrada no programa habitacional do governo brasileiro obtidos empregando-se uma metodologia que incorpora os critérios relacionados aos sistemas de iluminação e que são exigidos pela certificação GBC Brasil LIFE.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente o estudo consistiu na elaboração de um desenho técnico de uma edificação residencial enquadrada no programa habitacional do governo brasileiro e que foi disponibilizada pela empresa Thaíza Couto Arquitetura e Interiores, parceira no desenvolvimento do projeto. A representação em planta baixa foi realizada empregando-se o *software* AutoCAD. A edificação está situada em um lote de medidas 9,70 x 19,70 m, perfazendo uma área total de 191,09 m<sup>2</sup>. A divisão dos ambientes da edificação está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Divisão dos ambientes da edificação.

A edificação possui:

- Paredes de 0,15 m de largura;
- Uma sala 4,55 x 3,00 m;
- Uma cozinha 3,30 x 3,00 m;
- Três dormitórios 2,70 x 3,20 m, 2,60 x 3,73 m e 3,30 x 3,20 m;
- Um banheiro 1,80 x 2,15 m;
- Um corredor 4,55 x 0,90 m e
- Uma área externa de 130,70 m<sup>2</sup>.



Fonte: Autores (2022).

Na etapa de pré-projeto luminotécnico foi realizada a modelagem tridimensional dos ambientes da residência, representando todos os elementos necessários tais como paredes internas, tetos, portas, janelas e móveis utilizando-se o DIALux evo 9.2. Esta estratégia assegura que o projeto luminotécnico real não apresente divergências técnicas em comparação aos resultados obtidos no estudo computacional.

Em seguida foi iniciada a etapa de projeto luminotécnico. Como parâmetros de projeto foram considerados para cada ambiente da edificação os valores de iluminância e de limite máximo do índice de ofuscamento unificado (*Unified Glare Rating - UGR<sub>L</sub>*) recomendados na norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) e registrados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de Iluminância e de UGR<sub>L</sub> definidos para cada ambiente.

Ambiente	Iluminância [lux]	UGR <sub>L</sub>	Ambiente	Iluminância [lux]	UGR <sub>L</sub>
Banheiro	200	25	Quarto 2	100	22
Corredor	100	22	Quarto 3	100	22
Cozinha	300	22	Sala	100	25
Quarto 1	100	22			

Fonte: Autores (2022).

Para o projeto luminotécnico foram selecionados dois conjuntos luminárias-lâmpadas apropriados sob o ponto de vista técnico-econômico para projetos luminotécnicos no padrão de residência deste estudo. A descrição dos conjuntos selecionados bem como as suas especificações técnicas estão na Tabela 2. Foram considerados plafonier com soquete de rosca E27 para lâmpada LED tipo bulbo. A partir dos conjuntos adotados foram obtidos os arquivos fotométricos (arquivos IES) por consulta aos fabricantes que atuam no mercado brasileiro.

Tabela 2 – Especificações técnicas dos conjuntos luminárias-lâmpadas.

Modelo	Tecnologia	Potência nominal (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Temperatura de cor (K)
6550	LED	13,5	1531	113,4	3000
6727	LED	12,7	1248	98,3	6500

Fonte: Intral (2021).

Após este levantamento no pré-projeto foi realizado o projeto luminotécnico em conformidade com os níveis mínimos de iluminância e máximo de UGR relacionados na Tabela 1. Também foi considerado como parâmetro luminotécnico a temperatura correlata de cor (TCC) apropriada para os respectivos ambientes.

Como parâmetros para aferição da qualidade do projeto luminotécnico assistido por computador foram definidas superfícies de cálculo para determinação da iluminância na área da tarefa, assim como pontos para cálculo do ofuscamento. Estes são importantes recursos de cálculo luminotécnico disponíveis no DIALux evo que asseguram que os parâmetros técnicos sejam verificados em distintos locais de cada ambiente de projeto, atendendo aos valores mínimos estabelecidos por norma, proporcionando uniformidade na iluminação e conforto na utilização do ambiente.

Um critério para elaboração de projeto luminotécnico que incorpore ações de eficiência energética diz respeito ao atendimento das exigências da certificação GBC Brasil LIFE. Há duas categorias relacionadas aos sistemas de iluminação, a saber, a categoria Conforto (CON) e a categoria Uso Eficiente dos Recursos Naturais (UER). Na categoria COM que tem por objetivo proporcionar níveis adequados de conforto lumínico em ambientes residenciais internos, o crédito 2 trata do Conforto Lumínico tendo valor máximo de 5 pontos. O primeiro item desta categoria trata da utilização de escalas de temperatura de cor, considerando a segmentação dos ambientes por funções desempenhadas em cada recinto quando da realização do projeto luminoso. Este requisito requer a utilização de iluminação com cor branco neutro, com temperatura de 4.000 Kelvin nos ambientes de áreas de trabalho, tais como: cozinhas, escritórios, banheiros, lavabos, closets e áreas de serviço. Já em ambientes de áreas de lazer, tais como: dormitórios, *halls* de entrada, salas de estar e jantar, varandas, terraços, circulação e *home theaters*, deve ser utilizada iluminação na cor branco quente, com temperatura de 3.000 Kelvin. Este requisito tem valor de 1 ponto. O segundo item a ser atendido nesta categoria requer a utilização de simuladores de iluminação, como o DIALux utilizado neste trabalho, realizando o projeto de iluminação artificial com base nos resultados dos estudos computacionais. Este requisito tem valor de 3 pontos.

O crédito 3 da categoria UER possui pontuação máxima de 6 pontos e tem por objetivo reduzir o consumo de energia elétrica pelos sistemas de iluminação residencial interior. Da pontuação total, 3 pontos deste item podem ser obtidos pela instalação de um percentual de 80% das lâmpadas da edificação com selo PROCEL, INMETRO ou com eficiência superior a 80 lm/W.

O projeto luminotécnico foi elaborado observando-se tais critérios de eficiência energética para obtenção da certificação GBC Brasil LIFE. A incorporação destes requisitos de eficiência energética obrigatórios para certificação das instalações constitui estratégia inovadora e norteadora para elaboração de projetos luminotécnicos modernos, ambientalmente corretos e energeticamente eficientes.

Após a etapa de projeto luminotécnico, foi realizado um estudo econômico com a intenção de determinar o tempo de retorno de investimento para a aquisição destes aparelhos de iluminação. Além disso, foi realizado um estudo comparativo entre o consumo de energia elétrica utilizando os aparelhos de iluminação selecionados para o projeto e um cenário no qual são utilizadas lâmpadas fluorescentes compactas (FLCs), uma vez que ainda são muito empregadas para iluminação de residências. Este estudo é de fundamental importância por contribuir para mudança de concepção por parte do consumidor em geral quanto ao uso de sistemas de iluminação mais eficientes. Além dos benefícios de valorização do imóvel que tenha certificação tal como a GBC Brasil LIFE, este estudo econômico realizado a partir da metodologia proposta de projeto luminotécnico evidencia a



viabilidade de aquisição ou troca de sistemas de iluminação menos eficientes por sistemas mais eficientes que empregam tecnologia LED. Foram empregados os métodos do valor presente líquido (VPL), da taxa interna de retorno (TIR) e do *payback* descontado (SAMANEZ, 2002).

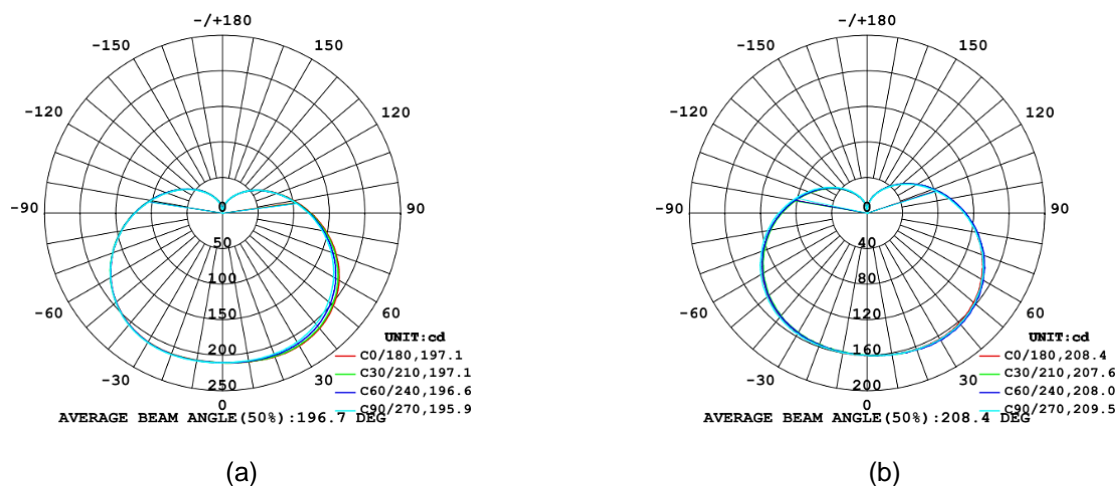
### 3 RESULTADOS DO PROJETO LUMINOTÉCNICO

Por se tratar de uma edificação de padrão popular, não foram utilizados aparelhos de iluminação de alto padrão, o que impactaria negativamente no custo de aquisição de material. Sendo assim, foi adotada a utilização de luminária de baixo custo do tipo plafon, que contém 1 receptáculo do tipo rosca E27 e que permite o acoplamento de 1 lâmpada de bulbo LED. Este conjunto lâmpada-luminária é encontrado, por exemplo, em comércios populares, lojas de materiais elétricos e supermercados, o que evidencia sua larga utilização entre os consumidores de baixa tensão, aumentando assim a abrangência dos resultados.

Para balizar a escolha das especificações técnicas adequadas da lâmpada de bulbo LED, o projeto luminotécnico visou o atendimento às recomendações da certificação GBC Brasil LIFE quanto ao uso eficiente dos recursos naturais e quanto ao conforto lumínico. Uma vez escolhido o conjunto lâmpada-luminária (lâmpada bulbo LED e plafon), foi realizada uma busca com o intuito de listar as empresas fornecedoras de lâmpadas bulbo LED que atendam às recomendações da certificação GBC Brasil LIFE supracitadas. Como o projeto luminotécnico foi realizado com auxílio de computador, um dos critérios para a escolha do fornecedor contemplou a disponibilização das curvas fotométricas da lâmpada em arquivo digital, de extensão \*.ies. Foi escolhido o fabricante INTRAL que fornece os modelos 6650 e 6727 (INTRAL, 2021). As suas especificações técnicas são apresentadas na Tabela 2.

Note que os dois modelos atendem a certificação GBC Brasil LIFE em termos de eficiência luminosa e temperatura de cor. Desta forma, o modelo 6727 foi alocado no banheiro e na cozinha enquanto o modelo 6650 foi alocado para iluminação da sala, do corredor e dos quartos. Os modelos 6650 e 6727 possuem curvas de distribuição de intensidade luminosa simétricas, com grande ângulo de abertura de fecho, como pode ser observado nas Figuras 2a e 2b, respectivamente.

Figura 2 - Curvas de distribuição de intensidade luminosa dos modelos 6650 (a) e 6727 (b).

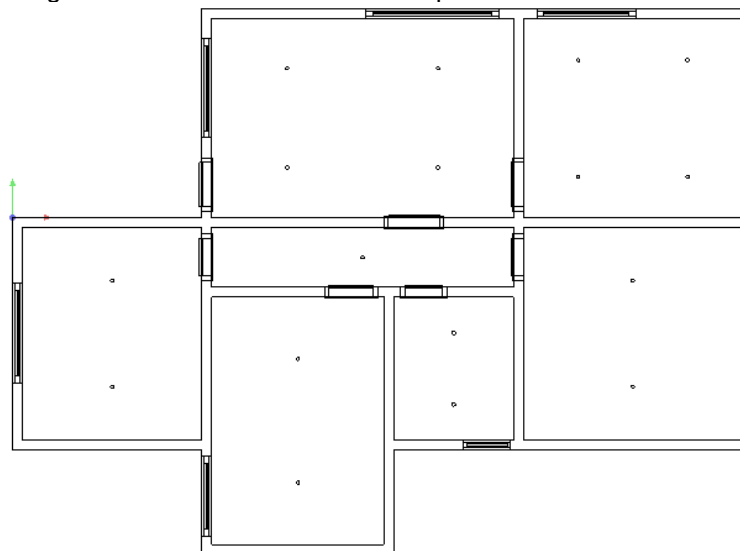


Fonte: Intral (2021).



Para favorecer a uniformidade da iluminação por meio de iluminação geral, arranjos retangulares e lineares foram empregados nos ambientes. Não foi definida iluminação de destaque para não elevar o custo de aquisição de lâmpadas e luminárias. Com efeito, foram alocadas 11 lâmpadas modelo 6550 e 6 lâmpadas do modelo 6727, como observado na Figura 3.

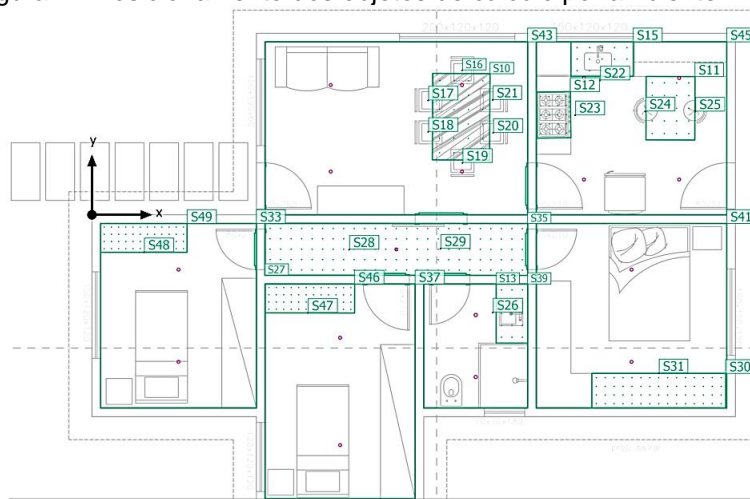
Figura 3 - Posicionamento das lâmpadas em cada ambiente.



Fonte: Autores (2022).

Após a definição da quantidade de lâmpadas para cada ambiente, baseado na iluminância mantida à luz da norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013, foram inseridos objetos de cálculo na forma de superfícies para a aferição do valor médio da iluminância mantida e na forma de pontos para aferição do índice de ofuscamento unificado, com o intuito de conferir a qualidade do projeto à luz da norma 8995-1. A Figura 4 apresenta o posicionamento de cada uma destas superfícies e pontos. O Quadro 1, por sua vez, apresenta as iluminâncias e índices de ofuscamento calculados por cada um dos objetos de cálculo apresentados na Figura 4 e que estão designados pelo índice S seguido de dois algarismos.

Figura 4 - Posicionamento dos objetos de cálculo por ambiente.



Fonte: Autores (2022).





Os valores de iluminância e ofuscamento obtidos neste projeto luminotécnico, assim como a sua comparação com os valores limites previstos na ABNT NBR ISO/CIE 8995-1:2013 estão apresentados no Quadro 1.

Todos os valores calculados por meio das superfícies de cálculo estão acima dos respectivos valores mínimos de iluminância mantida. Ao mesmo tempo, todos os valores calculados de ofuscamento resultaram em valores menores que os seus respectivos valores máximos de índice de ofuscamento unificado (UGR<sub>L</sub>). Portanto, o projeto luminotécnico atendeu tanto a NBR 8995-1 quanto aos requisitos da certificação GBC Brasil LIFE com critérios relacionados à conforto lumínico e uso eficiente da iluminação artificial.

Quadro 1 - Desempenho do projeto luminotécnico com lâmpadas INTRAL - 6550 e 6727.

Ambiente	Local	Superfície de cálculo (lux)		Iluminância mantida (lux)	Ponto de cálculo		UGR <sub>L</sub>
		S	Valor		S	Valor	
Banheiro	Pia	S13	281	200	S26	19,2	25
Corredor	Toda extensão	S35	111	100	S28	19,2	22
					S29	18,8	
Cozinha	Fogão	S12	323	300	S23	19,3	22
	Pia	S21	313		S22	20,2	
	Preparação	S11	362		S24	20,3	
					S25	22,0	
Quarto 1	Mesa	S15	156	100	S48	< 10	22
Quarto 2	Mesa	S19	146	100	S47	< 10	22
Quarto 3	Mesa	S38	144	100	S31	< 10	22
Sala	Mesa	S14	210	200	S16	22,4	25
					S17	18,7	
					S18	15,7	
					S19	22,5	
					S20	22,6	
					S21	22,8	

Fonte: Autores (2022).

#### 4 RESULTADOS DA ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Este tópico tem por objetivo apresentar uma análise econômica referente a troca de lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas de LED. É sabido que as lâmpadas de tecnologia LED possuem uma eficiência luminosa maior que as fluorescentes compactas, o que contribui para a economia de energia elétrica. Adicionalmente, a vida útil média das

lâmpadas de LED corresponde a 25.000 horas, frente às 8.000 horas oferecidas pelas fluorescentes compactas.

Além da justificativa pela troca por meio de indicadores técnicos, é importante dar luz ao conceito de análise de viabilidade econômica que permeia esta iniciativa. Para tanto, dado o investimento realizado na aquisição de lâmpadas de LED com características fotométricas propícias para iluminar apropriadamente cada um dos ambientes da residência, de forma a atender aos requisitos impostos pela norma ABNT NBR ISO/CIE 8995-1 e pela certificação GBC Brasil LIFE, foi determinado o tempo de recuperação do investimento (*payback*), que será apresentado a seguir.

Para realizar a análise de viabilidade econômica, é preciso levar em consideração a quantidade de aparelhos de iluminação de tecnologia LED, especificados para cada ambiente e obtidos por meio do projeto luminotécnico apresentado na subseção anterior. Em seguida, foi atribuída uma estimativa de tempo diário de uso da iluminação por ambiente considerando um tempo médio de uso para uma família com 4 pessoas. A partir desta informação, foram calculados o consumo de energia elétrica mensal (kWh/mês) e a contribuição deste consumo na conta de energia elétrica, expresso em reais. Estes valores foram calculados conforme as Equações (1) e (2), respectivamente. As Equações (3) e (4) permitem o cálculo, respectivamente, do consumo e da fatura de energia elétrica total da residência.

$$C_i = (P_l \times N_i \times D_i \times N_d) / 1000, i = 1, \dots, N_a \quad (1)$$

$$F_i = C_i \times T_e, i = 1, \dots, N_a \quad (2)$$

$$C_{total} = \sum_{i=1}^{N_a} C_i \quad (3)$$

$$F_{total} = \sum_{i=1}^{N_a} F_i \quad (4)$$

onde:

$C_i$ : Consumo mensal de energia ativa do *i*-ésimo ambiente da residência (kWh);

$P_l$ : Potência ativa da lâmpada (W);

$N_i$ : Quantidade de lâmpadas utilizadas no *i*-ésimo ambiente;

$D_i$ : Duração estimada do uso diário da iluminação do *i*-ésimo ambiente da residência (horas);

$N_d$ : Quantidade média de dias no mês;

$N_a$ : Quantidade de ambientes da residência;

$T_e$ : Tarifa de energia elétrica, com adição da bandeira tarifária vigente (R\$/kWh);

$F_i$ : Fatura de energia elétrica do mês do *i*-ésimo ambiente da residência (R\$);

$C_{total}$ : Consumo total mensal de energia ativa da residência (kWh);

$F_{total}$ : Fatura total mensal de energia elétrica da residência (R\$).

Para o cálculo da Equação (1), a quantidade média de dias no mês atribuída foi de 30 dias. Na Equação (2), foi utilizada a tarifa de energia elétrica da concessionária Cemig,



no valor de R\$ 0,618050, que corresponde a uma unidade consumidora do grupo B1 (residencial normal) (CEMIG, 2022) e bandeira tarifária verde (ANEEL, 2022).

A Tabela 3 apresenta um comparativo de consumo e custo de energia elétrica entre as lâmpadas fluorescentes compactas e as de tecnologia LED.

Tabela 3 – Comparativo de consumo e faturamento de energia elétrica por meio da iluminação artificial entre as lâmpadas fluorescentes compactas e as lâmpadas de LED.

Ambiente	LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA						LED		
	Pot. (W)	Quant.	Tempo		kWh/mês	Custo (R\$)	Pot. (W)	kWh/mês	Custo (R\$)
			Horas	Minutos					
Cozinha	25	4	5	-	15,000	9,27	15	9,000	5,56
Sala	25	4	10	-	30,000	18,54	14	16,800	10,38
Quarto 1	25	2	3	-	4,500	2,78	14	2,520	1,56
Quarto 2	25	2	3	-	4,500	2,78	14	2,520	1,56
Quarto 3	25	2	3	-	4,500	2,78	14	2,520	1,56
Banheiro	25	2	2	-	3,000	1,85	15	1,800	1,11
Corredor	25	1	-	30	0,375	0,23	14	0,210	0,13
<b>Total</b>	<b>175</b>	<b>17</b>			<b>61,875</b>	<b>38,24</b>	<b>100</b>	<b>35,37</b>	<b>21,86</b>

Fonte: Autores (2022).

Como esperado, em função da maior eficiência luminosa do LED em comparação com a fluorescente compacta, o consumo de energia elétrica diminuiu, resultando em uma economia anual de R\$ 196,58 no faturamento de energia elétrica, considerando o tempo de uso da iluminação em cada ambiente como apresentado na Tabela 3. Com efeito, o projeto de iluminação utilizando lâmpadas LED produziu impactos positivos na contribuição da iluminação artificial à redução do faturamento mensal na conta de energia elétrica.

Também foi realizada uma análise econômica tendo como intuito o cálculo de *payback* descontado resultante da aquisição de lâmpadas LED. No comércio local de Formiga, município situado na região Centro Oeste do estado de Minas Gerais, foi realizada uma pesquisa de preços das lâmpadas empregadas neste projeto e foi calculado os seus preços médios de compra, que foi de R\$ 15,99 para as lâmpadas de 15 W e R\$ 12,83 para as lâmpadas de 14 W. Portanto, o investimento para sua aquisição tendo em vista a quantidade necessária para cada ambiente (de acordo com a Tabela 3) calculada em projeto é de R\$ 237,07.

Dado o tempo de vida útil médio das lâmpadas de LED, 25.000 horas, a análise de viabilidade econômica foi realizada dentro de um panorama de 3 anos. Sendo assim, foram calculados o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o *payback* descontado (SAMANEZ, 2002). Para tanto, a taxa mínima de atratividade (TMA) empregada para o cálculo da VPL e da TIR foi a taxa SELIC, sendo esta a taxa básica de juros da economia brasileira que interfere e define as principais taxas de rendimentos com renda fixa como o Tesouro SELIC e o Certificado de Depósitos Bancários (CDB) que é





indexado ao Certificado de Depósito Interbancário (CDI), base de remuneração também derivada da SELIC e utilizada pelas instituições bancárias.

Os valores de VPL, TIR e *payback* descontado foram obtidos segundo os fluxos de caixa final e acumulado apresentados na Tabela 4. Nos fluxos de caixa final e acumulado, o valor monetário no ano inicial corresponde ao investimento para aquisição das lâmpadas LED, enquanto os valores subsequentes do fluxo de caixa final indicam a economia no faturamento anual de energia elétrica, considerando uma distribuição uniforme.

Tabela 4 – Fluxo de caixa para cálculo da VPL, TIR e *payback* descontado.

Ano	0	1	2	3
<b>Fluxo de caixa final (R\$)</b>	-237,07	196,58	196,58	196,58
<b>Fluxo de caixa acumulado (R\$)</b>	-237,07	-40,49	156,08	352,66
<b>Valor Presente Líquido (R\$)</b>	237,11			
<b>Taxa Interna de Retorno (%)</b>	27%			
<b><i>Payback</i> descontado</b>	1 ano 4 meses e 5 dias			

Fonte: Autores (2022).

O valor presente líquido obtido foi de R\$ 237,11 e, sendo positivo, sinaliza a viabilidade econômica do emprego de lâmpadas LED nesta residência e, ainda, considerando a economia no faturamento de energia elétrica dada a contribuição da iluminação artificial, apresentará um tempo de retorno de investimento de 1 ano, 4 meses e 5 dias. Por sua vez, a taxa interna de retorno obtida, igual a 27%, representa a rentabilidade relativa esperada deste projeto de investimento e, como resultou em um valor maior que a taxa SELIC, significa que o investimento também é considerado economicamente atraente.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma proposta de metodologia de ensino de projeto luminotécnico que atende aos valores limítrofes dos parâmetros técnicos estabelecidos por norma além de incorporar os critérios de desempenho lumínico associados com a certificação GBC Brasil LIFE e uma análise de viabilidade econômica. Neste sentido se configura como aprimoramento ao método clássico de projeto luminotécnico, assegurando o conforto luminoso e bem-estar às pessoas, além de economia no consumo de energia elétrica sem alterar o perfil de consumo da edificação. O projeto luminotécnico com atendimento dos requisitos necessários para obtenção da certificação da edificação proporciona além de melhoria do seu desempenho energético a valorização financeira do imóvel (SCORZA, 2019). Os benefícios obtidos com emprego deste fluxo de trabalho para elaboração do projeto luminotécnico são aplicáveis também aos ambientes educacionais, onde o emprego de sistemas de iluminação adequados pode levar ao maior engajamento dos estudantes nas atividades acadêmicas contribuindo para uma melhor aprendizagem (PULAY; WILLIAMSON, 2018) (CASTILLA et al, 2018).



## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio técnico da empresa Thaíza Couto Arquitetura e Interiores, parceira no desenvolvimento deste trabalho. Os autores agradecem o apoio institucional e financeiro do IFMG-Campus Formiga.

## REFERÊNCIAS

ABESCO. **Desperdício de energia custou mais de R\$ 60 bi para o Brasil nos últimos três anos**. 2017. Disponível em: <http://www.abesco.com.br/novidade/desperdicio-de-energia-custou-maisde-r-60-bi-para-o-brasil-nos-ultimos-tres-anos/>. Acesso em: 08 nov. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Sobre as bandeiras tarifárias**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/tarifas/bandeiras-tarifarias>. Acesso em: 28 abr. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **8995-1: iluminação de ambientes de trabalho - Parte 1: Interior**. Rio de Janeiro, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia-2020**. Brasília, MME/EPE, 2011.

CAMPOS, V. R.; SANTOS, T. J. dos. O processo da certificação LEED – Leadership in Energy and Environmental Design: estudo de caso. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído-ENTAC. Maceió. Alagoas. Novembro de 2014.

CEMIG. **Valores de tarifas e de serviços**. 2022. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos>. Acesso em: 22 abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Estudos do plano decenal de expansão de energia 2030: demanda e eficiência energética**. 2020. Disponível em: [encurtador.com.br/ICFP4](http://encurtador.com.br/ICFP4). Acesso em: 21 abr. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica: panorama do consumo (GWh)**. 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoesdados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica-interativo>. Acesso em: 07 fev. 2020.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Certificação GBC Brasil LIFE®**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Guia-Completo-GBC-LIFE-mar21.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2022.

INTRAL. **Lâmpada bulbo LED**. 2021. Disponível em: [https://www.intral.com.br/Uploads/Content/18062019-085038\\_BULBO.zip](https://www.intral.com.br/Uploads/Content/18062019-085038_BULBO.zip). Acesso em: 11 abr. 2022.

KUBBA, S. **LEED v4 Practices, Certification, and Accreditation Handbook**. ELSEVIER. 2nd edition. November, 2015. ISBN: 9780128039007. Disponível em:

<https://www.elsevier.com/books/leed-v4-practices-certification-and-accreditation-handbook/kubba/978-0-12-803830-7>. Acesso em: 09 mai. 2022.

PULAY, A.; WILLIAMSON, A. A case study comparing the influence of LED and fluorescent lighting on early childhood student engagement in a classroom setting. *Learning Environ Res* 22, 13–24 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10984-018-9263-3>.

CASTILLA, N.; LLINARES, C.; BISEGNA F.; BLANCA-GIMÉNEZ, V. Emotional evaluation of lighting in university classrooms: A preliminary study. *Frontiers of Architectural Research*, Volume 7, Issue 4, Pages 600-609, 2018. ISSN 2095-2635, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.07.002>.

SAMANEZ, Carlos Patrício. **Matemática financeira**: aplicações à análise de investimento. São Paulo: Prentice Hall: 2002.

SCORZA, T. S. D'Alessandro. Impacto da Certificação LEED na valorização final de imóveis comerciais: um estudo de caso. Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG. Monografia. Belo Horizonte. 2019.

### **LIGHTING DESIGN TEACHING METHODOLOGY INCORPORATING GBC BRASIL LIFE CERTIFICATION AND ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS**

**Abstract:** *Classification systems of buildings have been developed by international and national entities based on criteria aimed at improving their energy performance and encouraging the adoption of environmentally correct concepts and practices in order to obtain certification. The luminous comfort of buildings is one of the categories evaluated to grant certification as a green building. In this sense, this work presents a lighting design methodology that considers the standardized lighting performance levels as well as the criteria of national certification required for the improvement of the lighting systems. The lighting project was developed using the DIALux software for computational modeling and simulation of the lighting systems regarding to a typical residence included in the habitational program of the Brazilian government. The proposed methodology comprised the technical requirements of the GBC Brasil LIFE certification as additional parameters to the lighting design. The obtained results demonstrate the importance of using assessment tools of the quality parameters available at the computational lighting design for the accurate sizing, selection and installation of the lighting arrangements. Furthermore, the implemented methodology includes a technical-economic study based on payback calculation, the net present value and the internal rate of return applied to the luminaire-lamp set selected from the modeling and computational simulation whose results provide to the consumers at low voltage installations the financial benefits obtained with the modernization of their lighting systems. Finally, it is expected that this improved methodology will be used in the teaching of lighting design procedures at academic courses to developed students' knowledge and skills besides the enhancement of the professionals working in this market. This allows assigning value to their services through the development of modern lighting projects, economically viable, energy efficient and in compliance with environmental regulations.*

**Keywords:** *The teach of lighting design; DIALux evo; Energy conservation; Energy efficiency; Green building certification*