XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8676

Desempenho do sistema de iluminação artificial para ambiente de laboratório

Artificial lighting performance for laboratory environments

Ricardo Nacari Maioli
UFES | Vitória | Brasil | ricardo.maioli@ufes.br
Victor Moura Bussolotti
UFES | Vitória | Brasil | victor.bussolotti@ufes.br
Adriano Felipe Oliveira Lopes
UFES | Vitória | Brasil | adriano.f.lopes@edu.ufes.br
Edna Aparecida Nico Rodrigues
UFES | Vitória | Brasil | edna.rodrigues@ufes.br
Cristina Engel de Alvarez
UFES | Vitória | Brasil | cristina.engel@ufes.br

Resumo

O consumo energético decorrente de iluminação artificial em edifícios representa cerca de 20% de seu consumo total. A escolha de um sistema de iluminação eficiente, com tecnologia capaz de reduzir o gasto de eletricidade mantendo o desempenho lumínico necessário, constitui um aliado na busca da eficiência energética de uma edificação. Assim, a pesquisa objetivou avaliar o desempenho luminotécnico do projeto de um edifício laboratorial, selecionado como estudo de caso, a ser implantado no município de Cariacica/ES. A metodologia foi estruturada considerando simulações de diferentes tecnologias de luminárias no DIALux evo. Para tanto, adotou-se como referência a classificação "A" da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Foram realizadas quatro etapas: caracterização do objeto de estudo; modelagem no *software* escolhido; escolha do modelo de luminária; e análise dos resultados obtidos. Os resultados das simulações indicaram que a substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por tubulares de LED pode diminuir significativamente os níveis de iluminância observados no plano de trabalho, podendo tal constatação ser reproduzida para ambientes semelhantes ao estudado.

Palavras-chave: Simulação. Iluminação Artificial. Desempenho Energético. DIALux. Lâmpadas.

Abstract

Energy consumption from artificial lighting in buildings represents approximately 20% of their total consumption. Choosing an efficient lighting system, with technology capable of reducing electricity costs while maintaining the necessary luminous performance, is a key factor in achieving energy efficiency in a building. Therefore, this research aimed to evaluate the lighting performance of a laboratory building project, selected as a case study, to be implemented in the municipality of Cariacica/ES. The methodology considered simulations of different luminaire technologies in DIALux evo. For this purpose, the "A" classification of the Inmetro Normative Instruction for the Energy Efficiency Classification of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C) was adopted as a reference. Four stages were carried out: characterization of the object of study; modeling in the chosen software; selection of the luminaire model; and analysis of the results obtained. The simulation results indicated that replacing fluorescent tube lamps with LED tube lamps can significantly reduce the illuminance levels observed on the work surface, and this finding can be replicated in environments like the one studied.

Keywords: Simulation. Artificial Lighting. Energy Performance. DIALux. Lamps.

MAIOLI, R. N.; BUSSOLOTTI, V. M.; LOPES, A. F. O.; RODRIGUES, E. A. N.; ALVAREZ, C. E. Desempenho do sistema de iluminação artificial para ambiente de laboratório. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8676

INTRODUÇÃO

O setor de edificações representa parcela expressiva do consumo energético no Brasil. Segundo a EPE [1], edifícios consumiram 290 TWh em 2024, valor equivalente a 47% da eletricidade do país, a qual constitui a principal fonte energética desse segmento. Nos edifícios comerciais e públicos, essa dependência é mais pronunciada, com participação de 73% da eletricidade na matriz de consumo. Dentre os usos finais desse consumo, a iluminação artificial figura com relevância, representando cerca de 20% [2], o que torna o desempenho do sistema de iluminação um importante componente para a obtenção da eficiência energética das edificações, em especial naquelas de uso contínuo, como laboratórios, escritórios e salas de aula, onde os sistemas operam por longos períodos diários e impactam diretamente nos custos operacionais ao longo da vida útil.

Nesse cenário, a literatura destaca o potencial de ganhos associado à modernização dos sistemas de iluminação artificial, bem como à adoção de estratégias eficientes de controle na etapa de projeto. Isso é particularmente evidente em edifícios públicos brasileiros, onde a iluminação artificial aparece reiteradamente entre os usos finais mais relevantes [3]. Além disso, os resultados de estudos em prédios universitários e institucionais indicam propostas adequadas para melhorar o desempenho do sistema por meio de atualização tecnológica e automação [4][5][6]. Contudo, a produção nacional se concentra, em geral, em edifícios públicos, escolares e de escritório [7], reforçando a pertinência de investigar, em edifício laboratorial, como diferentes modelos de lâmpada afetam o desempenho luminoso e o consumo associado.

A simulação computacional, nesse contexto, atua como instrumento metodológico. Na revisão de literatura, constatou-se que muitos pesquisadores empregaram o DIALux para analisar a efetividade da solução do projeto de luminotécnica, realizando simulações estáticas e o comportamento da luz natural, avaliando a relação entre geometria e distribuição da iluminância em ambientes de sala de aula [6]. Na mesma direção, estudos exploraram a complementariedade entre as ferramentas DIALux e DIVA-for-Rhino, como suporte à concepção de sistemas de iluminação integrados [4], enquanto outras pesquisas optaram pelo Relux para avaliar o potencial de aproveitamento da iluminação natural, inserindo a simulação no contexto mais amplo de um projeto de *retrofit* desenvolvido em ambiente BIM [5]. Essa convergência em torno de modelos computacionais, independentemente do *software* adotado, atesta sua consolidação como abordagem de referência para avaliação sistemática do desempenho luminotécnico em edificações.

Observa-se heterogeneidade quanto às estratégias de intervenção adotadas em função das especificidades dos contextos investigados. Pesquisadores, ao avaliarem um edifício de restaurante universitário, direcionaram a intervenção para o sistema de iluminação artificial, propondo alterações no layout e na quantidade de luminárias, adotando lâmpadas de maior fluxo luminoso e menor temperatura de cor [8]. Já outros pesquisadores, ao realizarem *retrofit* em edificação, combinaram aumento da refletância do teto com substituição por lâmpadas de maior potência para atingir o

nível de 500 lux exigido pela norma [9]. Outros estudos desenvolveram estratégias de zoneamento para sistemas de iluminação artificial adaptáveis a diferentes usos [5].

Pesquisas também, diante da incidência excessiva de luz e ofuscamento nas salas de aula analisadas, propuseram instalação de elementos de proteção solar horizontais como medida passiva de controle [6]. Esse conjunto de abordagens evidencia que a melhoria do desempenho luminotécnico não decorre de solução universal, mas de decisões técnicas ajustadas ao contexto, o que reforça a necessidade de avaliar, com rigor, as consequências de cada escolha antes de sua implementação.

Os resultados reportados por esses estudos evidenciam potencial de ganhos expressivos das intervenções adotadas desde que adequadamente fundamentadas. Os dados apresentados por [10] relatam o alcance de redução de 75% no consumo energético em ambientes de sala de aula associando luminárias LED a sensores de iluminância, com economia anual de R$ 13.820,00, resultado que decorre diretamente do planejamento integrado entre tecnologia e controle. Para [8] os resultados demonstraram que os pavimentos térreo e superior de edificação universitária apresentavam iluminâncias médias inferiores a 200 lx, com uniformidades de apenas 30% e 16%, respectivamente, evidenciando a precariedade das condições luminosas que motivaram o *retrofit*.

De forma distinta, as pesquisas de [11] identificaram que, mesmo quando os níveis de iluminância superavam os limites normativos, a percepção dos usuários permanecia satisfatória, indicando margem para otimização energética sem comprometimento do conforto visual. Essas contribuições reforçam que intervenções criteriosas produzem ganhos consistentes, evidenciando igualmente o risco de que substituições tecnológicas mal planejadas, em especial troca de lâmpadas sem substituição das luminárias, podem comprometer as condições luminosas do ambiente.

Assim, esta pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho luminotécnico de uma edificação projetada para uso como laboratório, tendo como estudo de caso o projeto da nova sede de um órgão institucional localizado no município de Cariacica, Espírito Santo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia foi estruturada considerando diferentes tecnologias de lâmpadas simuladas no DIALux-evo. Para tanto, foram analisados dados fotométricos de modelos comerciais disponíveis no mercado brasileiro, com temperatura de cor aproximada de 4000 K. Os resultados das simulações foram confrontados com os limites prescritos pela norma NBR ISO/CIE 8995-1 [12]. As seções seguintes descrevem os procedimentos adotados na modelagem e nas simulações; apresentam os cenários avaliados e seus resultados; e discutem suas implicações no planejamento do sistema de iluminação em edificações laboratoriais.

Os procedimentos empregados na pesquisa foram divididos em quatro etapas: 1 – Caracterização do Objeto de Estudo; 2 – Modelagem no *Software* Escolhido; 3 – Escolha do Modelo de Luminária; e 4 – Análise dos Resultados Obtidos.

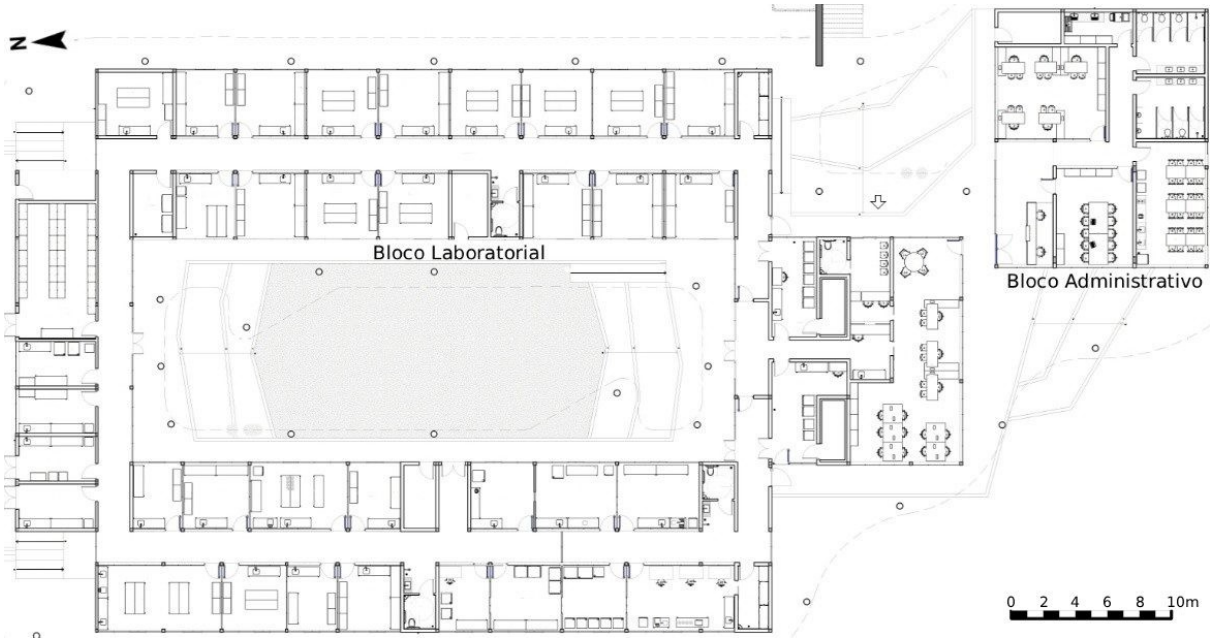
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8676

CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

O objeto deste estudo de caso consiste no novo edifício de laboratórios (GEDLAB) de órgão institucional em Cariacica/ES. O local passa por processo de reforma total, com construção de novos blocos administrativos, educativos e laboratoriais.

O GEDLAB, que será uma edificação completamente nova, é composto por dois blocos que somam cerca de 2.450 m². O bloco administrativo tem menor dimensão, forma retangular e está na face sul do complexo. Já o bloco laboratorial contém um pátio interno e ocupa a maior parte da área edificada do GEDLAB (Figura 1).

Figura 1: Layout esquemático do GEDLAB.



Fonte: os autores.

Os blocos possuem forro onde se prevê instalação de luminárias de sobrepor. Para a definição dos modelos e quantidades de luminárias em cada ambiente, utilizou-se como referência a tabela de especificação da iluminância de acordo com o tipo de ambiente, tarefa ou atividade constante na NBR 8995-1 [12]. Para tanto, foram adotados valores de iluminância de 200 lux, 300 lux ou 500 lux para cada ambiente, de acordo com suas especificidades.

Além disso, a partir da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) [13] definiu-se o limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPI_L) de cada ambiente conforme Tabela B.III.3 da normativa, para se alcançar classificação “A” de eficiência. Com isso, cada ambiente teve valor máximo definido a partir da atividade que nele se realiza e, dessa forma, para os laboratórios, obteve-se o maior valor de DPI_L permitido dentre os ambientes do complexo, correspondendo a 15,60 W/m².

MODELAGEM NO *SOFTWARE* ESCOLHIDO

Para a realização das simulações, foi utilizado o *software* DIALux evo 13.2. A planta contendo o projeto arquitetônico da edificação foi inserida em formato DWG. Com

esse arquivo, complementado pelas informações de altura e pé-direito, foi construído modelo computacional no DIALux, respeitando-se integralmente as dimensões reais propostas no projeto.

A refletividade dos revestimentos internos de piso, paredes e teto foram modeladas conforme configuração padrão do *software*, com percentuais de reflexão de luz de 20, 50 e 70 %, respectivamente. Nessa fase da investigação, foram desconsideradas esquadrias e mobiliário nos modelos, visto que a localização precisa das áreas de tarefa ainda era desconhecida.

Embora a existência de esquadrias ou a presença de mobiliários e equipamentos no modelo possam alterar as iluminâncias refletidas no espaço e sejam necessárias para a obtenção da etiquetagem da INI-C, ressalta-se que a metodologia proposta seja empregada em etapas iniciais da concepção projetual, em que alterações de projeto podem ser necessárias. Adicionalmente, a comprovação de atendimento às exigências para etiquetagem da edificação não constitui objetivo deste artigo, a INI-C e a NBR ISO/CIE 8995-1 foram utilizadas como norteadoras para avaliação do desempenho da iluminação artificial.

Por esse motivo, neste trabalho não foi realizada estimativa de consumo de energia global ou parcial da edificação, segundo o método do INI-C e nem foram analisadas estratégias de operação e controle, como a integração com a luz natural ou a presença de sensores.

A altura de referência para avaliação das iluminâncias foi de 0,75 m, desconsiderando uma faixa marginal de 0,5 m de largura da área de trabalho. O plano de avaliação foi configurado conforme ambiente, tarefa ou atividade, com níveis de iluminância mantida exigido na superfície de referência variando entre 200 e 500 lux e uniformidade de 0,7, conforme indicação normativa [12].

Tendo sido observado que a iluminação artificial inicialmente prevista era insuficiente para o atendimento aos requisitos normativos, seus posicionamentos nos ambientes foram sendo alterados para se chegar ao resultado adequado. Esse procedimento foi repetido para cada modelo de lâmpada utilizado na pesquisa, considerando tratar-se, ainda, da fase inicial visando decidir a melhor tecnologia para ser utilizada no projeto.

ESCOLHA DO MODELO DE LUMINÁRIA E DAS LÂMPADAS

Foi utilizado um único modelo de luminária para os ambientes de uso prolongado selecionados para simulação, visando simplificar o projeto e facilitar posterior manutenção do sistema. Assim, considerando suas características específicas, foi adotada luminária de sobrepor, com aletas parabólicas e refletores em alumínio de alto brilho, indicada para locais com necessidade de controle de ofuscamento, suportando 2 lâmpadas T8 de 1200 mm (Figura 2). A luminária é classificada com Índice de Ofuscamento Unificado (UGR) longitudinal 16 e transversal 15, que atendem ao prescrito na NBR ISO/CIE 8995-1 [12] para todos os ambientes simulados nesta investigação.

Figura 2: Modelo de luminária de sobrepor utilizado nas simulações (à esquerda) e curva de distribuição luminosa da luminária (à direita).



Fonte: Adaptado da ficha da luminária, disponível em https://lumicenter.com/produtos/caa02-s.

O arquivo IES utilizado é da Lumicenter Lighting, modelo CAA02-S232TL, disponibilizado com um fluxo luminoso de 1.850 lúmens por lâmpada, com 20 W cada. Contudo, para análise de diferentes modelos de lâmpada com a mesma luminária, foi feito ajuste no fluxo luminoso das fontes de luz de cada cenário simulado, conforme modelos de mercado identificados na Tabela 1. Escolheu-se o fabricante que disponibilizasse as informações dos 3 modelos de lâmpadas, todas com IRC acima de 80, conforme recomendação normativa [12].

Tabela 1: Modelos de lâmpada utilizados na simulação dos cenários de iluminação artificial

Modelo	Lâmpada	Fluxo luminoso	Potência	Modelo referência (Fabricante)
L1.TBL	Tubo LED	1.850 lm	18W	CorePro LEDtube 1200mm HO 18W840 C W G (Philips)
L2.TBLe	Tubo LED eficiente	2.100 lm	18W	CorePro LEDtube 1200mm 18W 840 T8C W G (Philips)
L3.FLTB	Fluorescente tubular	2.700 lm	32W	TLDRS32W-S84ECO 25PK (Philips)

Fonte: os autores.

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Com a modelagem da edificação pronta no *software* DIALux, foram configurados três cenários, um para cada modelo de lâmpada na luminária selecionada. Cada cenário foi modelado com uma quantidade e posição específica de luminárias para alcançar o desempenho lumínico compatível com as recomendações das normas. As demais características permaneceram inalteradas nos modelos.

Sequencialmente, os cenários de luz artificial dos três modelos foram simulados. Os resultados obtidos foram organizados em tabela e discutidos quanto à eficiência de cada cenário. Foram analisados nas simulações a iluminância mantida no plano de avaliação; a uniformidade, razão entre o valor mínimo e o média da iluminância [12]; e a densidade de potência de iluminação, razão entre a potência total instalada e a área útil do ambiente [13].

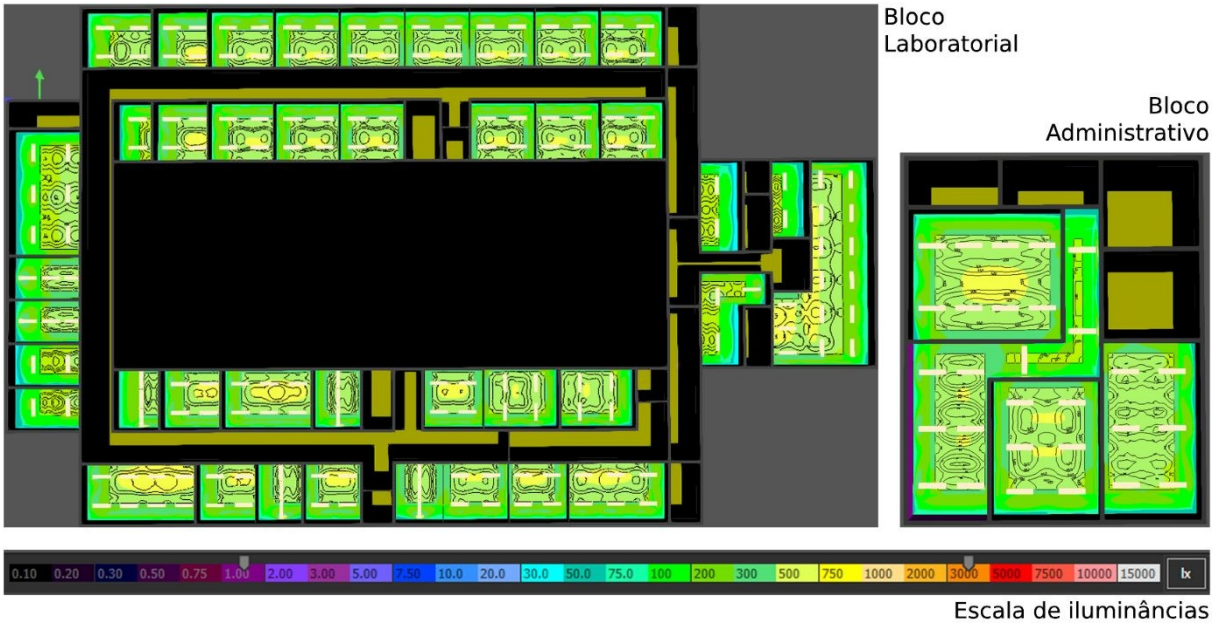
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8676

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os três cenários dos blocos Administrativo e Laboratorial foram simulados de forma independente. O dado de saída de cada bloco, disponibilizado pelo *software*, foi analisado pela representação 3D (Figura 3) e pelos dados de iluminância média e uniformidade fornecidos. Nessa investigação, foram configurados com iluminação artificial somente os ambientes que devem receber esse modelo de luminária, sendo que os demais não foram considerados nas simulações.

No comparativo entre os modelos simulados, o L3.FLTB, com luminária equipada com lâmpadas com fluxo luminoso de 2.700 lm, equivalente à fluorescente tubular, precisou de 177 luminárias para alcançar os índices de uniformidade e iluminância nos ambientes. Dentre os modelos simulados, foi o que necessitou do menor número de luminárias para alcançar os objetivos propostos.

Figura 3: Simulação da iluminação artificial com lâmpadas Modelo L2.TBLe proposta para o Bloco Laboratorial (à esquerda) e Bloco Administrativo (à direita).



Fonte: os autores.

Contudo, esse sistema resultou na maior potência total instalada, com 11,3 kW, valor 63,8% superior ao modelo L2.TBLe (Tabela 2). Tal fato indica que optar pelo modelo equipado com fluorescente tubular produziria o maior consumo energético mensal dentre as opções estudadas, mesmo desconsiderando no cálculo a potência consumida pelo reator, o que implicaria num valor ainda maior [14].

Tabela 2: Quantitativo de luminárias e potência instalada dos cenários modelados

Modelo	Luminárias (unid.)	Potência total (W)	Área total (m²)
L1.TBL	237	8.532	
L2.TBLe	192	6.912	913,99
L3.FLTB	177	11.328	

Fonte: os autores.

Dentre os cenários analisados (Tabela 3), os modelos equipados com lâmpadas tubulares de LED apresentaram menor potência total instalada, mas número superior

de luminárias, sendo o L1.TBL com 237 luminárias e o L2.TBLe com 192. O primeiro apresentou potência total instalada 23,4% superior ao cenário com tubular de LED mais eficiente e 32,8% inferior ao equipado com fluorescente tubular.

Tabela 3: Comparativo entre a potência instalada de iluminação dos ambientes nos três cenários modelados.

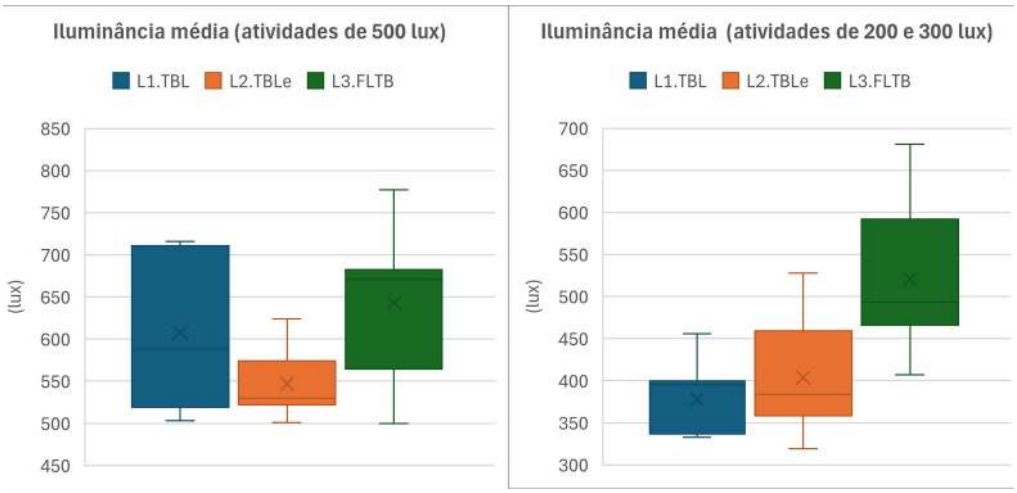
BLOCO LABORATORIAL		L1.TBL		L2.TBLe		L3.FLTB	
Ambientes	Área	Nº Lum.	Pot. Inst.	Nº Lum.	Pot. Inst.	Nº Lum.	Pot. Inst.
Almoxarifado Laboratorial	40,77	6	216	6	216	6	384
Análises Esp.	13,04	3	108	3	108	2	128
Arm. Res. Biol.	13,29	2	72	2	72	2	128
Arm. Res. Quím.	13,29	2	72	2	72	2	128
Arm. LQA	21,41	4	144	3	108	3	192
Arm. LSA	17,04	3	108	2	72	2	128
Câmara Escura	18,63	6	216	4	144	4	256
Cromatog.	12,43	3	108	3	108	2	128
Estéril + Lavagem	16,27	4	144	4	144	4	256
Esterilização	13,29	3	108	3	108	2	128
Extração	24,29	6	216	6	216	4	256
Incubação	16,35	4	144	4	144	4	256
Lab. 01	14,89	4	144	4	144	4	256
Lab. 02	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 03	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 04	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 05	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 06	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 07	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 08	17,75	6	216	4	144	4	256
Lab. 09	17,98	6	216	4	144	4	256
Lab. 10	17,98	6	216	4	144	4	256
Lab. 11	17,74	6	216	4	144	4	256
Lab. 12	17,75	6	216	4	144	4	256
Lab. 13	18,00	6	216	4	144	4	256
Lab. 14	17,76	6	216	4	144	4	256
Lab. 15	16,35	4	144	4	144	4	256
Lab. de Fornos	15,90	4	144	4	144	4	256
Lab. Leite	31,42	8	288	8	288	6	384
Lav. Utensíl.	13,29	3	108	2	72	2	128
Leitura e Repique	18,03	6	216	4	144	4	256
Meios de Cult. + Arm. Estéril	20,81	6	216	4	144	4	256
Pesagem e Inoculação	27,33	8	288	6	216	6	384
Pesagem e Secagem	12,67	3	108	2	72	2	128
Preparo de Soluções 01	14,88	4	144	4	144	4	256
Preparo de Soluções 02	20,77	6	216	4	144	4	256
Reação e Produção	16,76	4	144	4	144	4	256
Recep. de Amostras	12,92	2	72	2	72	2	128
Sala dos Técnicos	72,09	17	612	15	540	12	768
Sala UV / Espec.	13,25	3	108	3	108	2	128
Super Freezer	9,87	2	72	2	72	2	128

BLOCO ADMINISTRATIVO		L1.TBL		L2.TBLe		L3.FLTB	
Ambientes	Área	N° Lumin.	Pot. Inst.	N° Lumin.	Pot. Inst.	N° Lumin.	Pot. Inst.
Gerência	39,18	9	324	8	288	6	384
Recepção	27,94	6	216	6	216	6	384
Refeitório	33,53	6	216	6	216	4	256
Reunião	29,05	8	288	6	216	6	384

Fonte: os autores.

Nas simulações realizadas com os diferentes tipos de lâmpadas, buscou-se atendimento aos níveis de iluminância em todos os ambientes. Contudo, em alguns casos, a iluminância média obtida foi muito superior ao mínimo exigido, devido às dimensões físicas dos ambientes e ao fato de a simulação utilizar modelo único de luminária, diminuindo as possibilidades de flexibilização do projeto luminotécnico. Assim, a simulação com o modelo L2.TBLe foi mais eficiente, alcançando os níveis exigidos de iluminância e uniformidade com menor necessidade de iluminância média total, sobretudo nos ambientes com exigência de 500 lux (Figura 4).

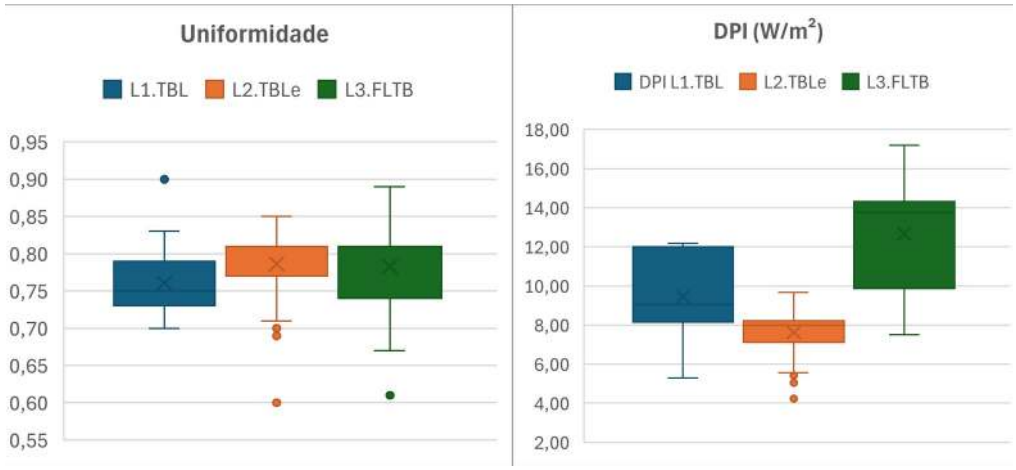
Figura 4: Níveis de iluminância média obtidos dos três cenários de simulação para ambientes com meta de 500 lux (à esquerda) e de 200 e 300 lux (à direita) no plano de trabalho.



Fonte: os autores.

A uniformidade na distribuição da luz no plano de trabalho foi diretriz para todos os ambientes. Salvo exceções, a uniformidade obtida nas simulações foi superior a 70%, com resultados similares nos três modelos. O cenário com L1.TBL alcançou a uniformidade desejada em todos os ambientes; os modelos L2.TBLe e L3. FLTB apresentaram dois ambientes com uniformidade inferior à meta, o que exigiria alteração da luminária para evitar necessidade de superdimensionar o sistema. Apesar disso, o cenário com a L2.TBLe apresentou maior uniformidade média (Figura 5).

Figura 5: Níveis de iluminância média obtidos dos três cenários de simulação para ambientes com meta de 500 lux (à esquerda) e de 200 e 300 lux (à direita) no plano de trabalho.



Fonte: os autores.

Com relação à densidade de potência de iluminação, a média geral dos ambientes simulados nos modelos L1.TBL, L2.TBLe e L3.FLTB foi de, respectivamente, 9,46, 7,61 e 12,67 W/m². Para isso, a análise considerou os valores indicados na Tabela 4, baseado na Tabela B.III.3 da INI-C [13].

Tabela 4: Densidade de potência de iluminação limite (DPI_L) dos ambientes para obtenção da classificação "A" e "D", com o método de atividades do edifício.

Ambientes/ Atividades	DPIL Classif. A (W/m²)	DPIL Classif. D (W/m²)
Armazém – Material leve	7,40	16,32
Escritório	10,00	19,04
Refeitório – Salão	7,65	15,36
Sala de espera, convivência	7,55	9,60
Sala de reuniões, conferência, multiuso	11,50	19,04
Laboratórios – médicos e pesquisa	15,6	31,2

Fonte: adaptado de [13].

No cenário com a L2.TBLe, todos os ambientes simulados alcançaram DPI inferior a 10 W/m². Já na L3.FLTB, a proposta menos eficiente, em um dos laboratórios, foi Embora a existência de esquadrias ou a presença de mobiliários e equipamentos no modelo possam alterar as iluminâncias refletidas no espaço e sejam necessárias para a obtenção da etiquetagem da INI-C, ressalta que a metodologia proposta seja empregada em momentos iniciais da concepção projetual, em que alterações projetuais podem ser necessárias. Adicionalmente, a comprovação de atendimento às exigências para etiquetagem da edificação não constitui objetivo deste artigo, a INI-C e a NBR ISSO/CIE 8995-1 foram utilizadas como norteadoras para avaliação do desempenho da iluminação artificial. o valor de 17,20 W/m², o maior dentre os simulados. De modo geral, nos cenários propostos nessa investigação, o L2.TBLe foi, aproximadamente, 24% mais eficiente que o L1.TBL e 66% mais que o L3.FLTB (Figura 5).

No cenário L3.FLTB, 36% dos ambientes não alcançaram a DPI_L indicada para classificação "A", segundo a INI-C, dentre eles, laboratórios, escritório, sala de reuniões e de armazenamento. Nos cenários L1.TBL e L2.TBLe, apenas a recepção do Bloco

Administrativo não alcançou o nível desejado. Cabe destacar que seu formato não favoreceu uma distribuição mais eficiente das luminárias, resultando em um número maior de fontes de luz para alcance da uniformidade desejada.

O cenário com L2.TBLe alcançou o melhor desempenho geral nos quesitos analisados, seguido pelo L1.TBL. Contudo, no decorrer da pesquisa, verificou-se ampla disponibilidade de tubulares de LED, formato T8, com fluxo luminoso de 1.850 lúmens no mercado local, de fabricantes variados, e poucas opções com fluxo maior.

Caso o projeto final fosse elaborado baseado no modelo L2.TBLe, com menos luminárias, uma eventual substituição por lâmpada de menor fluxo, sem a avaliação adequada, poderia comprometer a iluminância e a uniformidade na área de trabalho, como já observado em outras investigações [9][15]. Como o custo de aquisição dos modelos de menor fluxo é mais baixo, inferiu-se que esse tipo de substituição poderia ocorrer futuramente, seja por falta de atenção ou até desconhecimento da equipe sobre as características luminotécnicas desejáveis para a lâmpada. Dessa forma, optou-se pelo desenvolvimento do projeto considerando o modelo de lâmpada L1.TBL para as luminárias dos ambientes envolvidos nessa investigação, devido ao resultado satisfatório nas simulações e à maior disponibilidade, facilitando sua aquisição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A simples substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por tubulares de LED, sem a troca de luminárias, pode provocar diminuição considerável dos níveis de iluminância no plano de trabalho. Durante a elaboração dessa investigação, foram analisados catálogos de diferentes fabricantes de lâmpadas disponíveis no mercado brasileiro, com temperatura de cor de aproximadamente 4000 K, formato T8, das duas tecnologias. Verificou-se que o fluxo luminoso de uma tubular de LED dos modelos pesquisados foi, em geral, inferior ao de uma fluorescente tubular. Foram encontradas diferenças de até 42 % entre a disponibilidade de lúmens dos modelos das duas tecnologias, corroborando com o fato de que a troca de tecnologias deve ser planejada e avaliada para garantir boas condições de iluminação nos ambientes.

Cabe destacar que a distribuição do fluxo luminoso das duas tecnologias de lâmpadas tubulares é diferente, podendo interferir no rendimento e na distribuição do fluxo da luminária. Entretanto, esse fato não foi considerado na simulação, visto que não foi encontrado arquivo IES do mesmo modelo de luminária com as duas tecnologias. Portanto, uma lacuna importante identificada, que poderia contribuir com investigações similares, seria a disponibilização desses arquivos pelos fabricantes para viabilizar simulações e resultados mais precisos. Essa análise comparativa entre as tecnologias pode desempenhar papel muito importante em projetos de retrofit, em que se pretende substituir lâmpadas fluorescentes tubulares por tubulares de LED.

Outra lacuna identificada está relacionada a restrição da escolha da iluminação artificial estática e sua quantificação de consumo energético, que pode ser importante para a definição da estratégia mais eficiente e complementa a análise aqui realizada.

Como sugestões para avanço dos estudos, há a possibilidade de se realizar uma análise da eficiência energética considerando vida útil das luminárias e custos, à medida em que o desenvolvimento do projeto arquitetônico avance. Para tanto, a inclusão de mais informações, como as esquadrias e o layout arquitetônico, faz-se necessária. Esse avanço permite, inclusive, maior diálogo com a etiquetagem energética, estando mais próximo do atendimento das exigências normativas da INI-C.

A própria etiquetagem da edificação constitui passo futuro e complementar à pesquisa e que pode contribuir para validar a metodologia aqui empregada.

Observa-se que, dadas as características de uso e arquitetônicas da edificação escolhida como estudo de caso, acredita-se que os resultados conceituais obtidos na pesquisa podem orientar decisões de especificação para projetos semelhantes.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), do Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF) e do Governo do Estado do Espírito Santo.

DECLARAÇÃO

Os autores declaram que não utilizaram IA generativa nem tecnologias assistidas por IA no processo de preparação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Balanço Energético Nacional 2025: Relatório Síntese. Brasília, DF: MME, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/ben-2025/relatorio-sintese/Sintese_BEN2025/view. Acesso em: 27 abr. 2026.

[2] ALVES, Tatiana Paula *et al*. ANÁLISE DE DESEMPENHO LUMINOSO DE SALAS DE AULA. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 15, p. 3222–3227, 2019.

[3] ARAÚJO, Júlia *et al*. Assessment of the Technological update of Public Lighting in Brazil. IEEE Latin America Transactions, v. 18, n. 06, p. 985–991, jun. 2020.

[4] MORO, Jeanne; CORREA, Pablo Cesar Bassani; KRÜGER, Eduardo. Avaliação da Eficiência Energética do Tribunal de Contas do Paraná, sediado em Curitiba. Paranoá, v. 13, n. 28, 5 set. 2020.

[5] ROSSETI, Karyna De Andrade Carvalho; CAMPOS, Thais Karyne Mendes; OLIVEIRA, Yohanna Berti De. Uso racional da iluminação artificial em projeto de retrofit em BIM. In: XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais... Maceió, Brasil: 7 out. 2024. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/6335>. Acesso em: 24 abr. 2026

[6] TEIXEIRA, Josilene Lopes *et al*. Análise do conforto lumínico em salas de aula com uso da ferramenta DIALux evo. In: XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais... Maceió, Brasil: 7 out. 2024. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5762>. Acesso em: 24 abr. 2026.

[7] LOPES, Adriano Felipe Oliveira; SILVA, Caio Frederico. Building Performance Simulation in Brazil: A systematic review. In: 16TH IBPSA INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION. Anais... Roma: 9 set. 2019. Disponível em: <https://publications.ibpsa.org/proceedings/bs/2019/papers/BS2019_211143.pdf>

[8] SANTOS, Alice Oliveira; RIBEIRO, Pedro Vitor Sousa. O Desempenho da iluminação artificial em Restaurante Universitário: Medições e estratégias para o RESUN/UFS. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 20, p. 1–16, 7 out. 2024.

[9] OLIVEIRA, Felipe M. S.; OLIVEIRA, Raquel D.; LIMA, Frederico R. S. RETROFIT ENERGÉTICO DE REPARTIÇÃO ADMINISTRATIVA EM UMA INSTITUIÇÃO FEDERAL DE ENSINO SUPERIOR. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 18, n. 1, p. 1–9, 4 nov. 2020.

[10] PRIETO, Lucas William; BALVEDI, Nádia Maria Welin; GIGLIO, Thalita Gorban Ferreira. ANÁLISE DE SOLUÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA O SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE SALAS DE AULA EM EDIFICAÇÃO PÚBLICA. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 17, n. 1, p. 930–938, 12 nov. 2018.

[11] MACEDO, Rita de Cassia Nalon; VANDERLEI, Paula Silva Sardeiro; BAZOTTI, Raquel Gomes. Avaliação da iluminação em salas de aula: estudo de caso. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 18, 16 ago. 2025.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho – Parte 1: Interior. Rio de Janeiro: ABNT, 2013. 46 p. ISBN 978-85-07-04141-2.

[13] BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. Portaria Inmetro/ME nº 309, de 6 de setembro de 2022. (Retificada, com Nota Técnica 02 incorporada). Brasília, DF: INMETRO, 2024. Disponível em: https://pbeedifica.com.br/sites/default/files/Notas%20Tecnicas/Port_309_2022_Edificacoes_Retificada_NT02_0.pdf. Acesso em: 1 jul. 2026.

[14] BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Manual de iluminação. Rio de Janeiro: PROCEL EPP, 2011. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/ManualdeiluminacaoeficienteProcel.pdf. Acesso em: 23 abr. 2026.

[15] CRUZ, R. R. *et al*. Avaliação do conforto e eficiência energética do Edifício Evandro Freire da UESC aplicando a INI-C. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024.