

Eficiência energética em prédios públicos no Brasil – avaliação da viabilidade técnica e econômico-financeira de *retrofit* de sistemas de iluminação em ambientes internos

Autores:

Paulo André Dias Jacome
Pítias Teodoro
Yury Vasconcellos da Silva
Ualison Rébula de Oliveira
Eduardo de Souza Lima

RESUMO

O objetivo desta pesquisa é avaliar a viabilidade técnica e viabilidade econômico-financeira de um *retrofit* do sistema de iluminação interna de um prédio público, considerando a substituição de lâmpadas fluorescentes por lâmpadas *LED* e, ao mesmo tempo, adequar a luminância dos ambientes internos da organização objeto do estudo. Na revisão bibliográfica foram apresentados e discutidos conceitos relacionados à eficiência energética, com ênfase à Política brasileira de eficiência energética e às normas técnicas brasileiras para sistemas de iluminação em ambiente de trabalho. Trata-se de uma pesquisa com abordagens qualitativa e quantitativa, utilizando como procedimentos a pesquisa bibliográfica, documental e levantamento de campo. Os resultados mais relevantes indicam que o *retrofit* no sistema de iluminação estudado é viável técnica e econômico financeiramente. O levantamento de campo indicou que não há restrição técnica quanto à substituição das lâmpadas e ou a adequação dos ambientes que não estão em conformidade com as normas técnicas NBR 8995-1, NHO-11 e NR-17, bem como a viabilidade econômico financeira indicou que o *payback* é aceitável, o VPL é positivo e a TIR é maior que o custo de capital. Conclui-se, no âmbito da unidade organizacional desta amostra que é possível tecnicamente substituir ativos empregados na prestação de serviços, neste caso o sistema de iluminação interna e, ao mesmo tempo, realizar ganhos financeiro por meios de ações que contemplem o aumento da eficiência energética. O processo de análise ora apresentado pode ser adotado como referência para qualquer prédio público, porém, resultados similares ficam condicionados às características próprias de cada organização.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência energética; sistemas internos de iluminação, viabilidade econômico-financeira

1. INTRODUÇÃO

As fontes renováveis têm aumentado sua importância na matriz energética de muitos países (Pablo-Romero; Sánchez-Braza; Romero, 2022; Tutak; Brodny, 2022; Jong, Kiperstok, Sánchez; Dargaville; Torres, 2016), ao mesmo tempo em que esforços equivalentes estão sendo realizados para que o consumo de energia esteja alinhado às preocupações sociais, econômicas e ambientais destacadas na discussão de Elkington, (1994), ao tratar do conceito do Triple Bottom. Em países em desenvolvimento, cuja estrutura para atender às necessidades de sua população ainda não está totalmente constituída, como por exemplo o Brasil, isto é mais relevante pois, ainda que em sua matriz energética haja a predominância de fontes renováveis, há limites sociais, econômicos e ambientais para instalação de novas usinas hidráulicas e ou novos campos de geração de energia (solar e eólica), tais como custos elevados, intermitência das fontes e questões regulatórias (Trapp. Rodrigues, 2016; Tolmasquim; Guerreiro; Gorini, 2007).

Na intenção de reduzir a demanda energética, sem interferir no desenvolvimento dos países que ainda não atingiram este estágio, tão importante quanto à forma como de geração de energia, é também sua forma de consumo (Fu; Tian; Fathollahi-Fard; Zhang, 2019; Tolmasquim; Guerreiro; Gorini, 2007; United Nations, 1987). A partir deste reconhecimento é que as ações de melhoria da eficiência energética passaram a ganhar importância e autores como Fu *et al* (2019); Panesi (2006), destacaram a possibilidade de aumentar a eficiência energética por meio da otimização de processos, visando a redução de desperdícios. Entre estes desperdícios, Rudnicki (2020), Rocha (2019), Jacome (2018), Jacome (2017), Vassoler (2017), Faria *et al* (2021) e Oliveira *et al* (2021) apresentam aplicações de novas tecnologias e equipamentos com maior eficiência energética para iluminação de ambientes.

Estas ações que buscam que a redução da demanda, e do consumo de energia elétrica, sem comprometer o progresso do país, estão alinhadas ao principal marco regulatório sobre o tema no Brasil, a Lei 10.295/2001, conhecida como Lei da Eficiência Energética (Brasil, 2001), referência para o Objetivo de Sustentabilidade nº 7 – Energia acessível, cujas metas foram atualizados em 2019, com destaque nesse trabalho pelo indicador Participação das energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE) (IPEA, 2019).

Entre as decorrências desta política pública, foi elaborado o Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf), em 2011, que ao tratar da implementação de ações de eficiência energética em sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções arquitetônicas nas edificações então existentes, relatou que havia um potencial de redução deste tipo de consumo de aproximadamente 30% (MME (2011).

Ao mesmo tempo em que há oportunidades de melhoria dos sistemas de iluminação em prédios públicos brasileiros, visando o aumento de eficiência energética, modificações recentes foram realizadas em normas técnicas relacionadas às condições de ambientes de trabalho no Brasil: ABNT NBR ISO/CIE 8995 de 2013, para iluminação em ambientes de trabalho. Esta atualização considerou a Norma de Higiene Ocupacional NHO 11 de 2018, que trata da

avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho, além da Norma Regulamentadora de Ergonomia NR-17, atualizada em 2022, que estabelece as diretrizes e os requisitos que permitem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores trabalho.

As mudanças das normas relacionadas à luminosidade dos ambientes internos de trabalho no Brasil trazem alguns questionamentos: Haverá ganhos por meio de aumento da eficiência energética? Os possíveis ganhos em eficiência energética com essas mudanças são suficientes para tornar as adaptações econômico financeiramente viáveis? Os ambientes internos de trabalho em prédios públicos precisam ser adaptados – *retrofit*, para atender às mudanças nas normas?

Ante ao exposto, o objetivo deste trabalho pode ser definido da seguinte forma: avaliar a viabilidade técnica e viabilidade econômico-financeira de um *retrofit* do sistema de iluminação interna de um prédio público. Para tanto, foi selecionado o conjunto de prédios do campus de uma universidade pública brasileira – Universidade Federal Fluminense. O campus selecionado está localizado no bairro Aterrado, no município de Volta Redonda-RJ. Em um primeiro momento, será realizado o confronto entre os parâmetros de luminosidade atuais com aqueles previstos nas normas atualizadas e, se for o caso, serão projetados os ajustes necessários, bem como estimados os custos relacionados. Para verificar a viabilidade, serão confrontados os fluxos financeiros atuais relacionados ao consumo de energia com o sistema de iluminação e aquele que seria gerado, após os ajustes técnicos projetados. Para tanto, serão aplicadas técnicas de análise econômico-financeira: *payback*; valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) (Gitman, 2010; Ross; Westerfield; Jaffe, 2014), enquanto que para mensurar o risco econômico-financeiro serão realizadas a análise de sensibilidade e de cenários (Pereira, 2010), acrescidos de simulação, pelo Método de Monte Carlo (MMC) (Paula, 2014; Pereira, 2010).

A importância de verificar a viabilidade técnica e econômico financeira do *retrofit* do sistema de iluminação de um prédio público, pode ser expressa a partir do tripé de sustentabilidade, por estar alinhado à busca de ações de produção e consumo economicamente viáveis, socialmente aceitáveis e ambientalmente sustentáveis (Brasil 2001; United Nations, 1987); por evidenciar que a eficiência energética contribui para o meio ambiente na medida em que uma mesma atividade pode ser realizada com menor gasto de energia e, também, com menor impacto ambiental (Zhu; Taylor; Wang, 2022); por considerar as diretrizes da política brasileira de eficiência energética (IPEA, 2019), em prédios públicos brasileiros (MME, 2011) e estar em consonância com o princípio constitucional de eficiência pública, o qual preconiza que ações do Estado devem ocorrer para que os objetivos da administração sejam alcançados, com os melhores meios possíveis (Castro, 2006, p.8) e, ainda, com a melhor forma de alocação de recursos financeiros (Bugarin, 1998) e por direcionar resultados da pesquisa acadêmica para aspectos que têm maior impacto ao dia a dia das pessoas, tal como propõem Costa, Machado e Câmara (2022), sobre a necessidade de alteração de prioridade em rigor na pesquisa para um foco maior na relevância prática.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eficiência energética

2.1.1 Política brasileira de eficiência energética

A estratégia de desenvolvimento da política brasileira de eficiência energética é pautada por quatro grandes objetivos: 1) segurança energética; 2) retorno adequado aos investimentos; 3) disponibilidade de acesso à população e 4) critérios socioambientais, utilizando de cenários para discutir como maximizar os benefícios da atual transição para o Brasil e prevenir arrependimentos (PNE, 2020). Os principais Instrumentos de Promoção da Eficiência Energética em vigor são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Principais iniciativas de promoção da eficiência energética em vigor no Brasil

Ano	Iniciativas	Objetivo	Observação
1984	Programa Brasileiro de Etiquetagem: estabelece a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) voluntária ou compulsória.	Informar o consumidor final, buscando induzir escolhas por produtos mais eficientes;	Executado pelo INMETRO e PROCEL
1985	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)	Disponer recursos em projetos que realizem investimentos em estudos, capacitação e programas de eficiência energética	Executado pela Eletrobrás, no âmbito do Programa de Aplicação de Recursos do PROCEL (PAR/PROCEL)
1991	Programa Nacional de Racionalização de Uso de Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET)	Incentivar o uso racional de combustíveis em setores como residências, comércio, indústria, transportes e agropecuária	
2000	Programa de Eficiência Energética (PEE/ANEEL) - Lei 9.991/2.000	Estabelecer destinação percentual da Receita Operacional Líquida (ROL) da atividade de distribuição de eletricidade no país, para investimentos em P&D e em eficiência energética.	Conduzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL),
2001	Lei da Eficiência Energética (10.295/2001)	Estabelecer índices mínimos de eficiência energética para equipamentos comercializados no Brasil e em edificações, a ser realizada a partir de regulamentação específica.	Índices definidos pelo Comitê Gestor de Indicadores de Eficiência Energética (CGIEE), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia
2010	Portaria Interministerial nº 1007/2010:	Estabelecer cronograma de implementação de índices de desempenho energético para lâmpadas incandescentes, visando bani-las do mercado brasileiro	

2011	Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf)	Indicar ações e diretrizes específicas direcionadas à promoção da eficiência energética, orientando políticas públicas voltadas para essa finalidade nos setores finais de consumo (indústria, transportes, setor público, saneamento etc.) e programas de governo tais como o PROCEL e o CONPET;	
2014	Instrução Normativa SLTI n.º 02/2014/MPOG:	Tornar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de eficiência energética (nível A) obrigatório para edifícios públicos federais novos e reformados com recursos federais para exercício de atividade administrativa ou prestação de serviços públicos	

Fonte: PNE, 2020

Entre as principais iniciativas de promoção da eficiência energética em vigor no Brasil, destacam-se neste trabalho aquelas relacionadas às ações de eficiência energética em sistemas de iluminação, ar condicionado e intervenções arquitetônicas nas edificações públicas. Ao considerar as potencialidades de aumento de eficiência energética dos 483.282 prédios públicos existentes no Brasil, em 2009, identificou-se um potencial de economia de energia de, pelo menos, 2,4 TWh/ano, haja vista o consumo de energia elétrica relativo de aproximadamente de 12 TWh/ano nestes imóveis (BEN, 2010).

A redução do consumo de energia porque o Procel Prédios Públicos, uma das ações do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), estima um potencial de redução de consumo, com implementação de ações de eficiência energética da ordem de 20% com intervenções basicamente nos sistemas de iluminação e ar-condicionado. Tratam-se de valores significativos haja vista que o consumo total de energia elétrica no Brasil em 2009 foi de 426,65 TWh, logo, o setor público contribuiu com 8,6% deste consumo naquele ano (BEN, 2010).

O consumo de energia no Brasil, em 2024, foi de 650,4 TWh, sendo o setor público responsável por 7,4% deste valor (BEN, 2025). Verifica-se a diferença de 8,6% para 7,4% do consumo total de energia elétrica, indicando alguma economia de energia pelo setor público nos últimos 15 anos. Se considerada a manutenção do percentual de consumo no setor, o valor economizado foi de 7,8 TWh, correspondendo a uma economia percentual de 16,20% entre os registros de 2009 e 2024. Logo, a projeção realizada em 2009 de que havia um potencial de redução de consumo, com implementação de ações de eficiência energética da ordem de 20% ficou próxima de ser alcançada. Este resultado evidencia que é necessária a manutenção das ações de eficiência energética, tornando possível um aumento da disponibilidade de energia, sem a necessidade de aumentar o volume de geração

2.2 Luminotecnia

2.2.1 Sistemas de iluminação em ambiente de trabalho

Todo ambiente de trabalho exige uma quantidade de iluminação compatível com a execução das atividades e tarefas a que se destina (Niskier, 2021). Ainda segundo o autor, é necessário normatizar os conceitos de iluminação, pois a adequação do fluxo luminoso pode evitar problemas relacionados ao cansaço de visão e interferir em diversos fatores, tais como produtividade, qualidade e segurança.

O método do cálculo dos Lumens define o fluxo luminoso necessário para um determinado ambiente, por meio de especificações das variáveis de dimensão, característica da tarefa e observador e características do ambiente (cor de teto, parede e piso), sendo possível calcular e definir quantas luminárias são necessárias de acordo com os níveis recomendados de iluminância (Creder, 2021).

Para determinar a quantidade de lâmpadas necessárias para uma iluminação adequada dos ambientes são necessários cálculos luminotécnicos. Como referência, têm-se que a iluminância de uma superfície plana, de área igual a 1 metro quadrado (m^2), que recebe, na direção perpendicular, um fluxo luminoso igual a 1 lúmen, uniformemente distribuído, é a densidade do fluxo luminoso recebido que pode ser calculado por meio da Equação 1. A unidade de medida é lux (lx) (Niskier, 2021).

$$lux = \frac{lúmens}{m^2} \quad \text{Equação 1}$$

Já a eficiência luminosa é a relação dos lumens emitidos pela lâmpada para cada watt consumido, calculada por meio da aplicação da Equação 2.

$$Efic_{lamp} = \frac{lúmens}{watts} \quad \text{Equação 2}$$

As lâmpadas LED possuem maior eficiência luminosa quando comparadas com lâmpadas fluorescentes, fornecendo maior luminosidade com menor consumo de energia, promovendo assim, a eficiência energética dos sistemas de iluminação em diversos tipos de ambientes. Ao comparar as características das lâmpadas fluorescentes com as lâmpadas de LED, é possível destacar os aspectos apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Principais características de lâmpadas fluorescentes e lâmpadas LED

Características	Fluorescente 40W	Fluorescente 50W	LED
Vida útil	8.000 h	8.000 h	25.000 h
Eficiência luminosa	50 lm/W	67,5 lm/W	110 l/W
Reator eletrônico	30.000 h	30.000 h	Não usa
Emissão de luz	Ionização de gases	Ionização de gases	Semicondutores

Fonte: Guerrini, 2007

As características das lâmpadas *LED* fazem com que esta seja mais sustentável que as lâmpadas fluorescentes, haja vista sua maior eficiência quanto ao consumo de energia, sua vida útil mais longa, não conter mercúrio, material tóxico e prejudicial ao meio ambiente. A durabilidade reduz a quantidade de lixo eletrônico e o baixo consumo de energia diminui o impacto da geração elétrica, enquanto a ausência de mercúrio simplifica o descarte.

2.2.2 Normas de luminosidade em ambientes de trabalho no Brasil

A norma que regulamenta os níveis de luminosidade nos ambientes de trabalho no Brasil - NR 17, foi originalmente editada pela Portaria do Ministério do Trabalho nº 3.214 de 08 de junho de 1978, com objetivo de regulamentar os artigos 175, 176, 178, 198 e 199 da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). A alteração da NR 17 realizada por meio da Portaria MTb nº 876, de 24 de outubro de 2018, ajustou o subitem 17.5.3.3, referente à disposição sobre iluminância, em função do cancelamento da norma técnica ABNT NBR 5413 no ano de 2013. A partir de 2018, a NR 17 passou a referenciar a Norma de Higiene Ocupacional nº 11 (NHO 11), que trata da avaliação dos níveis de iluminamento em ambientes de trabalho internos que, por sua vez, estabelece que os níveis de iluminância passam a ser dados pela ABNT NBR ISO/CIE 8995 de 2013.

Em sua parte inicial, a norma NBR ISO/CIE 8995-1:2013 define o nível de iluminância por tipo de atividade/ambiente em uma unidade escolar – objeto deste estudo, conforme apresentado no Quadro 3.

Quadro 3: Iluminância por tipo de atividade/ambiente

Ambiente	Lux
Sala de aula noturnas	500
Biblioteca (área de leitura)	500
Sala dos professores/reuniões	300
Laboratório (geral)	300
Auditório (plateia)	300
Biblioteca (estantes)	200
Refeitório e cantina	200
Escadas	150
Área de circulação e corredor	100

Fonte: NBR ISO/CIE 8995-1:2013

3. MÉTODO

3.1 Caracterização da pesquisa

Este trabalho é descritivo, com emprego de abordagens qualitativa e quantitativa, utilizando como procedimentos a pesquisa bibliográfica, documental e levantamento de campo (Gil, 2022; Mattar, 2005). A pesquisa bibliográfica foi realizada para subsidiar a discussão enquanto que a análise documental foi direcionada para as normas relacionadas à iluminação de espaços laborativos internos, bem como dos registros de demanda e fornecimento de energia elétrica para consumidores atendidos com alta tensão. Por fim, o levantamento de campo foi realizado no ambiente estudado, com a medição dos níveis de iluminância e junto a empresas que atuam no fornecimento de matérias e serviços relacionados à implantação e ou manutenção de sistemas de iluminação de ambientes internos.

3.2 Viabilidade técnica – Cálculo luminotécnico

A análise da viabilidade técnica pode ser realizada a partir de resultados de cálculos luminotécnicos, utilizados para determinação do fluxo luminoso adequado para cada tipo de ambiente. Para tanto, é necessária a definição da iluminância do local, escolha da lâmpada e luminária, definindo assim o número de lâmpadas para o ambiente. Como os ambientes em estudo já possuem luminárias, o levantamento da situação de cada ambiente será, em um primeiro momento para identificar necessidade de alterações.

Um luxímetro da marca ICEL, modelo LD-550, foi utilizado para medir a iluminância de cada ambiente e o Método dos Lúmens foi utilizado para calcular o fluxo luminoso total, possibilitando verificar se o fluxo luminoso é adequado àqueles especificados na NBR 8995-1. O fluxo luminoso total foi calculado por meio do emprego da Equação 3.

$$\Phi = \frac{S * E}{u * d} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

Φ = fluxo luminoso total

S = área do recinto

E = nível de iluminância

u = coeficiente de utilização

d = coeficiente de depreciação

Com o conhecimento do fluxo luminoso total, é possível determinar a quantidade de luminárias necessárias em cada ambiente. A quantidade de luminárias foi calculada por meio do emprego da Equação 4.

$$N = \frac{\Phi}{\varphi} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

N = número de luminárias

\emptyset = fluxo luminoso total

φ = fluxo por luminária

Conhecida a quantidade de luminárias necessárias em cada ambiente, há o confronto com aquelas que estão instaladas. Este resultado, inicialmente, irá indicar a adequação ou a necessidade de ajustes, depois, subsidiar a análise de viabilidade econômico-financeira.

3.3 Viabilidade econômico-financeira

A análise da viabilidade econômico-financeira requer a estimativa dos fluxos de caixa relevantes. O fluxo de caixa inicial (investimento), pode ser estimado a partir de pesquisas e orçamentos em empresas para fornecimento dos materiais e empresas de serviços para realização de *retrofit*, já os fluxos de caixa operacionais (entradas de caixa) podem ser estimados a partir da economia no consumo de energia ativa do campus Aterrado da UFF associada ao *retrofit*. Em função das características dos ativos relacionados à esta análise, não será considerada a liquidação dos ativos que poderiam ser desmobilizados ao final de sua vida útil (fluxo de caixa terminal), haja vista que poderiam, talvez, ser vendidos apenas como sucata.

Para estimar a diferença entre o gasto de energia, antes e após o *retrofit*, é necessário realizar o cálculo do consumo de energia elétrica com conceitos básicos de eletrodinâmica, conforme apresentado na Equação 5

$$E = pot * \Delta t \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

E = energia consumida

pot = potência

Δt = tempo de uso

Com a estimativa do consumo de gasto de energia, antes e após o *retrofit*, é possível determinar o custo do consumo de energia elétrica. O custo do consumo de energia elétrica pode ser calculado por meio do emprego da Equação 6.

$$C_{custo} = E * C_{kWh} \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

C_{custo} = custo da energia elétrica

E = energia consumida

C_{kWh} = custo do kWh

A análise da viabilidade econômico-financeira pode ser realizada com o emprego das seguintes técnicas de análise de orçamento de capital: 1) *payback*, para verificar o tempo de recuperação do investimento inicial; 2) valor presente líquido (VPL), para verificar se as entradas de caixa projetadas superam o investimento inicial e 3) taxa interna de retorno (TIR), para verificar se a taxa de retorno supera a taxa de custo de capital considerada (Gitman, 2010; Ross; Westerfield; Jaffe, 2002).

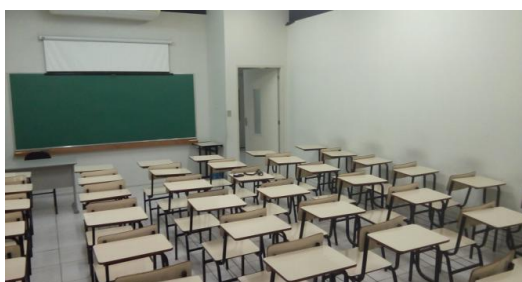
A análise do risco econômico-financeiro pode ser realizada com o emprego das seguintes técnicas de análise de risco: 1) sensibilidade, para identificar entre os parâmetros selecionados aqueles que, individualmente, mais influenciam no resultado do empreendimento quando sofrem alguma variação (Pereira, 2010); 2) cenários, para identificar entre os parâmetros selecionados aqueles que, combinados, mais influenciam no resultado do empreendimento quando sofrem alguma variação (Pereira, 2010) e 3) simulação, para identificar o efeito no resultado do empreendimento proveniente da variação de todos os parâmetros selecionados, quando sofrem alguma variação ao mesmo tempo (Paula, 2014; Pereira, 2010). Trata-se da aplicação do Método de Monte Carlo (MMC), experimento amostral, que busca quantificar a probabilidade de possíveis resultados de uma variável de interesse, embasada em uma ou mais variáveis de entrada, que se comportam de forma probabilística, de acordo com alguma distribuição de probabilidades (Buratto, 2005; Evans; Olson, 2002).

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise da Viabilidade técnica – Cálculo luminotécnico

Os resultados da medição da iluminância dos ambientes estudados possibilitam afirmar que apenas as trocas de lâmpadas não promovem a iluminância preconizada na NBR 8995-1. Após os cálculos verificou-se que nas salas de aula e nos banheiros é necessária a instalação de novas luminárias com o mesmo padrão ora utilizado: 4 luminárias para cada sala de aula pequena (40 carteiras), 6 luminárias para cada sala de aula grande (60 carteiras) e 2 luminárias para cada banheiro, obtendo assim, a iluminância preconizada pela NBR 8995-1.

Para ilustrar o levantamento de campo, apresentam-se as medições realizadas com luxímetro, em uma sala de aula para 40 alunos com 12 lâmpadas fluorescentes (sala 105 do bloco A). A iluminância foi de 250 Lux, entretanto, deveriam ter 20 lâmpadas e iluminância de 500Lux. Na Figura 1(a) está a sala de aula com lâmpadas fluorescentes e sua respectiva medição na Figura 1(b).



a - Sala de aula pequena 105-A com 12 lâmpadas fluorescentes;



b - Medição e resultado da sala 105-A

Figura 1 – Amostra do levantamento em ambiente pesquisado
Fonte: Elaborada pelos autores, 2025

O fator de utilização, calculado com base no índice local e refletância de cada ambiente, considerou uma refletância 853 e os resultados foram obtidos por meio de interpolação numérica com polinômio interpolador e fórmula de Newton. O fator de depreciação utilizado foi de 0,8. No Quadro 4 são apresentados os resultados da análise luminotécnica, realizado de acordo com as normas técnicas NBR 8995-1, NHO-11 e NR-17, através do método dos lumens para cada ambiente, com destaque para a diferença entre o número de lâmpadas existentes e o número de lâmpadas necessárias.

Quadro 4: Cálculo luminotécnico para cada ambiente

Ambiente	Lux (NBR8995)	Fator Utilização	Fluxo (Lumens)	Lâmpadas existentes (a)	Lâmpadas necessárias (b)	Diferença (a) – (b)
Sala de aula pequena	500	0,62575	39.153	12	20	- 8
Sala de aula grande	500	0,73363	69.176	24	36	- 12
Sala de professores	300	0,68762	21.378	12	12	-
Banheiros	200	0,61694	16.209	6	10	- 4
Refeitório	200	0,76289	53.743	48	28	+ 20
Biblioteca	200	0,8640	109.954	112	56	+ 56
Auditório (plateia)	200	0,8640	109.954	112	56	+ 56
Escadas	150	0,42496	26.473	18	14	+ 4
Corredores	100	0,53677	30.972	40	16	+ 24

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Os resultados da análise técnica permitem afirmar que não é necessária alteração na potência contratada, nem na instalação de distribuição de energia elétrica interna, haja vista que a redução no consumo de energia com substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED é mais que suficiente para atender as luminárias que deverão ser instaladas para que o ambiente pesquisado fique em conformidade com as normas de iluminação de ambientes laborativos internos - NBR ISO/CIE 8995-1:2013.

4.2 Caracterização do consumo da unidade objeto de estudo

No Brasil, há diferença no preço da energia para consumidores que pertencem ao Grupo A (alta tensão). Isso ocorre porque no horário compreendido, normalmente, das 18h às 21h, excluindo sábados, domingos e feriados nacionais, há a maior utilização de energia e de potência - este período é considerado de 'horário de ponta' e o preço da energia pode chegar a ser três vezes mais caro, quando comparado com os demais horários, tratados como 'horário fora de ponta'. O aumento da tarifa no horário de ponta tem como objetivo reduzir o pico de consumo e não sobrecarregar as linhas de transmissão. Dessa maneira, não há a necessidade de sobre dimensionar as redes de transmissão e distribuição para atender exclusivamente este período de três horas.

O Campus Aterrado, da Universidade Federal Fluminense, localizado na cidade de Volta Redonda-RJ, encontra-se no grupo tarifário A, nível de tensão A4 e utiliza a Tarifa Verde para cobrança do seu consumo de energia. Isso significa que o consumo é cobrado de forma diferenciada para horário de ponta e horário fora de ponta. O horário de ponta para consumo de energia elétrica contratado pela universidade é compreendido entre 17h30min e 20h30min, com exceção de sábados, domingos e feriados nacionais, sendo os demais horários caracterizados como horário fora de ponta. No momento em que o levantamento dos dados relacionados às tarifas foi realizado – ano de 2024, o valor cobrado pelo consumo de energia elétrica ativa para a Universidade Federal Fluminense no horário de ponta era de R\$ 1,47584/kWh e, no horário fora de ponta era de R\$ 0,50859/kWh.

Quadro 4: Preços para tarifação em média tensão nível de tensão A4 – ano de 2024

Nível de tensão: A4 (2,3 a 25Kv)	TUSD* (R\$)	TE* (R\$)	TUSD + TE* (R\$)
Demanda - MWh	22,78	0	22,78
Consumo horário de ponta – R\$/MWh	945,56	530,28	1.475,84
Consumo fora de ponta - R\$/MWh	161,87	346,72	508,59

*TUSD – Tarifa de uso do sistema de distribuição e TE – Tarifa da energia

Fonte: Ligth, 2024.

O consumo e os custos mensais de energia elétrica ativa do campus Aterrado, apresentados no Quadro 5, foram extraídos das contas de energia dos meses de outubro de 2023 a setembro de 2024, período que irá representar o ciclo anual de fluxo de caixa. A conta de energia da Universidade Federal Fluminense é composta por outros valores como a demanda contratada, taxa de iluminação pública, no entanto, apenas o consumo de energia ativa foi considerado.

Quadro 5: Custo do consumo de energia ativa do campus Aterrado da UFF

Mês/Ano	Consumo ponta (MWh)	Custo Ponta (R\$) (a)	Consumo fora ponta (MWh)	Custo fora ponta (R\$) (b)	Custo total da energia ativa (R\$) (a) + (b)
Out/23	3,489	5.149,21	37,498	19.071,11	24.220,31
Nov/23	3,111	4.591,34	36,000	18.309,24	22.900,58
Dez/23	5,771	8.517,07	50,774	25.823,15	34.340,22
Jan/24	8,148	12.025,14	50,745	25.808,40	37.833,54
Fev/24	6,202	9.153,16	41,299	21.004,26	30.157,42
Mar/24	3,947	5.825,14	30,038	15.277,03	21.102,17
Abr/24	4,379	6.462,70	33,667	17.122,70	23.585,40
Mai/24	4,146	6.118,83	33,696	17.137,45	23.256,28
Jun/24	5,743	8.475,75	44,323	22.542,23	31.017,98
Jul/24	6,697	9.883,70	47,174	23.992,22	33.875,93
Ago/24	8,654	12.771,92	59,357	30.188,38	42.960,30
Set/24	6,187	9.131,02	50,198	25.530,20	34.661,22
Anual	66,474	98.104,98	514,769	261.806,37	359.911,35

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A determinação da fração do custo da energia ativa, proveniente do sistema de iluminação do campus Aterrado da Universidade Federal Fluminense, foi estimada a partir do levantamento de carga dos projetos de instalações elétricas, observações com contagem *in loco* e mapa de utilização das instalações da unidade: salas de aula, biblioteca, refeitório, auditório, passarelas, acessos, etc., considerando, inclusive, o tempo de utilização de cada ambiente. Os dados coletados foram registrados e consolidados em planilhas eletrônicas, permitindo estimar a energia ativa consumida pelas lâmpadas fluorescentes e seus reatores eletrônicos para iluminação do campus Aterrado da UFF.

Estima-se que 27,5% do consumo total de energia ativa registrado na conta de energia da unidade esteja relacionado ao sistema de iluminação. A partir desse percentual, foi possível estimar o custo do consumo mensal de energia ativa com iluminação do campus Aterrado da UFF, com destaque para os meses de março de 2024 e agosto de 2024, respectivamente aqueles que apresentaram a menor e o maior gasto com energia, conforme apresentado no Quadro 6.

Quadro 6: Custo do consumo mensal de energia ativa com iluminação do campus Aterrado da UFF

Mês/Ano	Custo total da energia ativa – Campus Aterrado da Universidade Federal Fluminense (R\$) (a)	Custo da energia ativa – Lâmpadas Fluorescentes (R\$) (a)*0,275
Out/23	24.220,31	6.660,59
Nov/23	22.900,58	6.297,66
Dez/23	34.340,22	9.443,56
Jan/24	37.833,54	10.404,22
Fev/24	30.157,42	8.293,29
Mar/24	21.102,17	5.803,10
Abr/24	23.585,40	6.485,99
Mai/24	23.256,28	6.395,48
Jun/24	31.017,98	8.529,95
Jul/24	33.875,93	9.315,88
Ago/24	42.960,30	11.814,08
Set/24	34.661,22	9.531,84
Anual	359.911,35	98.975,64

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

4.3 Fluxos de caixa relevantes

4.3.1 Fluxo de caixa inicial

A proposta de realização do *retrofit* pode ser apresentada em duas etapas complementares: 1) Substituição das lâmpadas fluorescentes e 2) Adequação da iluminância, conforme apresentado a seguir.

1) Substituição das lâmpadas fluorescentes e seus reatores por lâmpadas *LED* de mesmo tamanho e mesmo encaixe, possibilitando a utilização das mesmas luminárias: cada luminária possui duas lâmpadas fluorescentes de 1,20, que podem estar instaladas com um ou dois reatores eletrônicos. Foi estimado que um eletricista e um ajudante realizam a substituição desse conjunto, por duas lâmpadas *LED* do mesmo tamanho e com mesmo tipo de encaixe, em média, em 30min. Os custos de mão de obra para a substituição das lâmpadas existentes foram extraídos do catálogo do sistema de obras – Sistema de Custos de Obras da Secretaria Municipal de Infraestrutura do Rio de Janeiro (SCO-RIO, 2024). Este catálogo dispõe tabelas atualizadas que auxiliam na estimativa de custos para obras e serviços de engenharia no município do Rio de Janeiro, mês de referência setembro de 2024, com o valor do homem-hora em R\$ 22,84 para o eletricista e R\$ 14,85 o ajudante. Já o custo das lâmpadas foi estimado com base nos valores médios pesquisados em empresas que fornecem material de iluminação para ambientes internos, sendo adotados os seguintes custos para lâmpadas *LED* de 9W e 18W, respectivamente, em preço de atacado: R\$ 20,00 e R\$ 25,00. No Quadro 7 são apresentados os valores relacionados à substituição das lâmpadas fluorescentes.

Quadro 7. Custo mão de obra e das lâmpadas para substituição de lâmpadas existentes

Item	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Eletricista	22,84 / hora	798,5 horas	18.237,74
Ajudante	14,15 / hora	798,5 horas	11.298,78
Lâmpada LED 9W	20,00	60 lâmpadas LED 9W	1.200,00
Lâmpada LED 18W	25,00	3.134 lâmpadas LED 18W	78.350,00
Total			109.086,52

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

2) Adequação da iluminância nos ambientes nos quais os resultados do cálculo luminotécnico não estão em acordo com as normas técnicas NBR 8995-1, NHO-11 e NR-17, com a instalação de novas luminárias e respectivas lâmpadas. Foi estimado que um eletricista e um ajudante realizam a instalação de uma luminária do tipo calha com duas lâmpadas LED do mesmo modelo das existentes, em média, em 30 min. Os custos de mão de obra para a para instalação das novas luminárias/lâmpadas também foram extraídos do catálogo do sistema de obras – Sistema de Custos de Obras da Secretaria Municipal de Infraestrutura do Rio de Janeiro (SCO-RIO, 2024). Já o custo das luminárias foi estimado com base nos valores médios pesquisados em empresas que fornecem material de iluminação para ambientes internos, sendo adotado o custo de preço de atacado de R\$35,00 para a luminária do tipo calha para duas lâmpadas e o seguinte custo para lâmpadas LED de 18W, em preço de atacado de R\$ 25,00, No Quadro 8 são apresentados os valores relacionados à adequação da iluminância.

Quadro 8: Custo mão de obra, luminárias e lâmpadas para adequação da iluminância

Item	Valor Unitário (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Eletricista	22,84 / hora	160 horas	3.654,40
Ajudante	14,15 / hora	160 horas	2.264,00
Lâmpada LED 18W	25,00	640 lâmpadas	16.000,00
Luminária 120cm	35,00	320 luminárias	11.200,00
Total			33.118,40

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

O fluxo de caixa inicial, é obtido pelo somatório dos gastos com a substituição das lâmpadas fluorescentes e da adequação da iluminância. O valor do investimento imediato é de R\$ 142.204,92 (cento e quarenta e dois mil duzentos e quatro reais e noventa e dois centavos).

4.2.2 Fluxos de caixa operacionais

A receita mensal deste *retrofit* foi determinada pela estimativa de economia com o gasto de energia proveniente da diferença entre o gasto de energia com o sistema de iluminação atual,

utilizando lâmpadas fluorescentes e o possível gasto com o sistema de iluminação utilizando lâmpadas *LED*, incluindo aquelas que devem ser instaladas para adequação da iluminância, se a proposta do *retrofit* for técnica e econômico financeiramente viáveis. No Quadro 9 são apresentadas as entradas de caixa mensais e o valor anualizado.

Quadro 9. Receita do fluxo de caixa

Mês/Ano	Custo da energia ativa Lâmpadas fluorescentes (R\$) (a)	Custo da energia ativa - Substituição de lâmpadas <i>LED</i> (R\$) (b)	Custo da energia ativa Lâmpadas <i>LED</i> - novas instalações (R\$) (c)	Entradas de caixa (R\$) (a) – (b) – (c)
Out/23	6.660,59	2.997,26	612,08	3.051,25
Nov/23	6.297,66	2.833,95	578,73	2.884,99
Dez/23	9.443,56	4.249,60	867,82	4.326,14
Jan/24	10.404,22	4.681,90	956,10	4.766,22
Fev/24	8.293,29	3.731,98	762,11	3.799,19
Mar/24	5.803,10	2.611,39	533,28	2.658,43
Abr/24	6.485,99	2.918,69	596,03	2.971,26
Mai/24	6.395,48	2.877,96	587,71	2.929,80
Jun/24	8.529,95	3.838,48	783,86	3.907,61
Jul/24	9.315,88	4.192,15	856,09	4.267,65
Ago/24	11.814,08	5.316,34	1.085,66	5.412,09
Set/24	9.531,84	4.289,33	875,93	4.366,58
Total/ano	98.975,64	45.539,03	9.095,40	44.341,21

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Os dados coletados com o levantamento das entradas de caixa mensais do período entre outubro de 2023 e setembro de 2024 consolidadas em um período anual foi tomado como referência para realização das análises. Em caso de reajuste no valor da tarifa de energia, o valor do kWh o gasto com os sistemas de energia será maior na mesma proporção e existirá aumento na receita. Esta variação não foi considerada neste estudo, embora a análise por meio de simulação compreenda possíveis variações.

4.4 Análises

4.4.1 Viabilidade econômico-financeira

A taxa de custo de capital adotada para a análise de viabilidade econômico-financeira foi de 13,25% a.a., taxa SELIC no momento em esta análise estava sendo realizada. Esta taxa foi determinada na 268ª reunião do Comitê de Política Monetária – Copom de 28 e 29 de janeiro de 2025. Para determinação dos fluxos de caixa relevantes foram considerados o fluxo de caixa inicial, que consolida o investimento para realização do *retrofit* e os fluxos de caixa operacionais, que consolida a economia com o gasto de energia decorrente do *retrofit* –

diferença entre o que seria gasto com o sistema de iluminação com lâmpadas *LED* em comparação com o sistema de iluminação com lâmpadas fluorescentes. Em função das características dos ativos, não foi considerada a possibilidade de incluir o fluxo de caixa terminal, decorrente da possível venda dos ativos ao final de sua vida útil. Por simplificação, os valores inicialmente obtidos para os fluxos de caixa relevantes foram arredondados e estão sintetizados por meio da Figura 2.

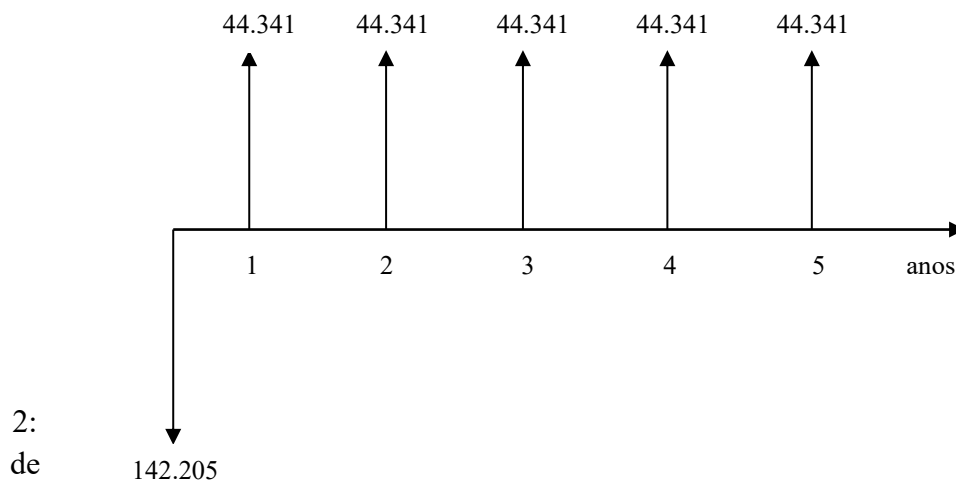


Figura
Fluxos
caixa

relevantes relacionados à proposta de *retrofit*
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025

Payback

$$\text{Payback} = \text{Ano antes da recuperação total} + \frac{\text{Custo não recuperado no início do ano}}{\text{Valor da entrada de caixa durante o ano}}$$

$$\text{Payback} = 3 + \frac{142.205 - 133.024}{44.341}$$

$$\text{Payback} = 3,21 \text{ anos}$$

Valor presente líquido

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FC_0$$

$$VPL = \frac{44.341}{(1+0,1325)^1} + \frac{44.341}{(1+0,1325)^2} + \frac{44.341}{(1+0,1325)^3} + \frac{44.341}{(1+0,1325)^4} + \frac{44.341}{(1+0,1325)^5} - 142.205$$

$$VPL = 12.805,92$$

Taxa interna de retorno

$$\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - FC_0 = 0$$

$$\frac{44.341}{(1+TIR)^1} + \frac{44.341}{(1+TIR)^2} + \frac{44.341}{(1+TIR)^3} + \frac{44.341}{(1+TIR)^4} + \frac{44.341}{(1+TIR)^5} - 142.205 = 0$$

$$TIR = 16,90\%$$

Os resultados obtidos permitem afirmar que o *retrofit* proposto é viável pelo ponto de vista econômico financeiro. O tempo de recuperação do investimento de 3,21 anos é próximo da vida útil das lâmpadas, caso ficassem acesas durante todo o período, o que não ocorre, e bem menor que a vida útil das luminárias. O VPL de R\$12.805,92 (Dez mil, oitocentos e cinco reais e noventa e dois centavos) é positivo para a taxa de desconto adotada – SELIC de 13,25% e a TIR de 16,90% é maior que a taxa de desconto.

4.4.2 Risco econômico-financeiro

Uma distribuição de probabilidade pode ser representada por meio de uma função, neste caso a triangular, particularmente útil em situações nas quais apenas três informações são conhecidas: o valor mínimo, a moda e o valor máximo. No modelo ora em elaboração, os parâmetros considerados para a realização da simulação apresentam esta característica, conforme apresentado no Quadro 10.

Quadro 10: Parâmetros esperados, conservadores e otimistas selecionados para análise da sensibilidade do VPL

	Variações conservadoras	Valor esperado	Variações otimistas
Preço lâmpada 9W	R\$21,40	R\$20,00	R\$19,03
Preço lâmpada 18W	R\$26,75	R\$25,00	R\$24,25
Preço luminária	R\$37,45	R\$35,00	R\$33,95
MOD/ Eletricista*	R\$24,44	R\$22,84	R\$22,15
MOD/ Ajudante*	R\$15,14	R\$14,15	R\$13,73
Taxa de desconto	15,06%	13,25%	11,44%

* O tempo de uma substituição é o mesmo de uma adequação: ½ h

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade visa detectar os parâmetros cujas variações têm efeito mais significativo sobre um resultado, neste caso, no VPL do *retrofit*. O grupo de parâmetros independentes selecionado (variáveis) apresentado no Quadro 10 foi submetido um por vez a variações de seu valor inicialmente estimado, os demais parâmetros mantiveram os valores esperados e os efeitos sobre o VPL foi calculado. O valor do VPL associado a cada variação, bem como o impacto relativo desta variação, é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11: Sensibilidade – impacto da variação combinada dos valores dos parâmetros esperados selecionados no VPL do *retrofit*

Variável com alteração do valor	Valor do VPL com variações conservadoras (R\$)	Impacto relativo no VPL com variações conservadoras (%)	Valor do VPL com variações otimistas (R\$)	Impacto relativo no VPL com variações otimistas (%)
Preço lâmpada 9W	12.722,00	-0,66	12.864,20	0,45
Preço lâmpada 18W	6.201,50	-51,57	15.636,50	22,1
Preço luminária	12.022,00	-6,12	13.142,00	2,62
MOD/ Eletricista*	11.272,40	-11,98	13.467,37	5,16
MOD/ Ajududante*	11.857,09	-7,41	13.208,57	3,14
Taxa de desconto	6.222,08	-51,41	19.877,01	55,22

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Nenhuma variação conservadora nos parâmetros selecionados, individualmente, inviabiliza a implementação do *retrofit* pois, em todos os casos, o VPL permaneceu positivo. Os impactos não favoráveis absolutos e relativos mais significantes no VPL, em função da variação nos valores inicialmente estimados (valores esperados), ocorrem quando há aumento do preço da lâmpada LED de 18W e ou o aumento da taxa de desconto. Estas variações, quando ocorridas individualmente, não chegam a inviabilizar a proposta do *retrofit*, mas cada uma delas, faz com que o VPL da proposta seja reduzido quase pela metade. Em sentido oposto, a redução da taxa de desconto é a variação favorável que mais contribui para a melhoria do VPL, com um acréscimo de 55,22%. Isso significa que o responsável pela implementação do *retrofit* deve ter maior atenção a estes aspectos, haja vista a sensibilidade do resultado às possíveis variações nos valores inicialmente estimados.

Análise de cenários

A análise de cenário também visa detectar os parâmetros cujas variações têm efeito mais significativo sobre um resultado, neste caso, no VPL do *retrofit*, porém, possui um escopo mais amplo, haja vista que são consideradas variações combinadas que visam formar os cenários. Foram gerados 4 cenários, cujo valor do VPL associado às variações combinadas, bem como o impacto relativo desta variação, é apresentado no Quadro 12.

Quadro 12: Cenários – impacto da variação combinada dos valores dos parâmetros esperados selecionados no VPL do *retrofit*

Cenário	Valor do VPL com as variações combinadas (R\$)	Impacto relativo no VPL com variações combinadas (%)
1 – Realização do <i>retrofit</i> assumindo todos os parâmetros com a variação mais conservadora	1.815,93	-85,82
2 – Realização do <i>retrofit</i> assumindo todos os parâmetros com a variação mais otimista	24.165,65	88,71
3 – Realização apenas da substituição das lâmpadas	77.721,58	5,07
4 - Realização apenas da adequação dos ambientes	4.192,31	-67,26

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Nenhum dos cenários com as respectivas variações nos parâmetros selecionados, de forma combinada, inviabiliza a implementação do *retrofit* pois, em todos os casos, o VPL permaneceu positivo. O impacto relativo em relação ao VPL esperado, de R\$12.805,92 (Dez mil, oitocentos e cinco reais e noventa e dois centavos) no cenário 1 e cenário 2, respectivamente, apresentou comportamento oposto, com grandeza similar: redução em 85,82% e aumento em 88,71%, respectivamente, no valor do VPL. Ao considerar os valores absolutos a diferença em relação ao VPL esperado é expressiva no valor do VPL, pois a adoção dos valores definidos no cenário 1 o leva para R\$ 1.815,93 (Hum mil, oitocentos e quinze reais e noventa e três centavos), enquanto que a adoção dos valores definidos no cenário 2 o leva para R\$ 24.165,95 (Vinte e quatro mil, cento e sessenta e cinco reais e noventa e cinco centavos). O cenário 3 foi aquele que apresentou maior impacto relativo e absoluto pois o valor do VPL aumentou aproximadamente 5 vezes, quando comparado com o VPL esperado, passando para R\$ 77.721,58 (Setenta e sete mil e setecentos e vinte e um reais), um aumento de quase 500%. Este resultado parcial, demonstra o quanto a substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas LED contribui para a eficiência energética do sistema de iluminação interno. O VPL esperado do *retrofit*, como um todo, não é melhor, por conta da adequação do sistema de iluminação em alguns ambientes (salas de aula pequenas, salas de aula grandes e banheiros), fazendo com que parte dos benefícios na forma de entradas de caixa fiquem comprometidos com a instalação de novas luminárias. Essa análise é complementada pelos resultados do VPL quando considerado o cenário 4, com impacto relativo e absoluto desfavoráveis em relação ao VPL esperado.

Análise de simulações - Método de Monte Carlo

Para esta análise do risco econômico-financeiro do *retrofit*, os parâmetros utilizados para estimar os fluxos de caixa esperados sofreram, ao mesmo tempo, aleatoriamente,

variações. Para cada conjunto de variação, o VPL foi recalculado num total de 10.000 combinações e esses resultados são expressos no histograma apresentado na Figura 3.

Um ponto específico deve ser destacado no eixo x: aquele no qual o valor do VPL passa de negativo para positivo. Ao identificar qual o percentual de casos ocorridos nesse ponto, o interessado terá a informação de qual a probabilidade de o empreendimento apresentar um VPL negativo e, de forma complementar, positivo. Verifica-se que a probabilidade de que o VPL seja negativo é de 17,72%, ou ainda, de forma complementar, que a probabilidade de 82,28% de que o VPL seja positivo.

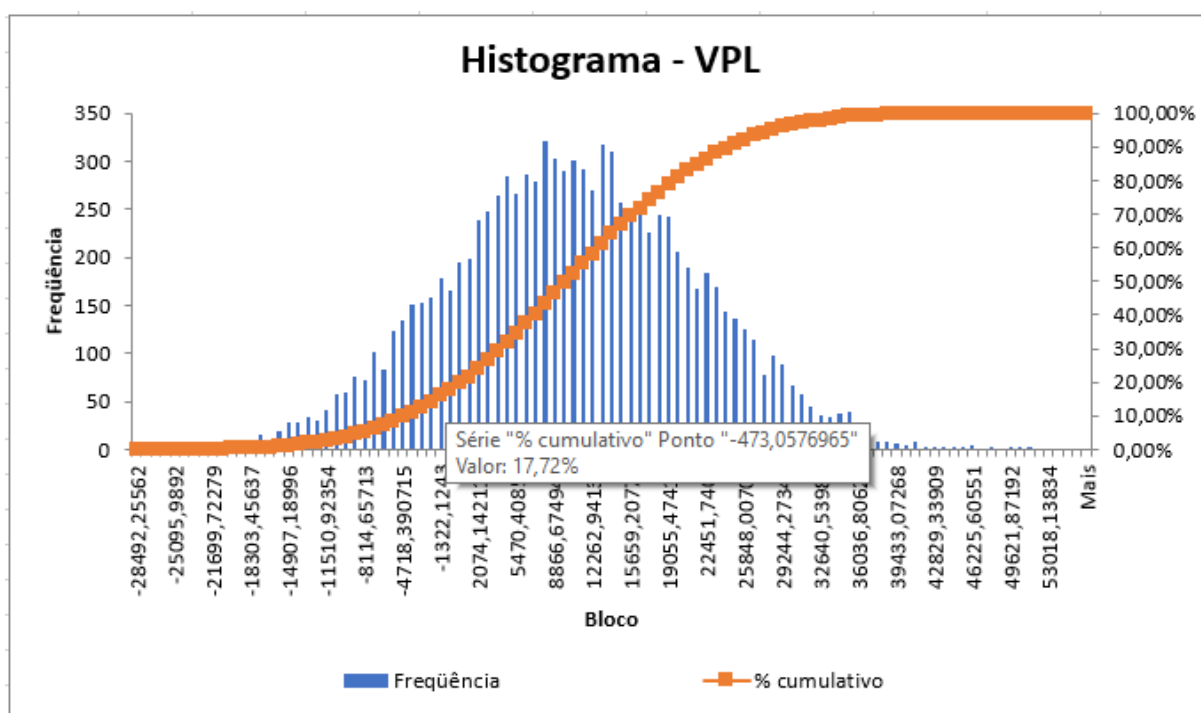


Figura 3. Distribuição de probabilidade do VPL do *retrofit*
Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Para realização das simulações, considerou-se que o valor esperado do fluxo de caixa inicial – investimento – estimado a partir de orçamentos em empresas especializadas em fornecimento de material de iluminação para ambientes internos, em conjunto com os custos de mão de obra para a para instalação das novas luminárias/lâmpadas extraídos do catálogo do sistema de obras – Sistema de Custos de Obras da Secretaria Municipal de Infraestrutura do Rio de Janeiro (SCO-RIO, 2024), poderia sofrer redução de até 3% no valor global, por conta de compras em quantidades de atacado, e de aumento de até 7%, por conta das variações de marca, fornecedor e momento da ocorrência da aquisição dos materiais e ou da contratação dos serviços. Quanto aos fluxos de caixa operacionais – entradas de caixa – inicialmente estimados, tomou-se valor esperado a soma das contas de 12 meses (um ano) com estimativa de variação de três desvios padrão do valor mensal destas mesmas contas, visando um intervalo de

confiança de 98%. Por fim, a taxa de desconto adotada como índice esperado foi a SELIC em vigor no momento em esta análise estava sendo realizada, determinada na 268ª reunião do Comitê de Política Monetária – Copom de 28 e 29 do mês de janeiro de 2025 de 13,25% a.a. e três desvios padrão das taxas SELIC divulgadas ao longo de 2024 (um ano), visando um intervalo de confiança de 98%.

5. CONCLUSÕES

Quanto ao objetivo geral desse trabalho, que foi o de ‘avaliar a viabilidade técnica e viabilidade econômico-financeira de um *retrofit* do sistema de iluminação interna de um prédio público, conclui-se que há viabilidade técnica e viabilidade econômico financeira. Os resultados da análise técnica permitem afirmar que não é necessária alteração na potência contratada, nem na instalação de distribuição de energia elétrica interna, haja vista que a redução no consumo de energia com substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas *LED* é mais que suficiente para atender as luminárias que deverão ser instaladas para que o ambiente pesquisado fique em conformidade com as normas de iluminação de ambientes laborativos internos - NBR ISO/CIE 8995-1:2013. Quanto à viabilidade econômico-financeira, o tempo de recuperação do investimento de 3,21 anos é próximo da vida útil das lâmpadas, se ficassem acesas durante todo o tempo e bem menor que a vida útil das luminárias. O VPL de R\$12.805,92 (Dez mil, oitocentos e cinco reais e noventa e dois centavos) é positivo para a taxa de desconto de desconto adotada – SELIC de 13,25% e a TIR de 16,90% é maior que a taxa de desconto.

Quanto ao risco econômico-financeiro, as análises foram baseadas no VPL esperado de R\$12.805,92 (Dez mil, oitocentos e cinco reais e noventa e dois centavos). Os resultados da análise de sensibilidade indicam que, em todos os casos, o *retrofit* é viável, pois a variação individual dos parâmetros para valores mais conservadores reduz o valor do VPL, porém, sempre permanece positivo. Os maiores impactos não favoráveis absolutos e relativos no VPL ocorrem quando há aumento do preço da lâmpada LED de 18W e ou o aumento da taxa de desconto. Em sentido oposto, a redução da taxa de desconto é a variação favorável que mais contribui para a melhoria do VPL, com um acréscimo de 55,22%. Estes são os aspectos que, individualmente, têm que ser monitorados com maior atenção pelo responsável pela implementação do *retrofit*.

Os resultados da análise de cenários também indicam que em todos os casos o *retrofit* é viável, pois a variação combinada dos parâmetros reduz o valor do VPL, porém, sempre permanece positivo. Ao analisar os cenários nos quais foi considerado, separadamente, a viabilidade econômico-financeira da substituição das lâmpadas fluorescentes por lâmpadas de LES e a adequação dos ambientes que não atendem às normas técnicas de iluminação de ambientes laborativos internos, foi possível evidenciar que uma ação para melhoria da eficiência energética – uso de lâmpadas mais econômicas, além de contribuir para reduzir os impactos de produção e uso que afetam ao meio ambiente, pode contribuir também para os resultados financeiros de uma organização. De mesma forma, evidencia que novas instalações (adequação da luminosidade) possuem um VPL relativamente menor quando comparadas com

o aproveitamento das instalações atuais (substituição de lâmpadas). Isso foi possível evidenciar a partir dos resultados da análise dos cenários 3 e 4. Enquanto que os resultados do VPL no cenário 3 apresentou maior impacto relativo e absoluto com aumento de aproximadamente 5 vezes, quando comparado com o VPL esperado, passando para R\$ 77.721,58 (Setenta e sete mil e setecentos e vinte e um reais), um aumento de quase 500%, os resultados do cenário 4 apresentou impacto relativo e absoluto desfavoráveis em relação ao VPL esperado.

Os resultados da análise por simulações trouxeram informação adicional às análises anteriores, haja vista que se verificou que a probabilidade de que o VPL seja positivo é de 82,28%. De forma complementar, pode-se afirmar que existe uma probabilidade, relativamente pequena, de 17,72% de que o VPL seja negativo. Conhecendo os parâmetros mais sensíveis e que podem influenciar o VPL, bem como os cenários nos quais estas variações podem ocorrer, o interessado no *retrofit* pode tomar as decisões necessárias para o resultado fique alinhado às expectativas de um VPL positivo.

Uma característica de viabilidade estudos como este é que os resultados estão diretamente condicionados às estimativas realizadas. Mudanças no contexto no qual a organização está inserida, ainda que pequenas (horário de funcionamento), ou mais expressivas como o ambiente econômico (alteração na política de juros), que são corriqueiras, por vezes com horizonte de previsão distinto do tempo de decisão, interferem diretamente nos possíveis resultados apresentados. Uma forma de reduzir os impactos dessas possíveis intercorrências é tratar estudos como o que está sendo apresentado como uma etapa preliminar, cujo resultado deve ser testado com estudos específicos e complementares por especialistas de cada área envolvida. Esse fato, contudo, não inviabiliza a metodologia empregada, que envolve coleta de dados, sistematização e análises. bem como as regras de decisão, que partem de conceitos, indicadores e relatos apresentados. Entende-se, portanto, que o artigo pode ilustrar o emprego de técnicas de análise técnica e de investimento que podem ser aplicadas, também, em análise de outros campos de estudo. Sobre oportunidades correlatas ou complementares de pesquisa é possível mencionar que não foi objeto deste estudo, mas, durante os levantamentos de dados, verificou-se um descasamento entre a demanda contratada e o consumo da unidade em análise. Talvez isso ocorra, também, em outras unidades com fornecimento em alta tensão e, ajustes contratuais poderiam contribuir para redução do gasto com energia elétrica.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2013). Iluminação de ambientes de trabalho, parte 1: Interiores. NBR ISO/CIE 8995-1.

BEN – Balanço Energético Nacional (2010). Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. 276p. Disponível em <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/balanco-energetico-nacional/anteriores/5-edicoes-anteriores/5-7-ben-2010-ano-base-2009-pdf/view> . Acesso em 08.08.2025.

BEN – Balanço Energético Nacional (2025). Balanço Energético Nacional 2025: Ano base 2024. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro. 320p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2025>. Acesso em 08.08.2025.

Brasil (2001). Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Lei Nº 10.295, 17 de Outubro de 2001. Disponível em https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110295.htm. Acesso em 21.07.2025.

Bugarin, P. S. (1998). Reflexões sobre o princípio constitucional da economicidade e o papel do TCU. Revista do TCU, Brasília, n.78, p.41–46. Disponível em <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/1224/1278>. Acesso em 08.09.2025

Burrato, M. V. (2005). Construção e avaliação de um modelo de simulação de Monte Carlo para analisar a capacidade de pagamento das empresas em financiamentos de longo prazo. Dissertação (Mestrado em Administração) – UFRGS, Porto Alegre.

Castro, R. B. (2006). Eficácia, eficiência e efetividade na Administração Pública. In: 30º Encontro da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Administração. Salvador. Disponível em [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://arquivo.anpad.org.br/abrir_pdf.php?e=NTI4MQ==](https://arquivo.anpad.org.br/abrir_pdf.php?e=NTI4MQ==). Acesso em 07.06.2025

Costa, F. J. da; Machado, M. A. V; Câmara, S. F. (2022). Por uma orientação ao impacto societal da pós-graduação em Administração no Brasil. Cad EBAPE.BR 20 (6), Nov – Dez de 2022. N <https://doi.org/10.1590/1679-395120210222>. Disponível em <https://www.scielo.br/J/Cebape/A/Ng7fqtbwdqysb3vrnqdrmqp/Abstract/?Lang=Pt>. Acesso em 21.07.2025

Creder, H. (2021). Instalações Elétricas. 17 ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN.

Elkington, J. (1994). Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. California Management Review, 36, 90-100. <http://dx.doi.org/10.2307/41165746>. Disponível em <https://journals.sagepub.com/doi/10.2307/41165746>. Acesso em 21.07.2025.

Evans, J. R; Olson, D. L. (2002) Introduction to Simulation and Risk Analysis. Prentice Hall.

Faria, A. S. D.; Teixeira, L. G. C. M.; Norat, M. V. C.; Andrade, C. C. G. (2021). Análise de Viabilidade Ambiental e Econômica da Substituição de Lâmpadas Convencionais por Lâmpadas LED no Terminal Petroquímico de Miramar da Companhia Docas do Pará – CDP. v.14, n.1, 135-152. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2021.14.1.68488>. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica, ISSN 0718-378X.

Fu, Y., Tian G., Fathollahi-Fard A.M., Zhang, A.A.C (2019). Stochastic multi-objective modelling and optimization of an energy-conscious distributed permutation flow shop scheduling problem with the total tardiness constraint, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 226, 2019, Pages 515-525, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.046>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619311163>. Acesso em 21.07.2025.

Gil, A. C. (2022). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. 7ed. Grupo GEN.

Guerrini, D. P. (2007). *Iluminação: teoria e projeto*. São Paulo: Editora Érica.

Gitman, L. J. (2010). *Princípios da Administração Financeira*. Tradução Allan Vidigal Hastings; Ver. técnica Jean Jacques Salim – 12ª ed. São Paulo, Pearson Prentice Hall.

IPEA – Instituto de Economia Aplicada (2019). *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 – Energia acessível e limpa*. Disponível em <https://www.ipea.gov.br/ods/index.html>. Acesso em 21.07.2025.

Jacome, P. A. D. *et al.* (2017) *Estudo de Viabilidade Técnica-Econômica para Substituição de Lâmpadas em Galpão Industrial*. Anais do IX Congresso de Administração, Sociedade e Inovação - CASI 2016. 4627-4646 Juiz de Fora MG.

Jacome, P. A. D.; Leite, B. F. R. ; Faria, V. P. (2018) *Estudo de Viabilidade Econômica para Substituição de Lâmpadas Fluorescentes tubulares por Lâmpadas LED*. Anais do X Congresso de Administração, Sociedade e Inovação – CASI 2018. Petrópolis, RJ.

Jong, P de; Kiperstok, A, Sánchez, A. S; Dargaville, R.; Torres, E. A. (2016). Integrating large scale wind power into the electricity grid in the Northeast of Brazil, *Energy*, Volume 100, 2016, Pages 401-415, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.026>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544215016680>. Acesso em 22.07.2025.

Light – Concessionária de energia elétrica. (2024). *Sistema tarifário*. Disponível em <https://www.light.com.br/SitePages/page-entenda-a-conta-da-sua-empresa.aspx?v=1.1>. Acesso em 30/04/2024.

Mattar, F. N. (2008). *Pesquisa de Marketing: metodologia e planejamento*. São Paulo, Atlas.

MME (2011) – Ministério de Minas e Energia. *Plano nacional de eficiência Energética - premissas e diretrizes básicas*. Brasil. Disponível em [file:///D:/UFF/Downloads/Plano%20Nacional%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20\(PDF\)-1.pdf](file:///D:/UFF/Downloads/Plano%20Nacional%20Efici%C3%Aancia%20Energ%C3%A9tica%20(PDF)-1.pdf). Acesso em 21.07.2025.

NHO 11 – Norma de higiene ocupacional. (2018). *Avaliação dos níveis de iluminação em ambientes internos de trabalho: procedimento técnico*. São Paulo: Fundacentro.

Niskier, J. (2021). **Instalações Elétricas**. 7 ed. Rio de Janeiro: Grupo GEN.

NR 17 – Norma Regulamentadora 17. (2022). Norma regulamentadora n. 17: Ergonomia. Portaria MTP n. 4219 dez. 2022.

Oliveira, J. G. R.; Pinto, L. F.; Oliveira, K. R.; Da Silva, J. F. R. (2021) Análise econômica sobre a inovação do sistema de iluminação pública no município de Rosana. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 17.

Pablo-Romero, M. P.; Sánchez-Braza, A.; Romero, MN. G. P (2022). Renewable energy in Latin America. *AIMS Energy*, 10(4): 695–717. DOI: 10.3934/energy.2022033. Disponível em file:///D:/UFF/Downloads/10.3934_energy.2022033.pdf. Acesso em 22.07.2025.

Panesi, A. R. Q. (2006). Fundamentos de eficiência energética: industrial, comercial e residencial. São Paulo: Ensino Profissional. 189p. ISBN 8599823035.

Paula, R. R. (2014) Método de Monte Carlo e Aplicações. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Matemática, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/4180/1/RenatoRicardoDePaula%202014-2.PDF>. Acesso em 22.07.2025.

Pereira, J. S (2010). Contribuição da análise de sensibilidade e da simulação de Monte Carlo na análise da viabilidade financeira de projetos. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

PNE – Plano Nacional de Energia. (2020). Plano Nacional de Energia 2050. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia, Brasil.

Rocha, J. V. M.; Feitosa, J. N. (2019) Diagnóstico energético realizado em um supermercado na cidade de Mossoró-RN. *Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica*, v.1, n.1, p. 43-50.

Ross, S.A.; Westerfield, R.; Jaffe, J. F. (2014). *Administração financeira: corporate finance*. 10. ed. São Paulo: McGraw-Hill. ISBN 9788580554328.

Ross, S. A.; Jaffe, J. F.; Westerfield, R. (2002). *Administração financeira*. 2. ed. São Paulo: Atlas, 776 p. ISBN 978-85-224-2942-2.

Rudnicki, L.; Schmidt, A. O. (2020). Avaliação na melhoria da classificação energética e viabilidade financeira de retrofit na iluminação de um prédio público. *Revista competitividade e sustentabilidade – ComSus*, v. 7, n.1, edição especial, p.50-57.

SCO RIO – Sistema de Custo de Obra. (2024). Catálogo de Referências de Custos para Serviços de Engenharia. Secretaria Municipal de Infraestrutura. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <https://www2.rio.rj.gov.br/sco/>. Acesso em 12.09.2024.

TCU. Revista do TCU. (1998). Disponível em <http://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/download/1224/1278>. Acesso em 31 jul. 2025.

Tolmasquim M.; Guerreiro, A.; Gorini, R. (2007). Matriz energética brasileira: uma prospectiva. Novos estud. CEBRAP, 79, Nov 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>. Disponível em <https://www.scielo.br/j/nec/a/HHYKXDgchzv4n4gNfRhqnwK/?format=html&lang=pt>. Acesso em 21.07.2025.

Trapp, G. S.; Rodrigues, L. H. (2016). Avaliação do custo sistêmico total da geração de energia eólica em face da substituição das fontes hidrelétrica e termoeletrica considerando as externalidades socioeconômicas e ambientais. Gest. Prod., 23-03. Jul-Sep. <https://doi.org/10.1590/0104-530X2028-15>. Disponível em <https://www.scielo.br/j/gp/a/ksNPsT347H7WnvFVRzKxyxR/?lang=pt>. Acesso em 21.07.2025.

Tutak, M, Brodny, J (2022) Renewable energy consumption in economic sectors in the EU-27. The impact on economics, environment and conventional energy sources - A 20-year perspective. Journal of Cleaner Production, Volume 345, 2022, 131076, ISSN 0959-6526. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131076>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622007090>. Acesso em 22.07.2025.

United Nations (1987). Report of the World Commission on Environment and Development Our Common Future. United Nations, 1987. Disponível em file:///D:/UFF/Downloads/our_common_futurebrundtlandreport1987.pdf. Acesso em 21.07.2025.

Vassoler, V. (2017) Mudança de tecnologia e como isso pode ajudar na redução de consumo da iluminação das empresas. Revista gestão sustentabilidade ambiente, v. 5, n. 2, p. 382-397.

Zhu Y., Taylor D., Wang Z (2022). The role of renewable energy in reducing residential fossil energy-related CO2 emissions: Evidence from rural China, Journal of Cleaner Production, Volume 366, 2022, 132891, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132891>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622024842>. Acesso em 22.07.2025.