

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS - CAMPUS FORMIGA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Loyslaine Aparecida Alves de Souza

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR LED NA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CRISTAIS-MG: UM ESTUDO DE CASO**

Formiga

2024

LOYSLAINE APARECIDA ALVES DE SOUZA

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR LED NA
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CRISTAIS-MG: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Formiga para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Felipe de Sousa Silva

Coorientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

Souza, Loyslaine Aparecida Alves de

S729a Análise da substituição de lâmpadas convencionais por led na iluminação pública de Cristais-MG: um estudo de caso / Loyslaine Aparecida Alves de Souza – Formiga : IFMG, 2025.

61 p. :il. color.

Orientador: Prof. MSc. Felipe de Sousa Silva

Coorientador: Prof. Dr. Renan Souza Moura

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Formiga.

1. Iluminação pública. 2. Substituição de lâmpadas. 3. Eficiência energética.
4. Lâmpadas LED. I. Silva, Felipe de Sousa. II. Título.

CDD 621.3

LOYSLAINE APARECIDA ALVES DE SOUZA

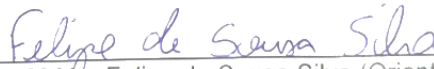
ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS CONVENCIONAIS POR LED
NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CRISTAIS-MG: UM ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica do Instituto Federal de Minas
Gerais como requisito para obtenção do
Título de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

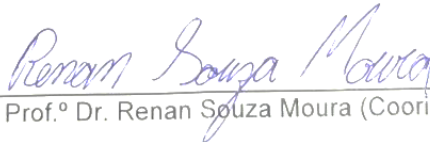
Avaliado em: 29 de Janeiro de 2025.

Nota: 74

BANCA EXAMINADORA



Prof.º Me. Felipe de Sousa Silva (Orientador)



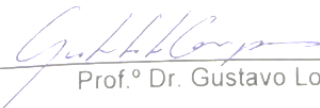
Prof.º Dr. Renan Souza Moura (Coorientador)



Prof.º Me. Marco Antônio Silva Pereira



Prof.º Me. Marcus Vinicius de Paiva



Prof.º Dr. Gustavo Lobato Campos

AGRADECIMENTOS

A Deus fonte de amor inesgotável, por até aqui ter me ajudado.

As minhas mães Ilza e Cidinha por todo apoio e principalmente pelas orações, saibam que sem vocês eu não conseguiria. Esta conquista é para vocês.

Ao meu pai José Flávio e minha irmã Daniela por sempre estarem presente.

Ao meu irmão Deivid e minha cunhada Rosimeire por acreditarem em mim mais do que eu mesma, obrigada por sempre me fazer ir além.

Aos meus sobrinhos Gabriel, Helena e Lorezo por serem a expressão do amor e a certeza de que eu posso ser melhor a cada dia.

Ao meu orientador Prof. Me. Felipe de Sousa Silva por toda disponibilidade e orientação durante este período, saiba que muito me alegra em ser orientada por uma pessoa de tamanho prestígio e empatia como você.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Renan Souza Moura por todo empenho e ajuda ao longo dessa dissertação.

Aos colegas da Prefeitura Municipal de Cristais por estarem sempre de prontidão a me ajudar, seja no fornecimento de dados ou nos esclarecimentos das dúvidas.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos que estiveram comigo e que torceram por mim durante essa jornada, saiba que a amizade de vocês me torna uma pessoa melhor e persistente.

A todos: MUITO OBRIGADA!

Loyslaine

“A paciência tudo alcança. A quem tem Deus, nada falta. Só Deus basta.”

Santa Tereza D’Ávila

RESUMO

A substituição de lâmpadas convencionais por lâmpadas LED tem se consolidado como uma alternativa financeiramente vantajosa para melhorar a eficiência energética e reduzir os custos operacionais na iluminação pública. Este estudo analisou a viabilidade financeira dessa tecnologia na cidade de Cristais, considerando os cenários de substituição de 25%, 50%, 75% e 100% das lâmpadas convencionais. A análise foi conduzida utilizando os indicadores financeiros de *payback*, valor presente líquido e taxa interna de retorno. Os resultados indicaram que todos os cenários analisados foram financeiramente favoráveis, com VPL positivo e TIR compatível com a taxa mínima de atratividade TMA, demonstrando viabilidade em todas as opções de substituição. No entanto, o cenário de 100% de substituição se destacou por apresentar a maior atratividade financeira a longo prazo, devido à significativa economia gerada na redução de custos operacionais, de manutenção e consumo de energia elétrica. Mesmo nos cenários de 25%, 50% e 75%, os resultados indicaram rentabilidade e retorno do investimento dentro de prazos adequados.

Palavras-chaves: Iluminação pública, substituição de lâmpadas, eficiência energética, lâmpadas LED.

ABSTRACT

Replacing conventional lamps with LED lamps has been consolidated as a financially advantageous alternative to improve energy efficiency and reduce operational costs in public lighting. This study analyzes the financial forecasts of this technology in the city of Cristais, considering the scenarios of replacing 25%, 50%, 75% and 100% of conventional lamps. The analysis was carried out using financial indicators of payback, net present value and internal rates of return. The results indicated that all scenarios studied were financially developed, with positive NPV and IRR compatible with the minimum TMA attractiveness rate, demonstrating predictions in all alternative options. However, the 100% replacement scenario stood out for presenting greater financial attractiveness in the long term, due to the significant savings generated in the reduction of operational and maintenance costs and electricity consumption. Even in the 25%, 50% and 75% scenarios, the results indicated profitability and return on investment within adequate deadlines.

Keywords: Public lighting, lamp replacement, energy efficiency, LED lamps.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Lâmpada a combustível.....	20
Figura 2 - Thomas Edison e a lâmpada com filamento.	21
Figura 3 - Nikola Tesla	21
Figura 4 - Luminária decorativa	22
Figura 5 - Iluminação elétrica na Central do Brasil.....	23
Figura 6 - Bonde elétrico em São Paulo no ano de 1966	24
Figura 7 - Cristais – MG.....	25
Figura 8 – Balastro	27
Figura 9 - Antes e depois da iluminação pública de Lucas do Rio Verde	29
Figura 10 - Fluxograma das Etapas de Análise	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos de Iluminação.....	25
Tabela 2 - Demonstrativo do faturamento da iluminação pública.....	34
Tabela 3 - Novo Cenário.....	35
Tabela 4 - Custos de lâmpadas	35
Tabela 5 – VPL para a troca de 25% das lâmpadas	45
Tabela 6 - TIR para a troca de 25% das lâmpadas.....	46
Tabela 7 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 25% das lâmpadas.....	46
Tabela 8 - VPL para a troca de 50% das lâmpadas.....	47
Tabela 9 - TIR para a troca de 50% das lâmpadas.....	48
Tabela 10 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 50% das lâmpadas.....	48
Tabela 11 - VPL para a troca de 75% das lâmpadas.....	49
Tabela 12 - TIR para a troca de 75% das lâmpadas.....	50
Tabela 13 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 75% das lâmpadas.....	50
Tabela 14 - VPL para a troca de 100% das lâmpadas.....	51
Tabela 15 - TIR para a troca de 100% das lâmpadas.....	52
Tabela 16 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 100% das lâmpadas.....	53

LISTA E ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
DF	Distrito Federal
EUA	Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IESNA	Sociedade de Engenharia de Iluminação Norte Americana
LED	Diodo Emissor de Luz
LTDA	Limitada
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul
NBR	Norma Brasileira
PPP	Parceria Público-Privada
Selic	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SP	São Paulo
Tcc	Temperatura de Cor Correlata
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Problema	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Hipótese	17
1.4	Objetivos	18
1.4.1	<i>Objetivo Geral</i>	18
1.4.2	<i>Objetivos Específicos</i>	18
1.5	Estrutura do Trabalho	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1.	Histórico da Iluminação Pública	20
2.2.	Sobre a Cidade de Cristais-MG	24
2.2.1	<i>Sistema atual de Iluminação Pública da Cidade</i>	25
2.3.	Tipos de lâmpadas	26
2.3.1.	<i>Lâmpadas de descarga</i>	26
2.3.2	<i>LED</i>	28
2.4.	Normas, Regulamentação e Legislação da Iluminação Pública	29
2.5.	Ferramentas de Análises Financeiras	30
2.5.1	<i>Payback</i>	31
2.5.2	<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>	31
2.5.2	<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>	32
3	METODOLOGIA	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Cenário atual	38
4.2	Cenários de análises	38
4.2.1	<i>Custo Operacional para a Troca de 25% das Lâmpadas</i>	39
4.2.2	<i>Custo Operacional para a Troca de 50% das Lâmpadas</i>	40
4.2.3	<i>Custo Operacional para a Troca de 75% das Lâmpadas</i>	41
4.2.4	<i>Custo Operacional para a Troca de 100% das Lâmpadas</i>	42
4.3	Análise Financeira	43
4.3.1	<i>Análise financeira para a troca de 25% das Lâmpadas</i>	44
4.3.1.1	<i>Payback para a troca de 25% das Lâmpadas</i>	44
4.3.1.2	<i>Cálculo do VPL para a troca de 25% das lâmpadas</i>	44
4.3.1.3	<i>Cálculo da TIR para a troca de 25% das lâmpadas</i>	45
4.3.2	<i>Análise financeira para a troca de 50% das Lâmpadas</i>	46
4.3.2.1	<i>Payback para a troca de 50% das Lâmpadas</i>	46
4.3.2.2	<i>Cálculo do VPL para a troca de 50% das lâmpadas</i>	47

4.3.2.3 Cálculo da TIR para a troca de 50% das lâmpadas	47
4.3.3 Análise financeira para a troca de 75% das Lâmpadas	48
4.3.3.1 <i>Payback</i> para a troca de 75% das Lâmpadas.....	48
4.3.3.2 Cálculo do VPL para a troca de 75% das lâmpadas	49
4.3.3.3 Cálculo da TIR para a troca de 75% das lâmpadas	49
4.3.4 Análise financeira para a troca de 100% das Lâmpadas	50
4.3.4.1 <i>Payback</i> para a troca de 100% das Lâmpadas	51
4.3.4.2 Cálculo do VPL para a troca de 100% das lâmpadas	51
4.3.4.3 Cálculo da TIR para a troca de 100% das lâmpadas.....	52
5 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a transição da iluminação convencional para a iluminação LED (*Light Emitting Diode*) tem sido uma das mudanças mais significativas no setor de iluminação pública em todo o mundo. Com avanços tecnológicos e uma crescente conscientização sobre eficiência energética e sustentabilidade, as lâmpadas de LED têm se destacado como uma alternativa superior às lâmpadas convencionais, como as de vapor de sódio e mercúrio (MAZZETO, 2017).

A substituição de lâmpadas convencionais por LEDs oferece uma série de benefícios tanto para as autoridades municipais quanto para os cidadãos. Além de reduzir significativamente o consumo de energia, pois necessita de menos energia do que suas contrapartes convencionais, possui assim uma maior eficiência energética.

As lâmpadas de LED têm uma vida útil mais longa, o que resulta em menos manutenção e custos operacionais reduzidos a longo prazo. Além disso, a qualidade da luz produzida pelo LED é superior, proporcionando uma iluminação mais uniforme e brilhante, melhorando a visibilidade nas ruas e calçadas, o que contribui para a segurança pública e a qualidade de vida dos habitantes (SANTOS e BATISTA e POZZA e ROSSI, 2015).

Além dos benefícios econômicos e de segurança, a transição para a iluminação LED também tem importantes implicações ambientais. O uso reduzido de energia elétrica diminui as emissões de gases de efeito estufa e ajuda a combater as mudanças climáticas. Além disso, as lâmpadas de LED não contêm materiais tóxicos, como mercúrio, encontrados em lâmpadas fluorescentes e de vapor de mercúrio, o que reduz os impactos negativos no meio ambiente quando descartadas (MOREIRA, 2023).

O Brasil, por possuir um vasto território, apresenta uma variedade de desafios e oportunidades únicas quando se trata da troca de lâmpadas convencionais por LED na iluminação pública. A implementação da troca de lâmpadas em áreas remotas e de difícil acesso pode exigir planejamento cuidadoso e investimentos em infraestrutura. Além disso, questões como a segurança das instalações e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros podem influenciar o ritmo e o alcance da transição para a iluminação LED em todo o país.

Outro aspecto importante a considerar é a diversidade socioeconômica das diferentes regiões do Brasil. Enquanto áreas urbanas densamente povoadas podem se beneficiar

imediatamente da transição para o LED, comunidades rurais e periféricas podem enfrentar desafios adicionais, como acesso limitado a recursos e tecnologia. Portanto, políticas e programas específicos como subsídios e incentivos fiscais, parcerias público-privadas (PPP), campanhas de conscientização, regulamentação e normas de eficiência energética, programas de troca de lâmpadas, dentre outros, podem ser necessários para garantir que os benefícios da iluminação LED sejam distribuídos de forma equitativa por todo o território nacional.

O Trabalho de conclusão de curso de Marcos Henrique Mozzini (2022) demonstra a importância da evolução das tecnologias utilizadas na iluminação pública, concluindo que, para o sistema de iluminação pública no Brasil continuar progredindo é necessário a substituição de quase a metade dos pontos de iluminação com lâmpadas convencionais por LED. Igor Nascimento (2020) também concluiu em sua monografia a viabilidade econômico-financeira, ao longo do tempo, da substituição das lâmpadas convencionais por LED na região administrativa de Gama, DF.

Já o trabalho de conclusão de curso de Marcos Miranda, realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Palmas*, abordou a análise da viabilidade econômica da substituição da iluminação pública com o uso da tecnologia LED em avenidas da cidade de Palmas. O estudo utilizou ferramentas de análise financeira, como o *payback*, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), para avaliar o impacto financeiro dessa transição. A aplicação dessas metodologias permitiu uma avaliação detalhada do tempo necessário para recuperar o investimento inicial, o valor total do investimento considerando as economias ao longo do tempo e a rentabilidade do projeto, garantindo uma análise completa sobre a viabilidade econômica da troca das lâmpadas convencionais por LEDs na cidade de Palmas.

Alguns municípios já estão aderindo à tecnologia LED na iluminação pública. Aqui estão alguns exemplos:

- São Paulo (SP): A cidade de São Paulo é um dos principais exemplos de um município brasileiro que está realizando uma ampla transição para a iluminação LED. O programa "LED nos Bairros" tem como objetivo substituir todas as lâmpadas convencionais por LED em vias públicas da cidade, proporcionando economia de energia e melhorando a qualidade da iluminação (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2021).
- Belo Horizonte (MG): A capital de Minas Gerais está implementando um projeto de modernização da iluminação pública com a instalação de lâmpadas de LED em toda a

cidade. O objetivo é melhorar a segurança e reduzir os gastos com energia elétrica e manutenção (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 2017).

- Luz (MG): A prefeitura de Luz tem realizado a substituição das lâmpadas convencionais por LED em etapas, abrangendo bairros diversos do município, visando oferecer mais claridade nas vias e durabilidade das lâmpadas (PREFEITURA DE LUZ, 2024).
- Nova Serrana (MG): Todas as luminárias da cidade serão substituídas, no centro e nos bairros. A ação faz parte da Parceria Pública Privada (PPP). A substituição das lâmpadas contribuirá para economia dos cofres públicos, além de gerar mais sensação de segurança (PREFEITURA DE NOVA SERRANA, 2023).

Esses são apenas alguns exemplos de municípios brasileiros que estão aderindo à tecnologia LED na iluminação pública. A tendência de transição para o LED está se tornando cada vez mais comum em todo o país, impulsionada pelos benefícios econômicos, ambientais e de segurança que essa tecnologia oferece.

Tendo em vista a transição da iluminação convencional por LED, o objetivo principal deste estudo de caso é analisar a viabilidade econômica da substituição de lâmpadas convencionais por LED no município de Cristais, MG, verificando por meio de cálculos se a cidade será beneficiada ou não com a troca.

1.1 Problema

No contexto contemporâneo, a eficiência energética e a sustentabilidade são grandes preocupações, principalmente quando se considera o elevado consumo de energia das infraestruturas urbanas. Dentro desse cenário, a iluminação pública representa uma das maiores fontes de despesa energética nos municípios, tornando-se um ponto crítico para a implementação de soluções mais econômicas e sustentáveis. A substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED é vista como uma alternativa promissora para enfrentar esse desafio financeiro, oferecendo uma redução significativa no consumo de energia e uma maior durabilidade, o que se traduz em economia para os cofres públicos a longo prazo.

No entanto, apesar dos benefícios financeiros amplamente reconhecidos, a adoção massiva das lâmpadas de LED na iluminação pública ainda enfrenta uma série de problemas econômicos. O principal obstáculo é o alto custo inicial para a compra e instalação das lâmpadas

de LED, que muitas vezes representa um impacto significativo no orçamento das administrações municipais, especialmente em cidades com recursos limitados. Além disso, a necessidade de adaptar a infraestrutura existente para suportar a nova tecnologia implica em custos. Esses custos iniciais, embora justificáveis pelos ganhos futuros, ainda representam um desafio para os gestores públicos, que precisam equilibrar os investimentos de curto prazo com as economias que serão geradas ao longo dos anos.

Esses desafios financeiros tornam-se um fator determinante no processo de implementação das lâmpadas de LED, sendo necessário um planejamento estratégico que envolva análise de custos, para garantir que a transição seja efetivamente vantajosa para as administrações municipais.

1.2 Justificativa

O trabalho de conclusão de curso realizado por Larissa Perdigão, na Universidade Federal de Ouro Preto, analisou a viabilidade financeira da substituição de lâmpadas convencionais por LED na cidade de Varginha, MG e concluiu que essa transição seria altamente vantajosa. A pesquisa apontou que, ao longo do tempo, a economia gerada pela redução no consumo de energia e a diminuição dos custos com manutenção superariam o investimento inicial, tornando a substituição financeiramente viável. Esse resultado foi corroborado por outro estudo, realizado por Matheus Cordeiro, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que também investigou a viabilidade econômica da troca para LEDs na cidade de Porto Alegre, concluindo que a mudança seria financeiramente favorável, com redução dos gastos públicos com energia e manutenção.

Esses estudos, que indicam uma viabilidade financeira favorável, justificam a realização de uma pesquisa semelhante para a cidade de Cristais, MG. A partir dos resultados obtidos em Varginha e Porto Alegre, é possível analisar o impacto dessa transição na realidade local de Cristais, considerando os custos atuais com iluminação pública e as possíveis economias que poderiam ser alcançadas.

1.3 Hipótese

Tendo em vista a proposta de substituir as lâmpadas convencionais por LEDs na cidade de Cristais, MG, é fundamental avaliar a viabilidade financeira dessa transição, tanto no cenário de substituição total quanto parcial das lâmpadas. Uma das questões principais é: é economicamente viável substituir 100% das lâmpadas da cidade ou uma substituição parcial seria uma alternativa mais equilibrada, considerando os custos iniciais mais altos da transição completa? A análise deve levar em conta as limitações orçamentárias do município e os recursos disponíveis para realizar o investimento inicial necessário para a troca das lâmpadas, seja de forma total ou parcial.

Seria a substituição parcial uma alternativa mais viável, permitindo ao município iniciar o processo com um investimento mais baixo, distribuindo os custos ao longo do tempo e testando a viabilidade do projeto antes de decidir pela implementação total?

Para embasar a decisão sobre a viabilidade econômica, seja para uma substituição total ou parcial, é necessário realizar estudos detalhados utilizando ferramentas financeiras como o *payback*, o VPL e a TIR. Quanto tempo seria necessário para que o investimento inicial fosse recuperado com as economias geradas pela redução do consumo de energia? O VPL indicará se o projeto é financeiramente viável ao calcular o valor total do investimento em termos atuais, levando em conta as receitas e despesas futuras. A TIR permitirá avaliar a rentabilidade do investimento e compará-la com outras opções de aplicação dos recursos públicos.

Esses estudos são essenciais para determinar qual abordagem, total ou parcial, é mais vantajosa financeiramente para o município de Cristais. Apenas com uma análise financeira será possível decidir sobre a melhor forma de implementação, garantindo que a transição para as lâmpadas de LED, independentemente da abrangência, seja uma solução eficaz e vantajosa a longo prazo para a cidade.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

O objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) é analisar a viabilidade econômica para a substituição de lâmpadas convencionais por LED no município de Cristais, MG.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analisar o cenário atual da iluminação pública no município de Cristais MG;
- Analisar a troca de lâmpadas em diferentes cenários (25%, 50%, 75% e 100%) por meio de cálculos teóricos de ferramentas de viabilidade econômica;
- Definições de quais estudos são viáveis financeiramente

1.5 Estrutura do Trabalho

Como proposta, essa monografia dispõe 5 Capítulos. O primeiro aborda uma breve introdução do tema, bem como a justificativa e objetivos a serem alcançados.

O segundo capítulo contém um breve histórico sobre o desenvolvimento e evolução da iluminação ao longo da história, além de abordar sobre a cidade de Cristais, local referência deste estudo de caso, também traz um apanhado sobre os tipos de lâmpadas e legislações vigentes sobre a iluminação pública, finalizando o capítulo com as ferramentas de análise de investimentos que ajudam a avaliar a rentabilidade, viabilidade e o risco associado na tomada de decisão.

No capítulo 3, tem-se a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho como a análise de diferentes cenários para a substituição das lâmpadas convencionais por LED.

Já no capítulo seguinte, é demonstrado os resultados e discutido os valores encontrados por meio de cálculos que mostram a viabilidade ou não dessa substituição.

Por fim, o capítulo 5 conclui este estudo com uma análise técnica dos resultados obtidos durante o trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Histórico da Iluminação Pública

Alguns estudos apontam que por volta do ano de 1415 na Inglaterra, originou-se a Iluminação Pública, quando comerciantes solicitaram providências ao governo para combater a criminalidade (ROSITO, 2009, p. 30). Após dois séculos, em Paris, foi ordenada a colocação de luzes nas janelas das casas, apontando para a rua, como forma de reduzir a criminalidade (MAIA, 2018, p. 31). Em Nova Iorque, no ano de 1762, foi instituído pela administração da cidade um tributo para subsidiar a instalação de lampiões a combustível, Figura 1, o pagamento de agentes de manutenção e de óleo.

Figura 1 - Lampião a combustível



Fonte: Assembleia Legislativa de São Paulo, 2024

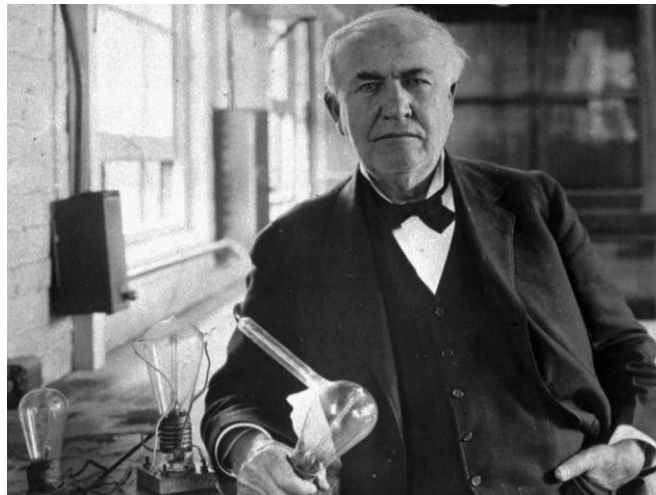
As primeiras luminárias com lâmpadas elétricas foram instaladas nos Estados Unidos da América (EUA), em 1879. Elas eram utilizadas alternadas com os lampiões pelo fato de ainda não serem confiáveis. As lâmpadas elétricas foram chamadas inicialmente como lâmpadas de arco voltaico.

No ano de 1879, Thomas Edison, Figura 2, inventou a lâmpada com filamento incandescente. Esta lâmpada se tornou a tecnologia elétrica mais utilizada no mundo por aproximadamente 56 anos devido a sua praticidade (CODI, 1988, p. 33). Porém, houve a “Guerra das Correntes” que foi uma disputa no final do século XIX entre os sistemas de corrente

contínua (CC) e corrente alternada (CA) para a distribuição de eletricidade. Essa disputa envolveu duas figuras principais: Thomas Edison, que defendia a corrente contínua, e Nikola Tesla (Figura 3), que defendia a corrente alternada com o apoio de George Westinghouse (Martins, 2020). Esta “guerra” teve um impacto significativo na iluminação pública, tendo em vista que a distribuição eficiente e segura era crucial para a implementação e operação de sistemas de iluminação em áreas urbanas.

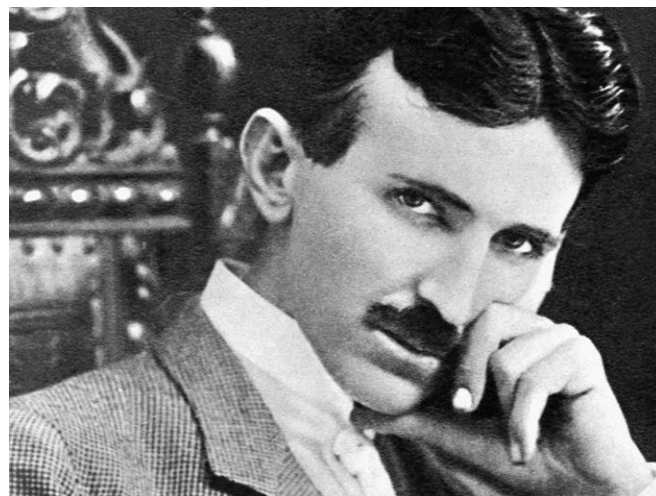
Ao longo do tempo, a “Guerra das correntes” influenciou profundamente a escolha do sistema elétrico para a iluminação pública. A corrente alternada, com suas vantagens de transmissão eficiente e flexibilidade no uso de transformadores, acabou prevalecendo. Isso permitiu a criação de sistemas de iluminação pública mais abrangentes e econômicos.

Figura 2 - Thomas Edison e a lâmpada com filamento.



Fonte: Silvio Meira, 2024.

Figura 3 - Nikola Tesla



Fonte: Governo do Estado da Paraíba, 2024,

As lâmpadas de vapor de mercúrio e de vapor de sódio foram desenvolvidas no início do século XX e são utilizadas até hoje na iluminação pública em muitas cidades.

No Brasil, a iluminação pública iniciou de maneira precária no século XVII. Tal iluminação se deu de forma externa, com luminárias decorativas, como mostra a Figura 4, alimentadas por óleo de baleia. Essas luminárias eram colocadas ao lado das ombreiras das portas de edifícios públicos em pequenas armações metálicas de baixa altura e em residências de pessoas com situação financeira alta (LOPES, 2014, p. 26).

Figura 4 - Luminária decorativa



Fonte: VOLPE ELETROPOSTES, 2024.

O vice-rei Conde de Rezende iniciou o serviço de iluminação pública em 1794, onde o mesmo era subsidiado pelos cofres públicos e contava com 100 luminárias a óleo na cidade do Rio de Janeiro. Na época, a cidade contava com cerca de quarenta mil habitantes e grande era a preocupação com a segurança pública, o que levou o sistema de iluminação ser subordinado à Intendência da Polícia.

Mesmo sendo um sistema muito ineficiente devido à grande dificuldade de manutenção, ele se manteve durante dois séculos. Em 1802, William Murdock finalizou a tecnologia da utilização do carvão de pedra, concluindo que “sua destilação gerava uma série de compostos de carbono, de alto poder calórico e características iluminantes” (LOPES, 2014, p. 26). Esta tecnologia foi implantada só em 1854, devido seu alto custo.

Em 1876, D. Pedro II convidou Thomas Edison, o inventor da lâmpada com filamento incandescente, para implantar sua invenção com a utilização da energia elétrica no Brasil. Após 3 anos, em 1879, foi inaugurada a iluminação elétrica na Central do Brasil (antes

estação central da Estrada de Ferro D. Pedro II), como mostra a Figura 5. A iluminação foi feita por seis lâmpadas Jablockhov no qual utilizou a energia elétrica gerada por dois dínamos (LOPES, 2014, p. 26).

Figura 5 - Iluminação elétrica na Central do Brasil



Fonte: Rio Curioso, 2024.

O primeiro serviço de iluminação pública foi inaugurado em 1883 em Campos dos Goytacazes, no Rio de Janeiro, o qual se tornou o primeiro na América do Sul. Em seguida, foi inaugurado na cidade de Rio Claro em São Paulo (ESCOCARD, 2020).

A Companhia Fiat Lux, criada no Rio de Janeiro, foi responsável por mais de 100 lâmpadas de iluminação pública, graças a sua usina termoelétrica. A usina também foi responsável pela expansão do setor têxtil (RODRIGUES, 2019).

O grupo *Light* do Canadá chegou ao Brasil em 1889 para a operação de suas primeiras linhas de bondes elétricos (Figura 6), em São Paulo. A primeira usina hidrelétrica foi erguida as margens do rio Paraibuna, em Juiz de Fora, Minas Gerais. Até o ano de 1900, as usinas instaladas tinham ao todo uma capacidade de 12 MW. Grande parte dessa capacidade era destinada a iluminação pública.

Figura 6 - Bonde elétrico em São Paulo no ano de 1966



Fonte: JWS, 2024.

As primeiras companhias geradoras e distribuidoras foram fundadas no século XX, sendo a maior parte estrangeiras. A concessão de energia elétrica era de responsabilidade exclusivamente federal e a prestação de serviços de iluminação pública municipal. Na primeira década deste mesmo século, começaram os estudos e o desenvolvimento de lâmpadas de descarga em atmosfera de gás, como lâmpadas utilizando vapor de mercúrio ou vapor de sódio, ambas a altas e baixas pressões.

O uso do poste se tornou fundamental com o surgimento da iluminação elétrica, sendo que o mesmo servia também como adorno. As tecnologias e os equipamentos eram importados no início, mas logo que foi consolidada essa tecnologia eles passaram a ser fabricados no Brasil.

2.2. Sobre a Cidade de Cristais-MG

Cristais é um município brasileiro localizado no estado de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE, a população em 2022 era de 12.197 habitantes. O município possui, de acordo com o *site* da prefeitura de Cristais, à agricultura e pecuária como principais fatores de desenvolvimento do território (Prefeitura de Cristais/MG, 2024).

Atualmente, a Prefeitura Municipal está estudando métodos para que o município tenha uma gestão energética eficiente, a começar pela Iluminação Pública, substituindo todas

as suas lâmpadas por LED, como o Processo Licitatório nº 156/2024 Inexigibilidade nº 020/2024. A Figura 7 trata-se de foto panorâmica da cidade.

Figura 7 - Cristais – MG



Fonte: Prefeitura Municipal de Cristais-MG, 2024.

2.2.1 Sistema atual de Iluminação Pública da Cidade

De acordo com os dados da Prefeitura Municipal de Cristais, o município possui 1.427 pontos de iluminação. A Tabela 1 mostra os tipos de lâmpadas presentes no município, assim como sua potência e quantidade.

Tabela 1 - Pontos de Iluminação

TIPO	POTÊNCIA (W)	QUANTIDADE
Vapor de sódio	70	149
Vapor de sódio	100	584
Vapor de sódio	150	2
Vapor de sódio	250	19
Vapor de mercúrio	80	1
Vapor de mercúrio	125	445
Vapor de mercúrio	250	194
Incandescente	100	2
LED	80	15
LED	100	16
Total		1.427

Dados: Prefeitura Municipal de Cristais-MG, 2024.

Cristais-MG foi contemplada no programa “Minas Led”, que é uma parceria do município com a CEMIG. Neste programa, a CEMIG está investindo na substituição de luminárias comuns na iluminação pública por luminárias LED, nas quais são mais eficientes e econômicas. O contrato celebra-se por meio de *retrofit*, ou seja, por meio da aplicação de lâmpadas, conjuntos ópticos, acionadores e reatores energeticamente mais eficientes. De acordo com a Prefeitura Municipal, Cristais foi contemplada com 106 pontos de iluminação no valor de R\$ 124.762,00, porém o demonstrativo da CEMIG diz que ainda não foram realizadas as substituições.

2.3. Tipos de lâmpadas

Várias tecnologias foram desenvolvidas ao longo dos anos para os sistemas de iluminação. Isso resulta em novos tipos de lâmpadas com características luminotécnicas mais eficientes. Os tipos mais comuns de lâmpadas são as incandescentes, de descarga, de indução e de LED's. Na iluminação pública as mais utilizadas nos dias atuais são as de descarga, no entanto, as lâmpadas de LED's vêm ganhando espaço no atual cenário. Como se trata de iluminação pública, serão abordados os tipos de lâmpadas e os componentes mais utilizados para essa finalidade, mas ressalta-se que há diversos tipos de lâmpadas para diferentes aplicações.

2.3.1. Lâmpadas de descarga

As lâmpadas de descarga geram luz por meio de um tubo com gás ou vapor ionizado. Elas são feitas, em sua maioria, por um bulbo de vidro fechado e vedado com dois elétrodos em posições opostas. Os gases ou o vapor ionizado são inseridos no interior do bulbo. Ao aplicar uma tensão nos elétrodos acontece uma descarga elétrica que origina a ionização do gás e conseqüentemente à emissão de luz (Associação Brasileira de Iluminação, 2010).

Para que ocorra a ionização do gás é necessária uma descarga elétrica elevada, visto que essas lâmpadas necessitam de um “arrancador” que gera uma sobretensão quando se liga. Para reduzir essa sobretensão necessária no arranque, os elétrodos podem ser aquecidos previamente (Associação Brasileira de Iluminação, 2010).

O balastro, como mostra a Figura 8, é um equipamento utilizado para limitar a corrente fornecida à lâmpada após o arranque, o que impede a ocorrência de um curto-circuito (SILVA, 2014).

Figura 8 – Balastro



Fonte: Educalingo, 2024.

Este tipo de lâmpada pode ser classificado como descarga de alta pressão ou descarga de baixa pressão. Das lâmpadas de descarga de alta pressão fazem parte os seguintes tipos:

1. Lâmpada de vapor de mercúrio: sua luz é branca e é produzida pela descarga elétrica provocada por um gás, composto de mercúrio, argônio e outros gases. É uma lâmpada considerada pouco eficiente e vem sendo substituída pelas lâmpadas de vapor de sódio, vapor metálico, dentre outras fontes mais eficientes. O fluxo luminoso ao longo do tempo tende a diminuir, ficando extremamente baixo comparado ao fluxo luminoso inicial (GOLDENERGY, 2024).
2. Lâmpadas de luz mista: incandescente e mercúrio, são pouco utilizadas, visto que possuem baixa eficiência e suas características permitem apenas na tensão de alimentação de 220 V. Este tipo de lâmpada possui um filamento e um tubo de descarga, funcionando diretamente ligadas à rede sem a necessidade da utilização do reator (ROSITO, 2009, p. 20).
3. Lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão: emite uma luz amarelada e é muito utilizada na iluminação de vias públicas, túneis, fachadas e estacionamentos. É

considerada uma lâmpada eficiente. Para o seu funcionamento é necessária uma elevada tensão na sua partida, além da utilização de um reator e um ignitor para dar a partida na lâmpada (Indústria ON, 2024).

4. Lâmpada de vapor de mercúrio de iodetos metálicos: produz uma luz extremamente branca e brilhante, o que tem sido um dos motivos para sua difusão na iluminação pública. Possui uma boa eficiência e é necessária uma elevada tensão para a partida da lâmpada (SCIENCEDIRECT, 2024).

Já para as lâmpadas de descarga de baixa pressão existem nos seguintes tipos:

1. Lâmpadas fluorescentes: possui um vidro coberto por material a base de fósforo. Dentro delas existe gases inertes a baixa pressão que se ionizam quando aplicado uma corrente elétrica, gerando assim a luz. São lâmpadas de alta eficiência e baixo consumo de energia (UFMG, 2024).
2. Lâmpadas fluorescentes compactadas: possuem reator integrado, oferecem alto desempenho, economia de energia e longa duração. São Lâmpadas econômicas. Possuem metais pesados, portanto não podem ser descartadas em lixos comuns (UFMG, 2024).
3. Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão: emite luz amarela/alaranjada e é pouco eficiente comparada com a de vapor de sódio de alta pressão, porém produz um comprimento de onda um pouco maior, podendo assim atingir uma melhor cor (UFMG, 2024).

2.3.2 LED

Os Diodos Emissores de Luz (LED) possuem baixo consumo de energia, robustez, vida útil estendida, além de não conterem mercúrio, que é um material altamente poluidor e prejudicial ao meio ambiente, ou seja, são lâmpadas mais sustentáveis e os seus componentes podem ser recicláveis. Essas lâmpadas produzem pouca luz infravermelha, emitem quantidades mínimas de raios UV e praticamente não geram calor. Além disso, não necessitam de altas tensões para seu funcionamento, o que torna a utilização dessa tecnologia para iluminação altamente vantajosa.

A Figura 9 mostra o antes e o depois da substituição de luminárias convencionais por lâmpadas de LED na cidade de Lucas do Rio Verde, MS. É notória a melhora que as lâmpadas de LED trouxeram à cidade.

Figura 9 - Antes e depois da iluminação pública de Lucas do Rio Verde



Fonte: Prefeitura Municipal de Lucas do Rio Verde, 2024.

2.4. Normas, Regulamentação e Legislação da Iluminação Pública

A iluminação pública é um serviço de interesse local, garantido pela Constituição Federal de 1988, que tem por finalidade “prover claridade em vias públicas, de forma periódica, contínua ou eventual” (Resolução ANEEL no 456/00).

A Constituição determina que é responsabilidade dos municípios organizar e prestar, de forma direta ou sob concessão ou permissão, os serviços públicos do interesse local. Com o acréscimo do artigo 149-A, os municípios poderão instituir contribuição, de acordo com as Leis Municipais, o custeio do serviço de iluminação pública. A cobrança da taxa de iluminação pública é facultativa, na fatura de consumo de energia elétrica, sendo em Cristais-MG, cidade objeto de estudo deste trabalho, extinta essa cobrança ou qualquer outro tributo.

A NBR 5101 é a norma brasileira que determina os parâmetros mínimos a serem considerados em um projeto de iluminação pública. A norma é baseada nos documentos da IESNA (*Illuminating Engineering Society*), além de normas americanas e teve sua última atualização em 2024.

Os projetos de iluminação pública devem dispor de benefícios econômicos, sociais e ambientais para os cidadãos, além de uma iluminação adequada e a utilização racional da energia. A nova atualização da norma, leva em consideração uma série de elementos que influenciam o fluxo local, como volume de tráfego, a presença de pedestres e ciclistas, o entorno e as atividades desenvolvidas na área (DEMAPE, 2024).

A atualização da NBR 5101:2024 inclui especificações e requisitos importantes para luminárias LED utilizadas na iluminação pública. Essas mudanças visam melhorar a eficiência energética classificando as luminárias de acordo com sua eficiência. Também visa a qualidade da iluminação, estabelecendo limites para emissão de luz, com o intuito de reduzir a poluição luminosa e seus impactos no meio ambiente e na saúde humana (TCTBrasil, 2024)..

Além disso, a norma define novos limites para a temperatura da cor das luminárias LED. Por exemplo, em vias locais, a Temperatura de Cor Correlata (Tcc) deve ser limitado a 2200K, enquanto em outras vias o limite é de 2700K. Áreas de relevância ambiental têm um Tcc recomendado de 1800K, não podendo ultrapassar 2200K (TCTBrasil, 2024).

2.5. Ferramentas de Análises Financeiras

Ferramentas de análise financeira são essenciais para compreender e interpretar dados financeiros. Elas servem a diversos propósitos, incluindo a avaliação de desempenho ao longo do tempo, tomada de decisão, gestão de riscos, previsão financeira, dentre outros.

Algumas das ferramentas de análise financeiras mais comuns incluem análise vertical e horizontal, análise de razões financeiras, análise de fluxo de caixa, análise de demonstrações financeiras, modelagem financeira e uso de *software* especializado de análise financeira. Essas ferramentas fornecem *insights* valiosos que ajudam a orientar as decisões financeiras e estratégicas de uma organização.

Neste estudo de caso serão utilizadas as seguintes ferramentas: *Payback*, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

2.5.1 Payback

Payback é uma métrica financeira utilizada para avaliar o tempo necessário para que um investimento recupere o seu custo inicial. Ou seja, indica o período de tempo que leva para os fluxos de caixa gerados por um investimento igualarem o montante do investimento inicial (ESTRELA, 2024).

O cálculo do *payback* é relativamente simples. Você divide o custo inicial do investimento pelo fluxo de caixa gerado por período.

O *payback* é frequentemente usado como uma ferramenta de análise de viabilidade de investimentos, especialmente em projetos onde é importante recuperar o capital investido o mais rápido possível. No entanto, o *payback* tem suas limitações, pois não considera o valor do dinheiro no tempo (o dinheiro hoje vale mais do que o mesmo valor no futuro devido ao potencial de investimento), nem os fluxos de caixa que ocorrem após o período de *payback* (Salesforce, 2024). Portanto, é comum utilizá-lo em conjunto com outras métricas de avaliação, como o VPL ou TIR, para uma análise mais completa e precisa.

2.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL é uma medida financeira utilizada para avaliar a atratividade de um investimento ou projeto. Ele representa a diferença entre o valor presente dos fluxos de caixa futuros gerados pelo investimento e o custo inicial do investimento. Em outras palavras, o VPL calcula o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros descontados a uma taxa de desconto apropriada, subtraindo o investimento inicial (GUEDES, 2024).

O cálculo do VPL é realizado por meio da equação (1):

$$VPL = FCo + \frac{FC1}{(1+TMA)^1} + \frac{FC2}{(1+TMA)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1+TMA)^n} \quad (1)$$

Onde:

FCo = Fluxo de caixa líquido no momento zero (inicial);

FCn = Fluxo de caixa em determinado período n;

n = último período de tempo considerado na análise;

TMA – Taxa mínima de atratividade.

Se o VPL resultante for positivo, isso indica que o investimento provavelmente gerará um retorno acima da taxa de desconto utilizada e é considerado atrativo. Por outro lado, se o VPL for negativo, isso sugere que o investimento pode não ser viável ou não gerar retornos suficientes para justificar o custo do capital investido (GUIMARÃES, 2023).

O VPL é uma ferramenta importante na análise de investimentos, pois leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, fornecendo uma avaliação mais precisa do potencial de retorno de um projeto ou investimento.

2.5.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma métrica financeira que representa a taxa de desconto que faz com que o Valor Presente Líquido (VPL) de um investimento seja igual a zero. Ou seja, é a taxa de retorno que um investimento gera ao longo do tempo, de forma que o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros seja igual ao custo inicial do investimento (CAMARGO, 2017).

Sua expressão é:

$$FC_0 + \frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+i)^n} = 0 \quad (2)$$

Onde:

FC_0 = Fluxo de caixa líquido no momento zero (inicial);

FC_n = Fluxo de caixa em determinado período n ;

n = último período de tempo considerado na análise;

i = taxa que torna o valor da equação igual a zero, ou seja, a TIR do fluxo em análise.

A TIR é uma medida importante na análise de investimentos, pois indica a taxa de retorno que um investimento pode gerar e é comparada com a taxa de retorno exigida pelos investidores ou com a taxa de oportunidade disponível em outros investimentos similares ou alternativos de uso do capital.

Se a TIR for maior do que a taxa de retorno exigida, o investimento é considerado atrativo, pois oferece um retorno superior ao custo do capital investido. Caso a TIR seja igual a taxa de retorno, o projeto também pode ser considerado interessante. Por outro lado, se a TIR for menor do que a taxa de retorno exigida, o investimento pode não ser atrativo o suficiente para justificar o capital investido (LUNELLI, 2008).

Assim como o VPL, a TIR considera o valor do dinheiro no tempo e é uma ferramenta fundamental na análise e tomada de decisão sobre investimentos.

3 METODOLOGIA

Com a finalidade de satisfazer o objeto de estudo desse trabalho de conclusão de curso, será feito um memorial de cálculos que analisará, por meio do custo e prazo de obtenção do retorno do investimento, quatro tipos de cenários, sendo eles: a troca de 25%, 50%, 75% e 100% das lâmpadas presentes por lâmpadas de LED.

Este estudo de caso é voltado à cidade de Cristais-MG, em virtude da atual gestão municipal já manifestar o interesse nas trocas das lâmpadas instaladas pela tecnologia LED. Vale salientar que, atualmente, a taxa de iluminação pública não é repassada para os moradores do município.

Inicialmente, foi solicitado a Prefeitura Municipal de Cristais o demonstrativo da fatura mensal do consumo de energia elétrica proveniente da iluminação pública, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Demonstrativo do faturamento da iluminação pública



Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322.136.0087
Av. Barbaeira, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30.150-131 - Belo Horizonte - MG

Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela
Lei nº 10.436, de 26 de abril de 2002

DEMONSTRATIVO DO FATURAMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Município: Cristais		Mês/Ano: 2024/05		DIC Mensal (h): 00:38					
Instalação: 3003279604		Período de Faturamento: 01.05.2024 a 31.05.2024							
Nº do Cliente: 7005741408		Dias de Faturamento: 31		h/dia: 11:26					
Iluminação Pública Sem Medição - Detalhamento dos Dados Estimados									
Lâmpadas, Reatores e Relés									
Tipo de Cobrança	Tipo de Lâmpada	Potência Unitária da Lâmpada (W)	Potência Unitária do Reator (W)	Potência Unitária do Relé (W)	Potência Unitária Total (W)	Quantidade Lâmpadas	Quantidade relés	Potência Total (kW)	Consumo (kWh)
EST	INC	100	0,00	1,20	101,20	2	2	0,20	71,57
EST	LED	80	0,00	1,20	81,20	15	14	1,22	430,55
EST	LED	100	0,00	1,20	101,20	16	14	1,62	572,53
EST	VME	80	9,60	1,20	90,80	1	1	0,09	32,10
EST	VME	125	13,75	1,20	139,95	440	396	61,53	21.780,54
EST	VME	250	25,00	1,20	276,20	191	172	52,73	18.667,40
EST	VSO	70	14,00	1,20	85,20	148	133	12,59	4.457,64
EST	VSO	100	17,00	1,20	118,20	580	522	68,49	24.244,87
EST	VSO	150	22,00	1,20	173,20	2	2	0,35	122,54
EST	VSO	250	30,00	1,20	281,20	19	17	5,34	1.890,60
24H	VME	125	13,75	1,20	139,95	5	5	0,70	272,21
24H	VME	250	25,00	1,20	276,20	3	3	0,83	322,48
24H	VSO	70	14,00	1,20	85,20	1	1	0,09	33,13
24H	VSO	100	17,00	1,20	118,20	4	4	0,47	183,90
Total						1.427	1.286	206,25	73.082,06

Fonte: Prefeitura Municipal de Cristais, 2024.

Após a obtenção do demonstrativo, foi analisado qual potência das lâmpadas LED iria substituir as convencionais. Esta análise foi baseada na luminosidade (lúmens) e não diretamente na potência e se deu da seguinte forma: lâmpadas convencionais de até 100W possuem cerca de 3.600 a 6.000 lúmens (a depender do metal) e serão substituídas por lâmpadas

de LED de 30W com aproximadamente 3.600 lúmens, lâmpadas convencionais até 150W por possuir de 6.000 a 15.000 lúmens serão substituídas por lâmpadas de LED de 50W cerca de 7.000 lúmens (aqui foi considerada a lâmpada de vapor de mercúrio, tendo em vista que possui somente 2 lâmpadas de vapor de sódio de 150W) e as lâmpadas a partir de 250W entre 12.000 a 27.000 lúmens, aproximadamente, por lâmpadas de LED de 100W aproximadamente 14.000 lúmens, conforme a Tabela 3. Ressalta-se que ao município já possui 31 luminárias LED que se vão se manter.

Tabela 3 - Novo Cenário

TIPO	POTÊNCIA (W)	QUANTIDADE
LED	30	736
LED	50	447
LED	80	15
LED	100	229
Total		1.427

Fonte: Autor, 2024.

Em seguida foi feita uma pesquisa com diferentes fornecedores para verificar em média qual o preço unitário de cada lâmpada LED e qual seria mais viável financeiramente, como mostra a Tabela 4. Ressalta-se que este valor pode sofrer alterações tendo em vista que na prefeitura é feito processo licitatório. A prestação do serviço será feita pela empresa JJ Energia LTDA (para consulta pública contrato nº 82/2019), que já tem contrato licitatório com a prefeitura para fazer manutenções mensais na iluminação pública com o valor R\$3.703,65 por mês.

Tabela 4 - Custos de lâmpadas

POTÊNCIA	QUANTIDADE	FORNECEDOR	PREÇO UNI.	TOTAL
30W	736	DDL	R\$41,25	R\$30.360,00
50W	447	Sustenta LED	R\$53,99	R\$24.133,53
100W	213	Mercado Livre	R\$55,49	R\$11.819,37
	1.396			R\$66.312,90

Fonte: Autor, 2024.

De posse de todos os dados, os cálculos para a análise foram divididos seguintes etapas:

Primeiramente, foi calculado por meio da Equação 3 o consumo de energia custo mensal da iluminação pública do cenário atual e após a substituição das lâmpadas.

$$C = P \times t \times v(kWh) \quad (3)$$

Sendo:

C = custo (R\$);

P = Potência das lâmpadas + potência do reator;

t = tempo em que as lâmpadas permanecem acesas (foi definido 11h por dia);

v = valor do kWh (R\$0,75).

Sabe-se que o tempo em que as lâmpadas permanecem acessas podem variar de acordo com as estações do ano, a Tabela 2 indica que no mês de maio as lâmpadas estiveram acessas em média 11h e 26min por dia, mas para os cálculos foi adotado uma média de 11h. De acordo com a CEMIG, o valor do kWh (quilowatt-hora) é afetado principalmente por fatores como a demanda de energia, bandeiras tarifárias, sazonalidade de fontes renováveis, dentre outros, em seu *site* há tabelas demonstrativas com diferentes valores. Em consequência disso, foi definido a média de R\$0,75 kWh.

Já utilizando a Equação 4, foi calculado o quanto irá custar as lâmpadas e o serviço para a troca das mesmas.

$$Cm = \sum_{i=1}^n (L_i \times q_i) + s \quad (4)$$

Sendo:

Cm = custo de manutenção (R\$);

L = valor das lâmpadas;

q = quantidade de lâmpadas;

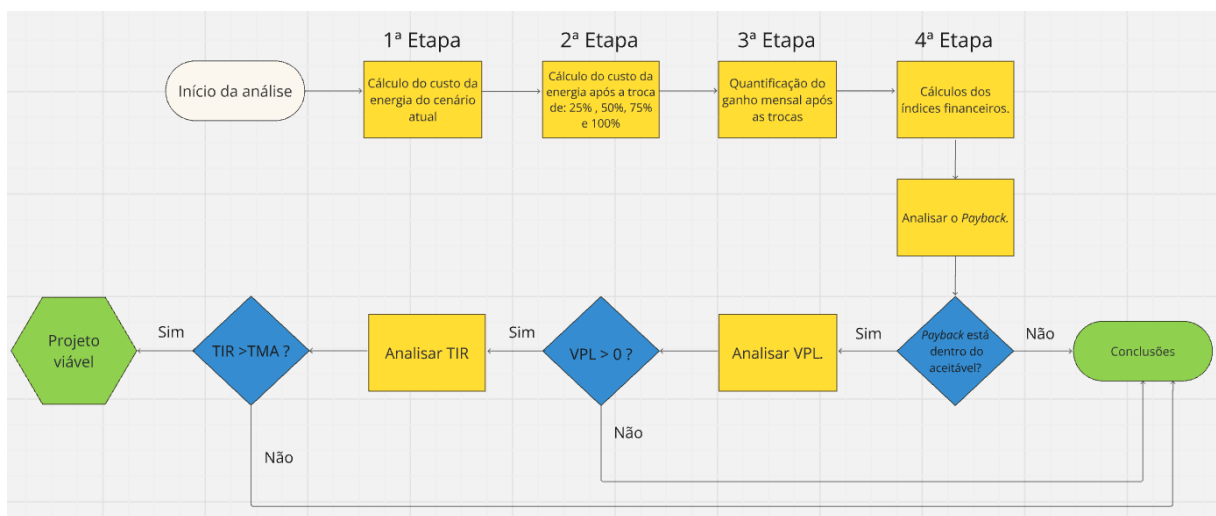
s = valor do serviço (R\$3.703,65 mensais).

Foi estabelecido, como parte do planejamento operacional, que a cada mês será realizada a substituição de 25% das lâmpadas instaladas, com base em uma análise que leva em consideração os dias úteis disponíveis, a quantidade total de lâmpadas a serem trocadas e a capacidade de trabalho da equipe de funcionários. De acordo com esse planejamento, o total de lâmpadas a ser substituído mensalmente corresponde a aproximadamente 357 unidades. O cálculo do número de lâmpadas a serem substituídas foi feito considerando-se a quantidade

total de lâmpadas existentes, o número de funcionários disponíveis para a execução do serviço e a quantidade de dias úteis no mês, assegurando a execução das substituições de maneira eficiente e dentro dos parâmetros estabelecidos.

A partir dos valores obtidos por meio dos cálculos efetuados, foi calculado o *payback*, o VPL e a TIR, concluindo, assim, a viabilidade ou não da troca das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED. O fluxograma da Figura 10 detalha as etapas envolvidas na análise.

Figura 10 - Fluxograma das Etapas de Análise



Fonte: Autor, 2024.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados de cada cenário de troca de lâmpada proposto. Os dados foram efetuados e interpretados com base nas equações e modelos descritos na metodologia, permitindo uma clara compreensão.

4.1 Cenário atual

Para o cálculo do custo operacional do cenário atual, foi utilizado os dados da Tabela 2 que inclui a potência dos reatores e a Equação (3).

$$C_{atual} = P \times t \times v(kWh)$$

$$\begin{aligned} C_{atual} = & [(100 + 0) \times 18 + (80 + 0) \times 15 + (80 + 9,6) \times 1 + (125 + 13,75) \times 445 \\ & + (250 + 25) \times 194 + (70 + 14) \times 149 + (100 + 17) \times 584 \\ & + (150 + 22) \times 2 + (250 + 30) \times 19] \times 11 \times 0,75(kWh) \end{aligned} \quad (5)$$

$$C_{atual} = \mathbf{R\$1.688,70}$$

Esse valor, R\$1.688,70, representa o custo operacional diário que a cidade arca exclusivamente para manter o sistema de iluminação pública em funcionamento nas condições estabelecidas. Esse custo específico considera o uso de todas as lâmpadas com suas devidas potências, funcionando continuamente durante um período de 11 horas ao longo de cada dia, e com base em uma tarifa de energia de R\$0,75 por quilowatt-hora.

4.2 Cenários de análises

Nesta seção foi calculado o custo operacional utilizando a Equação (3) dos 4 cenários de análise, bem como de manutenção, Equação (4).

4.2.1 Custo Operacional para a Troca de 25% das Lâmpadas

Atualmente 213 lâmpadas de 250W (15%), além das 2 lâmpadas de 150W e 142 lâmpadas de 125W, representam 25% do total de pontos de iluminação e seu custo operacional foi calculado por meio da Equação (3). O cálculo do custo operacional foi realizado com base em 25% das lâmpadas existentes na cidade. Assim, o valor apresentado reflete uma fração da iluminação total.

$$C_{atual_{25\%}} = P \times t \times v(kWh)$$

$$C_{atual_{25\%}} = [(250 + 25) \times 194 + (250 + 30) \times 19 + (150 + 22) \times 2 + (125 + 13,75) \times 142] \times 11 \times 0,75(kWh) \quad (6)$$

$$C_{atual_{25\%}} = \mathbf{R\$649,41}$$

O valor de R\$649,41 é o custo diário para manter a iluminação pública funcionando por 11 horas diárias, considerando 25% das lâmpadas a uma tarifa de R\$0,75 por kWh.

No primeiro cenário de análise foi feito o cálculo para a substituição destas lâmpadas convencionais por lâmpadas LED.

$$C_{25\%} = P \times t \times v(kWh)$$

$$C_{25\%} = [(100 \times 213) + (50 \times 144)] \times 11 \times 0,75(kWh) \quad (7)$$

$$C_{25\%} = \mathbf{R\$235,12}$$

Portanto, o custo diário de energia elétrica de 25% das lâmpadas após a troca é de R\$235,12.

Utilizando a equação (4) e dados da Tabela 4, foi calculado o custo de manutenção:

$$Cm_{25\%} = (L \times q) + s$$

$$Cm_{25\%} = (55,49 \times 213 + 53,99 \times 144) + 3.703,65 \quad (8)$$

$$Cm_{25\%} = \mathbf{R\$23.297,58}$$

Dessa forma, o custo total de manutenção decorrente dessa troca parcial de lâmpadas foi de R\$23.297,58 refletindo as despesas associadas à aquisição e instalação delas.

Para quantificar o ganho mensal, em um período de 30 dias, foi calculada a diferença entre o custo do cenário atual e o custo do cenário após a substituição de 25% das

lâmpadas. Essa abordagem permite avaliar o impacto financeiro da troca, evidenciando a economia gerada pela implementação da nova iluminação em comparação com o custo anterior.

$$Q_{25\%} = [Catual - (Catual - Catual_{25\%} + C_{25\%})] \times 30 \quad (9)$$

$$Q_{25\%} = [1.688,70 - (1.688,70 - 649,41 + 235,12)] \times 30$$

$$Q_{25\%} = \mathbf{R\$12.636,03}$$

4.2.2 Custo Operacional para a Troca de 50% das Lâmpadas

No momento, 213 lâmpadas de 250W, 2 lâmpadas de 150W, 445 lâmpadas de 125W além de 54 lâmpadas de 100W, correspondem 50% do total de pontos de iluminação, e seu custo operacional foi calculado utilizando a Equação (3).

$$Catual_{50\%} = P \times t \times v(kwh)$$

$$\begin{aligned} Catual_{50\%} = & [(250 + 25) \times 194 + (250 + 30) \times 19 + (150 + 22) \times 2 \\ & + (125 + 13,75) \times 445 + (100 + 17) \times 52 + (100 + 0) \times 2] \times 11 \\ & \times 0,75(kWh) \end{aligned} \quad (10)$$

$$Catual_{50\%} = \mathbf{R\$1.048,09}$$

A cidade gasta cerca de R\$1.048,09 por dia para manter 50% da iluminação pública funcionando 11 horas, com tarifa de R\$0,75/kWh.

Para o segundo cenário, também foi calculado a substituição das lâmpadas convencionais.

$$C_{50\%} = P \times t \times v(kwh)$$

$$C_{50\%} = [(100 \times 213) + (50 \times 447) + (30 \times 54)] \times 11 \times 0,75(kWh) \quad (11)$$

$$C_{50\%} = \mathbf{R\$373,48}$$

Assim, o custo diário de energia elétrica correspondente a 50% das lâmpadas, após a realização da troca, é de R\$373,48.

Utilizando a equação (4), foi calculado o custo de manutenção, neste cenário deuse o prazo de 2 meses para a prestação de serviço para a troca:

$$Cm_{50\%} = (L \times q) + s$$

$$Cm_{50\%} = (55,49 \times 213 + 53,99 \times 447 + 41,25 \times 54) + 3.703,65 + 3.703,65 \quad (12)$$

$$Cm_{50\%} = \mathbf{R\$45.587,70}$$

Desse modo, o custo total de manutenção resultante dessa substituição parcial de lâmpadas alcançou R\$45.857,70, o que inclui as despesas relacionadas à sua aquisição e instalação.

Foi calculada a diferença entre o custo do cenário atual e o custo após a substituição de 50% das lâmpadas.

$$Q_{50\%} = [Catual - (Catual - Catual_{50\%} + C_{50\%})] \times 30$$

$$Q_{50\%} = [1.688,70 - (1.688,70 - 1.048,10 + 373,48)] \times 30 \quad (13)$$

$$Q_{50\%} = \mathbf{R\$20.238,43}$$

4.2.3 Custo Operacional para a Troca de 75% das Lâmpadas

Nos dias atuais, 213 lâmpadas de 250W, 2 lâmpadas de 150W, 445 lâmpadas de 125W além de 411 lâmpadas de 100W, representam 75% do cenário atual de pontos de iluminação pública, tendo seu custo operacional mostrado por meio da Equação (3).

$$Catual_{75\%} = P \times t \times v(kwh)$$

$$Catual_{75\%} = [(250 + 25) \times 194 + (250 + 30) \times 19 + (150 + 22) \times 2 + (125 + 13,75) \times 445 + (100 + 17) \times 409 + (100 + 0) \times 2] \times 11 \times 0,75(kWh) \quad (14)$$

$$Catual_{75\%} = \mathbf{R\$1.392,69}$$

O custo diário de R\$1.392,69 cobre a operação da iluminação pública por 11 horas, com 75% das lâmpadas acesas e tarifa de R\$0,75 por kWh.

Após a substituição das lâmpadas convencionais por LED, o custo operacional das novas lâmpadas também foi calculado.

$$C_{75\%} = P \times t \times v(kwh)$$

$$C_{75\%} = [(100 \times 213) + (50 \times 447) + (30 \times 411)] \times 11 \times 0,75(kWh) \quad (15)$$

$$C_{75\%} = \mathbf{R\$461,84}$$

Consequentemente, o custo diário de energia elétrica para 75% das lâmpadas, após a substituição, é de R\$461,84.

Utilizando a equação (4) e dados da Tabela 4, foi calculado o custo de manutenção, neste cenário deu-se o prazo de 3 meses para a prestação de serviço para a troca:

$$Cm_{75\%} = (L \times q) + s$$

$$Cm_{75\%} = (55,49 \times 213 + 53,99 \times 447 + 41,25 \times 411) + 3.703,65 \times 3 \quad (16)$$

$$Cm_{75\%} = \mathbf{R\$64.017,60}$$

O custo de manutenção decorrente a esta troca parcial, que engloba as despesas associadas à sua compra quanto a instalação é de R\$64.017,60.

Para determinar o ganho mensal, foi feito a diferença entre o custo do cenário atual e o custo após a substituição de 75% das lâmpadas.

$$Q_{75\%} = [Catual - (Catual - Catual_{75\%} + C_{75\%})] \times 30$$

$$Q_{75\%} = [1.688,70 - (1.688,70 - 1.392,69 + 461,84)] \times 30 \quad (17)$$

$$Q_{75\%} = \mathbf{R\$27.925,46}$$

4.2.4 Custo Operacional para a Troca de 100% das Lâmpadas

Por fim, no quarto cenário foi feito a análise da troca de 100% das lâmpadas convencionais por LED. O Custo operacional do cenário atual já foi calculado da seção 4.1.

$$C_{100\%} = P \times t \times v(kwh)$$

$$C_{100\%} = [(100 \times 229) + (80 \times 15) + (50 \times 447) + (30 \times 736)] \times 11 \times 0,75(kWh)(18)$$

$$C_{100\%} = \mathbf{R\$565,37}$$

Após a substituição de todas as lâmpadas convencionais por lâmpadas LED, o custo diário de energia elétrica é de R\$565,37, evidenciando a economia significativa proporcionada por essa tecnologia.

Utilizando a equação (4), foi calculado o custo de manutenção, neste cenário deuse o prazo de 4 meses para a prestação de serviço para a troca:

$$Cm_{100\%} = (L \times q) + s$$

$$Cm_{100\%} = (55,49 \times 213 + 53,99 \times 447 + 41,25 \times 736) + 3.703,65 \times 4 \quad (19)$$

$$Cm_{100\%} = \mathbf{R\$81.127,50}$$

O custo de manutenção resultante dessa troca total de lâmpadas, que abrange todas as despesas relacionadas tanto à aquisição quanto à sua instalação, totaliza R\$81.127,50. Este erário representa não apenas um investimento significativo na modernização do sistema de iluminação pública, mas também ressalta a importância de garantir eficiência energética e qualidade na iluminação.

Por fim, para determinar o ganho mensal, foi feito a diferença entre o custo do cenário atual e o custo após a substituição de 100% das lâmpadas.

$$Q_{100\%} = (C_{atual} - C_{100\%}) \times 30$$

$$Q_{100\%} = (1.688,70 - 565,37) \times 30 \quad (20)$$

$$Q_{100\%} = \mathbf{R\$33.700,01}$$

4.3 Análise Financeira

A análise financeira nesta seção envolve o cálculo de *payback*, VPL e TIR. Esses indicadores foram utilizados para avaliar o custo e benefícios de uma possível intervenção no sistema de iluminação pública, considerando o impacto econômico da implementação de soluções mais eficientes em termos de consumo energético e manutenção.

4.3.1 Análise financeira para a troca de 25% das Lâmpadas

Aqui serão calculados a viabilidade financeira para a substituição de 25% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED.

4.3.1.1 *Payback* para a troca de 25% das Lâmpadas

O cálculo do *payback* foi feito por meio da Equação (20), onde os valores do investimento inicial e ganho do investimento foram calculados nas seções anteriores. Para todos os outros cenários também foi utilizado a mesma equação.

$$Payback_{25\%} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Ganho do Investimento}} \quad (21)$$

$$Payback_{25\%} = \frac{Cm_{25\%}}{Q_{25\%}} = \frac{23.297,58}{12.428,73}$$

$$Payback_{25\%} \cong 2 \text{ meses}$$

O tempo de *payback* da troca de 25% das lâmpadas são de 2 meses, indicando que o investimento inicial será recuperado neste período, ou seja, para que o fluxo de caixa acumulado iguale o valor do investimento inicial, sem considerar o valor do dinheiro no tempo.

4.3.1.2 Cálculo do VPL para a troca de 25% das lâmpadas

O *payback* possui limitações como desconsiderar o valor do dinheiro no tempo e não contabilizar fluxos de caixa que ocorram após o período de retorno. Portanto, é recomendável usá-lo em conjunto com outras métricas, como VPL e TIR.

Para o cálculo do VPL, a TMA será referente a taxa Selic (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia), que hoje (outubro de 2024) está em 10,75% ao ano. O tempo máximo para todas as estimativas são de 12 anos, tendo em vista que uma lâmpada LED tem duração de aproximadamente 50.000 horas. Foi considerada a quantificação dos ganhos mensais para efetuar as análises. Optou-se pelo uso do *software* Excel para execução dos

Tabela 6 - TIR para a troca de 25% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 23.297,58		TIR	
			MÊS 1:	-47%
MÊS 1:	R\$ 12.428,73		MÊS 2:	4%
MÊS 2:	R\$ 12.428,73		MÊS 3:	28%
MÊS 3:	R\$ 12.428,73		MÊS 4:	39%
MÊS 4:	R\$ 12.428,73		MÊS 5:	45%
MÊS 5:	R\$ 12.428,73		MÊS 6:	48%
MÊS 6:	R\$ 12.428,73			

Fonte: Autor, 2024.

Nota-se que a TMA < TIR a partir do terceiro mês, portanto a troca de 25% das lâmpadas é viável corroborando com as outras métricas de validação.

Para facilitar a compreensão dos resultados obtidos nas três análises financeiras, a Tabela 7 resume os cálculos do *payback*, do VPL e da TIR, permitindo uma visão clara das variáveis e do impacto econômico de cada abordagem.

Tabela 7 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 25% das lâmpadas

PAYBACK		VPL		TIR	
≈ 2 meses		MÊS 1:	-R\$ 12.075,25	MÊS 1:	-47%
		MÊS 2:	-R\$ 1.942,22	MÊS 2:	4%
		MÊS 3:	R\$ 7.207,24	MÊS 3:	28%
		MÊS 4:	R\$ 15.468,61	MÊS 4:	39%
		MÊS 5:	R\$ 22.928,08	MÊS 5:	45%
		MÊS 6:	R\$ 29.663,49	MÊS 6:	48%

Fonte: Autor, 2024.

4.3.2 Análise financeira para a troca de 50% das Lâmpadas

Neste ponto, será calculada a viabilidade financeira para a troca de 50% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED.

4.3.2.1 Payback para a troca de 50% das Lâmpadas

$$Payback_{50\%} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Ganho do Investimento}}$$

$$Payback_{50\%} = \frac{Cm_{50\%}}{Q_{50\%}} = \frac{45.587,70}{20.238,43} \quad (22)$$

$$Payback_{50\%} \cong 2,5 \text{ meses}$$

O cálculo do *payback* revela que o período necessário para recuperar o investimento inicial, sem considerar o valor do dinheiro no tempo, são de 2,5 meses. Esse resultado sugere que o retorno sobre o investimento será alcançado dentro desse intervalo, o que indica uma rápida recuperação financeira.

4.3.2.2 Cálculo do VPL para a troca de 50% das lâmpadas

A Tabela 8 faz o demonstrativo do cálculo do VPL para a troca de 50% das lâmpadas convencionais por LED, seguindo o mesmo padrão da seção anterior.

Tabela 8 - VPL para a troca de 50% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 45.587,70		VPL	
			MÊS 1:	-R\$ 27.313,72
MÊS 1:	R\$ 20.238,43		MÊS 2:	-R\$ 10.813,52
MÊS 2:	R\$ 20.238,43		MÊS 3:	R\$ 4.085,09
MÊS 3:	R\$ 20.238,43		MÊS 4:	R\$ 17.537,55
MÊS 4:	R\$ 20.238,43		MÊS 5:	R\$ 29.684,25
MÊS 5:	R\$ 20.238,43		MÊS 6:	R\$ 40.651,92
MÊS 6:	R\$ 20.238,43			

Fonte: Autor, 2024.

Nota-se que o VPL apresentou um superávit de R\$4.085,09 a partir do terceiro mês. Esse resultado positivo indica que, a partir deste ponto, os fluxos de caixa gerados pelo investimento não apenas cobriram os custos iniciais, mas também proporcionam um retorno financeiro significativo.

4.3.2.3 Cálculo da TIR para a troca de 50% das lâmpadas

A Tabela 09 apresenta o cálculo da TIR referente a substituição de 50% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED, detalhando o percentual de retorno esperado para esse investimento.

Tabela 9 - TIR para a troca de 50% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 45.587,70		TIR	
			MÊS 1:	-56%
MÊS 1:	R\$ 20.238,43		MÊS 2:	-8%
MÊS 2:	R\$ 20.238,43		MÊS 3:	16%
MÊS 3:	R\$ 20.238,43		MÊS 4:	28%
MÊS 4:	R\$ 20.238,43		MÊS 5:	34%
MÊS 5:	R\$ 20.238,43		MÊS 6:	38%
MÊS 6:	R\$ 20.238,43			

Fonte: Autor, 2024.

Observa-se que a TIR supera a TMA a partir do terceiro mês, indicando que a substituição de 50% das lâmpadas é viável, alinhando-se com as demais métricas de validação.

Visando facilitar a análise dos resultados das três avaliações financeiras, a Tabela 10 apresenta um resumo dos cálculos do *payback*, do VPL e da TIR, proporcionando uma visão clara das variáveis envolvidas e do impacto econômico de cada abordagem.

Tabela 10 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 50% das lâmpadas

PAYBACK	VPL		TIR	
≅ 2,5 meses	MÊS 1:	-R\$ 27.313,72	MÊS 1:	-56%
	MÊS 2:	-R\$ 10.813,52	MÊS 2:	-8%
	MÊS 3:	R\$ 4.085,09	MÊS 3:	16%
	MÊS 4:	R\$ 17.537,55	MÊS 4:	28%
	MÊS 5:	R\$ 29.684,25	MÊS 5:	34%
	MÊS 6:	R\$ 40.651,92	MÊS 6:	38%

Fonte: Autor, 2024.

4.3.3 Análise financeira para a troca de 75% das Lâmpadas

Foram apresentados cálculos para viabilidade financeira para a troca de 75% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED.

4.3.3.1 Payback para a troca de 75% das Lâmpadas

$$Payback_{75\%} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Ganho do Investimento}}$$

$$Payback_{75\%} = \frac{Cm_{75\%}}{Q_{75\%}} = \frac{64.017,60}{27.925,46} \quad (23)$$

$$Payback_{75\%} \cong 2,5 \text{ meses}$$

Assim como no cálculo do *payback* para a troca de 50% das lâmpadas, o *payback* para a troca de 75% revela que o período necessário para recuperar o investimento inicial, sem considerar o valor do dinheiro no tempo, são de 2,5 meses.

4.3.3.2 Cálculo do VPL para a troca de 75% das lâmpadas

A Tabela 11 apresenta o cálculo do VPL para a substituição de 75% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED, seguindo o mesmo padrão da seção anterior.

Tabela 11 - VPL para a troca de 75% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 64.017,60		VPL	
			MÊS 1:	-R\$ 38.802,74
MÊS 1:	R\$ 27.925,46		MÊS 2:	-R\$ 16.035,37
MÊS 2:	R\$ 27.925,46		MÊS 3:	R\$ 4.522,08
MÊS 3:	R\$ 27.925,46		MÊS 4:	R\$ 23.084,10
MÊS 4:	R\$ 27.925,46		MÊS 5:	R\$ 39.844,40
MÊS 5:	R\$ 27.925,46		MÊS 6:	R\$ 54.977,85
MÊS 6:	R\$ 27.925,46			

Fonte: Autor, 2024.

O VPL apresentou um superávit de R\$4.522,08 a partir do terceiro mês. Esse resultado positivo indica que, a partir desse momento, os fluxos de caixa gerados pelo investimento não apenas foram suficientes para cobrir os custos iniciais, mas também garantiram um retorno financeiro expressivo.

4.3.3.3 Cálculo da TIR para a troca de 75% das lâmpadas

A Tabela 12 apresenta o cálculo da TIR referente a substituição de 75% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED, especificando o percentual de retorno projetado para este investimento e destacando seu potencial de viabilidade econômica.

Tabela 12 - TIR para a troca de 75% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 64.017,60		TIR	
			MÊS 1:	-56%
MÊS 1:	R\$ 27.925,46		MÊS 2:	-9%
MÊS 2:	R\$ 27.925,46		MÊS 3:	15%
MÊS 3:	R\$ 27.925,46		MÊS 4:	27%
MÊS 4:	R\$ 27.925,46		MÊS 5:	33%
MÊS 5:	R\$ 27.925,46		MÊS 6:	37%
MÊS 6:	R\$ 27.925,46			

Fonte: Autor, 2024.

Verifica-se que a TIR ultrapassa a TMA a partir do terceiro mês, indicando a viabilidade da substituição de 75% das lâmpadas e confirmando a consistência com as demais métricas de validação.

Com o objetivo de simplificar a análise dos resultados das três avaliações financeiras, a Tabela 13 resume os cálculos do *payback*, do VPL e da TIR, oferecendo uma visão clara das variáveis envolvidas e do impacto econômico de cada abordagem.

Tabela 13 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 75% das lâmpadas

PAYBACK	VPL		TIR	
$\cong 2,5$ meses	MÊS 1:	-R\$ 38.802,74	MÊS 1:	-56%
	MÊS 2:	-R\$ 16.035,37	MÊS 2:	-9%
	MÊS 3:	R\$ 4.522,08	MÊS 3:	15%
	MÊS 4:	R\$ 23.084,10	MÊS 4:	27%
	MÊS 5:	R\$ 39.844,40	MÊS 5:	33%
	MÊS 6:	R\$ 54.977,85	MÊS 6:	37%

Fonte: Autor, 2024.

4.3.4 Análise financeira para a troca de 100% das Lâmpadas

Por fim, foram apresentados cálculos para viabilidade financeira para a troca de 100% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED.

4.3.4.1 *Payback* para a troca de 100% das Lâmpadas

$$Payback_{100\%} = \frac{Investimento\ inicial}{Ganho\ do\ Investimento}$$

$$Payback_{100\%} = \frac{Cm_{100\%}}{Q_{100\%}} = \frac{81.127,50}{33.700,01} \quad (24)$$

$$Payback_{100\%} \cong 2,5\ meses$$

Por fim, o cálculo de *payback* para a substituição de 100% das lâmpadas convencionais é de aproximadamente 2,5 meses, mostrando e quanto tempo o investimento inicial será recuperado por meio dos fluxos de caixa gerados.

4.3.4.2 Cálculo do VPL para a troca de 100% das lâmpadas

Para a substituição de 100% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED, a Tabela 14 apresenta o cálculo do VPL.

Tabela 14 - VPL para a troca de 100% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 81.127,50		VPL	
			MÊS 1:	-R\$ 50.698,60
MÊS 1:	R\$ 33.700,01		MÊS 2:	-R\$ 23.223,29
MÊS 2:	R\$ 33.700,01		MÊS 3:	R\$ 1.585,11
MÊS 3:	R\$ 33.700,01		MÊS 4:	R\$ 23.985,48
MÊS 4:	R\$ 33.700,01		MÊS 5:	R\$ 44.211,54
MÊS 5:	R\$ 33.700,01		MÊS 6:	R\$ 62.474,35
MÊS 6:	R\$ 33.700,01		MÊS 7:	R\$ 78.964,48
MÊS 7:	R\$ 33.700,01		MÊS 8:	R\$ 93.853,98
MÊS 8:	R\$ 33.700,01			

Fonte: Autor, 2024.

Nota-se que o VPL > 0 a partir do terceiro mês, o que demonstra que neste ponto os fluxos de caixa gerados pelo investimento não só foram adequados para cobrir todos os custos iniciais, mas também proporcionaram um retorno financeiro significativo. Isso evidencia a capacidade do projeto de gerar lucros consistentes e sustentáveis ao longo do tempo, refletindo sua viabilidade econômica.

4.3.4.3 Cálculo da TIR para a troca de 100% das lâmpadas

A Tabela 15 fornece uma análise detalhada do cálculo da TIR para substituição de 100% das lâmpadas convencionais por lâmpadas LED. Este cálculo não apenas especifica o percentual de retorno projetado para este investimento, mas também evidencia o potencial de viabilidade econômica, ressaltando os benefícios financeiros a longo prazo associados a essa transição.

Tabela 15 - TIR para a troca de 100% das lâmpadas

TMA:	10,75%			
INV.:	R\$ 81.127,50		TIR	
			MÊS 1:	-58%
MÊS 1:	R\$ 33.700,01		MÊS 2:	-12%
MÊS 2:	R\$ 33.700,01		MÊS 3:	12%
MÊS 3:	R\$ 33.700,01		MÊS 4:	24%
MÊS 4:	R\$ 33.700,01		MÊS 5:	31%
MÊS 5:	R\$ 33.700,01		MÊS 6:	35%
MÊS 6:	R\$ 33.700,01		MÊS 7:	37%
MÊS 7:	R\$ 33.700,01			

Fonte: Autor, 2024.

A TIR do projeto foi alcançada ao mesmo tempo que os prazos de payback e VPL, devido à sua abordagem abrangente, que leva em consideração os fluxos de caixa ao longo de todo o investimento, incluindo os retornos após o período de troca. Enquanto o payback foca apenas na recuperação do investimento inicial, a TIR reflete o retorno total ajustado ao risco. Assim, embora o payback e o VPL sejam indicadores importantes para mensurar o retorno, a TIR oferece uma visão mais completa e precisa da rentabilidade do projeto, confirmando sua viabilidade e lucratividade, uma vez que superou a taxa mínima de atratividade.

Com o intuito de proporcionar uma visão mais clara e acessível dos resultados obtidos nas três avaliações financeiras, a Tabela 16 apresenta um resumo completo dos cálculos do *payback*, do VPL e da TIR. Esses indicadores são essenciais para entender o impacto econômico de cada abordagem analisada, permitindo uma comparação direta entre as alternativas, ao mesmo tempo que destacam as variáveis envolvidas e como elas influenciam a viabilidade financeira das soluções propostas.

Tabela 16 - Comparativo das análises financeiras para a troca de 100% das lâmpadas

PAYBACK		VPL		TIR	
≅ 2,5 meses		MÊS 1:	-50698,6	MÊS 1:	-58%
		MÊS 2:	-23223,3	MÊS 2:	-12%
		MÊS 3:	1585,114	MÊS 3:	12%
		MÊS 4:	23985,48	MÊS 4:	24%
		MÊS 5:	44211,54	MÊS 5:	31%
		MÊS 6:	62474,35	MÊS 6:	35%
		MÊS 7:	78964,48	MÊS 7:	37%
		MÊS 8:	93853,98		

Fonte: Autor, 2024.

5 CONCLUSÕES

Este estudo evidenciou que a substituição de lâmpadas convencionais por lâmpadas LED é financeiramente viável, com algumas ressalvas, em diferentes cenários analisados: 25%, 50%, 75% e 100% de substituição. A análise foi realizada com base em indicadores financeiros essenciais, como o *payback*, o VPL e a TIR. O *payback* foi utilizado para determinar o período de retorno do investimento inicial, e o VPL foi calculado considerando esse período, revelando a atratividade financeira de cada cenário.

Os resultados mostraram que todos os cenários apresentam uma atratividade financeira positiva. O VPL foi positivo em todos, e os prazos de *payback* também indicaram uma recuperação satisfatória do investimento. Além disso, o cenário de 100% de substituição se destaca pela maior atratividade financeira ao longo do tempo, refletindo uma economia mais expressiva devido à redução dos custos operacionais e de manutenção.

A TIR foi utilizada para validar os resultados financeiros, sendo comparada à TMA, e revelou índices positivos para todos os cenários, reforçando a viabilidade financeira do projeto em todos os percentuais de substituição.

Além disso, mesmo em cenários de substituição parcial, os custos operacionais e de manutenção foram significativamente reduzidos, o que impactou positivamente os custos totais de iluminação pública. A economia gerada pela substituição das lâmpadas convencionais por LED reflete-se não apenas na redução do consumo de energia elétrica, mas também na menor necessidade de manutenção e reposição, proporcionando uma diminuição expressiva dos gastos ao longo dos anos.

Por outro lado, quanto maior a porcentagem de lâmpadas substituídas, mais expressiva é a economia acumulada ao longo do tempo, tornando a substituição de 100% das lâmpadas a opção mais atrativa em termos de longo prazo.

A análise também destacou aspectos ambientais, citando que a adoção de lâmpadas LED contribui para a redução das emissões de carbono, devido ao menor consumo de energia elétrica, e para a diminuição da geração de resíduos sólidos, graças à maior durabilidade das lâmpadas. Esses fatores reduzem o impacto ambiental associado à produção e descarte de lâmpadas convencionais.

Em síntese, os resultados desta pesquisa confirmam que a substituição de lâmpadas convencionais por LED na cidade de Cristais é, de forma geral, financeiramente viável, especialmente nos cenários de 50%, 75% e 100% de substituição. Além disso, a adoção dessa tecnologia representa uma estratégia importante para a construção de um modelo de iluminação pública mais sustentável e eficiente. A viabilidade financeira, aliada aos benefícios ambientais e potenciais ganhos em segurança pública e bem-estar social, reforça a necessidade de priorizar investimentos em LED nas políticas públicas de iluminação, visando à melhoria da qualidade de vida da população e à redução dos custos operacionais para a administração pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Resolução nº 456/2000. Estabelece os requisitos técnicos para a prestação do serviço de distribuição de energia elétrica. Brasília, 2000. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 22 abril. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução nº 456, de 29 de novembro de 2000. Aprova o Regulamento do Serviço de Distribuição de Energia Elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 nov. 2000. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/cedoc/ren-456-2000.pdf>>. Acesso em: 08 mai. 2024.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Notícia sobre novo projeto de lei. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=296158>>. Acesso em: 03 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ILUMINAÇÃO. Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. 2010. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2010/04/ed38_desenvolvimento_da_iluminacao_publica_no_brasil.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5101: 2024: Iluminação pública – Requisitos para o projeto, a instalação e a manutenção dos sistemas de iluminação pública. Rio de Janeiro, 2024.

CAMARGO, R. F. Taxa interna de retorno (TIR). Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 17 set. 2024.

COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO. Substituição de lâmpadas incandescentes no sistema de iluminação pública – Relatório SCPE.33.01 de 13/10/1988. Comitê de Distribuição (CODI), Abradee, Rio de Janeiro, 1988. 51 p.

CORDEIRO, Matheus. Análise da viabilidade econômica da substituição de lâmpadas convencionais por LED: estudo de caso em Porto Alegre. Dissertação Mestrado em Engenharia Elétrica — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/268483>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

DEMAPE. ABNT NBR 5101:2024 – Conheça as mudanças e impactos. Disponível em: <<https://demape.com.br/abnt-nbr-5101-2024-conheca-as-mudancas-e-impactos/>>. Acesso em: 08 ago. 2024.

DIAMANTE LED. Luminária LED pública Slim 30W SMD 6500K IP67 bivolt. Disponível em: <https://www.diamantedoled.com.br/luminaria-led-publica-slim-30w-smd-6500k-ip67-bivolt?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant>. Acesso em: 29 set. 2024.

EDUCALINGO. Balastro. Disponível em: <<https://educalingo.com/pt/dic-es/balastro>. Acesso em: 03 jun. 2024.

ESCOCARD, G. Por que a cidade de Campos ficou conhecida como a primeira da América Latina a ter luz elétrica. Disponível em: <<https://j3news.com/2020/10/30/por-que-a-cidade-de-campos-ficou-conhecida-como-a-primeira-da-america-latina-a-ter-luz-eletrica/>>. Acesso em: 28 jun. 2024.

ESTRELA, A. Payback simples. Disponível em: <<https://www.contadoragora.com/payback-simples>>. Acesso em: 17 set. 2024.

GOLDENERGY. Lâmpada de vapor de mercúrio. Disponível em: <<https://goldenergy.pt/glossario/lampada-vapormercurio/#:~:text=Vapor%20de%20Merc%C3%BArio,A%20l%C3%A2mpada%20de%20vapor%20de%20merc%C3%BArio%20%C3%A9%20um%20dispositivo%20el%C3%A9trico,argon%20%E2%80%93%20e%20gotas%20de%20merc%C3%BArio>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. Morte de Nikola Tesla, gênio da eletricidade, completa 74 anos. Disponível em: <https://auniao.pb.gov.br/noticias/caderno_cultura/morte-de-nikola-tesla-genio-da-eletricidade-completa-74-anos>. Acesso em: 03 jun. 2025.

GUEDES, M. Taxa interna de retorno (TIR). Disponível em: <<https://varos.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno-tir>>. Acesso em: 17 set. 2024

GUIMARÃES, P. Valor presente líquido (VPL). Disponível em: <<https://investidorsardinha.r7.com/aprender/valor-presente-liquido-vpl/>>. Acesso em: 17 set. 2024.

INDÚSTRIA ON. Luminárias de vapor de sódio: como funciona a iluminação. Disponível em: <<https://blog.industriaon.com/luminarias-de-vapor-de-sodio-como-funciona-a-iluminacao/>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Estimativas da população residente no Brasil e unidades da Federação. 2024. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 22 abril. 2024.

JWS. 1957: No tempo dos bondes. Disponível em: <<http://www.jws.com.br/2021/04/1957-no-tempo-dos-bondes/>>. Acesso em: 03 jun. 2024.

LOPES, Leonardo Barbosa. Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LUNELLI, R. L. Análise de investimentos. Disponível em: <<https://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>>. Acesso em: 17 set. 2024.

MAIA, Alair Corrêa. A evolução da iluminação pública: gestão, eficiência e modernização. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MARTINS, M. Um novo capítulo da Guerra das Correntes. Disponível em: <<https://fapers.org.br/new-portal/2020/07/um-novo-capitulo-da-guerra-das-correntes/>>. Acesso em: 22 mai. 2024.

MAZETTO, G. P. Estudo comparativo de eficiência entre lâmpadas a vapor de sódio em alta pressão e LED. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

MEIRA, Silvio. *Thomas Edison psicografado*. Disponível em: <<https://silvio.meira.com/silvio/thomas-edison-psicografado/>>. Acesso em: 03 jun. 2024.

MERCADO LIVRE. *Luminária LED para poste 100W iluminação pública 6500K*. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3484929063-luminaria-led-para-poste-100w-iluminaco-publica-6500k-_JM?matt_tool=14372353&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215552&matt_ad_group_id=150145935327&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=649558500191&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla&matt_merchant_id=5087269691&matt_product_id=MLB3484929063&matt_product_partition_id=2269030433745&matt_target_id=pla-2269030433745&cq_src=google_ads&cq_cmp=14302215552&cq_net=g&cq_plt=gp&cq_m>

ed=pla&gad_source=4&gclid=EAIaIQobChMI46Xp_LLciAMV7TQIBR1wHhBzEAQYBCABEgKm1_D_BwE>. Acesso em: 29 set. 2024.

MIRANDA, Marcos Felipe Venez. Análise da Viabilidade Técnica e Econômica da Substituição da Iluminação Pública com o Uso da Tecnologia LED em Avenidas da Cidade de Palmas - Tocantins. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação em Engenharia Elétrica — Instituto Federal de Educação e Ciência e Tecnologia de Tocantins. Disponível em: <<https://portal.ifto.edu.br/palmas/campus-palmas/ensino/biblioteca/Acervo/trabalhos-academicos/engenharia-eletrica/2021/marcos-felipe-venez-miranda.pdf/view>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

MOREIRA, Eduardo. Eficiência energética, economia financeira e redução de impacto ambiental. Disponível em: <<https://edumoreira.com.br/eficiencia-energetica/>> Acesso em 05 mai. 2024.

MOZZINI, M. H. A iluminação pública no Brasil: história, desafios e possibilidades. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2022.

NASCIMENTO, I. V. Iluminação pública: estudo de caso Gama. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Energia. Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

PERDIGÃO, Larissa. Estudo da viabilidade econômica da substituição de lâmpadas convencionais por LED: estudo de caso em Varginha/MG. Monografia Graduação em Engenharia Ambiental — Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2832/6/MONOGRAFIA_EstudoViabilidadeSubstitui%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2025.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. BH em Pauta: luminárias inteligentes. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/bh-em-pauta-luminarias-inteligentes>>. Acesso em: 17 mai. 2024.

PREFEITURA DE CRISTAIS. Editais. Disponível em: <<https://www.cristais.mg.gov.br/portal/editais/1>>. Acesso em: 05 jun. 2024.

PREFEITURA DE LUZ. Prefeitura de Luz substitui lâmpadas comuns por LED. Disponível em: <<https://www.luz.mg.gov.br/noticia/963/prefeitura-de-luz-substitui-lampadas-comum-por->

SILVA, João da. Análise da eficiência energética na iluminação pública: estudo de caso na cidade de Porto. Dissertação Mestrado em Engenharia — Universidade do Porto. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79663/2/35923.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

SUSTENTABLED. Luminária pública LED 50W para poste SMD IP65/IP67 branco frio. Disponível em: <https://www.sustentaled.com.br/luminaria-publica-led-50w-para-poste-smd-ip65-ip67-branco-frio?utm_source=Site&utm_medium=GoogleMerchant&utm_campaign=GoogleMerchant&utm_campaign=PMax&gad_source=4&gclid=EAIaIQobChMIwK_2mrHciAMVaDcIBR1LKQpzEAQYByABEgI8t_D_BwE>. Acesso em: 29 set. 2024.

TCT BRASIL. Nova norma ABNT NBR 5101:2024. Disponível em: <<https://www.tctbrasil.com.br/2024/04/16/nova-norma-abnt-nbr5101-2024/>>. Acesso em: 08 ago. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Fluorescência e fosforescência. Disponível em: <<http://demonstracoes.fisica.ufmg.br/artigos/ver/109/20.-Fluorescencia-e-fosforescencia>>. Acesso em: 3 fev. 2025.

VOLPE ELETROPOSTES. Óleo de baleia iluminava as cidades brasileiras no século XVIII e XIX. 2025. Disponível em: <<https://volpeeletropostes.com.br/oleo-de-baleia-iluminava-as-cidades-brasileiras-no-seculo-xviii-e-xix/>>. Acesso em: 03 jun. 2024.