

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNO DA SILVA ROSA

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS DE DESCARGA POR
LUMINÁRIAS LED DE ALTA EFICIÊNCIA NOS SISTEMAS
DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

BRUNO DA SILVA ROSA

**ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS DE DESCARGA POR
LUMINÁRIAS LED DE ALTA EFICIÊNCIA NOS SISTEMAS
DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. João Carlos Martins Lúcio, D. Eng.

Coorientador:
Prof. Alfeu Luz Losso, Me

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rosa, Bruno da Silva

Análise da Substituição de Lâmpadas de Descarga por Luminárias LED de Alta Eficiência nos Sistemas de Iluminação Pública/ Bruno da Silva Rosa; orientação de João Carlos Martins Lúcio. - Florianópolis, SC, 2025.

82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Iluminação Pública. 2. Lâmpadas de Descarga. 3. Luminárias LED. 4. Custo a Valor Presente. 5. Taxa Interna de Retorno. 6. Tempo de Recuperação do Capital. I. Lúcio, João Carlos Martins. II. Instituto Federal de Santa Catarina. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica. III. Análise da Substituição de Lâmpadas de Descarga por Luminárias LED de Alta Eficiência nos Sistemas de Iluminação Pública.

ANÁLISE DA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS DE DESCARGA POR LUMINÁRIAS LED DE ALTA EFICIÊNCIA NOS SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

BRUNO DA SILVA ROSA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de novembro de 2025.

Banca Examinadora:

Profº João Carlos Martins Lúcio, D. Eng.

Orientador

Profº Alfeu Luz Losso, Me.

Coorientador

Profº Edison Antonio Cardoso Aranha Neto, D. Eng.

Profº Marco Aurélio Moreira Saran, Me.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pois foi Ele que me deu força e coragem quando eu estava esgotado.

Aos meus pais Fábio e Eunice que com muito esforço me deram as oportunidades que eles não tiveram na juventude. Essa vitória também é deles.

Aos meus irmãos Lucas e Enzo que sempre me apoiaram e me aconselharam da melhor forma possível. Vocês são meus melhores amigos.

Ao meu orientador, Profº João Carlos Martins Lúcio e ao meu coorientador, Profº Alfeu Luz Losso, que me deram direção em todos os sentidos para que eu pudesse fazer um trabalho de conclusão de curso completo.

“Todo aquele que é nascido de Deus vence o mundo. E esta é a vitória que vence o mundo: a nossa fé.”

1 João 5:4

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como foco a análise econômica da substituição de lâmpadas de descarga por luminárias LED de alta eficiência na iluminação pública. Considerando inicialmente o atendimento aos requisitos estabelecidos em norma, para o projeto de sistemas de iluminação pública, apresenta-se um estudo de caso baseado nos fluxos de caixa referentes à utilização de lâmpadas de descarga e de luminárias LED, no sistema de iluminação de uma via. Na construção de tais fluxos de caixa, foram considerados os custos com o consumo de energia elétrica e os custos de manutenção, para os dois sistemas, sendo que para o sistema que utiliza as luminárias LED, foi considerado também o investimento inicial, necessário à substituição. Aplicando-se os fundamentos da Matemática Financeira, foram calculados, os custos a valor presente para os dois sistemas de iluminação e considerando a substituição das lâmpadas de descarga por luminárias LED como um investimento, foram calculadas, por meio de um fluxo de caixa incremental, a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Recuperação do Capital (*payback*). Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade econômica da substituição.

Palavras-chave: Iluminação pública. Lâmpadas de descarga. Luminárias LED. Custo a valor presente. Taxa interna de retorno.

ABSTRACT

This final undergraduate project focuses on the economic analysis of replacing discharge lamps with high-efficiency LED luminaires in public lighting systems. Initially considering compliance with the requirements established in the standard for the design of public lighting systems, a case study is presented based on the cash flows related to the use of discharge lamps and LED luminaires in the lighting system of a street. When constructing these cash flows, the costs of electricity consumption and maintenance costs were considered for both systems, and for the system that uses LED luminaires, the initial investment required for replacement was also considered. Applying the fundamentals of Financial Mathematics, the present value costs for both lighting systems were calculated. Considering the replacement of discharge lamps with LED luminaires as an investment, the Internal Rate of Return (IRR) and the Capital Recovery Time (payback) were calculated using incremental cash flow. The results demonstrated the economic viability of the replacement.

Keywords: Public lighting. Discharge lamps. LED luminaires. Cost at present value. Internal rate of return.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lâmpada mista.....	22
Figura 2 – Lâmpada a vapor de mercúrio	23
Figura 3 – Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão	24
Figura 4 – Lâmpada a multivapores metálicos	25
Figura 5 – Luminária LED	26
Figura 6 – Comparação luminária LED x iluminação convencional.....	26
Figura 7 – Conceitos de luminância e iluminância	29
Figura 8 – Classificação do fluxo de veículos motorizados	32
Figura 9 – Parâmetros para determinação do nível referente à classe M	33
Figura 10 – Requisitos de Iluminação referentes à classe M	34
Figura 11 – Parâmetros para a determinação do nível referente à classe C	36
Figura 12 - Requisitos de Iluminação referentes à classe C	36
Figura 13 – Níveis referentes à classe P na versão antiga da NBR 5101	37
Figura 14 – Parâmetros para determinação do nível referente à classe P	38
Figura 15 – Requisitos de Iluminação referentes à classe P.....	38
Figura 16 – Ponto de iluminação com lâmpada convencional.....	39
Figura 17 – Instalação de Relé Fotoelétrico	41
Figura 18 – Relé fotoelétrico inteligente SIP7	41
Figura 19 - Reator Externo Galvanizado	42
Figura 20 – Driver Luminária LED	43
Figura 21 – Braço de Iluminação Pública	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplos de opções de parâmetros e valores de ponderação para uma rodovia	34
Quadro 2 – Requisitos estabelecidos pela NBR 5101 para a via em estudo	49
Quadro 3 – Padrões de altura dos postes, comprimento dos braços e distância entre os postes.....	50
Quadro 4 – Investimento inicial para o sistema LED	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre as lâmpadas utilizadas na iluminação pública	27
Tabela 2 – Dados técnicos da lâmpada a vapor de sódio e da luminária LED	47
Tabela 3 – Reajuste tarifário da CELESC para o período 2014-2024.....	53
Tabela 4 – Custo anual com o consumo de energia elétrica para 2026.....	54
Tabela 5 – Planilha orçamentária para um conjunto completo com lâmpada a vapor de sódio.....	55
Tabela 6 – Evolução do IPCA para o período 2015-2024	56
Tabela 7 – Custo anual de manutenção para 2026.....	59
Tabela 8 – Fluxo de caixa do sistema VS	61
Tabela 9 – Fluxo de caixa do sistema LED	62
Tabela 10 – Custos a valor presente.....	63
Tabela 11 – Custos a valor presente – resultados adicionais	65
Tabela 12 – TIR e <i>payback</i> para a modernização do sistema de IP	65
Tabela 13 – Fluxo de caixa incremental.....	67
Tabela 14 – Fluxo de caixa do sistema VS – análise adicional.....	81
Tabela 15 – Fluxo de caixa do sistema LED – análise adicional.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCIP	Associação Brasileira de Concessionárias de Iluminação Pública
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABILUMI	Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação
CO ₂	Dióxido de carbono
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
CPL	Custo Presente Líquido
FEP	Fundo de Apoio à Estruturação de Projetos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IP	Iluminação Pública
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IRC	Índice de Reprodução de Cor
IRR	<i>Internal Rate of Return</i>
MARR	<i>Minimum Acceptable Rate of Return</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
NBR	Norma Brasileira
PPP	Parcerias Público-Privadas
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VP	Valor de Ponderação
VPS	Somatório dos Valores de Ponderação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	15
1.2	Definição do Problema	16
1.3	Objetivo Geral.....	18
1.4	Objetivos Específicos	18
1.5	Estrutura do Trabalho.....	19
2	ILUMINAÇÃO PÚBLICA	20
2.1	História da iluminação pública no Brasil	20
2.2	Tipos de Lâmpadas utilizadas na iluminação pública	21
2.3	Normas e Procedimentos para um projeto de Iluminação Pública	28
2.3.1	Classificação e requisitos de iluminação das vias segundo a NBR 5101 ..	31
2.4	Componentes básicos das Luminárias Públicas	39
2.4.1	Relé Fotoelétrico	40
2.4.2	Reatores.....	42
2.4.3	Drivers.....	43
2.4.4	Braços.....	43
2.5	Programas e Linhas de financiamento para modernização da Iluminação Pública	45
3	ESTUDO DE CASO	47
3.1	Considerações Iniciais	47
3.2	Dimensionamento do sistema de iluminação LED com atendimento a NBR 5101	49
3.3	Análise Econômica	52
3.3.1	Análise econômica pelo custo a valor presente	52
3.3.1.1	<i>Análise econômica pelo custo a valor presente</i>	52
3.3.1.2	<i>Custo anual de manutenção</i>	54
3.3.1.3	<i>Investimento inicial no sistema LED</i>	59
3.3.1.4	<i>Fluxos de caixa para os dois sistemas de iluminação</i>	60
3.3.2	Análise econômica pela TIR e pelo <i>payback</i>	65
3.4	Considerações adicionais sobre os resultados	68
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	73
	APÊNDICE A – FLUXOS DE CAIXA – ANÁLISE ADICIONAL	80

1 INTRODUÇÃO

A iluminação pública é um serviço essencial para a qualidade de vida nas áreas urbanas, desempenhando um papel crucial na promoção da cidadania, ao permitir que os moradores utilizem os espaços públicos de forma segura e confortável durante a noite. Além de melhorar a visibilidade nas vias e proporcionar segurança no trânsito, um sistema de iluminação pública eficaz tem impacto direto na redução da criminalidade, ao tornar os ambientes mais iluminados e inibir atividades ilícitas.

Além de sua função prática, a iluminação pública contribui significativamente para a estética e valorização das áreas urbanas. Ao realçar monumentos, edifícios históricos e paisagens, ela melhora a aparência das cidades, criando um ambiente visualmente agradável. Também facilita a organização viária, orientando os percursos, e maximiza o aproveitamento de espaços de lazer, incentivando atividades noturnas, o que contribui para o movimento de pessoas e para o uso contínuo de locais públicos. Assim, a modernização da iluminação pública resulta em uma imagem urbana mais atrativa, favorecendo o turismo, o comércio e eventos culturais, além de promover uma consciência sobre o uso eficiente da energia elétrica, resultando na redução dos gastos com esse produto.

Com o passar dos anos, avanços tecnológicos possibilitaram a implementação de sistemas de iluminação pública mais modernos e sustentáveis, voltados para a minimização de custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção. A incorporação de tecnologias inteligentes permitiu uma gestão mais eficaz, oferecendo novos recursos para a população e impulsionando o desenvolvimento urbano de forma responsável. Nesse sentido, a iluminação pública se destaca como uma ferramenta estratégica para aumentar a produtividade e a eficiência nas cidades, além de apoiar práticas sustentáveis.

A prestação de serviços de iluminação pública no Brasil, conforme estabelece o artigo 30 e o artigo 149-A da Constituição Federal de 1988, é de responsabilidade dos municípios ou da administração distrital (Brasil, 1988). Com o avanço do conceito de “cidades inteligentes”, esse serviço tem se transformado, integrando novas tecnologias que buscam não apenas melhorar a eficiência, mas

também otimizar a gestão pública. Esse movimento foi fortemente impulsionado pela Lei nº 13.280/2016, que trouxe modificações significativas à Lei nº 9.991/2000.

A Lei nº 9.991/2000 exigia que as concessionárias de energia elétrica aplicassem parte de sua receita líquida em programas voltados à eficiência energética da iluminação pública, como também em pesquisas visando promover o desenvolvimento tecnológico nesse setor (Brasil, 2000). A alteração promovida pela Lei nº 13.280/2016 teve como principal objetivo a melhoria da gestão e a eficiência na utilização dos recursos destinados a esses programas, proporcionando impactos mais significativos nos resultados alcançados (Brasil, 2016).

O programa PROCEL Reluz tem como objetivo promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública, adotando lâmpadas de LED (*Light Emitting Diode*), que são mais eficientes e duradouras do que as lâmpadas de descarga, utilizadas nos municípios brasileiros (Schulz, 2016). Muitos municípios têm se dedicado à modernização da iluminação pública, adotando soluções inovadoras, como a substituição das lâmpadas convencionais por lâmpadas de LED e a implementação de fontes de energia renováveis. Essas tecnologias não só contribuem para a redução do consumo de energia, mas também oferecem funcionalidades adicionais que ampliam a eficácia do serviço (IP MINAS, 2024).

As lâmpadas de LED, além de proporcionarem maior eficiência energética e durabilidade, podem ser equipadas com dispositivos inteligentes e sensores. Tais dispositivos criam uma rede capaz de transmitir dados em tempo real, permitindo o monitoramento contínuo do desempenho da iluminação e do ambiente urbano. Esses sensores coletam informações essenciais sobre a eficiência do sistema de iluminação e as condições do ambiente ao redor. Os dados são enviados para sistemas de controle centralizados, que utilizam essas informações para otimizar a gestão da cidade. Com isso, a cidade se torna mais inteligente, promovendo não apenas uma iluminação pública mais eficiente, mas também facilitando a gestão de outros serviços urbanos, como segurança, mobilidade e sustentabilidade (IP MINAS, 2024).

Segundo a Associação Brasileira das Concessionárias de Iluminação Pública (ABCIP), Palhoça, no estado de Santa Catarina, é a primeira cidade brasileira a utilizar lâmpadas de LED em 100 % dos pontos de iluminação pública e com telegestão, obtendo uma economia mensal de aproximadamente 63 % em relação ao

sistema convencional que utilizava lâmpadas de descarga. Ao combinar eficiência energética, tecnologias sustentáveis e sistemas inteligentes, as cidades podem não apenas reduzir custos, mas também criar ambientes mais seguros, agradáveis e funcionais para seus habitantes (ABCIP, 2023).

1.1 Justificativa

Nos últimos anos, tornou-se amplamente aceito que as lâmpadas de LED são mais eficientes em comparação com as lâmpadas tradicionais utilizadas na iluminação pública.

As lâmpadas incandescentes contam com um reator em sua composição e são lâmpadas mais antigas com uma baixa vida útil (cerca de 2.000 horas). Já as lâmpadas LED são 80 % mais econômicas que o modelo citado anteriormente. Além disso, podem alcançar cerca de 50.000 horas de vida útil, podendo chegar a mais de 17 anos de uso, se considerada uma utilização de 8 horas por dia (IP MINAS, 2022).

Segundo Schulz (2016, p.9), “A iluminação pública no Brasil corresponde a aproximadamente 4,5 % da demanda nacional, e a 3,0 % do consumo total de energia elétrica do país. O equivalente a uma demanda de 2,2 GW e a um consumo de 9,7 bilhões de kWh/ano”.

Por meio de um levantamento feito pela ABCIP em 2023, com base em dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), constatou-se que o parque nacional de iluminação pública possui mais de 22 milhões de pontos de luz, mas que apenas 19,6 % desses pontos utilizam tecnologia LED. O estudo revelou que, se todas as luminárias de iluminação pública no Brasil fossem substituídas por tecnologia LED, seria possível obter uma economia de 40 % a 70 % no consumo de energia elétrica em comparação com as tecnologias convencionais (ABCIP, 2023).

Além disso, o levantamento demonstrou que a adoção total dessa tecnologia poderia reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) em até 36 %, contribuindo de forma significativa para a mitigação dos impactos ambientais e para a sustentabilidade urbana (ABCIP, 2023).

Outro detalhe importante é que as lâmpadas de LED são classificadas como dispositivos eletrônicos e cerca de 90 % dos seus componentes podem ser reciclados. Diferentemente das lâmpadas de descarga, amplamente utilizadas na iluminação pública, as lâmpadas de LED não possuem mercúrio metálico em sua composição, um elemento altamente tóxico e perigoso para o meio ambiente e para a saúde humana (eCycle, 2024).

A eficiência energética das lâmpadas varia bastante entre os diferentes tipos. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, convertem apenas 5 % da energia consumida em luz. As de vapor de mercúrio são mais eficientes, chegando a cerca de 15 %, embora dependam da utilização do mercúrio. Já as lâmpadas de LED se destacam, alcançando uma eficiência que pode variar de 30 % a 50 %, conforme a tecnologia utilizada na sua fabricação (Xie *et al.*, 2006 *apud* Silveira *et al.*, 2010).

Diante das evidências apresentadas, pode-se concluir que a utilização de lâmpadas de LED na iluminação pública proporciona uma série de vantagens em comparação com as tecnologias convencionais. As lâmpadas de LED oferecem maior economia de energia, melhor conforto visual e menor impacto ambiental, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida nas cidades. Assim, a modernização do sistema de iluminação pública com a adoção de tecnologia LED torna-se uma solução mais confiável e eficaz, alinhada com os objetivos de eficiência energética e sustentabilidade urbana.

1.2 Definição do Problema

Embora a modernização da iluminação pública proporcione inúmeros benefícios, existem alguns desafios a serem considerados, como a necessidade de mão de obra especializada, o desenvolvimento de novos projetos de iluminação para bairros e a gestão integrada dos sistemas. Além disso, é essencial uma análise criteriosa de viabilidade econômica e operacional antes da implementação de projetos dessa natureza.

De acordo com o Portal Palhoça (2024), uma Parceria Público-Privada (PPP) consiste em um contrato extenso, firmado entre o setor público e uma empresa privada, permitindo que serviços de alta qualidade sejam realizados. Uma PPP

permite viabilizar a modernização dos sistemas de iluminação pública, utilizando as melhores tecnologias LED disponíveis no mercado.

A Lei nº 11.079/2004 estabelece as normas gerais para as Parcerias Público-Privadas (PPP), com o intuito de promover a colaboração entre a administração pública e a iniciativa privada em projetos de grande porte. Esse documento define duas modalidades de contratos: a Concessão Administrativa, onde o poder público paga pela prestação dos serviços com base em indicadores de desempenho, e a Concessão Patrocinada, que envolve tanto o pagamento público quanto tarifas dos usuários (Brasil, 2004).

A lei determina que as PPP devem ser contratadas por meio de licitação, com base em estudos de viabilidade técnica e econômica, e que os riscos do projeto são compartilhados entre o poder público e o parceiro privado. O prazo dos contratos pode variar de 5 a 35 anos, dependendo da natureza do projeto. Também são previstas garantias financeiras para salvaguardar a segurança jurídica e o cumprimento das obrigações contratuais, e o poder público tem a responsabilidade de fiscalizar a execução dos contratos para garantir que os serviços sejam prestados de forma adequada (Brasil, 2004).

O objetivo principal da lei é garantir que os projetos de infraestrutura e serviços públicos essenciais sejam realizados de maneira eficiente, combinando a expertise do setor privado com os interesses da sociedade.

Posteriormente, a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, trouxe mudanças significativas à Lei nº 11.079. Essas mudanças foram feitas com o intuito de aprimorar a execução de concessões e parcerias público-privadas, promovendo maior eficiência e agilidade nos processos de estruturação e desenvolvimento desses projetos (Brasil, 2017).

Todo projeto que exija a aplicação de recursos financeiros deve ser submetido a métodos específicos de análise para avaliar sua viabilidade econômica, bem como para estimar o prazo necessário para o retorno do investimento. A modernização da iluminação pública com a adoção de lâmpadas de LED e o uso de contratos de PPP representam uma solução eficiente para os desafios energéticos e urbanos das cidades modernas (ABCIP, 2024).

Este estudo busca não apenas apresentar os benefícios dessa transição, mas também oferecer uma base metodológica para avaliar a viabilidade econômica e técnica dos projetos de iluminação pública, contribuindo para a melhoria da gestão pública e da sustentabilidade urbana.

Assim, pretende-se mostrar as vantagens econômicas e técnicas da utilização das lâmpadas de LED na iluminação pública, em comparação com a utilização das lâmpadas de descarga convencionais. Para isso, torna-se necessário, com base nas normas vigentes, apresentar os critérios para o dimensionamento dos sistemas, bem como o levantamento dos custos de implementação e manutenção, e os custos com o consumo de energia elétrica, referentes à utilização das lâmpadas convencionais e das lâmpadas de LED, para um horizonte de 25 anos, que seria praticamente a média de duração de um contrato PPP e, em seguida, aplicar os métodos tradicionais de análise de investimentos, no sentido de comparar tais soluções sob o ponto de vista econômico, por meio de um estudo de caso.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral: demonstrar as vantagens técnicas e econômicas da iluminação LED em comparação com a utilização de lâmpadas de descarga, em sistemas de iluminação pública, considerando, eficiência luminosa, custos de implementação, de consumo de energia elétrica e de manutenção.

1.4 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- a) apresentar os critérios, definidos por normas técnicas, para o dimensionamento de sistemas de iluminação pública;

- b) comparar as lâmpadas de descarga com as lâmpadas de LED, sob o ponto de vista de tecnologia de fabricação, custo de aquisição, eficiência, consumo de energia elétrica, vida útil e impacto ambiental;
- c) comparar os sistemas de iluminação pública que utilizam lâmpadas de descarga, com os sistemas que utilizam lâmpadas de LED, sob o ponto de vista de custos de implementação e manutenção, controle da operação e consumo de energia elétrica;
- d) apresentar um estudo de caso, considerando os custos referentes à iluminação de uma via fictícia por meio de um sistema que utiliza lâmpadas de descarga, e os custos referentes a iluminação dessa mesma via, por meio de luminárias LED e que, por meio dos fundamentos da Matemática Financeira, indique a alternativa a ser adotada..

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. No Capítulo 1, apresenta-se a Introdução, Justificativa, Definição do Problema, bem como o Objetivo Geral e os Objetivos Específicos. O Capítulo 2 trata da Fundamentação Teórica, apresentando a história da Iluminação Pública (IP) no Brasil, os tipos de lâmpadas que podem ser utilizados em sistemas de IP, as normas e procedimentos vigentes para a elaboração de projetos de sistemas de IP, os componentes de um sistema de IP e os programas e linhas de financiamento para a implementação de tais sistemas.

No Capítulo 3, apresenta-se o Estudo de Caso, visando a análise da viabilidade econômica da substituição das lâmpadas de descarga por luminárias LED em um sistema de IP. Por fim, apresentam-se as Considerações Gerais e as Referências Bibliográficas.

2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A iluminação pública é fundamental para o desenvolvimento das cidades, aumentando a segurança e valorizando os espaços urbanos. Áreas bem iluminadas incentivam a prática de esportes e a realização de eventos que promovam a integração social. Além disso, a visibilidade noturna adequada ajuda a prevenir crimes, como furtos e o tráfico de substâncias ilícitas, além de diminuir os riscos de acidentes de trânsito causados por irregularidades no pavimento ou por falta de iluminação (Aguera, 2015).

Com o passar do tempo, tornou-se essencial investir em tecnologias modernas que proporcionem maior eficiência energética e melhor desempenho dos sistemas de iluminação pública. Além disso, garantir a qualidade do serviço por meio de profissionais capacitados e monitoramento adequado é indispensável para atender às necessidades da população e assegurar a utilização adequada dos espaços públicos.

2.1 História da iluminação pública no Brasil

De acordo com Rosito (2009), no Brasil a trajetória da iluminação pública tem sua origem no século XVIII, quando aproximadamente 100 luminárias abastecidas com óleo de azeite foram instaladas em postes no Rio de Janeiro, em 1794. Já em 1874, com a inauguração da usina do Gasômetro, a Praça da Matriz foi equipada com postes a gás, iluminando o entorno do chafariz central. Mais tarde, em 1887, a entrada em operação de uma usina elétrica marcou o início do serviço municipal de iluminação elétrica, impulsionando essa inovação em outras localidades.

A introdução da luz elétrica transformou a iluminação pública, inaugurando uma nova fase. O uso de lâmpadas de descarga, combinado com melhorias na eficiência dos equipamentos de iluminação, trouxe avanços consideráveis na qualidade da iluminação urbana. No início do século XX, o desenvolvimento da geração de energia elétrica no Brasil desempenhou um papel crucial nessa evolução. Cidades como o Rio de Janeiro destacaram-se com o acréscimo de aproximadamente dez mil pontos luminosos a cada década na primeira metade do século. Esse

progresso foi ainda mais acelerado a partir da década de 1960, com a ampla adoção das lâmpadas de descarga (Rosito, 2009).

A transição para sistemas mais modernos de iluminação pública demonstra como o avanço tecnológico e o investimento em infraestrutura transformaram as cidades brasileiras ao longo do tempo, promovendo melhorias na qualidade de vida e na organização urbana.

2.2 Tipos de Lâmpadas utilizadas na iluminação pública

As lâmpadas disponíveis no mercado, para serem utilizadas em sistemas de IP, podem ser agrupadas conforme o método utilizado para a geração de luz. Algumas utilizam filamentos ou são halógenas, produzindo luz por meio de incandescência, um processo que ocorre de forma similar à emissão de radiação do sol, onde a alta temperatura do corpo causa a liberação de radiação eletromagnética. Já as lâmpadas de descarga geram luz por meio de um fenômeno chamado luminescência, que é a emissão de fótons após um estímulo, seja por reação química ou por ionização (Mozzini, 2022).

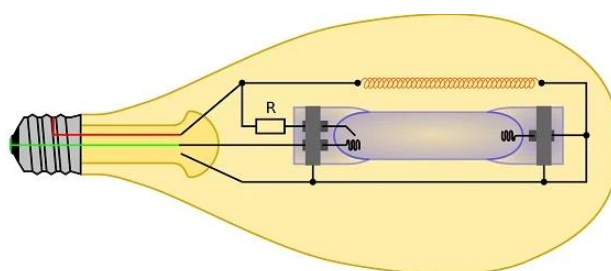
Além da diferença quanto ao processo empregado para a produção de luz, as lâmpadas utilizadas na iluminação pública diferem entre si quanto à eficiência luminosa, índice de reprodução de cor (IRC), vida útil, preço e impacto ambiental. A eficiência luminosa representa a capacidade que a lâmpada tem de converter a potência recebida da rede elétrica em fluxo luminoso¹ e tem como unidade lúmen/watt (lm/W). O índice de reprodução de cor² representa a capacidade que a lâmpada tem de reproduzir a cor dos objetos de forma fiel. Vida útil e preço são decisivos para a avaliação econômica da implementação dos sistemas e o impacto ambiental representa um aspecto importante a ser considerado, no sentido de garantir o desenvolvimento sustentável.

¹O fluxo luminoso representa a quantidade total de luz visível emitida por uma fonte luminosa, em todas as direções e tem como unidade o lúmen (lm).

²O IRC apresenta uma escala entre “0 %” e “100 %”. Um IRC igual a “100 %” caracteriza a reprodução de cor perfeita, como no caso da luz solar.

As **lâmpadas mistas** por exemplo, funcionam diretamente conectadas à rede elétrica, dispensando o uso de reator e contêm um filamento combinado com um tubo de descarga, como mostra a Figura 1.

Figura 1 – Lâmpada mista



Fonte: Hardware Central (2018).

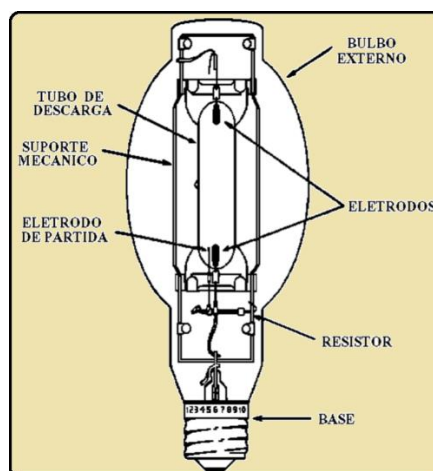
No shopping virtual Mercado Livre, o preço de uma lâmpada mista ovoide de 500 W, na base E40, é de R\$ 99,00. Pode-se dizer que é um preço acessível para a implementação em vias públicas, porém sua produção foi descontinuada, ou seja, sua comercialização foi bastante diminuída, em prol de alternativas mais eficientes e sustentáveis (Mercado Livre, 2024).

As **lâmpadas a vapor de mercúrio** são formadas por um pequeno tubo de quartzo, no qual são instalados dois eletrodos principais e um auxiliar, ligados em série a um resistor de alta potência. Dentro do tubo, são adicionadas gotas de mercúrio, junto com um gás inerte, como o argônio, para facilitar a formação da descarga inicial.

Durante o processo de preaquecimento, o mercúrio se vaporiza. O tubo de quartzo é colocado dentro de uma cápsula de vidro, que contém uma quantidade controlada de azoto, responsável por uniformizar a temperatura dentro da lâmpada (Rosa, 2021).

O vapor de mercúrio é formado quando, ao se aplicar a tensão entre os terminais da lâmpada, cria-se um campo elétrico entre os eletrodos. Esse campo elétrico provoca a formação de um arco elétrico entre eles, aquecendo as substâncias emissoras de luz e resultando na ionização do gás. A Figura 2, ilustra esse tipo de lâmpada.

Figura 2 – Lâmpada a vapor de mercúrio



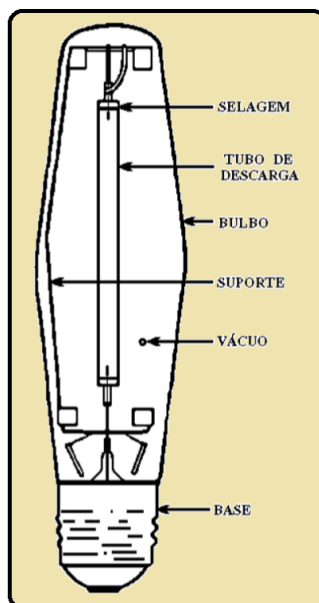
Fonte: Hardware Central (2019).

As lâmpadas a vapor de mercúrio já foram consideradas revolucionárias quando foram criadas. O Mercado Livre comercializa esse tipo de lâmpada no valor de R\$ 75,00, para uma potência de 400 W, na cor branco neutro. Essa lâmpada representa uma opção ainda disponível no mercado, embora esteja em desuso devido à baixa eficiência energética e ao impacto ambiental causado pelo mercúrio presente em sua composição (Mercado Livre, 2024).

As **lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão**, segundo o Manual de Iluminação Pública da Companhia Paranaense de Energia (COPEL), é comercializada desde 1955 (COPEL, 2012). Para a sua ignição, é necessário um pico de tensão de alguns quilovolts, com duração de microssegundos.

Entre as lâmpadas de descarga, representa a tecnologia mais eficiente, sendo amplamente utilizada na iluminação pública. O Programa PROCEL Reluz, por exemplo, substituiu várias lâmpadas incandescentes e de vapor de mercúrio por essa tecnologia. Sua principal desvantagem é o baixo IRC e a luz amarelada que emite. A Figura 3 ilustra a lâmpada a vapor de sódio de alta pressão.

Figura 3 – Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão



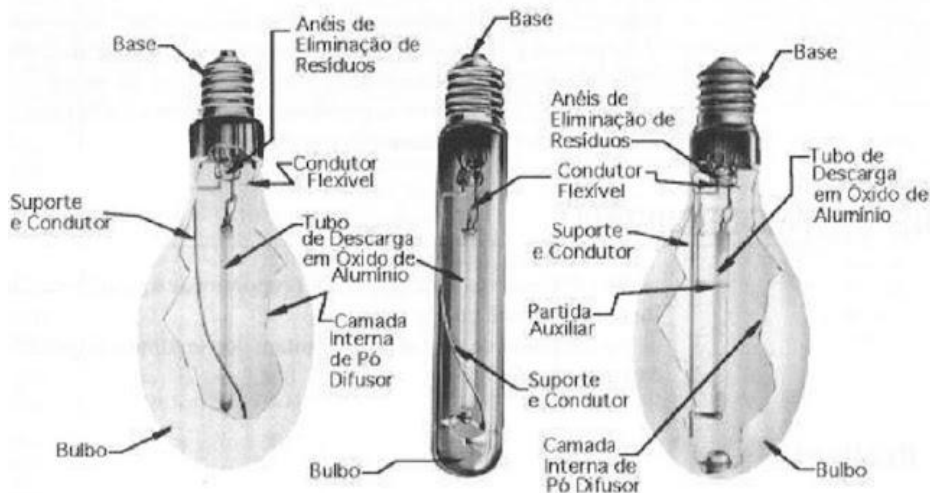
Fonte: Hardware Central (2019).

As lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão estão sendo progressivamente substituídas devido à sua limitada capacidade de reproduzir cores, o que compromete a qualidade visual da iluminação. No Mercado Livre, esse tipo de lâmpada está sendo comercializado a um preço relativamente baixo quando comparado as demais lâmpadas de descarga. Com uma potência de 400 W, apresenta um custo de R\$ 37,00. Porém, com o avanço de tecnologias mais modernas, essas lâmpadas estão ficando obsoletas (Mercado Livre, 2024).

Um outro modelo utilizado na iluminação pública é a **lâmpada multivapores metálicos** que surgiu no mercado em 1964, sendo uma evolução da lâmpada a vapor de mercúrio, com características físicas semelhantes às da lâmpada a vapor de sódio. Seu princípio de funcionamento é o mesmo, mas a adição de iodetos metálicos aumentou a eficiência luminosa e o IRC.

A luz emitida é extremamente intensa, o que destaca e valoriza os espaços. Por essas razões, ela é frequentemente utilizada em sistemas de iluminação pública, especialmente em áreas que visam também o embelezamento urbano (COPEL, 2012). A Figura 4 ilustra a lâmpada a multivapores metálicos.

Figura 4 – Lâmpada a multivapores metálicos



Fonte: CT Services Soluções Em Automação (2018).

No Mercado Livre é possível encontrar esse tipo de lâmpada, no valor de R\$ 49,94, para uma potência de 400 W, no formato tubular (Mercado Livre, 2024). Essas lâmpadas, além do mercúrio, contêm outros metais em sua composição sendo assim, bem prejudiciais ao meio ambiente. A presença desses outros metais resulta em uma tonalidade de luz mais clara, diferenciando-as das lâmpadas a vapor de mercúrio.

Por fim, o modelo atual de lâmpadas para a iluminação pública, são as **lâmpadas de LED** (na iluminação pública são utilizadas luminárias LED), que geram luz por meio da emissão de fótons, um processo que ocorre quando a corrente elétrica circula através do componente. Diferente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que produzem luz pela incandescência de filamentos ou pela ionização de gases específicos, as lâmpadas de LED oferecem diversas vantagens, como uma vida útil prolongada de aproximadamente 50.000 horas.

Além disso, esses dispositivos não contêm metais pesados, são resistentes à vibrações e possuem um elevado IRC, o que garante uma melhor qualidade de iluminação. A flexibilidade na escolha da temperatura de cor também é um diferencial significativo. Essas características fazem das lâmpadas de LED uma alternativa promissora e cada vez mais viável para sistemas de iluminação pública, com potencial para substituir tecnologias tradicionais a longo prazo (COPEL, 2012).

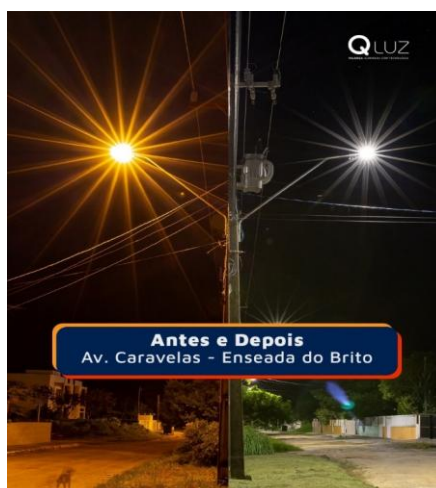
A Figura 5 a seguir, ilustra um modelo de luminária LED³ e na Figura 6, observa-se como a utilização das luminárias LED traz mais conforto visual, nitidez e iluminação de qualidade quando comparada à iluminação que utiliza lâmpadas de descarga na iluminação pública.

Figura 5 – Luminária LED



Fonte: IW8 Equipamentos (2024).

Figura 6 – Comparação luminária LED x iluminação convencional



Fonte: Quantum Luz (2024).

³ Por se tratar de uma tecnologia de fabricação totalmente diferente, quando comparada com a tecnologia utilizada na fabricação das lâmpadas de descarga, nos sistemas de iluminação que utilizam as lâmpadas de LED, toda a luminária é substituída nas atividades de manutenção.

Alguns municípios do Brasil já investem fortemente na utilização das luminárias LED, visando a redução de custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção dos sistemas de iluminação. É possível encontrar, no Mercado Livre, a luminária LED com uma potência de 150 W, para poste externo, por R\$ 68,00 (Mercado Livre, 2024).

Na Tabela 1, apresenta-se uma comparação entre as lâmpadas descritas nessa seção.

Tabela 1 – Comparação entre as lâmpadas utilizadas na iluminação pública

Lâmpada	Potência (W)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Índice de Reprodução de Cor (%)	Vida útil (h)	Preço (R\$)
Mista	500	20 a 22	100	1.000	99,00
Vapor de Mercúrio	400	45 a 55	55	15.000	75,00
Vapor de Sódio A.P.	400	70 a 140	20 a 40	16.000	37,00
Multivapores Metálicos	400	65 a 110	80 a 90	12.000 a 16.000	49,94
LED	150	120 a 160	60 a 98	30.000 a 100.000	68,00

Fonte: Elaboração própria com base nos valores de preço do Mercado Livre (2024a, 2024b, 2024c, 2024d, 2024e) e nos dados de Mozzini (2022).

Nota: Valores obtidos por meio da plataforma Mercado Livre, com referência em dezembro de 2024.

Observa-se que a lâmpada de LED supera a lâmpada mista e a lâmpada a vapor de mercúrio em todos os aspectos de comparação (a lâmpada mista equivale à lâmpada de LED apenas em termos de IRC). Em comparação com a lâmpada a vapor de sódio de alta pressão e com a multivapores metálicos, o custo da lâmpada de LED é maior, o que pode ser compensado pela maior eficiência luminosa e maior vida útil, trazendo benefícios quanto aos custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção dos sistemas (INMETRO, 2024).

De acordo com a Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação (ABILUMI), há uma equivalência entre diferentes tipos de lâmpadas, sob o ponto de vista de fluxo luminoso. Por exemplo, em instalações

elétricas residenciais, uma lâmpada de LED de 9 W é equivalente a uma lâmpada fluorescente de 15 W, que, por sua vez, corresponde a uma lâmpada incandescente de 60 W (ABILUMI, 2024). Na iluminação pública, uma lâmpada de LED de 150 W pode substituir uma lâmpada a vapor de sódio de alta pressão de 400 W.

2.3 Normas e Procedimentos para um projeto de Iluminação Pública

Os procedimentos e diretrizes fundamentais para a elaboração adequada e eficiente do projeto de um sistema de iluminação pública são detalhados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 5101, vigente desde 1974. Em 2024, essa norma foi revisada, incorporando atualizações destinadas a aprimorar os aspectos técnicos e científicos relacionados à iluminação pública. Segundo a plataforma de gerenciamento de iluminação pública Exati (2024, p. 03) “A NBR 5101:2024 é voltada para estabelecer requisitos mínimos e necessários para a iluminação de vias públicas, garantindo a segurança do tráfego de veículos motorizados ou não, e pedestres.”

A NBR 5101 baseia-se na classificação das vias, estabelecida pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) para determinar os critérios de iluminação de acordo com as características específicas de cada tipo de via. Conforme o CTB, as vias são categorizadas em:

VIA COLETORA - aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade.

VIA LOCAL - aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizado, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas.

VIA RURAL - estradas e rodovias.

VIA URBANA - ruas, avenidas, vielas, ou caminhos e similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão

(CTB, 1997).

A NBR 5101 (ABNT, 2024), destaca que os requisitos fundamentais para o projeto de um sistema de iluminação pública incluem vários parâmetros técnicos que devem ser atendidos, para garantir a eficácia do sistema. Entre esses requisitos, destacam-se a **luminância média** mantida na superfície da via que assegura a visibilidade adequada dos elementos da via, e as **uniformidades de luminância**, tanto geral (U_o), que se refere à uniformidade da iluminação (igualdade de luz no espaço) ao longo de toda a via, quanto longitudinal (U_L), que é a uniformidade da iluminação ao longo do comprimento da via.

Além disso, a **iluminância média** ($E_{méd}$), que considera a quantidade de luz sobre a via e a **iluminância adjacente** à via (EIR), que influencia na transição entre áreas iluminadas e não iluminadas, comparando a luz ao redor da via (calçadas, ciclovias, etc) e a luz na pista de rolamento, devem ser consideradas.

Na Figura 7 a seguir, procura-se ilustrar os conceitos de luminância e iluminância.

Figura 7 – Conceitos de luminância e iluminância



Fonte: Exati (2024).

Por fim, o **percentual de incremento limiar** (fTI), que mede o nível de ofuscamento causado por luminárias no campo de visão de um motorista, estando

relacionado à adaptação dos olhos humanos à variação de luz, também deve ser analisado.

Segundo a (ABNT,2024), alguns desses parâmetros são obtidos diretamente em campo. A luminância média é medida com o uso de um luminômetro, em lúmens (lm), ou seja, a quantidade total de luz emitida por uma fonte, enquanto a iluminância adjacente (EIR) e a iluminância média ($E_{méd}$) são medidas por meio de um luxímetro, em lux⁴ (lx), indicando a intensidade da luz em um ponto específico. No caso das iluminâncias horizontais (E), as medições são realizadas com o sensor do luxímetro em um plano horizontal a via.

Ainda de acordo com a NBR 5101, a uniformidade longitudinal (U_L) é determinada, por meio da Equação 1, com base nos valores mínimo e máximo de luminância medidos ao longo das linhas longitudinais da via. Já a uniformidade geral (U_o) é calculada por meio da Equação 2, a partir da relação entre as luminâncias mínima e média, também obtidas em campo com o uso do luminômetro.

$$U_L = \frac{L_{mín}}{L_{máx}} \quad (1)$$

Em que,

$L_{mín}$ - luminância mínima (cd/m²);

$L_{máx}$ - luminância máxima (cd/m²).

$$U_o = \frac{L_{mín}}{L_{méd}} \quad (2)$$

Em que,

$L_{mín}$ - luminância mínima (cd/m²);

$L_{méd}$ - luminância média (cd/m²).

⁴ 1 lux é igual a 1 lm/m².

O percentual de incremento limiar (fTI) pode ser determinado por meio de *softwares* especializados, como o DIALux, que é um *software* que permite simular diferentes soluções luminotécnicas (Perdigão, 2020), uma vez que seu cálculo considera variáveis como o ângulo de visão, a posição das luminárias e a intensidade luminosa.

Na (ABNT, 2024), é descrito que quando se projeta uma instalação de iluminação utilizando o conceito de luminância, é crucial compreender a reatância do pavimento, ou seja, a interação entre a luz emitida e a superfície da via. A caracterização precisa dessa interação, incluindo os aspectos fotométricos do pavimento em uma situação estabilizada, é essencial para garantir que a iluminação proposta atenda aos critérios de desempenho e segurança ao longo do tempo.

Esse processo envolve uma análise detalhada das propriedades do pavimento e de como ele reflete ou absorve a luz, o que afeta diretamente a eficiência e a qualidade da iluminação aplicada. A representação fotométrica, permite que o projeto de iluminação seja otimizado, levando em consideração as condições reais de uso e as variações na superfície ao longo de sua vida útil.

2.3.1 Classificação e requisitos de iluminação das vias segundo a NBR 5101

Como forma de orientar a elaboração do projeto de um sistema de iluminação pública, a (ABNT, 2024) classifica as vias conforme descrito a seguir.

A **classe V** considera as vias com fluxo de veículos e pedestres, sendo subdividida em níveis, de V1 a V5, sendo V1 o fluxo mais intenso e V5 o mais leve. Quanto maior a movimentação da via, maior deve ser a qualidade da iluminação, a fim de garantir a segurança daqueles que nela transitam, seja em veículos ou a pé.

A seguir na Figura 8, apresenta-se um quadro que pode ser utilizado para classificar o fluxo, em função do volume de veículos motorizados, permitindo classificar uma via em um dos níveis da classe V.

Figura 8 – Classificação do fluxo de veículos motorizados

Classificação	Volume de tráfego noturno* de veículos por hora, em ambos os sentidos**, em pista única
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1.200
Intenso (I)	Acima de 1.200

* Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18h e 21h.

** Valores para velocidades regulamentadas por lei.

Fonte: Exati (2024).

Na nova versão da NBR 5101, a classe V foi dividida em outras duas classes distintas. A **classe M**, que se refere à “Mobilidade”, é utilizada para rodovias, vias e avenidas destinadas ao tráfego de veículos motorizados, e a **classe C**, que se refere à “Convivência” é utilizada para vias e áreas onde há um misto de veículos e pedestres, com o foco no conforto visual e na segurança de pessoas.

Conforme a (ABNT, 2024), a classe M, é dividida em níveis, de M1 a M6, e para o enquadramento da via em um desses níveis, deve-se selecionar, para cada parâmetro apresentado na tabela da Figura 9, a opção apropriada e o respectivo valor de ponderação (VP), conforme indicado na Figura 9. Em seguida, deve-se obter o somatório dos valores de ponderação (VPS) e com isso, obtém-se o número do nível (de 1 a 6), por meio da Equação 3, a seguir.

$$\text{Nível da classe M} = 6 - VPS \quad (3)$$

Figura 9 – Parâmetros para determinação do nível referente à classe M

Parâmetros	Opções	Valor de ponderação V_P	V_P selecionado
Velocidade	Muito alta > 80 km/h	2	
	60 km/h < alta ≤ 80 km/h	1	
	40 km/h < moderada ≤ 60 km/h	0	
Volume de tráfego ^a	Alto > 1 200/h	1	
	Moderado - 600/h a 1 200/h	0	
	Baixo < 600/h	-1	
Separação das faixas de direção	Não	1	
	Sim	0	
Densidade de interseções	Alta ≥ 3/km	1	
	Moderada < 3/km	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	
	Ausentes	0	
Luminância ambiente ^b	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Sinalização e controle de tráfego	Ruins ^c	0,5	
	Moderados ou bons	0	
Soma dos valores de ponderação			V_{PS}

Fonte: NBR 5101 (2024).

Uma vez definido o nível referente à classe M, os requisitos de iluminação (luminância média, uniformidade geral e longitudinal percentual de incremento limiar e iluminância adjacente), para a via em análise, são obtidos por meio de consulta à tabela apresentada na Figura 10.

Figura 10 – Requisitos de Iluminação referentes à classe M

Classes de iluminação	Superfície da via			Incremento de limiar	Iluminâncias adjacentes à via
	$L_{méd}$ (cd/m ²) (mínimo mantido)	$U_0 \geq$	$U_L \geq$	$f_{TI} (\%) \leq$	$EIR \geq$
M1	2,00	0,40	0,65	14	0,45
M2	1,50	0,40	0,65	14	0,45
M3	1,00	0,40	0,60	15	0,45
M4	0,75	0,40	0,60	16	0,45
M5	0,50	0,35	0,35	16	0,45
M6	0,30	0,35	0,35	16	0,45

Fonte: Exati (2024).

Por exemplo, considerando-se uma rodovia fictícia, com as opções para os parâmetros e os valores de ponderação mostrados no Quadro 1, obtidos por meio de consulta à tabela mostrada na Figura 9:

Quadro 1 – Exemplos de opções de parâmetros e valores de ponderação para uma rodovia

Velocidade: Muito Alta > 80 km/h	Valor de Ponderação = 2
Volume de tráfego: Moderado – 600/h a 1.200/h	Valor de Ponderação = 0
Separação das faixas de direção: Sim	Valor de Ponderação = 0
Densidade de interseções: Moderada < 3/km	Valor de Ponderação = 0
Veículos estacionados: Ausentes	Valor de Ponderação = 0
Luminância ambiente: Alta	Valor de Ponderação = 1
Sinalização e controle de tráfego: Moderados ou bons	Valor de Ponderação = 0
Soma dos valores de ponderação	VPS = 3

Fonte: Elaboração Própria (2025).

De acordo com o Quadro 1 e a Equação 3, essa rodovia se enquadra no nível M3 e a elaboração do projeto do sistema de iluminação da mesma deve tomar como base os seguintes requisitos:

- luminância média = 1,00 cd/m².
- uniformidade geral $\geq 0,4$
- uniformidade longitudinal $\geq 0,6$
- percentual de incremento limiar $\leq 15 \%$
- iluminância adjacente $\geq 0,45$ lx

Para a classe C, na nova versão da NBR 5101, o requisito de luminância foi removido, uma vez que muitos profissionais consideram desnecessária a sua utilização pelo fato de não ser essencial para vias com velocidades máximas de até 50 km/h, comuns em áreas urbanas (Exati, 2024).

A norma considera que a iluminação das vias e áreas que se enquadram na classe C deve ser capaz de destacar situações críticas, como a identificação de conflitos, a localização dos meio-fios, as marcas viárias, as direções das vias, além de garantir a visibilidade de pedestres, outros usuários da via, obstruções e o tráfego de veículos nas imediações dos pontos de conflito.

Da mesma forma que para a classe M, a classe C é dividida em níveis, de C0 a C5, cuja definição é baseada nos parâmetros, opções e valores de ponderação apresentados na tabela da Figura 11. Uma vez obtido o somatório desses valores, o nível da classe C é definido pela Equação 4 e os requisitos para o projeto do sistema de iluminação definidos com base na tabela mostrada na Figura 12.

$$\text{Nível da classe C} = 6 - VPS$$

(4)

Figura 11 – Parâmetros para a determinação do nível referente à classe C

Parâmetros	Opções	Valor de ponderação V_P	V_P selecionado
Velocidade	Muito alta > 60 km/h	3	
	40 km/h < alta ≤ 60 km/h	2	
	30 km/h < moderada ≤ 40 km/h	1	
	Baixa ≤ 30 km/h	0	
Volume de tráfego ^a	Muito alto > 1 200/h	1	
	Alto - 600/h a 1 200/h	0,5	
	Moderado - 300/h a 600/h	0	
	Baixo - 150/h a 300/h	-0,5	
	Muito baixo < 150/h	-1	
Composição do tráfego	Misto com alto percentual de não motorizado	2	
	Misto	1	
	Motorizado apenas	0	
Separação das faixas de direção	Não	1	
	Sim	0	
Luminância ambiente ^b	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Sinalização e controle de tráfego	Moderados ou bons	0	
	Ruim ^c	0,5	
Soma dos valores de ponderação			V_{PS}

Fonte: NBR 5101 (2024).

Figura 12 - Requisitos de Iluminação referentes à classe C

Classes de iluminação	Superfície da via		Incremento de limiar $f_{TI} (%) \leq$
	$E_{méd} (lx)$ (mínimo mantido)	$U_0(E) \geq$	
C0	50	0,38	14
C1	30	0,38	14
C2	20	0,28	14
C3	15	0,18	15
C4	10	0,18	16
C5	7,5	0,18	16

Fonte: Exati (2024).

Para determinar a classe de iluminação C a ser adotada em uma área de conflito (interseção) entre duas vias de classe C, o nível de iluminação na área de interseção não pode ser inferior ao de cada via que se intercepta. Recomenda-se,

ainda, que o nível de iluminação seja superior ao da classe C equivalente determinada. No entanto, essa recomendação não é aplicável quando uma das vias é classificada como C0. Nesses casos, a área de interseção também deve ser classificada como C0 (ABNT, 2024).

A **classe P** é destinada exclusivamente a vias de pedestres e antes da atualização da NBR 5101, essa classe era composta por quatro níveis, de P1 a P4, definidos de acordo com a descrição da via em análise, conforme a Figura 13 (Exati, 2024).

Figura 13 – Níveis referentes à classe P na versão antiga da NBR 5101

Descrição da via	Classe de iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestres (por exemplo, calçadas, passeios de zonas comerciais)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	P3
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	P4

Fonte: Exati (2024).

Na nova versão da norma, a classe P foi dividida em seis níveis, de P1 a P6, cuja escolha é baseada nos parâmetros, opções e valores de ponderação apresentados na tabela da Figura 14. Com o somatório dos valores de ponderação obtido, define-se o nível da classe P, por meio da Equação 5.

$$\text{Nível da Classe P} = 6 - VPS \quad (5)$$

Figura 14 – Parâmetros para determinação do nível referente à classe P

Parâmetros	Opções	Valor de ponderação V_p	V_p selecionado
Velocidade	Baixa < 30 km/h	1	
	Muito baixa (velocidade de caminhada)	0	
Volume de tráfego	Alto > 120/h	1	
	Moderado – 60/h a 120/h	0	
	Baixo ≤ 60/h	-1	
Composição do tráfego ^a	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	
	Pedestres e tráfego motorizado	1	
	Pedestres e ciclistas apenas	1	
	Pedestres apenas	0	
	Ciclistas apenas	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	
	Ausentes	0	
Luminância ambiente ^b	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Reconhecimento facial ^c	Necessário	Necessidades adicionais requeridas ^d	
	Desnecessário	Sem necessidades adicionais	
Soma dos valores de ponderação			V_{ps}

Fonte: NBR 5101 (2024).

Após a definição do nível, os requisitos de iluminação para uma via classe P, são os apresentados na tabela da Figura 15.

Figura 15 – Requisitos de Iluminação referentes à classe P

Classes de iluminação	Iluminância média horizontal E (lx) (mínimo mantido)	Iluminância mínima horizontal E (lx) (mantido)	Se necessidades adicionais para reconhecimento facial forem requeridas
			Iluminância vertical mínima E (lx) (mantido)
P1	20	4,0	6,0
P2	15	3,0	5,0
P3	10	2,0	3,0
P4	7,5	1,5	2,5
P5	5,0	1,0	1,5
P6	3,0	0,6	1,0

NOTA 1 Fonte de luz com elevado nível de reprodução de cores contribui para um melhor reconhecimento facial.

NOTA 2 A iluminância vertical é utilizada como fator adicional para projeto em locais onde há necessidade de reconhecimento facial (risco de criminalidade elevado, por exemplo).

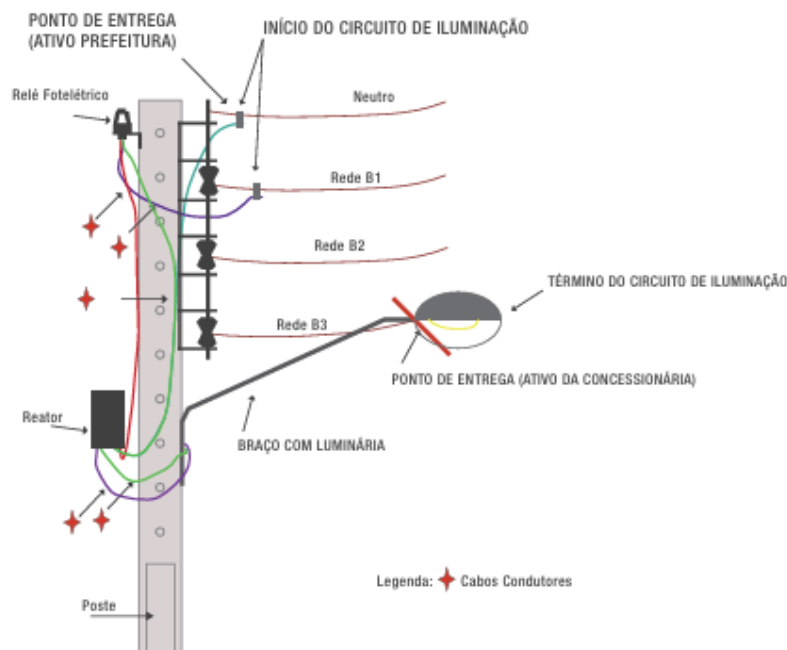
Fonte: NBR 5101 (2024).

A (ABNT, 2024) estabelece que na iluminação de áreas da classe P, é fundamental garantir que os valores de iluminância mínima horizontal, sejam plenamente atendidos. Recomenda-se também que os valores de iluminância média horizontal mantidos não ultrapassem 1,5 vezes o valor estipulado para o nível correspondente. Caso os valores de iluminância média horizontal mantidos excedam esse limite, a uniformidade da iluminação (igualdade de luz no espaço) deve ser de, no mínimo, 0,20, deixando o ambiente bem distribuído luminosamente. Em vias destinadas exclusivamente ao tráfego de pedestres, como calçadões, a uniformidade da iluminação exigida deve ser igual ou superior a 0,30, assegurando uma iluminação de qualidade que favoreça a segurança e o conforto dos pedestres.

2.4 Componentes básicos das Luminárias Públicas

Um sistema de iluminação pública é formado por uma variedade de componentes, incluindo lâmpadas, cabos, postes, refletores, transformadores, entre outros. Um ponto de iluminação que emprega lâmpada convencional é ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Ponto de iluminação com lâmpada convencional



Fonte: São Paulo (2013)

No que se refere ao ponto de iluminação com luminárias LED, a situação é diferente, uma vez que essas luminárias não possuem reatores e tampas em sua estrutura, dado que são modelos lacrados diretamente de fábrica. As luminárias LED utilizam essencialmente relés fotoelétricos inteligentes e *drivers*, que são responsáveis pelo controle e funcionamento adequado do sistema de iluminação (Teixeira *et al.*, 2016).

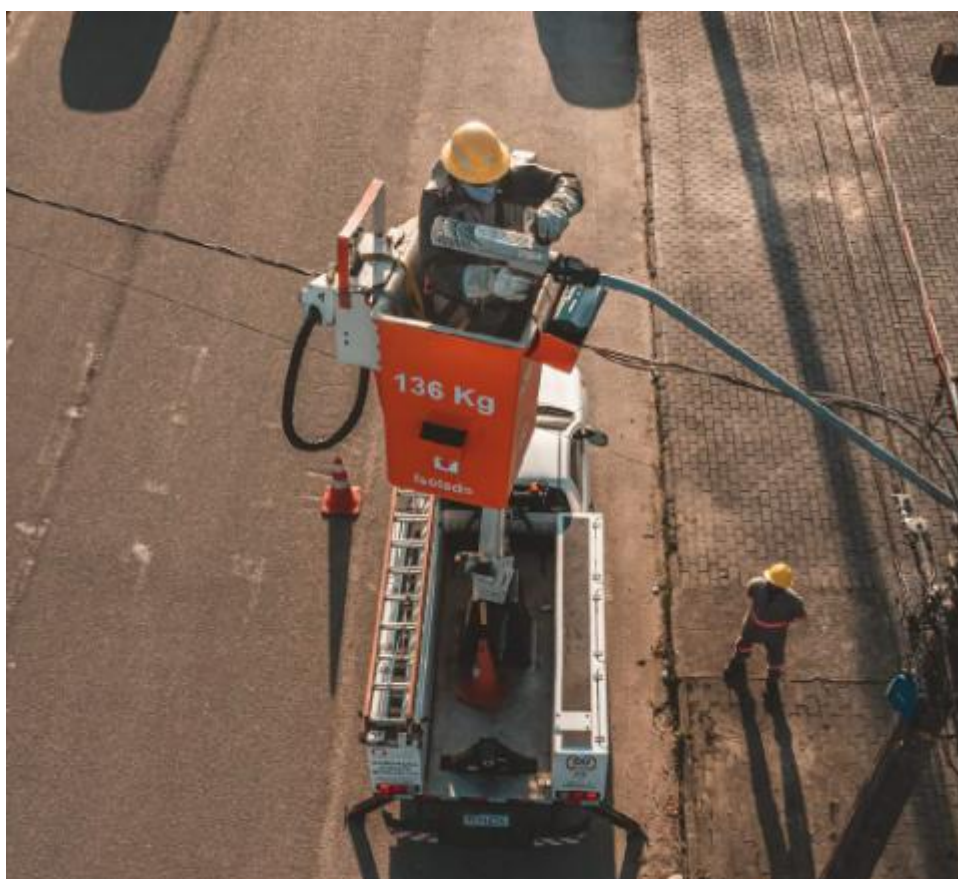
2.4.1 Relé Fotoelétrico

Segundo Rosito (2009), os relés fotoelétricos são dispositivos que desempenham a função de fotocontroladores, sendo responsáveis pela automação do acendimento e desligamento das lâmpadas, com base na intensidade luminosa presente no ambiente. No contexto da iluminação pública, sua aplicação é predominante em áreas externas, onde a lâmpada é acionada ao anoitecer, somente quando a necessidade de iluminação artificial se torna evidente. Esse sistema é automaticamente desligado ao amanhecer, quando a luminosidade natural é suficiente para garantir a segurança no trânsito de veículos e pedestres, evitando o desperdício de energia elétrica e assegurando a eficiência do sistema de iluminação.

A iluminação pública em LED, telecomandada por relés fotoelétricos inteligentes, é um serviço que incorpora funcionalidades aos postes de iluminação, como controle de luminosidade, monitoramento ambiental e conexão à rede de dados. Diferente dos relés fotoelétricos tradicionais usados nas lâmpadas convencionais, que usam temporizadores simples, os sistemas dinâmicos permitem otimizar o uso da energia e a vida útil das lâmpadas de LED, ajustando a intensidade luminosa conforme a iluminação natural ou condições climáticas, além de aumentar a segurança e a visibilidade nas áreas cobertas (Teixeira *et al.*, 2016).

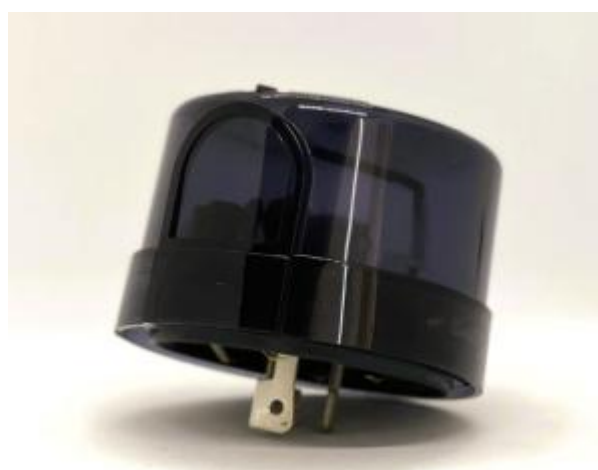
Os relés inteligentes e os convencionais não apresentam diferenças físicas significativas e são instalados na parte superior das luminárias. A Figura 17 ilustra um técnico de uma concessionária de energia elétrica realizando a instalação de um relé em uma luminária e, na Figura 18, temos uma imagem do relé inteligente SIP7 da SSE Gridtech.

Figura 17 – Instalação de Relé Fotoelétrico



Fonte: QLuz (2022).

Figura 18 – Relé fotoelétrico inteligente SIP7



Fonte: SSE GRIDTECH (2025).

2.4.2 Reatores

Os reatores são utilizados na iluminação pública há muito tempo, pois fazem parte do conjunto para luminárias convencionais. De acordo com Rosito (2009), o reator desempenha um papel fundamental na regulação da corrente elétrica fornecida às lâmpadas, sendo essencial não apenas para garantir a eficiência da iluminação, mas também para prolongar a vida útil dos dispositivos. Um reator bem projetado e com alta durabilidade contribui significativamente para a redução da necessidade de manutenções no sistema como um todo. Além disso, ao optar por reatores com menores perdas elétricas, é possível obter um excelente custo-benefício, resultando inclusive, em uma diminuição dos custos com o consumo de energia elétrica do município.

Os reatores são comumente instalados no poste, mas também podem ser encontrados em outras configurações, como subterrâneas ou dentro das próprias luminárias. Na Figura 19 ilustra-se um reator.

Figura 19 - Reator Externo Galvanizado



Fonte: Eletseg (2025).

2.4.3 Drivers

De acordo com a empresa de eficiência energética Brlux, o *driver* é responsável por converter a tensão alternada da rede elétrica em tensão contínua, adequada para o funcionamento dos LEDs. Além de realizar essa conversão, o *driver* desempenha um papel fundamental na proteção do LED, controlando a tensão e evitando que variações elétricas danifiquem o componente. Com isso, garante-se uma operação segura, com prolongamento da vida útil da lâmpada, mantendo sua eficiência e desempenho ao longo do tempo (Brlux, 2025). A Figura 20 ilustra *drivers* para luminárias LED.

Figura 20 – Driver Luminária LED



Fonte: Brilia (2025).

2.4.4 Braços

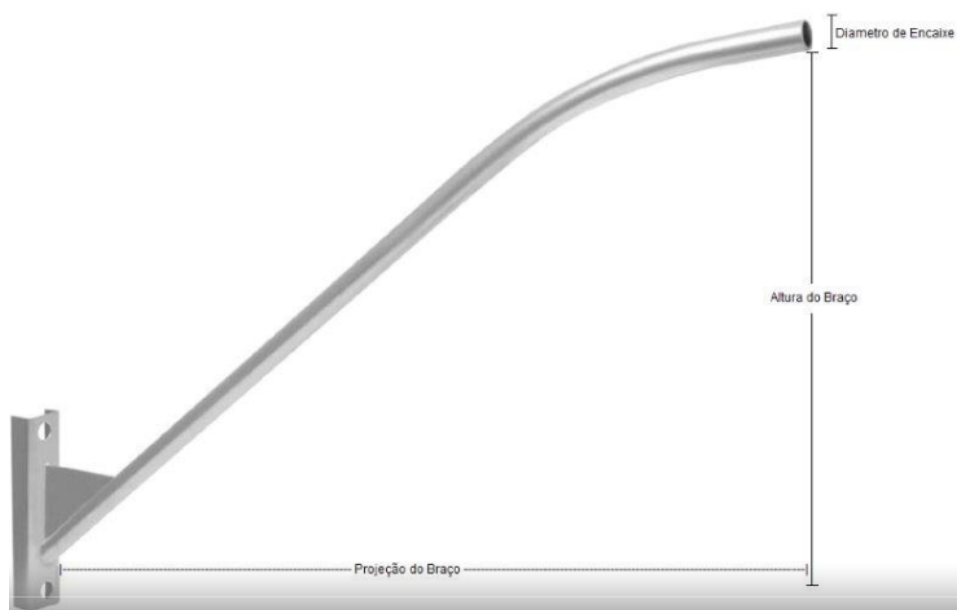
Os braços dos postes de iluminação pública não têm apenas a função de sustentar as luminárias, eles também desempenham um papel crucial ao serem projetados com a angulação e o tamanho adequados. A seguir, são listadas as

características a serem consideradas, para garantir a distribuição eficiente da luz (Rosito, 2009):

- a) avanço do braço na via: imprescindível para o correto projeto luminotécnico;
- b) resistência mecânica: para a resistência mecânica do braço, além do peso da luminária, deve ser considerada a área de exposição ao vento, entre outros;
- c) ângulo de saída: interfere diretamente na poluição luminosa e ofuscamento. Para um correto aproveitamento da fotometria da luminária, o ideal são braços com ângulo final não superior a 10°;
- d) diâmetro e espessura do tubo: correto diâmetro do tubo para um projeto eficiente com racionalização na utilização de materiais, considerando o peso e as dimensões da luminária a ser utilizada;
- e) espessura da camada de galvanização: fundamental para a durabilidade esperada de mais de 20 anos.

A (ABNT, 2024) não especifica os comprimentos dos braços de iluminação pública, entretanto, estes devem ser dimensionados de forma a garantir que os requisitos de iluminação da via em análise sejam atendidos. A Figura 21 ilustra um braço para luminárias utilizadas na iluminação pública.

Figura 21 – Braço de Iluminação Pública



Fonte: FixFer (2024).

2.5 Programas e Linhas de financiamento para modernização da Iluminação Pública

Com o surgimento das parcerias público-privadas, foram lançados programas como o PROCEL Reluz e o Fundo de Apoio à Estruturação de Projetos, da Caixa Econômica Federal (FEP Caixa), que estimulam e apoiam esse tipo de parceria, visando um relacionamento futuro promissor entre empresas públicas e privadas.

Segundo Schulz (2016), o objetivo principal do PROCEL Reluz é promover a evolução dos sistemas de iluminação pública, tornando-os mais eficientes, e ao mesmo tempo, valorizando os espaços urbanos e contribuindo para a melhoria das condições de segurança e da qualidade da iluminação nas cidades brasileiras. Para atingir as metas estabelecidas, foi previsto um investimento de R\$ 2,6 bilhões, destinado à modernização de 9,5 milhões de pontos de iluminação pública e à expansão de 3 milhões de novos pontos até 2010, para cobrir 77 % do potencial de economia de energia da rede nacional de iluminação pública. Com isso, o programa não apenas visa a eficiência energética, mas também promove uma melhora na

qualidade de vida urbana, criando ambientes mais seguros e sustentáveis para a população.

Segundo o site oficial do FEP Caixa (CEF, 2025), essa iniciativa da Caixa Econômica Federal tem como objetivo principal financiar serviços técnicos e profissionais especializados, com a finalidade de apoiar a estruturação e o desenvolvimento de projetos de concessão e parcerias público-privadas de interesse dos entes da Federação. Esse apoio está em conformidade com a Lei nº 13.529 e com as normas atuais que regulamentam tais processos, bem como eventuais modificações ou alterações que venham a ser introduzidas por normas subsequentes. Assim, o FEP CAIXA visa garantir a viabilidade e o sucesso de projetos essenciais para o aprimoramento da infraestrutura pública, fortalecendo a colaboração entre o setor público e a iniciativa privada.

3 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso tem por objetivo analisar a viabilidade econômica referente à modernização do sistema de iluminação pública de uma rua fictícia, situada em área urbana e que se enquadra na classe C (tráfego de veículos e pedestres), conforme a ABNT. Em outras palavras, pretende-se apresentar uma análise da viabilidade econômica, referente à substituição das lâmpadas convencionais a vapor de sódio, por luminárias LED, na referida via, buscando aumentar a eficiência energética e proporcionar redução dos custos de operação e de manutenção.

3.1 Considerações Iniciais

A via cujo sistema de iluminação se pretende substituir, possui um comprimento de 900 metros e largura de 7 metros, resultando em uma área de 6.300 m², e o estudo propõe a substituição de 30 luminárias equipadas com lâmpadas a vapor de sódio, do tipo Ovoide 100 W E40, atualmente utilizadas na iluminação da via, por luminárias públicas High Lux ZL 6957, com LED de alta eficiência embutido, observando-se o atendimento aos requisitos normativos, já apresentados na subseção 2.3.1.

Os dados técnicos da lâmpada a vapor de sódio, bem como da luminária LED, são apresentados no Tabela 2. Justifica-se a escolha do modelo de luminária LED pelo fato de que a mesma apresenta fluxo luminoso bem próximo ao apresentado pela lâmpada a vapor de sódio, com uma maior eficiência e maior vida útil.

Tabela 2 – Dados técnicos da lâmpada a vapor de sódio e da luminária LED

Tecnologia	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
Vapor de Sódio 100 W E40	100	10.000	100
Luminária Pública High Lux ZL 6957	60	10.500	175

Fonte: Ficha técnica High Lux ZL69 – Rev. 06 (2022); Ficha técnica: lâmpada vapor de sódio (s.d.).

Com base na estimativa dos custos de operação (consumo de energia elétrica) e manutenção, referentes à iluminação a vapor de sódio e à iluminação LED, e no investimento inicial necessário à substituição das lâmpadas, propõe-se inicialmente, a construção, para um horizonte de vinte e cinco anos, dos fluxos de caixa referentes às duas opções de sistema de iluminação, **sistema VS** (sistema de iluminação atual) e **sistema LED** (sistema de iluminação modernizado). Isso permite, com base nos fundamentos da Matemática Financeira (Puccini, 2009), a obtenção dos **custos totais a valor presente**, para os dois sistemas e a comparação econômica entre os mesmos.

Em seguida, por meio da construção de um **fluxo de caixa incremental**, que considera os benefícios advindos da substituição da tecnologia de iluminação pública, apresenta-se a **Taxa Interna de Retorno (TIR)** e do **Tempo de Recuperação do Capital** (*payback*), índices econômicos que traduzem a rentabilidade do projeto de modernização e o tempo necessário para a recuperação do investimento inicial a ser realizado.

Como parâmetro necessário à aplicação dos métodos de análise de investimentos, será considerada uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA), de 12,27 % a.a.⁵. Nesse caso, a TMA estará representando a rentabilidade de uma modalidade de investimento (BB Renda Fixa LP Tesouro Selic) na qual o município poderá aplicar os recursos, ao invés de investir na modernização do sistema de iluminação da via (Puccini, 2009). Para uma TIR superior à TMA, entende-se que o projeto de modernização se mostra viável economicamente, ou seja, para o município, é mais vantajoso economicamente, investir dinheiro na modernização da iluminação da via, do que aplicar o dinheiro naquela modalidade de investimento adotada como referência.

⁵ Valor referente à rentabilidade do investimento “Renda Fixa LP Tesouro Selic” do Banco do Brasil em 8 de outubro de 2025.

3.2 Dimensionamento do sistema de iluminação LED com atendimento a NBR 5101

Para orientar o dimensionamento do sistema LED, foram consideradas, de acordo com a tabela apresentada na Figura 11, da subseção 2.3.1, as seguintes opções e valores de ponderação para os parâmetros que visam a definição do nível da classe C:

- Velocidade: moderada -1
- Volume de Tráfego: moderado - 0
- Composição do Tráfego: misto -1
- Separação das faixas de direção: sim - 0
- Luminância Ambiente: alta -1
- Sinalização e Controle de Tráfego: moderados ou bons – 0

Com isso, tem-se um somatório de valores ponderados igual a 3, o que resulta, de acordo com a Equação 4, em um nível C3, para a via. Com o enquadramento da via no nível C3, é necessário atender às exigências apresentados no Quadro 2, para os requisitos de iluminação.

Quadro 2 – Requisitos estabelecidos pela NBR 5101 para a via em estudo

Requisito	Valor Exigido
Iluminância média ($E_{méd}$)	≥ 15 lux
Uniformidade (U_oE)	$\geq 0,18$
Percentual de Incremento Limiar (fTI)	≤ 15 %

Fonte: Elaboração Própria (2025).

Além dos valores apresentados no Quadro 2, para o atendimento às exigências da norma, foram consideradas também as dimensões da via, conforme descrito na seção 3.1. A altura e o espaçamento entre os postes seguiram as

recomendações da empresa Qluz Palhoça (entre 6 metros e 12 metros de altura para os postes e entre 30 metros e 40 metros de espaçamento entre os postes) (QLUZ PALHOÇA, 2025). O comprimento dos braços das luminárias foi definido de acordo com a Sanlume Iluminação (2025).

Os valores padronizados a serem considerados no projeto de modernização são apresentados no Quadro 3. Como a via possui 900 metros de comprimento, mantém-se o total de 30 pontos de iluminação do sistema atual, considerando a distância entre os pontos que está sendo adotada.

Quadro 3 – Padrões de altura dos postes, comprimento dos braços e distância entre os postes

ITEM	PADRÃO
Altura dos Postes	9 m
Braços das Luminárias	1,5 m
Distância entre postes	30 m

Fonte: Elaboração Própria (2025).

Uma vez definido o tipo de luminária a ser utilizado no sistema LED, o número de luminárias (número de pontos de luz) e considerando as dimensões da via, deve-se obter os valores de iluminância média, uniformidade geral e percentual de incremento limiar, para serem comparados com os requisitos previamente definidos e apresentados no Quadro 2. Para o cálculo da iluminância média, deve ser considerado o **fator de depreciação/manutenção**, que corresponde à relação entre o fluxo luminoso final e o fluxo luminoso inicial de uma fonte de luz (LUTER LED, 2022). Esse fator é essencial ao planejamento de sistemas de iluminação, pois permite estimar a perda de luminosidade em função do ambiente e das atividades nele realizadas.

Conforme os dados presentes na ficha técnica High Lux ZL69 – Rev. 06 (2025), da luminária LED, a mesma possui características L70, o que indica que o seu fator de depreciação (MF) é igual a 0,7. Ou seja, esse modelo de luminária LED terá 70 % da sua capacidade luminosa ao final da sua vida útil.

Outro fator relevante para o cálculo da iluminância média, é o **fator de utilização** (UF), definido pelo Manual de Iluminação do Procel (2011), como a parcela

do fluxo luminoso da luminária que efetivamente incide sobre o plano de trabalho, neste estudo, o asfalto da via. O fator de utilização depende do ambiente no qual a luminária está inserida e para a sua obtenção é necessário conhecer o índice de refletância⁶ da via.

Como a via em estudo é fictícia, não é possível determinar esse valor de forma precisa e por este motivo, adotou-se um UF igual a 0,50, ou seja, considera-se que 50 % da luminosidade emitida pela luminária chega à pista de rolamento.

Na sequência, por meio da Equação 6, calcula-se a iluminância média ($E_{méd}$), relacionando o fluxo luminoso total emitido pelo sistema (levando em conta o fator de depreciação e o fator de utilização), com a área total da via. Observa-se que o valor obtido, de 17,5 lux, atende ao valor exigido, apresentado no Quadro 2.

$$E_{méd} = \frac{N \times \Phi \times UF \times MF}{A} = \frac{30 \times 10.500 \times 0,5 \times 0,7}{6.300} = 17,5lx \quad (6)$$

Em que,

N – número de luminárias;

Φ – fluxo luminoso de cada luminária (lm);

UF – fator de utilização;

MF – fator de manutenção;

A – área total da via (m²).

A uniformidade geral representa o quão a luz se espalha de forma equilibrada pela via e, como visto na seção 2.3, pode ser calculada por meio de medições dos valores de luminância. Considerou-se nesse estudo de caso, que o sistema VS atualmente utilizado já atende a esse requisito, pela correta distribuição dos pontos de iluminação e que a modernização do sistema não trará qualquer tipo

⁶ O índice de refletância mede a capacidade de uma superfície de refletir a luz solar.

de comprometimento, ou seja, considerou-se atendido o valor exigido para esse requisito.

Quanto ao percentual de incremento limiar, seria necessário, conforme destacado na seção 2.3, a realização de uma simulação específica de luminância viária, utilizando um *software* especializado, considerando a inclinação dos postes, a posição dos condutores dos veículos, entre outros aspectos. No entanto, essa simulação não foi realizada, devido à restrição de acesso aos recursos necessários e por ser uma via fictícia, e assim, assume-se que tal requisito também está sendo atendido pelo sistema LED.

3.3 Análise Econômica

Com os requisitos definidos em norma devidamente atendidos, foi efetuada a análise de viabilidade econômica referente ao projeto de modernização do sistema de iluminação da via. Foi considerado na análise, que a modernização do sistema está prevista para janeiro de 2026, sendo esse o ano base para a construção dos fluxos de caixa para os dois sistemas de iluminação pública.

3.3.1 Análise econômica pelo custo a valor presente

Para esta etapa da análise econômica, referente à modernização do sistema de iluminação da via, foram construídos os fluxos de caixa, compostos pelos custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção, para o sistema VS e para o sistema LED, destacando-se que para este último, foi considerado também o investimento inicial, necessário à aquisição das luminárias LED.

3.3.1.1 Análise econômica pelo custo a valor presente

a) Custo anual com o consumo de energia elétrica

Para o cálculo do custo referente ao consumo de energia elétrica, considerou-se, para os dois sistemas de iluminação, que as luminárias permanecerão acesas por 12 horas diárias. Para o ano de 2026 (primeiro ano dos fluxos de caixa),

foi considerada uma tarifa de R\$ 0,33985 por kWh da CELESC (2025). Essa tarifa foi corrigida para os anos seguintes, utilizando-se a média dos reajustes ocorridos no período 2014-2024, para essa distribuidora de energia elétrica, conforme mostrado na Tabela 3. Com os valores dessa tabela, tem-se um reajuste médio de 6,03 % a.a., percentual que será aplicado ao valor inicial da tarifa, a partir de 2027.

Tabela 3 – Reajuste tarifário da CELESC para o período 2014-2024

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Reajuste Tarifário (%)	22,76	3,63	-2,62	7,90	13,15	-9,16	8,42	5,83	8,17	4,11	4,19

Fonte: Baseada nas Tarifas e Taxas de Energia da CELESC (2025).

Desse modo, por meio da Equação 7, pode-se calcular o custo anual com o consumo de energia elétrica, para os dois sistemas de iluminação, considerando-se os 30 pontos de iluminação.

$$CEE_{(i)} = 30 \times 12 \times 365 \times P \times tarifa_i \quad (7)$$

Em que,

CEE_i – custo com o consumo de energia elétrica para o ano i (R\$);

P – potência de cada ponto de iluminação (W);

$tarifa_i$ – tarifa referente ao ano i (R\$/kWh).

Na Tabela 4 a seguir, são apresentados os valores de potência total (número de pontos de iluminação multiplicado pela potência de cada ponto), de consumo anual de energia elétrica (potência total multiplicada pelo número total de horas em operação durante um ano) e de custo anual com o consumo de energia elétrica (conforme Equação 7), para os dois sistemas de iluminação, referentes ao ano de 2026. Para os demais anos do horizonte de análise, basta considerar, no cálculo do custo anual, o percentual de reajuste na tarifa de energia elétrica.

Tabela 4 – Custo anual com o consumo de energia elétrica para 2026

Sistema	Potência Total (W)	Consumo Anual (kWh)	Custo com o Consumo de E.E. (R\$)
Sistema VS	3.000	13.140	4.465,63
Sistema LED	1.800	7.884	2.679,38

Fonte: Elaboração Própria (2025).

Com os resultados da Tabela 4, verifica-se uma economia de 5.256 kWh no consumo de energia no primeiro ano, o que representa uma redução de custo de R\$ 1.786,25, demonstrando a economia com o consumo de energia elétrica, ao se efetuar a modernização do sistema de iluminação.

3.3.1.2 *Custo anual de manutenção*

Quanto ao custo anual de manutenção dos dois sistemas de iluminação, deve-se destacar, nesse ponto, as dificuldades encontradas no sentido de se obter informações realistas, junto às empresas que prestam tal serviço, tanto no que diz respeito ao custo de manutenção de cada ponto de iluminação, quanto ao número de falhas anuais. Desse modo, nesse estudo de caso, foram consideradas estimativas de custo de manutenção e de número de falhas.

No caso do sistema VS, foram adotados como referência, os valores apresentados na planilha orçamentária da Tabela 5, referente à prestação de serviços de manutenção no sistema de iluminação pública do município de Santo Antônio de Posse, no Estado de São Paulo. Tal planilha foi elaborada no mês de dezembro de 2015.

Tabela 5 – Planilha orçamentária para um conjunto completo com lâmpada a vapor de sódio

Descrição dos Serviços	Un.	Quant.	Custo	Custo Total (R\$)
Luminária pública fechada tipo pétala com alojamento para reator	un	1	380,24	380,24
Lâmpada vapor de sódio 220 V – 100 W	un	1	21,37	21,37
Reator eletromagnético para lâmpada vapor de sódio de 100 W	un	1	56,00	56,00
Relé fotoelétrico 220 V	un	1	57,60	57,60
Cabo de cobre flexível (2 x 2,5 mm²) – isolamento em PVC 70 °C	un	2	5,70	11,40
Receptáculo de porcelana com parafuso de fixação com rosca E-40	un	1	15,02	15,02
Valor total				541,63

Fonte: Prefeitura Municipal de Santo Antônio de Posse/SP (2018).

O custo total de R\$ 541,63, para um conjunto completo (uma luminária) foi adotado como referência e corrigido para 2026, para o cálculo do custo total de manutenção do sistema VS, para esse ano, resultando em R\$ 998,69. A correção foi feita por meio da Equação 8, utilizando-se como taxa de juros o valor de 5,72 % a.a., referente ao valor médio do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) para o período 2015 a 2024, conforme apresentado na Tabela 6.

$$CMVS = 541,63x(1 + 0,0572)^{11} = R\$998,69 \quad (8)$$

Em que,

CMVS – Custo de manutenção por ponto de iluminação para o sistema VS (R\$).

Tabela 6 – Evolução do IPCA para o período 2015-2024

Ano	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
IPCA (%)	10,67	6,29	2,95	3,75	4,31	4,52	10,06	5,79	4,62	4,2

Fonte: Yahii (2025).

Para o sistema LED, foram considerados dois equipamentos principais para a estimativa do custo de manutenção de um ponto de iluminação: a própria luminária e o relé inteligente, responsável pelo funcionamento do sistema. O valor de estimativa de custo de manutenção da luminária foi obtido junto ao canal de televendas da Zagonel, que forneceu o valor de R\$ 650,19 (Zagonel, 2025). Já o custo de manutenção do relé inteligente foi obtido junto ao setor de televendas da Gridtech, que informou o valor de R\$ 599,99 (Gridtech, 2025). Assim, o custo total estimado de manutenção para o sistema LED é de R\$ 1.250,18.

O relé inteligente adotado para conexão à luminária é o modelo SIP7, o qual, segundo informações da própria fornecedora Gridtech, possui múltiplas funcionalidades. Entre elas destacam-se o acionamento (ligar e desligar), a dimerização da iluminação, o alarme de falha da luminária, o alarme de vandalismo e o alarme de operação além dos limites de tensão, potência e temperatura, proporcionando maior flexibilidade e eficiência na operação do sistema de iluminação pública (Gridtech, 2025).

Além do custo de manutenção referente a um ponto de iluminação, para o cálculo do custo anual de manutenção para os dois sistemas de iluminação, deve-se considerar uma estimativa quanto ao número anual de falhas para cada sistema. Não existe um valor fixo para definir o número de falhas que ocorrem em um sistema de iluminação a cada ano, já que tal número depende da qualidade do produto, da aplicação e das condições ambientais. No caso dos sistemas LED, por exemplo, observa-se que luminárias de boa qualidade apresentam taxas de falha anuais⁷

⁷ Define-se a taxa de falha anual como o percentual de falhas ocorridas em um ano, considerando uma certa quantidade de pontos de iluminação. Por exemplo, para um sistema composto

inferiores a 0,5 %, enquanto que, para as luminárias genéricas, a taxa de falha anual varia entre 5 % e 20 %.

Considerando ainda o conceito de taxa da falha, para que o mesmo possa ser utilizado como uma referência para se estimar a quantidade de falhas anuais em um sistema de iluminação pública, Sales (2012) afirma que em um sistema que utiliza lâmpadas convencionais, como a vapor de sódio, cada luminária requer três atividades de manutenção, em um período de doze anos, ou seja, cada luminária apresenta três falhas em doze anos, o que é equivalente a 0,25 falhas (para cada luminária) em um ano. Se considerarmos os trinta pontos de iluminação da via em estudo (trinta luminárias), tem-se 7,5 falhas por ano, para o sistema como um todo, e uma taxa de falha anual de 25 %. Na mesma referência, um sistema com luminárias LED necessita de uma atividade de manutenção para cada luminária, no mesmo período de doze anos, o que equivale a 0,083 falhas (para cada luminária) em um ano. Para a mesma quantidade total de pontos de iluminação, tem-se, para o sistema LED, um total de 2,5 falhas por ano, com uma taxa de falha anual de 8,3 %.

Propõe-se, para este estudo de caso, o cálculo do número de falhas anuais para os sistemas de iluminação por vapor de sódio (VS) e por LED, com base na estimativa de vida útil de cada luminária, conforme as respectivas fichas técnicas das duas tecnologias. Para o sistema LED, foi utilizada a Ficha Técnica High Lux ZL69 – Rev. 06, disponibilizada pela fabricante Zagonel (2025). Já para o sistema de vapor de sódio, considerou-se a Ficha Técnica da Lâmpada Sódio Tubular 100 W E40, fornecida pela Ourolux (2025).

Para o sistema VS, observa-se na ficha técnica da lâmpada Ourolux, uma vida útil de 24.000 horas, esse valor foi adotado como vida útil de cada conjunto (lâmpada e acessórios) como um todo. Com base nesse valor de vida útil, considerou-se uma falha do conjunto a cada 5,48 anos (após 24.000 horas de uso e considerando 12 horas de uso por dia), o que resulta em 0,182 falhas por ano e considerando o total de 30 pontos de iluminação, tem-se um total de 5,47 falhas a cada ano, e uma taxa

por 50 pontos de iluminação e que tenha apresentado 4 falhas em um ano, a taxa de falha anual é de 8 %.

de falha anual de 18,2 %, para o sistema VS. Considera-se aceitável essa estimativa para o número de falhas anuais do sistema VS, já que resulta em uma taxa de falha próxima ao valor de 25 %, obtido com base em Sales (2012).

Seguindo um raciocínio semelhante e considerando, segundo a Ficha Técnica High Lux ZL69 – Rev. 06 (2025), uma vida útil de 90.000 horas, obtém-se para o sistema LED, uma falha do conjunto a cada 20,55 anos (após 90.000 horas de uso), resultando em 0,049 falhas a cada ano e, considerando os 30 pontos de iluminação, um total de 1,47 falhas a cada ano e uma taxa de falha anual de 4,9 %.

Adicionalmente, foi incluído, para os dois sistemas de iluminação, o custo de mão de obra. Considerou-se o mesmo custo de mão de obra para os dois sistemas, baseado na atuação de uma equipe de manutenção composta por três profissionais, com tempo de manutenção de uma hora (para a substituição de um conjunto) e custo de R\$ 75,00 por hora, totalizando R\$ 225,00, por hora, para cada atividade de manutenção, sendo que a esse valor, foi adicionado o custo de deslocamento da equipe para a execução do serviço, estimado em R\$ 100,00. Destaca-se que essas informações foram obtidas por meio de consulta a profissionais que atuam na área.

Um custo adicional de deslocamento da equipe que não está sendo considerado nesse estudo de caso, é o custo de deslocamento para a inspeção do sistema (a equipe poderá se deslocar até a via e não identificar falhas no sistema). No entanto, entende-se que tal custo seria favorável ao sistema LED, já que a telegestão possibilita a identificação da falha de forma remota, reduzindo as necessidades de inspeção do sistema.

Com o número de falhas anuais, o custo de manutenção por ponto de iluminação e o custo de mão de obra devidamente estimados para cada sistema de iluminação, foram obtidos os custos anuais de manutenção, por meio da Equação 9, considerando, a partir de 2027, um reajuste de 5,72 % a.a. (valor médio do IPCA para o período 2015 a 2024) no custo de manutenção por ponto de iluminação.

$$CMA_{(i)} = NFx(CMU + CMO) \quad (9)$$

Em que,

CMA_i – custo de manutenção para o ano i (R\$);

NF – número total de falhas por ano;

CMU – custo de manutenção por ponto de iluminação (R\$);

CMO – custo de mão de obra para atendimento a uma falha (R\$).

Na Tabela 7 a seguir, apresentam-se o número de falhas por ano, o custo de manutenção por ponto de iluminação, o custo de mão de obra e o custo anual de manutenção, para os dois sistemas de iluminação, referentes a 2026. Observa-se que, embora os custos de manutenção por ponto de iluminação estejam bem próximos (os custos de manutenção, por ponto, para o sistema LED são um pouco maiores) e os custos com a mão de obra sejam iguais, o sistema LED leva vantagem com relação ao custo anual de manutenção, por exigir uma manutenção menos frequente (menor quantidade de falhas por ano).

Tabela 7 – Custo anual de manutenção para 2026

Sistema	Número de Falhas Por Ano	Custo de Manutenção por Ponto de Iluminação (R\$)*	Custo de Mão de Obra (R\$)	Custo Anual de Manutenção (R\$)
Sistema VS	5,47	998,69	325,00	7.240,58
Sistema LED	1,47	1.250,18	325,00	2.315,51

* considerando que todos os componentes de cada sistema serão substituídos.

Fonte: Elaboração Própria (2025).

3.3.1.3 Investimento inicial no sistema LED

Por fim, foi definido o investimento inicial a ser realizado para a modernização do sistema de iluminação da via em análise (substituição das lâmpadas a vapor de sódio pelas luminárias LED). Para a execução do serviço de substituição,

foi considerada a atuação de uma equipe composta por três profissionais, a um custo de R\$ 75,00 por hora de trabalho, para cada profissional.

Considerou-se a substituição dos trinta pontos de iluminação, com um tempo médio estimado de uma hora de trabalho para cada ponto, totalizando 30 horas de trabalho (5 turnos de 6 horas) e um custo de mão de obra de R\$ 6.750,00 adicionando-se a esse valor, o custo de deslocamento da equipe, no valor de R\$ 500,00 (um deslocamento para cada turno, no valor de R\$ 100,00).

Os custos unitários das luminárias LED e do relé inteligente (mesmos valores considerados no cálculo do custo de manutenção) são de R\$ 650,19 e R\$ 599,99, respectivamente, e para um total de trinta pontos, tem-se um custo total de R\$ 37.505,40. No Quadro 4 a seguir, são apresentados os investimentos necessários à modernização do sistema de iluminação da via e o investimento total.

Quadro 4 – Investimento inicial para o sistema LED

ITEM	VALOR (R\$)
Luminária LED + Relé Inteligente	37.505,40
Mão de Obra + Deslocamento	7.250,00
Investimento Total	44.755,40

Fonte: Elaboração Própria (2025).

3.3.1.4 Fluxos de caixa para os dois sistemas de iluminação

A seguir, nas Tabelas 8 e 9 são apresentados os fluxos de caixa necessários ao cálculo do **custo a valor presente**, para os dois sistemas de iluminação da via e considerando os custos com o consumo de energia elétrica, com a manutenção, bem como o investimento inicial, necessário ao sistema LED. O horizonte de análise é de vinte e cinco anos.

Tabela 8 – Fluxo de caixa do sistema VS

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Custo com o Consumo de E. E. (R\$)	Custo de Manutenção (R\$)	Custo Total (R\$)
0	----	----	----	----
2026	----	4.465,63	7.240,58	11.706,21
2027	----	4.734,91	7.553,06	12.287,96
2028	----	5.020,42	7.883,41	12.903,83
2029	----	5.323,15	8.232,65	13.555,80
2030	----	5.644,14	8.601,87	14.246,01
2031	----	5.984,48	8.992,21	14.976,69
2032	----	6.345,34	9.404,88	15.750,22
2033	----	6.727,97	9.841,15	16.569,12
2034	----	7.133,67	10.302,37	17.436,04
2035	----	7.563,83	10.789,98	18.353,81
2036	----	8.019,92	11.305,48	19.325,41
2037	----	8.503,53	11.850,47	20.353,99
2038	----	9.016,29	12.426,63	21.442,92
2039	----	9.559,97	13.035,74	22.595,71
2040	----	10.136,44	13.679,70	23.816,14
2041	----	10.747,66	14.360,49	25.108,16
2042	----	11.395,75	15.080,23	26.475,97
2043	----	12.082,91	15.841,13	27.924,04
2044	----	12.811,51	16.645,55	29.457,06
2045	----	13.584,04	17.495,99	31.080,04
2046	----	14.403,16	18.395,08	32.798,24
2047	----	15.271,67	19.345,59	34.617,26
2048	----	16.192,56	20.350,47	36.543,02
2049	----	17.168,97	21.412,83	38.581,79
2050	----	18.204,26	22.535,95	40.740,21

Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 9 – Fluxo de caixa do sistema LED

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Custo com o Consumo de E. E. (R\$)	Custo de Manutenção (R\$)	Custo Total (R\$)
0	44.755,40	-----	-----	44.755,40
2026	-----	2.679,38	2.315,51	4.994,89
2027	-----	2.840,94	2.420,63	5.261,58
2028	-----	3.012,25	2.531,77	5.544,02
2029	-----	3.193,89	2.649,26	5.843,15
2030	-----	3.386,48	2.773,47	6.159,95
2031	-----	3.590,69	2.904,78	6.495,47
2032	-----	3.807,21	3.043,61	6.850,82
2033	-----	4.036,78	3.190,38	7.227,16
2034	-----	4.280,20	3.345,54	7.625,74
2035	-----	4.538,30	3.509,58	8.047,87
2036	-----	4.811,95	3.683,00	8.494,95
2037	-----	5.102,12	3.866,34	8.968,45
2038	-----	5.409,77	4.060,16	9.469,94
2039	-----	5.735,98	4.265,08	10.001,06
2040	-----	6.081,86	4.481,71	10.563,57
2041	-----	6.448,60	4.710,74	11.159,34
2042	-----	6.837,45	4.952,87	11.790,32
2043	-----	7.249,75	5.208,84	12.458,59
2044	-----	7.686,91	5.479,46	13.166,37
2045	-----	8.150,43	5.765,56	13.915,99
2046	-----	8.641,90	6.068,02	14.709,92
2047	-----	9.163,00	6.387,79	15.550,79
2048	-----	9.715,53	6.725,84	16.441,37
2049	-----	10.301,38	7.083,23	17.384,61
2050	-----	10.922,55	7.461,06	18.383,62

Fonte: Elaboração própria (2025).

Na construção do fluxo de caixa para o sistema LED, não foram considerados os prazos de garantia para a luminária, de cinco anos e para o relé inteligente, de três anos. Com os fluxos de caixa apresentados, e para uma TMA igual a 12,27 % a.a., foram calculados os custos a valor presente, para os dois sistemas de iluminação, conforme a Equação 10 (Puccini, 2009). Os valores obtidos são apresentados na Tabela 10, a seguir.

$$CVP = \sum_{i=1}^{25} \frac{CT_i}{(1+TMA)^i} \quad (10)$$

Em que,

CVP – custo a valor presente (R\$);

CT_i – custo total para o ano *i* (R\$);

TMA – taxa mínima de atratividade (12,27 % a.a.).

Tabela 10 – Custos a valor presente

Sistema de Iluminação	Custo a Valor Presente (R\$)
Sistema VS	132.962,89
Sistema LED	102.907,16

Fonte: Elaboração própria (2025).

Observa-se uma diferença de R\$ 30.055,73 entre os custos a valor presente dos dois sistemas. Mesmo necessitando de um investimento inicial, os custos anuais com o consumo de energia elétrica e com a manutenção, para o sistema LED são menores, indicando as vantagens econômicas que podem ser obtidas com a modernização da iluminação pública da via.

A diferença de custos, quando transformada, por meio da Equação 11 (Puccini, 2009), em uma série uniforme ao longo do horizonte de 25 anos, utilizando o valor da TMA (12,27 % a.a.) como taxa de juros, resulta em uma diferença anual equivalente de R\$ 3.904,07, em favor do sistema LED, ou seja, seria necessário que o sistema LED apresentasse custos anuais equivalentes adicionais iguais a R\$

3.904,07, para a via em estudo, para apresentar um custo total a valor presente igual ao apresentado pelo sistema VS.

$$DiferençaAnualEquivalente = 30.055,73x\left[\frac{0,1227x(1+0,1227)^{25}}{(1+0,1227)^{25}-1}\right] = 3.904,07 \quad (11)$$

Uma consulta realizada junto à profissionais da área levou a um custo médio anual de R\$ 3.855,60 para a manutenção do sistema VS, conforme calculado a seguir:

- custo médio mensal de manutenção por ponto = R\$ 5,17
- custo médio mensal de mão de obra por ponto = R\$ 5,54
- custo médio anual de manutenção = (5,17 + 5,54) x 30 x 12 = R\$ 3.855,60

Para o sistema LED, por meio dessa mesma pesquisa foi obtido um custo médio anual de manutenção de R\$ 1.620,00, conforme calculado a seguir:

- custo médio mensal de manutenção por ponto = R\$ 2,35
- custo médio mensal de mão de obra por ponto = R\$ 2,15 (c/ telegestão)
- custo médio anual de manutenção = (2,35 + 2,15) x 30 x 12 = R\$ 1.620,00

São valores inferiores aos apresentados na Tabela 7, onde se considera a troca de todos os componentes para os dois sistemas de iluminação. Com esses valores, foram obtidos resultados adicionais referentes aos custos a valor presente, para os dois sistemas de iluminação.

No Apêndice A, são apresentados os fluxos de caixa para os dois sistemas de iluminação, considerando a correção dos custos de manutenção apresentados acima, a partir de 2027, utilizando o IPCA médio de 5,72 % a.a.. Na Tabela 11, apresentam-se os custos a valor presente, observando-se um resultado favorável ao sistema LED, conforme já obtido com a análise inicial dos custos a valor presente.

Tabela 11 – Custos a valor presente – resultados adicionais

Sistema de Iluminação	Custo a Valor Presente (R\$)
Sistema VS	100.198,62
Sistema LED	83.138,86

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.3.2 Análise econômica pela TIR e pelo *payback*

A análise apresentada a seguir teve como base o fluxo de caixa incremental, construído por meio da diferença entre os fluxos de caixa do sistema LED (Tabela 9) e do sistema VS (Tabela 8). Sob o ponto de vista prático, esse fluxo de caixa representa o investimento inicial necessário ao sistema LED e as reduções, a cada ano, dos custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção, obtidas por meio do investimento na modernização (benefícios econômicos), permitindo calcular a TIR e o *payback* referente a tal investimento (Puccini, 2009).

Na Tabela 12, apresentam-se os valores para a TIR e para o *payback*, considerando a TMA de 12,27 % a.a.. Na Tabela 13, apresenta-se o fluxo de caixa incremental para esse estudo de caso.

Tabela 12 – TIR e *payback* para a modernização do sistema de IP

TIR (% a.a.)	<i>Payback</i> (anos)
19,32	10,01

Fonte: Elaboração própria (2025).

Como já mencionado, a análise por meio do fluxo de caixa incremental permite considerar a modernização do sistema de iluminação pública da via, como um investimento, já que esse fluxo de caixa considera o investimento inicial e a redução, a cada ano, dos custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção, conforme mostrado nos fluxos de caixa dos dois sistemas de iluminação. Assim, a TIR de 19,32 % a.a. representa a rentabilidade desse investimento, sendo um valor

superior à TMA de 12,27 %, que corresponde à rentabilidade do investimento “Renda Fixa LP Tesouro Selic” do Banco do Brasil, alternativa de investimento considerada como referência nesse estudo de caso e sendo superior também à rentabilidade de outras modalidades de investimento oferecidas pelas instituições financeiras.

Adicionalmente, observa-se um *payback* de 10,01 anos, valor amplamente satisfatório, quando se considera o horizonte de análise de 25 anos e o fato de que o sistema LED será utilizado por mais tempo que isso.

Tabela 13 – Fluxo de caixa incremental

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Redução dos Custos com o Consumo de E. E. e com a Manutenção (R\$)
0	44.755,40	-----
2026	-----	6.711,32
2027	-----	7.026,39
2028	-----	7.359,81
2029	-----	7.712,65
2030	-----	8.086,06
2031	-----	8.481,22
2032	-----	8.899,41
2033	-----	9.341,96
2034	-----	9.810,30
2035	-----	10.305,94
2036	-----	10.830,46
2037	-----	11.385,54
2038	-----	11.972,98
2039	-----	12.594,65
2040	-----	13.252,56
2041	-----	13.948,82
2042	-----	14.685,66
2043	-----	15.465,45
2044	-----	16.290,70
2045	-----	17.164,05
2046	-----	18.088,32
2047	-----	19.066,47
2048	-----	20.101,65
2049	-----	21.197,18
2050	-----	22.356,59

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4 Considerações adicionais sobre os resultados

O fato de apresentar um fluxo luminoso bem próximo ao da lâmpada a vapor de sódio, com eficiência luminosa e vida útil maiores, cria, com relação à luminária LED, uma expectativa positiva de redução dos custos com o consumo de energia elétrica e com a manutenção do sistema de iluminação. No entanto, o investimento inicial referente à aquisição das luminárias LED, sugere a realização da análise de viabilidade econômica, baseada nos fundamentos da Matemática Financeira, da forma como foi apresentado na seção 3.3.

Os resultados apresentados servem para demonstrar as potenciais vantagens econômicas a serem obtidas por meio da modernização dos sistemas de iluminação pública. Ou seja, considerando a substituição dos sistemas convencionais, que utilizam lâmpadas de descarga, por sistemas que utilizam luminárias LED, como um investimento, é possível se obter rentabilidades superiores aos valores oferecidos por diversas modalidades de investimento oferecidas pelos bancos.

Destaca-se aqui, como já mencionado na subseção 3.3.1, as dificuldades encontradas no sentido de definir os custos de manutenção dos dois sistemas de iluminação (os custos para o sistema VS foram estimados com base em uma planilha orçamentária elaborada em 2015). Por se tratar de um trabalho acadêmico, foram considerados custos estimados de manutenção, entendendo-se que, em um estudo de caso real, tais custos deverão ser quantificados de maneira precisa, por meio de contato com fabricantes e/ou fornecedores dos componentes de cada sistema.

Considera-se importante inclusive, um tratamento estatístico à definição dos custos de manutenção, por meio da busca por informações referentes à frequência e/ou probabilidade de falha dos componentes de cada sistema, visando a determinação de um “valor esperado” para os custos de manutenção. Além disso, um tratamento estatístico poderia ser dado também à determinação do número de falhas anuais para cada sistema, empregando-se o conceito de “tempo médio entre as falhas⁸”.

⁸ Do inglês “*Mean Time Between Failures*” - MTBF.

Esse estudo de caso, tratou especificamente da modernização do sistema de iluminação de em uma via com trinta pontos e ao se considerar a modernização de todo o sistema de iluminação pública de um município, como ocorreu no município de Palhoça/SC, bem como uma evolução tecnológica das luminárias LED, que pode contribuir para o aumento da sua eficiência luminosa e da sua vida útil, reduzindo ainda mais os custos associados, espera-se que tais benefícios sejam ainda mais significativos.

Por fim, a robustez econômica do sistema LED, pode ser avaliada por meio de uma análise de sensibilidade. Nesse caso, os valores de diversos parâmetros da análise econômica, tais como a TMA, o horizonte de análise, os custos de manutenção por ponto de iluminação, os percentuais de reajuste da tarifa de energia elétrica e dos custos de manutenção, o número de pontos de iluminação a serem substituídos, as quantidades de falhas por ano, entre outros, podem ser modificados, visando observar até que ponto o sistema LED continua apresentando custos a valor presente, inferiores aos apresentados pelo sistema VS, bem como as variações na TIR e no *payback*.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iluminação pública é um direito de todo o cidadão e cabe ao poder público oferecer esse serviço, garantindo segurança no trânsito, redução da criminalidade e lazer à sociedade. Com o passar do tempo, tornou-se importante, para a elaboração de projetos de sistemas de iluminação pública, a busca por tecnologias que vão ao encontro dos conceitos de **desenvolvimento sustentável** e **eficiência energética** e além disso, a redução de custos também aparece como requisito importante.

Dentro desse contexto, foi apresentado nesse trabalho de conclusão de curso, um estudo referente à modernização do sistema de iluminação pública de uma via, considerando o atendimento aos requisitos de projeto, estabelecidos por norma específica, bem como a análise de viabilidade econômica, seguindo os fundamentos da Matemática Financeira.

Conforme apresentado no referencial teórico e evidenciado no estudo de caso, a tecnologia LED se destaca por sua maior eficiência energética, maior durabilidade e menor impacto ambiental. Primeiramente, a vida útil das lâmpadas de LED é consideravelmente maior do que a das lâmpadas de descarga, o que resulta em uma redução significativa das necessidades de manutenção, contribuindo diretamente para a diminuição dos custos das prefeituras. Além disso, a eficiência energética das luminárias LED reduz o consumo de eletricidade, gerando uma redução substancial dos valores a serem pagos às distribuidoras.

Além dos benefícios econômicos, a iluminação pública com LED proporciona uma melhora significativa na visibilidade das ruas, aumentando a segurança para pedestres e motoristas. A luz emitida pelas luminárias LED é mais nítida e bem distribuída, o que facilita a identificação de obstáculos e a percepção de perigos. Esse fator é essencial para a redução de acidentes de trânsito e a prevenção de crimes, uma vez que a boa iluminação desencoraja comportamentos ilícitos.

Outro ponto crucial é o impacto ambiental. As luminárias LED não contêm substâncias nocivas, como o mercúrio, e são totalmente recicláveis, o que as torna uma alternativa muito mais sustentável. A redução no consumo de energia elétrica também contribui para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa, alinhando

o projeto de iluminação pública com as metas de sustentabilidade e preservação ambiental.

Além disso, a integração de sistemas inteligentes de monitoramento e controle das luminárias LED permite otimizar ainda mais os recursos. Com a utilização de sensores e redes conectadas, é possível monitorar em tempo real o funcionamento do sistema, ajustar a intensidade da luz conforme a necessidade de iluminação e até mesmo identificar rapidamente possíveis falhas. Esse tipo de tecnologia não só aumenta a eficiência do sistema de iluminação pública, mas também proporciona maior agilidade na manutenção, evitando custos desnecessários e melhorando a gestão dos recursos públicos.

O presente estudo de caso evidenciou de forma consistente a viabilidade técnica e econômica da substituição das luminárias a vapor de sódio por tecnologia LED em uma via urbana classificada como C3, conforme os critérios da NBR 5101. Os resultados demonstraram que, sob todos os aspectos analisados, as luminárias LED apresentam desempenho superior em relação às lâmpadas de vapor de sódio, que ainda compõem grande parte do parque de iluminação pública no Brasil.

Do ponto de vista econômico, a análise confirmou que o investimento inicial, que considerou o custo de aquisição das novas luminárias e dos relés inteligentes, o custo de mão de obra e do deslocamento da equipe para a realização do serviço de substituição, deverá ser recuperado em um prazo de 10 anos, período significativamente inferior ao tempo de utilização do sistema.

Nesse sentido, a modernização do sistema de iluminação por meio da tecnologia LED se configura como uma estratégia sustentável, econômica e eficiente, alinhada às tendências globais de transição energética e sustentabilidade urbana. Além de reduzir despesas públicas e emissões indiretas de gases de efeito estufa, a adoção dessa tecnologia contribui para a melhoria da qualidade de vida da população, por meio de maior confiabilidade do sistema e melhor desempenho da iluminação em vias públicas.

Por fim, esse trabalho reforça a relevância de investimentos em tecnologias modernas e sustentáveis, necessárias para que os municípios busquem aliar economia, eficiência operacional e responsabilidade ambiental. Assim, a transição

para iluminação LED não deve ser vista como um custo, mas como uma oportunidade estratégica de inovação e de avanço rumo a cidades mais inteligentes e sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ABCIP. **ABCIP apresenta o retrato atual da iluminação pública no país e recursos digitais de cidade inteligente.** 2024. Disponível em: <https://www.associacaoabcip.com.br/post/abcip-apresenta-o-retrato-atual-da-ilumina%C3%A7%C3%A3o-p%C3%BAblica-no-pa%C3%ADs-e-recursos-digitais-de-cidade-intelige> .Acesso em: 20 nov. 2024.

ABCIP. **Palhoça é primeira cidade com iluminação pública 100% em LED e com telegestão.** 2023. Disponível em: <https://www.associacaoabcip.com.br/post/palho%C3%A7a-%C3%A9-primeira-cidade-com-ilumina%C3%A7%C3%A3o-p%C3%BAblica-100-em-led-e-com-telegest%C3%A3o> .Acesso em: 20 nov. 2024.

ABCIP. **Iluminação pública nos municípios: dados revelam importância da modernização e parcerias para melhor serviço e reduzir custos de energia.** 2024. Disponível em: <https://www.associacaoabcip.com.br/post/ilumina%C3%A7%C3%A3o-p%C3%BAblica-nos-munic%C3%ADpios-dados-revelam-import%C3%A2ncia-da-moderniza%C3%A7%C3%A3o-e-parcerias-para-melhor> . Acesso em: 20 dez. 2024.

AGUERA, Roger Saraiva. **Cenário brasileiro da iluminação pública.** 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) — Universidade de São Paulo, Cidade de São Carlos. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/a5b5d638-7ea2-43a9-a12c-f82d4007c92e/Aguera_Roger_Saraiva-tcc.pdf . Acesso em: 21 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FABRICANTES E IMPORTADORES DE PRODUTOS DE ILUMINAÇÃO. **Equivalência entre lâmpadas.** Disponível em: <https://www.abilumi.org.br/equivalencia-entre-lampadas/>. Acesso em: 22 dez. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5101:** Projeto de iluminação pública – Requisitos e critérios técnicos. Rio de Janeiro, 2024.

SÃO PAULO. Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. **Iluminação Pública – Guia do Gestor.** São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2013. Disponível em: <https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/server/api/core/bitstreams/5a15f4b4-a0d9-4196-a196-0fb5804b9d8d/content>. Acesso em: 24 out. 2025.

BANCO DO BRASIL S.A. **Fundos de investimento:** diversifique com praticidade. Disponível em: https://bb.com.br/uci/fundos.html?gfi=392&gad_source=1&gad_campaignid=19688917575&gbraid=0AAAAACzpU1cd-9_-H45xguwAsmMygDUKf&gclid=Cj0KCQjwI5jHBhDHARIsAB0YqxE0useRpe4rpLLXEzuAeNNJLfBB3_BaqLrqgx1wzpEyrnM7Hu67DsaAkn3EALw_wcB. Acesso em: 08 out. 2025.

BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro. **Lei n.º 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503.htm . Acesso em: 21 jan. 2025.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 20 de nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre a promoção da eficiência do setor elétrico e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9991.htm. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004**. Institui normas gerais para licitação e contratação de parcerias público-privadas no âmbito da administração pública. Diário Oficial da União, Brasília, 30 dez. 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L11079.htm . Acesso em: 06 fev. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.280, de 3 de maio de 2016**. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, que trata da promoção da eficiência energética e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2016. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/l13280.htm. Acesso em: 20 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017**. Institui o Fundo de Apoio à Estruturação de Projetos de Concessões e Parcerias Público-Privadas (FEP CAIXA) e altera a Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004, que estabelece normas gerais para licitação e contratação de parcerias público-privadas no âmbito da administração pública. Diário Oficial da União, Brasília, 4 dez. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2017/Lei/L13529.htm . Acesso em: 06 fev. 2025.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia; Eletrobras/Procel. *Manual de Iluminação Eficiente – Procel*. Brasília, DF: MME, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/ee/publicacoes-e-estudos/ManualdeiluminacaoeficienteProcel.pdf>. Acesso em: 08 out. 2025.

BRILIA. **Drivers de LED Classe II** - Conheça as Diferenças e Aplicações. Porto Alegre: Swell Importação e Comércio de Produtos de Iluminação S.A., 2024. Imagem n.º 1. Disponível em: <https://www.brilia.com/single-post/drivers-de-led-classe-ii-conheca-as-diferencas-e-aplicacoes>. Acesso em: 24 out. 2025

BRLUX LED. **Driver de LED**: o que é e como funciona. *BRLUX LED*, 2025. Disponível em: <https://brluxled.com.br/driver-de-led-o-que-e-e-como-funciona/>. Acesso em: 06 fev. 2025.

CEF - CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Sistema FEP** – Portal de Concessões. *Caixa Econômica Federal*, 2025. Disponível em: <https://www.concessoes.caixa.gov.br/sifep-portal/#/principal>. Acesso em: 06 fev. 2025.

CELESC — Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. **Tarifas de energia**. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/tarifas-de-energia>. Acesso em: 5 jul. 2025.

COPEL. **Manual de iluminação pública**. 2012. Disponível em: https://www.eletrica.ufpr.br/sebastiao/wa_files/aula%2029%20-%20copel%20manual%20il%20publica.pdf. Acesso em: 21 dez. 2024.

CT SERVIÇOS. **Lâmpada de vapor metálico**. 2018. Disponível em: <https://ctservicessolucoesemautomacao.blogspot.com/2018/07/lampada-de-vapor-metalico.html>. Acesso em: 21 dez. 2024.

ECYCLE. **LED: a lâmpada reciclável**. 2024. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/led-a-lampada-reciclavel/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

ELETSEG. **Reator externo galvanizado 220V para vapor de sódio metálico 250W**. *Eletseg*, 2025. Disponível em: <https://www.eletseg.com.br/produtos/reator-externo-galvanizado-220v-vapor-sodio-metalico-250w/>. Acesso em: 06 fev. 2025.

EXATI. **Iluminação pública de LED: tudo o que você precisa saber**. Blog Exati, 2022. Disponível em: <https://blog.exati.com.br/iluminacao-publica-de-led/>. Acesso em: 26 ago. 2025.

EXATI. **Mudanças na NBR 5101:2024**. Disponível em: https://www.associacaoabcip.com.br/_files/ugd/9d5550_742c662e5402413ebe8dad64d9b5f969.pdf. Acesso em: 21 jan. 2025.

FIXFER POSTES. **Braço curvo para luminária**. Fixfer Postes, 2025. Disponível em: <https://www.fixferpostes.com.br/braco-curvo-luminaria>. Acesso em: 06 fev. 2025.

HARDWARE CENTRAL. **Capítulo 04 - Lâmpadas a descarga de alta pressão com vapor de mercúrio ou vapor de sódio**. 8 dez. 2019. Disponível em: <https://www.hardwarecentral.net/single-post/2019/12/08/Cap-04-L%C3%A2mpadas-a-descarga-de-alta-press%C3%A3o-com-vapor-de-Merc%C3%BArio-ou-Vapor-de-S%C3%B3dio>. Acesso em: 21 dez. 2024.

HARDWARE CENTRAL. **Óptica: lâmpadas incandescentes**. 12 set. 2018. Disponível em: <https://www.hardwarecentral.net/single-post/2018/09/12/%C3%B3ptica-l%C3%A2mpadas-incandescentes>. Acesso em: 21 dez. 2024.

INMETRO. **Lâmpada de LED**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/inovacao/publicacoes/cartilhas/lampada-led/lampadaled.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.

IP MINAS. **A importância da iluminação pública para cidades inteligentes.** 2024. Disponível em: <https://www.ipminas.com.br/a-importancia-da-iluminacao-publica-para-cidades-inteligentes/>. Acesso em: 20 nov. 2024.

IP MINAS. **Vida útil de uma lâmpada.** 2022.

Disponível em: <https://www.ipminas.com.br/vida-util-de-uma-lampada/>. Acesso em: 20 nov. 2024, p. 01.

IW8 Indústria, Comércio e Representação Comercial Ltda. **Luminárias de Led para Postes de Iluminação Pública.** IW8. Disponível em: <https://www.iw8.com.br/produto/luminaria-de-led-para-poste-de-rua-iluminacao-publica.html> . Acesso em: 07 out. 2025.

LUTER LED. **Fator de depreciação: o que é e como analisar na iluminação.** 1 fev. 2022. Disponível em: <https://www.luterled.com.br/fator-de-depreciacao-o-que-e-e-como-analisar-na-iluminacao> . Acesso em: 4 jul. 2025.

MERCADO LIVRE. **Lâmpada Mista 220V 500W Direto na Rede Sem Reator Base E40.** Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3854872056-Impada-mista-220v-500w-direto-na-rede-sem-reator-base-e40-_JM?searchVariation=178345504348#is_advertising=true&searchVariation=178345504348&position=2&search_layout=grid&type=pad&tracking_id=a472a1ea-6c87-41bb-a383-a4cff63a2672&is_advertising=true&ad_domain=VQCATCORE_LST&ad_position=2&ad_click_id=OTUzZTQ3YmQtOGJiZC00YzY5LThlOTktYjQ1ZDY1ZTM4ZWJj. Acesso em: 22 dez. 2024a.

MERCADO LIVRE. **Lâmpada Philips Vapor Sódio Tubular 400W.** Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3526693775-Impada-philips-vapor-sodio-tubular-400w-_JM?searchVariation=179341375230#polycard_client=search-nordic&searchVariation=179341375230&position=12&search_layout=grid&type=item&tracking_id=b0963689-a9e9-4608-8841-fc8e1f404d8b. Acesso em: 22 dez. 2024b.

MERCADO LIVRE. **Lâmpada Vapor Mercúrio 400W HPL Philips Cor da Luz Branco Neutro.** Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/lampada-vapor-mercurio-400w-hpl-philips-cor-da-luz-branco-neutro/p/MLB28517053?pdp_filters=item_id%3A%20MLB3535146109&from=gshop&matl_tool=92309335&matl_word=&matl_source=bing&matl_campaign=MLB_ML_BING_AO_HOME%20%26%20INDUSTRY-ALL-ALL_X_PLA_ALLB_TXS_ALL&matl_campaign_id=382858298&matl_ad_group=HOME%20%26%20INDUSTRY&matl_match_type=e&matl_network=o&matl_device=c&matl_keyword=default&msclkid=f6705d2f3910e450113a475ac02260&utm_source=bing&utm_medium=cpc&utm_campaign=MLB_ML_BING_AO_HOME%20%26%20INDUSTRY-ALL-ALL_X_PLA_ALLB_TXS_ALL&utm_term=4581252655706219&utm_content=HOME%20%26%20INDUSTRY. Acesso em: 22 dez. 2024c.

MERCADO LIVRE. **Lâmpada Vapor Metálico Tubular HPI-T 400W Philips E40.** Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/lampada-vapor-metalico-tubular-hpi-t-400w-philips-e40/p/MLB23836693#polycard_client=search-

nordic&wid=MLB4495182334&sid=search&searchVariation=MLB23836693&position=3&search_layout=grid&type=product&tracking_id=8aa5cbcb-ec8e-44b3-956d-70fdb7a1f9aa. Acesso em: 22 dez. 2024d.

MERCADO LIVRE. **Luminária 150W LED SMD Pétala IP67 Bivolt Poste Externo Cor da Carcaça Preto Cor da Luz Branco Frio 85-285V**. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/luminaria-150w-led-smd-petala-ip67-bivolt-poste-externo-cor-da-carcaca-preto-cor-da-luz-branco-frio-85-285v/p/MLB26252662#polycard_client=search-nordic&wid=MLB3810712939&sid=search&searchVariation=MLB26252662&position=6&search_layout=grid&type=product&tracking_id=9d846941-12c5-4a65-b389-5cdc6d600102. Acesso em: 22 dez. 2024e.

MOZZINI, Marcos Henrique. **A iluminação pública no Brasil: história, desafios e possibilidades**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) — Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/2901>. Acesso em: 21 dez. 2024.

OUROLUX. **Ficha técnica: lâmpada vapor de sódio**. Disponível em: https://ourolux.com.br/media/sparsh/product_attachment/Ficha_Tecnica_L_MPADA_VAPOR_DE_S_DIO_03.24v4.pdf. Acesso em: 08 out. 2025.

OUROLUX. **Lâmpada Sódio Tubular 100 W E40**. Disponível em: https://ourolux.com.br/lampada-sodio-tubular-100w-e40.html?srsId=AfmBOooSogHsrTYdeTBXIOxXknSt6N9nNZhG7txn_sH2sCEUJu8TK2nU. Acesso em: 09 out. 2025.

PERDIGÃO, Larissa Martins de Freitas. **Estudo da viabilidade da substituição de lâmpadas convencionais pelas lâmpadas com tecnologia LED: estudo de caso**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2020. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2832/6/MONOGRRAFIA_Estudo_ViabilidadeSubstitui%C3%A7%C3%A3o.pdf. Acesso em: 3 jul. 2025.

PORTAL PALHOÇA. **Palhoça inicia a modernização da iluminação pública**. 2024. Disponível em: <https://www.portalphoca.com.br/noticia/variedades/palhoca-inicia-a-modernizacao-da-iluminacao-publica/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTO ANTÔNIO DE POSSE. **Contratação de empresa especializada para execução da manutenção do ativo de iluminação pública**. Santo Antônio de Posse, maio 2018. Disponível em: <https://pmsaposse.sp.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/contratacao-de-empresa-especializada-para-execucao-da-manutencao-do-ativo-da-iluminacao-publica1.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

PUCCINI, Abelardo Lima. **Matemática financeira objetiva e aplicada**. 9ª ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

QLuz. **Facebook**, 20 jun. 2022. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/1DkBgVG5gd/>?. Acesso em: 06 fev. 2025a.

QLuz. **Facebook**, 3 dez. 2024. Disponível em: <https://www.facebook.com/share/p/1JXAGQhvee/>. Acesso em: 20 ago. 2025b.

QLUZ PALHOÇA. **Altura dos postes na iluminação pública**. Disponível em: <https://www.qluzpalhoca.com.br/altura-dos-postes/>. Acesso em: 22 ago. 2025a.

QLUZ PALHOÇA. **Como é definida a distância entre os postes de iluminação pública**. Disponível em: <https://www.qluzpalhoca.com.br/como-e-definida-a-distancia-entre-os-postes-de-iluminacao-publica/>. Acesso em: 22 ago. 2025b.

ROSA, Lucas Loures. **Aspectos luminotécnicos e da qualidade da energia de lâmpadas com tecnologia LED, fluorescente e vapor de mercúrio. 2021**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Universidade de Goiás, 2021. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/a7ec6b15-d6b2-49c7-bcd5-d22145fc908e>. Acesso em: 21 dez. 2024

ROSITO, Luciano Haas. **Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil**. 2009. Disponível em: https://www.fne.org.br/upload/documentos/projetos/iluminacao-publica/desenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf. Acesso em: 21 dez. 2024.

SALES, Roberto. **Luminárias a LED na iluminação pública: características técnicas e viabilidade econômica**. 2012. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/06/Ed76_fasc_iluminacao_cap5.pdf.

SANLUME ILUMINAÇÃO. **Braço cisne em aço galvanizado para luminária pública**. Disponível em: <https://sanlume.com.br/produtos/luminaria-publica/braco-cisne-reto-sapata-para-luminaria-publica>. Acesso em: 22 ago. 2025.

SCHULZ, Willy. **Iluminação Pública**. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar. 2016. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/iluminacao-publica.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SILVEIRA *et al.* **Benefícios ambientais e energéticos da utilização da tecnologia LED em sistema de iluminação pública**. 2010. Artigo — Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São Paulo. Disponível em: <https://silo.tips/download/beneficios-ambientais-e-energeticos-da-utilizaaao-da-tecnologia-led-em-sistema-de>. Acesso em: 20 dez. 2024.

SSE GRIDTECH. Manual de Instalação e Operação – Solução Remota SIP7. Rev. 1. [S.l.]: SSE Gridtech, 2025.

TEIXEIRA, Ingrid; RIVERA, Ricardo; REIFF, Luis Otávio. **Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore – benefícios e oportunidades para o país**. Artigo, Rio

de Janeiro, 2016. Disponível em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/9576>. Acesso em: 5 fev. 2025

XIE *et al.* Highly efficient white-light-emitting diodes fabricated with short wave length yellow oxynitride phosphors. *Applied Physics Letters*, v. 88, n. 6, 2006.

YAHII. **IPCA (IBGE) – Portal dos Índices**. Disponível em:

<https://www.yahii.com.br/ipca.html>. Acesso em: 09 out. 2025.

ZAGONEL. **Ficha técnica High Lux ZL69 – Rev. 06**. Disponível em:

https://api.zagonel.com.br/uploads/Ficha_T%C3%A9cnica_High_Lux_ZL69_-_Rev._06.pdf. Acesso em: 08 out. 2025.

ZAGONEL. **Luminária pública High Lux**.

Disponível em: <https://www.zagonel.com.br/iluminacao/luminaria-publica-high-lux/>.

Acesso em: 5 jul. 2025.

APÊNDICE A – FLUXOS DE CAIXA – ANÁLISE ADICIONAL

Tabela 14 – Fluxo de caixa do sistema VS – análise adicional

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Custo com o Consumo de E. E. (R\$)	Custo de Manutenção (R\$)
0	----	----	----
2026	----	4.465,63	3.855,60
2027	----	4.734,91	4.076,14
2028	----	5.020,42	4.309,30
2029	----	5.323,15	4.555,79
2030	----	5.644,14	4.816,38
2031	----	5.984,48	5.091,88
2032	----	6.345,34	5.383,13
2033	----	6.727,97	5.691,05
2034	----	7.133,67	6.016,57
2035	----	7.563,83	6.360,72
2036	----	8.019,92	6.724,55
2037	----	8.503,53	7.109,20
2038	----	9.016,29	7.515,85
2039	----	9.559,97	7.945,75
2040	----	10.136,44	8.400,25
2041	----	10.747,66	8.880,74
2042	----	11.395,75	9.388,72
2043	----	12.082,91	9.925,76
2044	----	12.811,51	10.493,51
2045	----	13.584,04	11.093,74
2046	----	14.403,16	11.728,30
2047	----	15.271,67	12.399,16
2048	----	16.192,56	13.108,39
2049	----	17.168,97	13.858,19
2050	----	18.204,26	14.650,88

Fonte: Elaboração própria (2025).

Tabela 15 – Fluxo de caixa do sistema LED – análise adicional

Ano	Investimento Inicial (R\$)	Custo com o Consumo de E. E. (R\$)	Custo de Manutenção (R\$)	Custo Total (R\$)
0	31.250,00	-----	-----	31.250,00
2026	-----	2.679,38	1.620,00	4.299,38
2027	-----	2.840,94	1.712,66	4.553,61
2028	-----	3.012,25	1.810,63	4.822,88
2029	-----	3.193,89	1.914,20	5.108,09
2030	-----	3.386,48	2.023,69	5.410,17
2031	-----	3.590,69	2.139,44	5.730,13
2032	-----	3.807,21	2.261,82	6.069,03
2033	-----	4.036,78	2.391,20	6.427,98
2034	-----	4.280,20	2.527,97	6.808,17
2035	-----	4.538,30	2.672,57	7.210,87
2036	-----	4.811,95	2.825,44	7.637,40
2037	-----	5.102,12	2.987,06	8.089,17
2038	-----	5.409,77	3.157,92	8.567,69
2039	-----	5.735,98	3.338,55	9.074,53
2040	-----	6.081,86	3.529,52	9.611,38
2041	-----	6.448,60	3.731,40	10.180,00
2042	-----	6.837,45	3.944,84	10.782,29
2043	-----	7.249,75	4.170,49	11.420,23
2044	-----	7.686,91	4.409,04	12.095,94
2045	-----	8.150,43	4.661,23	12.811,66
2046	-----	8.641,90	4.927,86	13.569,75
2047	-----	9.163,00	5.209,73	14.372,73
2048	-----	9.715,53	5.507,73	15.223,26
2049	-----	10.301,38	5.822,77	16.124,15
2050	-----	10.922,55	6.155,83	17.078,38

Fonte: Elaboração própria (2025).