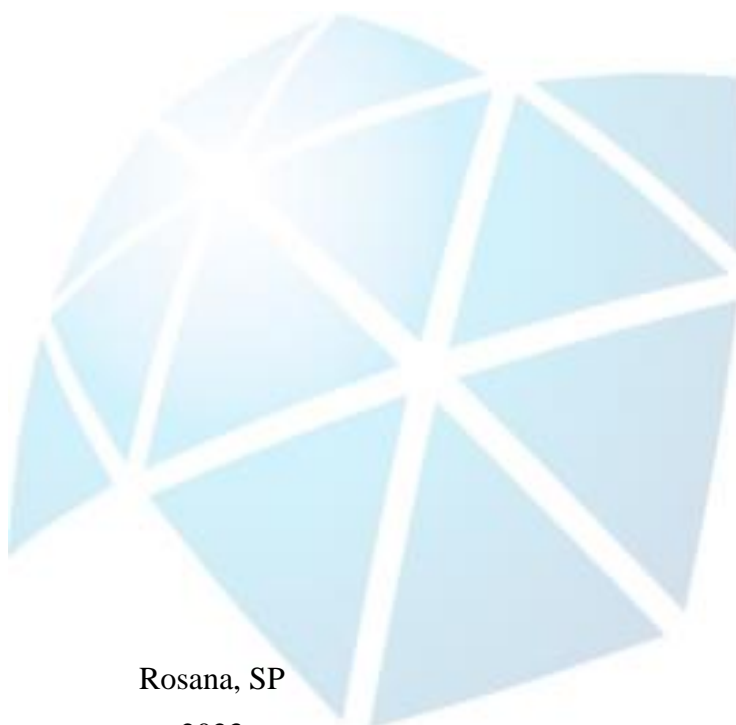


**VITOR GHIRALDELO SILVEIRA**

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À ILUMINAÇÃO PÚBLICA  
PARA A CIDADE DE ILHA SOLTEIRA**



Rosana, SP

2023



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Faculdade de Engenharia e Ciências  
Câmpus de Rosana

**Vitor Ghiraldelo Silveira**

**ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA APLICADA À ILUMINAÇÃO PÚBLICA  
PARA A CIDADE DE ILHA SOLTEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenadoria de Curso de Engenharia de Energia  
do Campus de Rosana, Universidade Estadual  
Paulista, como parte dos requisitos para obtenção  
do diploma de Graduação em Engenharia de  
Energia.

Orientador(a): José Francisco Resende da Silva

S587e

Silveira, Vitor Ghiraldelo

Estudo de eficiência energética aplicada à iluminação pública para a cidade de Ilha Solteira

/ Vitor Ghiraldelo Silveira. -- Rosana, 2023

43 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana

Orientador: José Francisco Resende da Silva

1. Iluminação pública. 2. Eficiência energética. 3. Lâmpadas. 4. LED. 5. Viabilidade. I. Título.

**VITOR GHIRALDELO SILVEIRA**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva  
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira  
UNESP-Rosana

Prof. Dr. Leonardo Lataro Paim  
UNESP-Rosana

## AGRADECIMENTOS

É com profunda gratidão que dedico este momento a expressar minha apreciação a todas as pessoas que tornaram possível a conclusão bem-sucedida deste Trabalho de Conclusão de Curso. Esta jornada acadêmica foi marcada por desafios e conquistas, e não teria sido possível sem o apoio e o incentivo de inúmeras pessoas.

Em primeiro lugar, quero expressar minha mais sincera gratidão aos meus pais. Seu apoio incondicional e crença em minha educação foram a base que sustentou toda a minha jornada acadêmica. Obrigado por me permitirem estudar fora, pelo amor e apoio inabaláveis que me deram.

Também não posso deixar de agradecer aos meus irmãos, que estiveram ao meu lado ao longo desse percurso. Sua presença e incentivo foram fundamentais para a minha motivação.

Um agradecimento especial vai para os meus professores, que desempenharam um papel essencial na minha formação. Suas orientações, paciência e conhecimento enriqueceram minha experiência acadêmica. Cada ensinamento e conselho que recebi contribuiu para o meu crescimento como estudante. Quero também expressar minha mais profunda gratidão ao meu orientador, José Francisco Resende. Sua orientação e comprometimento foram fundamentais para o sucesso deste Trabalho de Conclusão de Curso. Agradeço por ter sido um guia excepcional ao longo desta jornada. Seu apoio foi essencial para moldar este trabalho e a minha formação como estudante.

Meus amigos, que conheci durante essa trajetória na faculdade, também merecem um lugar de destaque em meus agradecimentos. Suas amizades tornaram os anos de estudo mais memoráveis, cheios de aprendizado e momentos especiais.

Agradeço à República Casa das Primas e às meninas por me acolherem e durante minha vida estudantil fora de casa. Por fim, quero expressar minha gratidão à República Theta Lambida, fundada em 2022. Participar da criação e desenvolvimento desta república foi uma experiência incrível que enriqueceu minha vida universitária.

Cada um de vocês contribuiu de maneira única para o meu crescimento pessoal e acadêmico, e por isso sou profundamente grato. Este TCC representa não apenas meu esforço, mas também o apoio e o amor de todos vocês. Obrigado do fundo do meu coração.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Faculdade de Engenharia e Ciências  
Câmpus de Rosana

"Não tenha medo da perfeição.  
Você nunca irá alcançá-la."

Salvador Dali

## RESUMO

Esse trabalho tem como objetivo um estudo da eficiência aplicada à iluminação pública na avenida Brasil Norte e Sul de Ilha Solteira, São Paulo. A pesquisa trouxe inúmeras melhorias para a cidade. Em primeiro lugar, houve uma notável melhoria na eficiência energética, uma vez que os LEDs consomem consideravelmente menos energia, resultando em uma redução nos custos de eletricidade para a cidade. Além disso, os LEDs têm uma vida útil muito mais longa, o que implica em menos manutenção e substituições frequentes, economizando recursos e reduzindo os custos de manutenção. Outro aspecto fundamental é a qualidade da iluminação. Os LEDs proporcionam uma iluminação de alta qualidade, com cores mais naturais e uma distribuição de luz mais uniforme. Isso não apenas torna as avenidas mais seguras para o tráfego durante a noite, mas também melhora a visibilidade geral. Do ponto de vista ambiental, essa mudança tem um impacto positivo ao reduzir a pegada de carbono da cidade devido à menor demanda de energia. Isso não só contribui para a luta contra as mudanças climáticas, mas também promove uma cidade mais sustentável. A longo prazo, a troca para LEDs também traz benefícios financeiros, uma vez que os custos iniciais de investimento são superados pelos benefícios econômicos. O dinheiro economizado em consumo de energia e manutenção pode ser direcionado para outros projetos de melhoria da infraestrutura da cidade. Em suma, a troca de luminárias de vapor metálico por LEDs na avenida Brasil Norte e Sul de Ilha Solteira é um investimento inteligente que torna a cidade mais eficiente, segura e sustentável.

**Palavras-Chave:** Eficiência energética, Lâmpadas, LED, Iluminação pública, Viabilidade.

## ABSTRACT

This work aims to study the efficiency applied to public lighting on the North and South avenues of Ilha Solteira, São Paulo. The research brought numerous improvements to the city. Initially, there was a notable improvement in energy efficiency, as LEDs consume considerably less energy, resulting in a reduction in electricity costs for the city. Furthermore, LEDs have a much longer lifespan, which means less maintenance and frequent replacements, saving resources and reducing maintenance costs. Another fundamental aspect is the quality of lighting. LEDs provide high-quality lighting, with more natural cores and a more uniform light distribution. This not only makes the avenues safer for traffic at night, but also improves overall visibility. From an environmental perspective, this has a positive impact by reducing the change in the city's carbon footprint due to lower energy demand. This not only contributes to the fight against climate change, but also promotes a more sustainable city. In the long term, switching to LEDs also brings financial benefits, as the initial investment costs are outweighed by the economic benefits. The money saved on energy consumption and maintenance can be directed to other projects to improve the city's infrastructure. In short, the exchange of metallic vapor lamps for LEDs on the North and South avenues of Ilha Solteira is a smart investment that makes the city more efficient, safe and sustainable.

Keywords: Energy efficiency, Lamps, LED, Public lighting, Viability.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figure 1- Ilustração dos componentes de iluminação pública. Figure. ....	4
Figure 2- Iluminância vs. Luminância .....	8
Figure 3- Comparação de temperaturas.....	8
Figure 4- Destaque da avenida Norte e Sul Ilha Solteira .....	19

## LISTA DE TABELA

Tabela 1- Classes de iluminação para cada tipo de via. ....	12
Tabela 2- Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação. ....	12
Tabela 3- Classes de iluminação para cada tipo de via. ....	13
Tabela 4- Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação. ....	13
Tabela 5- Comparativa de potência. ....	19
Tabela 6- Comparativa de potência. ....	20
Tabela 7- Orçamento. ....	22
Tabela 8- Custo da mão de obra. ....	22
Tabela 9- Custo das LEDs e mão de obra. ....	22
Tabela 10- Custo total para a substituição das luminárias multivapor metálico. ....	23
Tabela 11- Custo de anual para problemas dentro da garantia. ....	23
Tabela 12- Custo de anual para problemas fora da garantia. ....	24
Tabela 13- Indicadores de viabilidade financeira para cada fornecedor. ....	25

## LISTA DE EQUAÇÕES

(1) Luminância .....	7
(2) Iluminância .....	8
(3) Fluxo luminoso .....	9
(4) Eficiência luminosa .....	10
(5) Fator de potência .....	10
(6) Consumo mês multivapor metálico .....	20
(7) Consumo mês LED.....	20
(8) Redução de consumo .....	20
(9) Economia anual .....	21
(10) VPL anual .....	24
(11) Índice de lucratividade.....	25

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Conserve	Programa de Conservação de Energia do Setor Industrial;
PME	Programa de Mobilização Energética;
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem;
GEE	Gases de Efeito Estufa;
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;
RELUZ	Subprograma Interno da PROCEL que visa a economia de energia no setor de iluminação pública;
LED	Diodo Emissor de Luz;
IP	Iluminação pública;
BNDES	Conforme dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social;
TIR	Taxa Interna de Retorno;
IRC	Índice de reprodução de cor
FP	Fator de potência
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índice da Construção Civil
CIENSP	Consortio intermunicipal do extremo noroeste de São Paulo
VLP	Valor presente Líquido
IL	Índice de lucratividade

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA .....	4
2.1	COMPONENTES DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO .....	4
2.2	MODELOS DE LÂMPADAS .....	5
2.3	CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ILUMINAÇÃO .....	7
2.4	ILUMINAÇÃO PÚBLICA E EMISSÃO DE CO <sub>2</sub> .....	11
2.5	NORMA TÉCNICA 5101 – PROCEDIMENTOS .....	11
2.6	COMPARAÇÃO DA LÂMPADA LED E MULTIVAPOR METÁLICO .....	13
3	OBJETIVOS .....	17
3.1	OBJETIVO GERAL .....	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
4	METODOLOGIA .....	18
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	19
5.1	ILUMINAÇÃO PUBLICA .....	19
5.2	CÁLCULOS DAS DESPESAS .....	22
5.3	VIABILIDADE FINANCEIRA .....	24
6	CONCLUSÃO .....	27
7	PERSPECTIVAS FUTURAS .....	28
	REFERÊNCIAS .....	29

## 1 INTRODUÇÃO

Os primeiros métodos de iluminação vieram com a chegada dos europeus na época de Brasil colônia, com o uso de lamparinas. O São Paulo foi uma das primeiras cidades a introduzir iluminação a gás em 1854.

Com o avanço do século XX, a eletrificação ganhou força, e as cidades brasileiras começaram a adotar a iluminação elétrica. Campos no Rio de Janeiro, em 1883, foi pioneira nesse processo. Ao longo do século, as lâmpadas de vapor de mercúrio e de sódio de alta pressão foram introduzidas, proporcionando maior eficiência luminosa [1].

A expansão da iluminação pública abrangeu não apenas áreas urbanas, mas também suburbanas e rurais. A infraestrutura de iluminação tornou-se vital no planejamento urbano. Nas últimas décadas, esforços de modernização foram implementados, introduzindo tecnologias de iluminação LED, mais eficientes energeticamente.

Atualmente, muitas cidades brasileiras buscam a sustentabilidade, adotando sistemas inteligentes de iluminação controlados remotamente. A história da iluminação pública no Brasil é uma narrativa de evolução, passando de fontes tradicionais para tecnologias avançadas, com ênfase crescente na eficiência e sustentabilidade.

A preocupação com a eficiência energética no Brasil tomou mais força nos anos 70 devido à crise do petróleo, com a criação do Conserve (Programa de Conservação de Energia do Setor Industrial) em 1981, o programa visava a ajuda financeira para o desenvolvimento de produtos e processos eficientes nas indústrias. Porém, por conta das crises financeiras, o programa acabou sendo extinto. Com o tempo, outros programas acabaram sendo criados para tentar melhorar a eficiência energética no país, como o PME (Programa de Mobilização Energética) e o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem) [2].

Ao utilizar a eficiência energética, é possível reduzir os gastos, e desta forma impulsionar a economia local, gerar economia, reduzir a necessidade da construção de novas usinas, além de contribuir para redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e outros poluentes, diminuindo os problemas respiratórios e contribuindo para o meio ambiente. Para que isso ocorra é necessário investir em ideias sustentáveis e equipamentos mais eficientes.

Dessa forma, a eficiência energética está sendo aplicada na diminuição do consumo de eletricidade na iluminação pública (IP) nas cidades do Brasil por meio do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), que possui um subprograma chamado RELUZ, que incentiva e investe em projetos de eficiência energética na IP, substituindo equipamentos com tecnologias menos eficientes por outras de maior eficiência [3]. Um exemplo disso seria a utilização das Luminárias LED, que possuem mais eficiência do que as lâmpadas convencionais, que acabam gerando energia térmica e desperdiçando energia. A IP continua se desenvolvendo e emprega um papel essencial para a população, desde a segurança, visibilidade, bem-estar social, ou mesmo o cartão de visita para cidades turísticas valorizando edifícios e obras públicas [4].

O emprego da tecnologia LED na IP pode contribuir significativamente na melhoria da qualidade do serviço e no aumento de sua eficiência energética, o que se reflete numa redução dos custos de energia do município. Além dos menores gastos, as Luminárias LED têm uma vida útil consideravelmente maior do que outros tipos de lâmpadas e permitem uma série de controles de maneira remota, levando também a uma redução nos custos de operação e manutenção e possibilitando integração usando o conceito de Cidades Inteligentes [3].

A iluminação eficiente é uma prioridade crescente para otimizar o uso de energia e melhorar a qualidade de vida nas cidades. Tecnologias modernas oferecem soluções notáveis para IP e privada, com uma série de benefícios significativos.

A tecnologia de alta eficiência luminosa é uma revolução na indústria de iluminação. Essas fontes de luz proporcionam uma notável longevidade, com durabilidade estendida de até 90 mil horas. Além disso, mantêm um fluxo luminoso constante e um espectro de iluminação consistente ao longo de sua vida útil.

Outra vantagem é a versatilidade na escolha da temperatura da cor, permitindo opções de luz branca quente, neutra e fria, adaptando-se a diferentes cenários e necessidades. A qualidade da reprodução de cores também é notável, proporcionando maior segurança, conforto e realce da estética urbana.

Uma mudança para essa tecnologia pode resultar em uma redução significativa nos custos de energia e manutenção. Além disso, a possibilidade de tele gerenciamento em tempo real e controle individualizado em cada ponto de luz oferece um novo nível de eficiência e gerenciamento preciso.

A dimerização, ou seja, o controle da intensidade de iluminação, é uma funcionalidade fácil e rápida de implementar, permitindo ajustes de acordo com as necessidades específicas. Isso não apenas economiza energia, mas também contribui para uma atmosfera adaptável.

Embora esses benefícios sejam impressionantes, é importante reconhecer que a principal desvantagem é o custo inicial. A implantação dessas tecnologias avançadas pode requerer um investimento inicial maior. No entanto, é crucial avaliar esse custo em relação aos benefícios a longo prazo, como economia de energia e manutenção.

De fato, estudos têm demonstrado uma economia de energia considerável, que pode variar entre 40 a 60% após a modernização, dependendo da tecnologia que está sendo substituída [5]. Em um contexto de busca por sustentabilidade e eficiência energética, essa mudança representa um passo significativo em direção a um futuro mais inteligente e responsável.

Conforme dados do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o sistema de IP no Brasil engloba aproximadamente 18 milhões de pontos de luz, correspondendo a aproximadamente 4,3% do consumo total de energia elétrica no país [5]. Os custos associados a essa infraestrutura absorvem entre 3% e 5% dos recursos financeiros dos municípios, reforçando a necessidade de promover a adoção de tecnologias de iluminação mais eficazes [6].

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo analisar a redução do consumo de energia elétrica na IP de uma rua na cidade de Ilha Solteira, São Paulo. A substituição das luminárias tradicionais, como as de vapor de sódio e mercúrio, por luminárias mais eficientes do tipo LED será investigada, com o intuito de avaliar os impactos dessa mudança na eficiência energética e nos custos locais.

A cidade de Ilha Solteira é conhecida por abrigar a Usina Hidrelétrica Engenheiro Souza Dias, destacando a importância da energia para a região. Como parte essencial da infraestrutura da cidade, a IP não apenas desempenha um papel vital na segurança e no conforto dos cidadãos, mas também contribui para a estética e o desenvolvimento local.

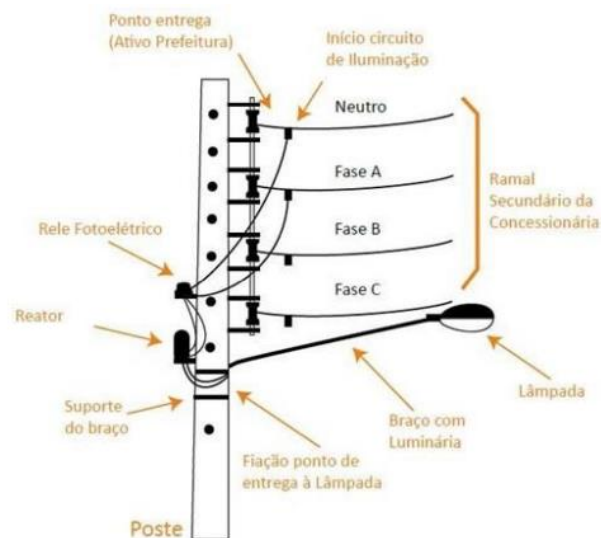
A discussão subsequente explorará a relevância da eficiência energética na IP, examinando os benefícios da tecnologia LED e como sua implementação pode ser uma estratégia eficaz para reduzir custos e melhorar a sustentabilidade nas cidades brasileiras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

### 2.1 COMPONENTES DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Um sistema de IP, seja para uso residencial, comercial ou público, é composto por vários componentes essenciais que trabalham juntos para fornecer luz [7]. A Figura 1 tem como objetivo ilustrar o funcionamento do sistema de IP.

Figure 1- Ilustração dos componentes de iluminação pública.



Fonte: Pederneiras [8].

A fonte de luz, seja na forma de uma lâmpada individual, um conjunto delas ou uma luminária completa, desempenha o papel crucial de emitir luz. Essas lâmpadas podem variar em tecnologia, abrangendo desde as tradicionais incandescentes até as mais modernas de LED, fluorescentes ou de vapor de sódio.

As luminárias, por sua vez, atuam como dispositivos protetores, abrigo e direcionando a luz proveniente da fonte. Elas podem ser fixadas em tetos, paredes, postes ou suspensas como luminárias pendentes, proporcionando flexibilidade no design de iluminação.

Refletores e difusores desempenham um papel importante no controle da luz, redirecionando ou suavizando sua intensidade e direção conforme necessário. Essa capacidade é essencial para atender às diversas demandas de iluminação em diferentes espaços.

Os sistemas de controle oferecem uma gestão versátil da iluminação, permitindo ajustes na intensidade, ligar/desligar e até mesmo alterar a cor da luz em sistemas RGB. Controles manuais, como interruptores, e automáticos, como sensores de movimento e temporizadores, são incorporados para maior eficiência, incluindo integração em sistemas de automação residencial.

O cabeamento elétrico conecta todos os elementos do sistema, incluindo a fonte de energia e os componentes de iluminação, distribuindo eletricidade para lâmpadas e luminárias. A fonte de energia

pode ser proveniente da rede elétrica pública, baterias, energia solar, geradores ou outras fontes de energia, garantindo o funcionamento contínuo do sistema.

Dispositivos de proteção, como disjuntores e fusíveis, são incorporados para salvaguardar o sistema contra sobrecargas elétricas e curtos-circuitos. Além disso, suportes e estruturas são utilizados para fixar luminárias e outros componentes em locais específicos, como postes, tetos, paredes ou superfícies de iluminação decorativa.

No contexto de iluminação pública, os reatores desempenham um papel crucial. Esses dispositivos elétricos regulam e gerenciam o funcionamento de lâmpadas utilizadas em espaços públicos, como aquelas de vapor de sódio de alta pressão e vapor de mercúrio, comuns em postes de iluminação em vias públicas, estradas, praças e outras áreas de acesso público [9].

## 2.2 MODELOS DE LÂMPADAS

Desde o início do uso da eletricidade para alimentação do sistema de iluminação pública houve diversas mudanças nas tecnologias usadas, especialmente no que se diz respeito à evolução das lâmpadas [9]. A escolha do tipo de lâmpada é um aspecto fundamental na IP, uma vez que influencia não apenas a eficiência luminosa, mas também o consumo de energia e a durabilidade do sistema. A seguir, as lâmpadas mais utilizadas no sistema de IP foram citadas.

As lâmpadas de vapor de sódio, são conhecidas por emitirem uma luz amarela e são frequentemente empregadas em aplicações de iluminação de área, como estacionamentos e sistemas de segurança. Destacam-se por sua eficiência energética superior quando comparadas às lâmpadas de alta pressão, embora ainda sejam menos eficientes em comparação com as modernas lâmpadas de LED [10].

Figura – Luminária vapor sódio.



Fonte: Philips [11].

Já lâmpadas de vapor de mercúrio eram comuns no passado, mas estão sendo gradualmente substituídas por tecnologias mais eficientes. Elas emitem uma luz azulada e consomem mais energia em relação às lâmpadas de LED [10]. Essas lâmpadas possuem princípio de funcionamento similar às

demais lâmpadas de descarga, em que, a partir da descarga elétrica em um tubo contendo um gás, a luz é produzida. A única diferença é o tipo de gás utilizado em sua composição, que, neste caso, é formado por iodetos metálicos [12].

Figura – Luminária vapor mercúrio.



Fonte: Philips [13].

As lâmpadas de LED estão se tornando a escolha predominante na IP devido à sua eficiência energética, longa vida útil e controle ajustável. Elas estão disponíveis em várias cores e temperaturas de cor, permitindo que sejam adaptadas para diferentes aplicações, como iluminação de ruas, áreas públicas, iluminação decorativa e muito mais. Além disso, as lâmpadas de LED podem ser facilmente integradas em sistemas de iluminação inteligente [9]. Os diodos emissores de luz, ou LEDs, são dispositivos semicondutores que transformam corrente elétrica em luz visível e têm sido amplamente desenvolvidos, oferecendo uma alternativa viável à iluminação convencional devido às suas diversas vantagens [14].

Figura – Luminária LED.



Fonte: Philips [15].

Lâmpadas de vapor metálico são usadas em locais que requerem uma luz branca brilhante, como estádios, campos esportivos e IP em áreas comerciais. Elas têm uma boa eficiência luminosa e uma vida útil razoável [9].

Figura – Luminária vapor metálico.



Fonte: Philips [16].

### 2.3 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ILUMINAÇÃO

Luminância:

A luminância se refere à quantidade de luz visível que uma superfície reflete em uma direção específica. É medida em candelas por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) e é usada para descrever o brilho de uma superfície [9].

$$L = \frac{I}{S} * \cos a \quad (1)$$

Onde:

- $L$  ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) é a luminância em candela por metro quadrado.
- $I$  (cd) é a intensidade luminosa da fonte de luz em candela.
- $S$  (m) é a distância entre a fonte de luz e a superfície em metros.
- $\cos(a)$  é o cosseno do ângulo sob o qual a luz atinge a superfície.

Iluminância:

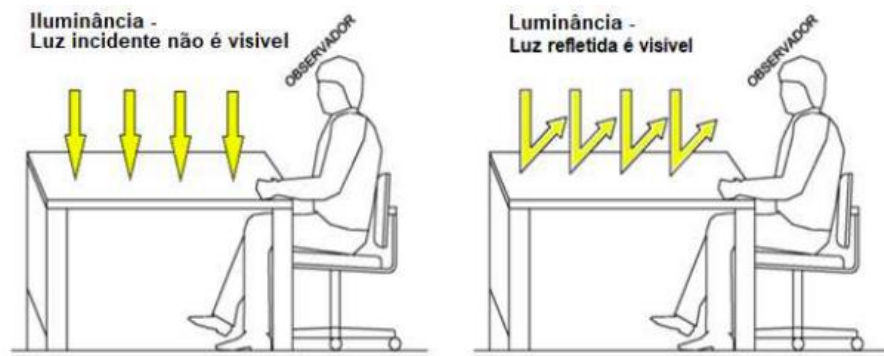
A iluminância é a quantidade de luz que incide sobre uma superfície e é medida em lux (lx) ou footcandles (fc). Ela descreve o nível de iluminação em um determinado local e é importante para garantir que a quantidade certa de luz seja fornecida para atender às necessidades de um espaço [9].

$$E = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Onde:

- E é a iluminância em lux (lx).
- F é o fluxo luminoso em lúmens (lm) emitido ou incidente sobre a superfície.
- A é a área da superfície em metros quadrados ( $m^2$ ).

Figure 2- Iluminância vs. Luminância



Fonte: VIEIRA [10].

Temperatura de Cor:

A temperatura de cor descreve a cor da luz emitida por uma fonte de luz, e é medida em graus Kelvin (K). As fontes de luz com temperatura de cor mais baixa (por exemplo, 2700K) emitem uma luz mais quente (amarelada), enquanto fontes com temperatura de cor mais alta (por exemplo, 5000K) emitem uma luz mais fria (azulada) [9].

Figure 3- Comparação de temperaturas.



Fonte: DIMENSIONAL [17].

Índice de Reprodução de Cor (IRC ou CRI):

O IRC é uma medida da capacidade de uma fonte de luz em reproduzir as cores de forma precisa em comparação com a luz natural. Quanto mais alto o IRC (escala de 0 a 100), melhor a reprodução de cores. Uma alta pontuação é desejável em ambientes onde a reprodução de cores é importante, como lojas e locais de trabalho [9].

Distribuição de Luz:

A distribuição de luz descreve como a luz é projetada e direcionada no espaço. Isso envolve a escolha de luminárias e dispositivos que espalham a luz uniformemente ou a direcionam de forma específica para atender às necessidades de iluminação do ambiente.

Fluxo luminoso:

O fluxo luminoso ( $\Phi$ ) é quantificado em lúmens (lm) e pode ser calculado usando a seguinte equação:

$$\Phi \text{ (lúmens)} = \text{Iluminância (lux)} * \text{área (metros quadrados)} \quad (3)$$

Onde:

- Iluminância (lux) é a quantidade de luz incidente por unidade de área.
- Área (metros quadrados) é a superfície que está sendo iluminada.

Essa equação permite calcular o fluxo luminoso com base na iluminância, que mede a quantidade de luz que atinge uma superfície específica. É uma maneira de determinar a quantidade de

luz que uma lâmpada ou luminária está emitindo em um espaço, levando em consideração a área que está sendo iluminada [9].

Eficiência Luminosa:

A eficiência luminosa é uma medida que descreve a eficiência com que uma fonte de luz converte energia elétrica em luz visível. Ela é expressa em lúmens por watt (lm/W) e indica quantos lúmens de luz visível uma fonte de luz emite por unidade de potência consumida (watt) [9].

$$Eficiencia\ luminosa \left( \frac{lm}{W} \right) = \frac{Fluxo\ luminoso(lm)}{Potência\ elétrica\ consumida\ (W)} \quad (4)$$

Onde:

- Eficiência Luminosa (lm/W) é a eficiência da fonte de luz em lúmens por watt.
- Fluxo Luminoso (lm) é a quantidade total de luz visível emitida pela fonte de luz.
- Potência Elétrica Consumida (W) é a quantidade de energia elétrica consumida pela fonte de luz.

O fator de potência (FP) é uma medida que descreve a eficiência com que a energia elétrica é convertida em trabalho útil em um sistema elétrico. Ele é uma relação entre a potência ativa (também conhecida como potência real) e a potência aparente em um circuito elétrico. O fator de potência é expresso como um número entre 0 e 1 ou como uma porcentagem [9]. O fator de potência é definido da seguinte forma:

$$Fator\ de\ potência\ (FP) = \frac{Potência\ ativa\ (P)}{Potência\ aparente\ (S)} \quad (5)$$

Onde:

- Potência aparente (VA) é a quantidade de energia elétrica que flui em um circuito elétrico medida em volt-ampères.
- Potência ativa (W) é a potência aparente que realiza trabalho útil medida em watts.
- Potência reativa (VAR) é a parte da potência aparente que não realiza trabalho útil medida em volt-ampères reativos.

O FP é um número entre 0 e 1. Um fator de potência de 1 (ou 100%) indica que toda a energia elétrica está sendo convertida em trabalho útil (potência ativa), enquanto um fator de potência menor que 1 indica que parte da energia está sendo desperdiçada na forma de potência reativa.

Vida útil:

Vida útil são as horas decorrido quando se atinge 30 % de redução na quantidade de luz inicial, no conjunto de lâmpadas ensaiadas [9].

## **2.4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA E EMISSÃO DE CO<sub>2</sub>**

A IP desempenha um papel fundamental nas cidades e áreas urbanas, melhorando a segurança, a orientação e a qualidade de vida dos cidadãos. No entanto, a IP também está associada a emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e ao consumo de energia, fatores que podem contribuir para a poluição e as mudanças climáticas.

A escolha da fonte de luz na IP é crucial para determinar seu impacto ambiental. Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e vapor de mercúrio, que são comuns em sistemas de IP mais antigos, são conhecidas por serem menos eficientes em termos de energia. Essas lâmpadas consomem mais eletricidade para produzir uma quantidade dada de luz, o que resulta em maiores emissões de CO<sub>2</sub> em relação a fontes de luz mais eficientes, como as lâmpadas de LED [18].

A substituição de lâmpadas mais antigas por lâmpadas de LED é uma maneira eficaz de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à IP. As lâmpadas de LED são altamente eficientes em termos de energia e produzem menos calor residual, o que significa que menos eletricidade é desperdiçada durante a produção de luz. Além disso, as lâmpadas de LED têm uma vida útil mais longa, o que reduz a necessidade de substituição frequente e o desperdício de recursos.

Além da escolha da fonte de luz, o tempo de funcionamento das luzes de IP também desempenha um papel importante nas emissões de CO<sub>2</sub>. Se as luzes ficam acesas durante toda a noite, em áreas onde a iluminação contínua não é necessária, isso resulta em um consumo desnecessário de energia e, conseqüentemente, em emissões de CO<sub>2</sub> adicionais. O uso de sistemas de controle, como sensores de movimento e temporizadores, pode ajudar a reduzir o desperdício de energia, garantindo que as luzes sejam acionadas apenas quando necessário.

## **2.5 NORMA TÉCNICA 5101 – PROCEDIMENTOS**

A norma regulatória ABNT NBR 5101, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em sua edição de 2018 tem como o objetivo estabelecer os requisitos para a iluminação de vias públicas, propiciando segurança aos tráfegos de pedestres e de veículos. A qualidade

da iluminação deve ser avaliada com base na distribuição da luz no ambiente de forma natural e uniforme, evitando, assim, a presença de áreas escuras ao longo das vias [19]. Então para saber o tipo de iluminação que será utilizada para essas avenidas, é preciso entender o tipo de via em que elas se enquadram. Dessa forma, é preciso analisar os quadros abaixo.

Tabela 1- Classes de iluminação para cada tipo de via.

<b>Descrição da via</b>	<b>Classe de iluminação</b>
Vias de trânsito rápido: vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido geral; Auto-estradas Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio	V1 V2
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado Volume de tráfego intenso Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V2 V3 V4
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial Volume de tráfego médio Volume de tráfego leve	V4 V5

Fonte: Norma Brasileira [4].

Tabela 2- Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.

<b>Classe de iluminação</b>	Iluminância média mínima $E_{med,min}$ <i>lux</i>	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: Norma Brasileira [4].

Tabela 3- Classes de iluminação para cada tipo de via.

<b>Descrição da via</b>	<b>Classe de iluminação</b>
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 de bairros residenciais)	P4

Fonte: Norma Brasileira [4].

Tabela 4- Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação.

<b>Classe de iluminação</b>	<b>Iluminância horizontal média <math>E_{med}</math></b> <i>lux</i>	<b>Fator de uniformidade mínimo</b> $U = E_{min}/E_{med}$
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: Norma Brasileira [4].

## 2.6 COMPARAÇÃO DA LÂMPADA LED E MULTIVAPOR METÁLICO

A iluminação artificial desempenha um papel crucial em diversos ambientes, e a escolha entre diferentes tipos de lâmpadas pode ter um impacto significativo na eficiência energética, qualidade da luz e vida útil. Neste contexto, foi realizada uma comparação entre uma lâmpada de vapor metálico de 250W e uma lâmpada LED de 150W para entender suas diferenças essenciais.

Começando pela lâmpada LED, com uma potência de 150W, ela oferece uma impressionante saída de luz de 23400 lumens, o que representa uma eficiência luminosa de 180 lumens por watt. Essa lâmpada atinge uma temperatura de cor de 5000K, proporcionando uma luz branca brilhante e agradável. Além disso, possui um Índice de Reprodução de Cor (IRC) de 80, garantindo a fidelidade das cores, e uma notável vida útil de 50 a 100.000 horas dependendo do fornecedor. Essas características destacam

a eficiência e a durabilidade da tecnologia LED, além de sua capacidade de reproduzir cores de forma precisa.

Por outro lado, a lâmpada de vapor metálico, com uma potência ligeiramente superior de 250W, oferece uma saída de luz de 20.500 lumens. Sua eficiência luminosa é de 82 lumens por watt, indicando uma eficiência considerável, embora inferior à LED. A temperatura de cor é de 4500K, resultando em uma luz mais amarelada em comparação com a LED. O IRC é de 65, o que pode impactar na representação precisa das cores. A vida útil da lâmpada de vapor metálico varia de 10.000 a 15.000 horas, sendo menor do que a lâmpada LED.

Ao comparar essas duas tecnologias, fica evidente que a lâmpada LED se destaca em eficiência luminosa, durabilidade e reprodução de cores. Além disso, a LED consome menos energia para produzir uma quantidade significativamente maior de luz em comparação com a lâmpada de vapor metálico. No entanto, é importante considerar as necessidades específicas do ambiente e o impacto ambiental ao escolher entre essas opções, mantendo-se em conformidade com as regras luminotécnicas aplicáveis.

De acordo com o BNDES [20] a descoberta do LED emissor de luz azul e o aumento da vida útil, e da queda persistente do custo desses componentes eletrônicos, a tecnologia passa a ser considerada uma forte substituta às soluções legadas utilizadas na iluminação em geral. O LED oferece vantagens absolutas de desempenho quando comparado às demais tecnologias de iluminação. Dessa forma, nesse tópico, foi abordado as vantagens que a LED tem sobre a lâmpada de vapor metálico.

#### Eficiência Energética:

As Luminárias LED são altamente eficientes na conversão de eletricidade em luz. Elas consomem menos energia em comparação com as lâmpadas de multivapor metálico para produzir a mesma quantidade de luz, o que resulta em economia significativa de energia e custos de eletricidade mais baixos [18].

#### Luminosidade (Brilho):

A lâmpada LED é projetada para fornecer um nível de brilho comparável ao de uma lâmpada de multivapor metálico, mas com consumo de energia significativamente menor. Portanto, ela pode fornecer iluminação equivalente ou até melhor.

#### Vida Útil Mais Longa:

As Luminárias LED geralmente têm uma vida útil muito mais longa do que as lâmpadas de multivapor metálico. Enquanto as lâmpadas de multivapor metálico podem durar entre 10.000 e 20.000

horas, os LEDs podem durar até 50.000 horas ou mais. Isso reduz a necessidade de substituição frequente, economizando em custos de manutenção.

#### Rendimento Imediato:

As Luminárias LED acendem instantaneamente, enquanto as lâmpadas de multivapor metálico muitas vezes requerem um período de aquecimento antes de atingirem a luminosidade total. Isso é particularmente importante em aplicações de IP, onde uma resposta rápida é fundamental para a segurança.

#### Controle de Intensidade:

Os LEDs são facilmente controláveis em termos de intensidade de luz e podem ser ajustados para corresponder às necessidades específicas de iluminação em diferentes momentos. Isso é útil em IP, onde a iluminação pode ser reduzida durante a noite, por exemplo, quando o tráfego é menor.

#### Baixa Emissão de Calor:

As Luminárias LED emitem muito menos calor do que as lâmpadas de multivapor metálico. Isso não apenas contribui para a eficiência energética, mas também ajuda a reduzir o risco de superaquecimento em aplicações de IP.

#### Direcionalidade da Luz:

Os LEDs emitem luz direcional, o que significa que a luz pode ser direcionada com mais precisão, minimizando o desperdício de luz e a poluição luminosa. Isso é especialmente importante em IP, onde a iluminação precisa ser direcionada para áreas específicas.

#### Menos Componentes Tóxicos:

As lâmpadas de multivapor metálico contêm mercúrio, um elemento tóxico que requer manuseio especial para descarte. As Luminárias LED são mais ecológicas, pois não contêm materiais perigosos.

#### Durabilidade:

Os LEDs são menos suscetíveis a quebras devido a choques ou vibrações, tornando-os ideais para ambientes sujeitos a condições adversas, como IP ao ar livre.

Em resumo, as luminárias LED são uma escolha superior para a IP devido à sua eficiência energética, longa vida útil, flexibilidade de controle, menor impacto ambiental e várias outras vantagens que oferecem em comparação com as lâmpadas de multivapor metálico. Isso as torna uma opção econômica e ecologicamente mais sustentável.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo principal deste trabalho foi realizar um estudo sobre eficiência energética por meio da substituição de luminárias convencionais por LED, aplicado à iluminação pública das avenidas da cidade de Ilha Solteira.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Detalhar os conceitos de iluminação pública e eficiência energética;
- Demonstrar o consumo em KW/h da avenida Brasil Norte-Sul de Ilha Solteira;
- Estimar o investimento inicial do projeto;
- Realizar o estudo para o payback, valor presente líquido e a taxa Interna de retorno.

## 4 METODOLOGIA

Primeiramente, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura, abrangendo todos os componentes essenciais da iluminação pública, bem como os conceitos associados. Este processo incluiu uma análise detalhada das tecnologias de iluminação predominantes, como lâmpadas de vapor de mercúrio, vapor de sódio, vapor metálico e LED. Isso permitiu adquirir um entendimento sólido dos tópicos de iluminação pública e eficiência energética, identificando as melhores práticas e os desafios comuns associados a essas áreas.

Posteriormente, um estudo foi realizado para determinar a escolha adequada de lâmpadas, levando em consideração fatores como eficiência energética e sustentabilidade. Uma análise de mercado foi conduzida para obter informações sobre os preços das luminárias LED e os custos relacionados à implementação do novo sistema de iluminação.

Após a seleção das luminárias de LED, foram realizados cálculos para estimar a economia de energia gerada pelo novo sistema. Paralelamente, foram avaliadas as despesas previstas com manutenção ao longo do tempo.

Para avaliar a viabilidade econômica da proposta, foram aplicados métodos de avaliação de investimentos, incluindo o Payback, que calculou o período necessário para recuperar o investimento inicial considerando o valor do dinheiro ao longo do tempo. Além disso, a Taxa Interna de Retorno (TIR) foi empregada para fornecer uma análise da taxa de retorno do investimento ao longo do tempo.

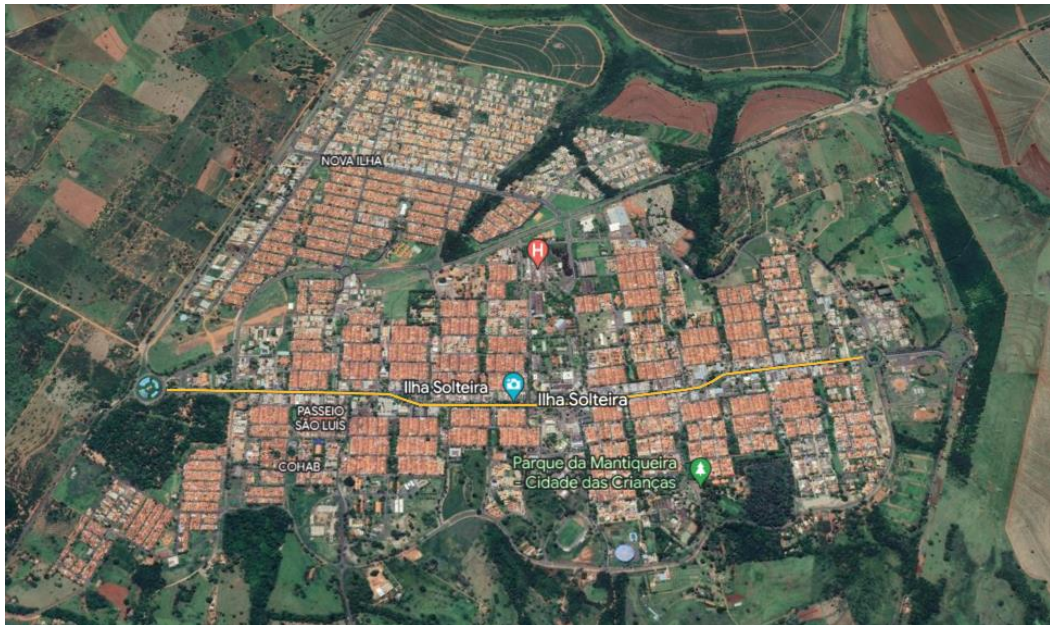
Essa abordagem metodológica abrangente permitiu uma análise aprofundada dos conceitos relacionados à iluminação pública e eficiência energética. Os resultados obtidos fornecem uma base sólida para a tomada de decisões informadas sobre a implementação de um sistema mais eficiente e sustentável de iluminação pública em Ilha Solteira.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O sistema de IP das avenidas Brasil Norte e Sul de Ilha Solteira atualmente consiste em um total de 633 postes, equipados com luminárias de multivapor metálico. Destes, 279 possui luminárias de 250 W e reatores de 30 W, totalizando 280 W de potência, para os outros 354 postes utilizam luminárias de 150 W e reatores de 22 W, totalizando 172 W de potência. O trecho referente a essas avenidas é destacado na linha amarela do mapa, que foi extraído do Google Earth e está sendo abordado neste relatório pela Figura 5.

Figure 4- Destaque da avenida Brasil Norte e Sul Ilha Solteira



Fonte: Elaborado pelo autor

A Tabela 6 apresenta uma comparação entre as potências das luminárias de multivapor e suas equivalentes em LED, considerando a necessidade de manter os resultados luminotécnicos. Assim, as luminárias de multivapor de 250 W serão substituídas por luminárias LED de 150 W por representar resultados luminotécnicos semelhantes, da mesma forma, as luminárias de multivapor metálico de 150 W serão substituídas por luminárias LED de 100 W, também com equivalência luminotécnica.

Tabela 5- Comparativa de potência.

Tipo de iluminação	Multivapor metálico		Total	LED		Total
	250W + 30W	150W + 22W		150W	100W	
Potência	280	172		150	100	

Quantidade	279	354		279	354	
Total	78.120	60.888	139.008	41.850	35.400	77.250

Fonte: Elaborada pelo autor

Assim, constatou-se que a potência total é de 139.008 W. Para efetuar a substituição por luminárias LED, serão necessárias 279 unidades de 150 W e 354 unidades de 100 W. Nesse contexto, é preciso realizar os cálculos para estimar o consumo anual das luminárias de LED e compará-lo com o consumo das luminárias de multivapor metálico, aplicando as seguintes equações:

$$\text{Consumo mês multivapor metálico} = \frac{Pt * t * 365 \text{ dias}}{1000} \quad (6)$$

$$\text{Consumo mês LED} = \frac{Pt * t * 365 \text{ dias}}{1000} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{Redução de consumo} & \quad (8) \\ & = \text{Consumo mês multivapor metálico} - \text{Consumo mês LED} \end{aligned}$$

Onde:

- Potência total:  $Pt$
- Tempo de funcionamento:  $t$  (considerar o tempo de funcionamento igual a 12 horas).

Tabela 6- Comparativa de potência

Tipo de iluminação	Consumo (KWh)	Horas de funcionamento	Dias	Consumo anual (KWh)
Multivapor metálico	139.008	12	365	602.090
LED	77.250	12	365	334.595

Fonte: Elaborada pelo autor

A substituição das luminárias de multivapor metálico por luminárias de LED na avenida Brasil Norte e Sul de Ilha Solteira resultou em uma notável redução no consumo de energia. Com os cálculos

realizados, foi possível determinar que a mudança para luminárias de LED gerou uma economia anual significativa de aproximadamente 267.494 kWh, o que representa uma redução de cerca de 44% no consumo total de energia em comparação com o sistema anterior.

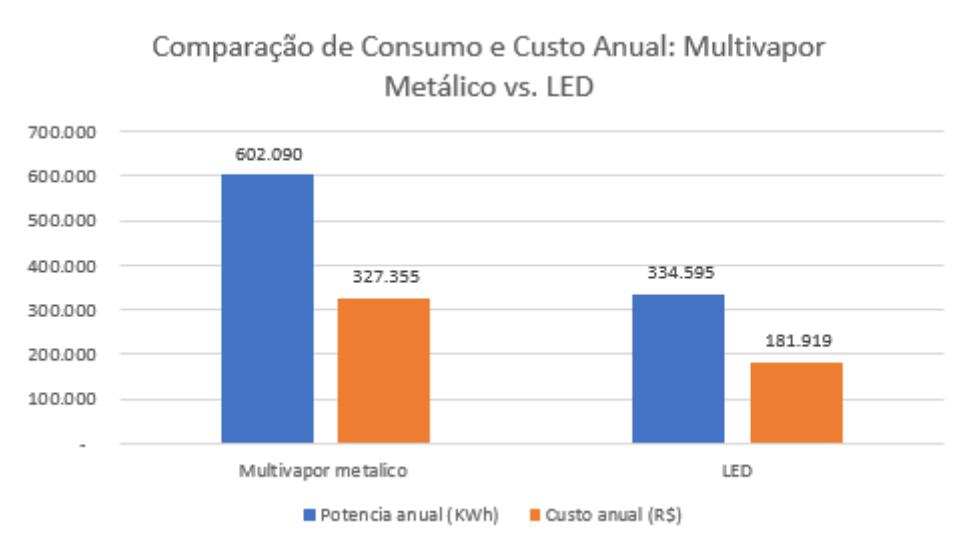
Para calcular a economia gerada por essa transição, utilizamos a equação:

$$Economia\ anual(Kwh) = redução\ anual(kWh) * custo\ por\ (kWh) \quad (9)$$

Considerando um custo de R\$0,41 por kWh na região, chegamos a uma economia anual estimada em cerca de R\$ 110.895. Essa economia não apenas alivia os recursos financeiros, mas também reforça o compromisso de Ilha Solteira com a eficiência energética e a sustentabilidade, resultando em benefícios tanto econômicos quanto ambientais para a comunidade local. Além dos benefícios financeiros, como a redução dos custos com eletricidade, essa mudança também contribui para a diminuição da pegada de carbono, uma vez que as luminárias de LED são mais eficientes do ponto de vista energético.

No gráfico a seguir, é possível visualizar a comparação entre as potências e os custos anuais das duas luminárias:

Gráfico 1- Comparação de consumo.



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5.2 CÁLCULOS DAS DESPESAS

Para o estudo, foram realizadas cotações com 2 fornecedores diferentes de luminárias com LED que possuem o selo PROCEL. O fornecedor 1 tem uma garantia de 1 ano e o fornecedor 2 tem uma garantia de 5 anos. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 7- Orçamento.

		150W	100W	
Fornecedor 1	Preço	R\$ 621,04	R\$ 564,86	
	Quantidade	279	354	
	Total	R\$ 173.270,16	R\$ 199.960,44	R\$ 373.230,60
Fornecedor 2	Preço	R\$ 639,40	R\$ 601,60	
	Quantidade	279	354	
	Total	R\$ 178.392,60	R\$ 212.966,40	R\$ 391.359,00

Fonte: Autor.

Para determinar o custo global da mão de obra envolvida na troca de luminárias, foi utilizado dados referentes a trabalhos anteriores e ajustado os valores para o ano em questão. O trabalho de referência [21], utilizou os valores do Sistema Nacional de Pesquisa de Custo e Índice da Construção Civil (SINAPI). Dessa forma, o valor para a troca da iluminação pública foi estabelecido em 109 reais por lâmpada substituída. Aplicando esse valor ao trabalho em questão, considerando a presença de 633 postes na avenida, a Tabela 9 apresenta o custo total das substituições dos postes.

Tabela 8- Custo da mão de obra.

	Preço por luminária	Quantidade de postes	Preço
Custo para instalação	109	633	68.826

Fonte: Autor.

Dessa forma, foi possível calcular o valor da mão e obra junto com a aquisição das LEDs para cada fornecedor, apresentado na Tabela 10.

Tabela 9- Custo das LEDs e mão de obra.

	Mão de obra + LED (R\$)
Fornecedor 1	R\$ 442.056
Fornecedor 2	R\$ 460.185

Fonte: Autor

Levando em consideração que a lâmpada vapor metálico tem uma vida útil de 15 mil horas, isso equivale a aproximadamente 2 anos. Dessa forma, foram feitos os cálculos para que a cada 2 anos fosse preciso trocar todas as luminárias. O valor da obra de mão de manutenção por ponto de lâmpada de vapor metálico foi determinado de acordo com o Contrato 29/2020 - CIENSP e seus aditamentos, e o Contrato de Rateio 06/2020 - CIENSP com atualizações, resultando em um custo de R\$ 7,15 por ponto. Já para o custo das luminárias de 150 W foi pesquisado um valor de R\$ 54,51 e para a lâmpada de 250 W um valor de R\$ 81,76.

O custo total de manutenção da substituição de todas as luminárias foi calculado para o segundo ano, dessa forma foi preciso calcular a inflação para esse ano, as contas utilizadas estão dispostas na Tabela 11.

Tabela 10- Custo total para a substituição das luminárias multivapor metálico.

	Preço lâmpadas	Mão de obra	Lâmpadas + mão de obra	Quantidade
Multivapor metálico 250W	R\$ 81,76	R\$ 7,86	R\$ 89,62	R\$ 25.002,72
Multivapor metálico 150W	R\$ 54,51	R\$ 7,86	R\$ 62,36	R\$ 22.076,24
Total				R\$ 47.078,96

Fonte: Autor

Considerando falhas dentro da garantia por problemas alheios com uma taxa de 2%, temos que por ano teríamos 12,66 luminárias queimadas, dessa forma é preciso calcular o custo de novas luminárias e de novas instalações. Assim, foi preciso calcular o valor do custo unitário para cada fornecedor, disposto na Tabela 12.

Tabela 11- Custo de anual para problemas dentro da garantia.

	Mão de obra + LED	Custo unitário total material e instalação	Custo anual para problemas dentro da garantia
Fornecedor 1	R\$ 442.056,69	R\$ 698,35	R\$ 8.841,13
Fornecedor 2	R\$ 460.185,09	R\$ 726,99	R\$ 9.203,70

Fonte: Autor

Já para falhas fora da garantia, foi considerado uma taxa de 5% ao ano, dessa forma, teríamos 31,65 luminárias. Com isso, foi calculado o valor para cada fornecedor, de acordo com a Tabela 13.

Tabela 12- Custo de anual para problemas fora da garantia.

	Mão de obra + LED	Custo unitário total material e instalação	Custo anual para problemas fora da garantia
Fornecedor 1	R\$ 442.056,69	R\$ 698,35	R\$ 22.102,83
Fornecedor 2	R\$ 460.185,09	R\$ 726,99	R\$ 23.009,25

Fonte: Autor

### 5.3 VIABILIDADE FINANCEIRA

Para calcular a viabilidade financeira, foram estudados quatro parâmetros, a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor presente Líquido (VPL), período de retorno (Payback) e o índice de lucratividade (IL).

O cálculo da Taxa Interna de Retorno (TIR) foi realizado através da ferramenta Excel, ela representa uma taxa de desconto, calculada a partir de uma projeção de fluxo de caixa, quando consideramos que o VPL é igual a zero.

O investimento inicial, foi calculado com a soma dos valores da troca das luminárias e o custo da aquisição das LEDs para cada fornecedor. Para o cálculo das entradas, foi utilizado a economia anual aplicando uma inflação de 4,82% (considerando a inflação do site do IBGE) para cada ano. Já para o cálculo das saídas, foi utilizado as manutenções dentro da garantia de 1 ano, enquanto para os anos subsequentes, foi utilizado o valor da manutenção sem a garantia.

Foi utilizado esses valores anuais para calcular o Valor Presente Líquido (VPL). Foi utilizado uma taxa de atratividade (baseado na taxa Selic 11/2023), aplicando uma taxa de atratividade no valor de 12,25%. Foi usado a seguinte equação:

$$VPL\ anual = \frac{R_t}{(1+i)^t} \quad (10)$$

Onde:

- VPL é o valor presente líquido.
- $R_t$  é o fluxo de caixa líquido no tempo  $t$ .
- $i$  é a taxa mínima de atratividade.
- $t$  é o tempo de fluxo de caixa.

Com o cálculo do IL é possível determinar se a receita obtida é capaz de pagar a operação e ainda sobrar lucro. E dessa forma os cálculos foram feitos de acordo com a equação 11.

$$IL = \frac{\text{Lucro líquido}}{\text{Receita total}} * 100 \quad (11)$$

O Payback é determinado por meio de uma divisão entre o ano em que o investimento é recuperado pela soma entre o investimento inicial e o valor recuperado do ano anterior.

Com a utilização do Excel, foi possível calcular todos os valores e construir a Tabela 14 para observar os valores obtidos para cada fornecedor.

Tabela 13- Indicadores de viabilidade financeira para cada fornecedor.

	VPL	TIR	IL	Payback
Fornecedor 1	123.234,68	20%	1,23	5,16
Fornecedor 2	147.351,68	21%	1,28	4,90

Fonte: Autor

Considerando que a taxa interna de retorno é de aproximadamente 20% para o fornecedor 1 e 21% para o fornecedor 2, ambas superiores à taxa mínima de atratividade de 12,75%, o projeto se mostra viável independentemente do fornecedor escolhido. Entretanto, ao analisar os dados da Tabela 14, é evidente que o fornecedor 2 apresenta um Valor Presente Líquido (VPL) e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) superiores em comparação ao fornecedor 1.

Além disso, o fornecedor 2 demonstra um Índice de Lucratividade (IL) mais vantajoso em relação ao fornecedor 1, além de um período de payback menor. Diante dessas informações, torna-se claro que, do ponto de vista financeiro, o fornecedor 2 se destaca como a escolha mais vantajosa para o projeto.

Dessa forma, ao considerar não apenas as taxas de retorno, mas também indicadores como VPL, IL e payback, é possível concluir que o fornecedor 2 apresenta um desempenho financeiro superior, tornando-se a opção mais atrativa e favorável para a implementação do projeto.

A substituição das lâmpadas convencionais por LED na iluminação pública apresenta uma série de benefícios. Primeiramente, há uma notável economia de energia, como evidenciado pelo estudo na Avenida Brasil Norte e Sul de Ilha Solteira, que registrou uma redução de 44% no consumo anual. Além disso, essa mudança resulta em economia financeira devido à menor necessidade de manutenção e à eficiência energética das luminárias LED.

Do ponto de vista econômico, a análise revelou que o investimento inicial na troca das luminárias é compensado ao longo do tempo, com o payback em torno de 5 anos para o fornecedor mais vantajoso. A taxa interna de retorno de aproximadamente 21% reforça a viabilidade financeira dessa transição.

Além dos benefícios econômicos, a adoção de LED contribui para a sustentabilidade ambiental, além de proporcionar uma maior segurança. A redução do consumo de energia resulta em uma

diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à infraestrutura elétrica, promovendo um impacto ambiental mais positivo.

Em resumo, a troca da iluminação convencional por LED oferece economia de energia, benefícios financeiros a longo prazo e contribui para a redução do impacto ambiental, demonstrando ser uma escolha eficiente e sustentável.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com o estudo de eficiência energética sobre a iluminação pública da avenida Brasil Norte e Sul de Ilha Solteira, conclui-se que com a troca das luminárias de multivapor metálico de 250 e 150 W para as Luminárias LED de 150 e 100 W, obteve-se uma economia de 110.895 KWh e dando um percentual de 44% da economia ao ano comparado com a iluminação inicial.

Para fazer o estudo da análise econômica, primeiramente foi necessário fazer os cálculos do investimento inicial utilizando a mão de obra para a retirada e instalação e o custo das luminárias LED e depois calcular o custo evitado foi utilizado a manutenção das lâmpadas de mercúrio a cada dois anos e o valor evitado com energia anual. Com esses dados foi obtido dois fornecedores diferentes para as Luminárias LED e foi calculado o preço de instalação para essas novas luminárias. Com isso, foi realizado para cada fornecedor um cálculo da taxa interna de retorno, o valor presente líquido, payback e o índice de lucratividade. Com os resultados obtidos para os dois fornecedores, constatou-se que o fornecedor 2 é a opção mais vantajosa, com um payback em torno de 5 anos e uma taxa interna de retorno de aproximadamente 21%.

Com base nos resultados e análises apresentados, este estudo validou a possibilidade de substituir as luminárias convencionais por luminárias de LED em termos de consumo energético na avenida de Ilha Solteira-SP. Essa ação possibilita uma diminuição de consumo de energia, e consequentemente reduz os gastos da cidade, além de resultar na redução das emissões de  $CO_2$  associadas à construção e manutenção de infraestrutura elétrica.

## 7 PERSPECTIVAS FUTURAS

A implementação de medidas de eficiência energética na iluminação pública tem o potencial de resultar em uma economia de 44% no consumo de energia para o município. Esse investimento pode gerar um retorno financeiro em apenas cinco anos, possibilitando a realocação desses fundos para outras necessidades. Além dos benefícios econômicos, essa abordagem proporciona uma gestão mais eficiente dos recursos, fortalecendo a capacidade do município de investir em áreas prioritárias, como infraestrutura, educação e saúde.

Ao adotar lâmpadas mais eficientes, como as de tecnologia LED, é possível não apenas reduzir os custos operacionais, mas também melhorar significativamente a segurança. Lâmpadas LED oferecem uma iluminação de alta qualidade, com índices de reprodução de cores (IRC) superiores e temperaturas adequadas, garantindo uma visibilidade aprimorada. Essa melhoria na iluminação pública contribui para um ambiente mais seguro, beneficiando os residentes e promovendo uma sensação de segurança no município.

A promoção da eficiência energética em uma prefeitura e em contextos mais amplos requer a adoção de diversas estratégias e tecnologias. Um primeiro passo essencial é realizar auditorias energéticas para identificar áreas de alto consumo e oportunidades de melhoria. Essa análise detalhada permite o desenvolvimento de estratégias direcionadas para otimizar o uso de energia.

No âmbito das instalações municipais, a transição para iluminação eficiente, como a tecnologia LED, aliada à instalação de sensores de presença, possibilita ajustes dinâmicos na iluminação, contribuindo para a economia de energia.

A incorporação de tecnologias inteligentes, como sistemas de automação e controle, é outra estratégia eficaz para otimizar o consumo de energia em edifícios e infraestrutura. Além disso, estabelecer parcerias público-privadas pode facilitar o desenvolvimento e a implementação de projetos conjuntos, compartilhando recursos e conhecimentos.

Ao adotar uma abordagem integrada que engloba diferentes setores e práticas, uma prefeitura pode não apenas alcançar uma economia significativa de energia em suas operações, mas também servir como um exemplo inspirador para a comunidade local, estimulando práticas mais sustentáveis em toda a região.

## REFERÊNCIAS

- [1] Entenda a história da iluminação pública nas cidades do Brasil. Disponível em: <<https://www.ipminas.com.br/entenda-a-historia-da-iluminacao-publica-nas-cidades-do-brasil/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- [2] INAMURA, C. Eficiência energética no Brasil. Disponível em: <<https://pp.nexojornal.com.br/linha-do-tempo/2021/Efici%C3%Aancia-energ%C3%A9tica-no-Brasil1>>. Acesso em: 8 out. 2023.
- [3] MME. POLÍTICAS PÚBLICAS, P. E. ILUMINAÇÃO PÚBLICA MUNICIPAL. Disponível em: <[https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/sef/livreto-iluminacao-publica\\_2018\\_02\\_19.pdf](https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/sef/livreto-iluminacao-publica_2018_02_19.pdf)>. Acesso em: 8 out. 2023.
- [4] Disponível em: <<https://universidadeniltonlins.com.br/wp-content/uploads/2019/04/NBR-5101-OK.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2023b.
- [5] BNDES Hub de Projetos. Disponível em: <<https://hubdeprojetos.bndes.gov.br/pt/setores/Iluminacao-Publica>>. Acesso em: 31 out. 2023.
- [6] “Meyer, Megan; Maurer, Luiz; Freire, Javier; de Gouvello, Christophe. 2017. Lighting Brazilian Cities: Business Models for Energy Efficient Public Street Lighting. © World Bank, Washington, DC. <http://hdl.handle.net/10986/29537> License: CC BY 3.0 IGO.”
- [7] MATTOZO FILHO, Airton Piu. Eficiência energética em iluminação pública: estudo de caso Prefeitura Municipal de Votorantim. 2022.
- [8] JANEIRO/, M. T. CONCESSÃO ADMINISTRATIVA DA GESTÃO, MODERNIZAÇÃO, EXPANSÃO, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE PEDERNEIRAS/SP. Disponível em: <<http://web.pederneiras.sp.gov.br/images/arquivos/licitacoes/atuais/cc-2019-03-modelagem-tecnica.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2023.
- [9] DE DISTRIBUIÇÃO-SED, Ó. E. C. D. S. D. E. E. MANUAL DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA. Disponível em: <[https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%Fablica/Manuais/manual\\_de\\_iluminacao\\_publica\\_copel\\_companhia\\_paranaense\\_de\\_energia.pdf](https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%Fablica/Manuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf)>. Acesso em: 14 out. 2023.
- [10] VIEIRA, L. UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA. Disponível em: <<https://11nq.com/EsdBh>>. Acesso em: 1 nov. 2023.

[11] SON-T. Disponível em: <[https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-convencionais/lampadas-de-descarga-de-alta-intensidade/son---sodio-de-alta-pressao/son-t/LP\\_CF\\_DSONT\\_EU/family](https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-convencionais/lampadas-de-descarga-de-alta-intensidade/son---sodio-de-alta-pressao/son-t/LP_CF_DSONT_EU/family)>. Acesso em: 20 nov. 2023.

[12] OLIVEIRA, João Guilherme Resende. A eficiência energética no âmbito de iluminação pública: um estudo de caso sobre a inovação do atual sistema de iluminação pública no município de Rosana. 2021.

[13] HPI-T. Disponível em: <[https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-convencionais/lampadas-de-descarga-de-alta-intensidade/halogeneto-metalico-de-quartzo/hpi-t/LP\\_CF\\_DHPTIHW\\_EU/family](https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-convencionais/lampadas-de-descarga-de-alta-intensidade/halogeneto-metalico-de-quartzo/hpi-t/LP_CF_DHPTIHW_EU/family)>. Acesso em: 22 nov. 2023.

[14] SAMPAIO, Felipe Pajeu; ARAÚJO, Lucas Augusto Silva. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA ESTUDO DE CASO DO BAIRRO JARDIM SANTA FÉ.

[15] RoadForce. Disponível em: <[https://www.lighting.philips.com.br/prof/luminarias-externas/rodovias-e-ruas/roadforce/LP\\_CF\\_8388718\\_EU/family](https://www.lighting.philips.com.br/prof/luminarias-externas/rodovias-e-ruas/roadforce/LP_CF_8388718_EU/family)>. Acesso em: 20 nov. 2023.

[16] MASTER HPI Plus. Disponível em: <[https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-convencionais/lampadas-de-descarga-de-alta-intensidade/halogeneto-metalico-de-quartzo/master-hpi-plus/LP\\_CF\\_DHPIP\\_EU/family](https://www.lighting.philips.com.br/prof/tubos-e-lampadas-convencionais/lampadas-de-descarga-de-alta-intensidade/halogeneto-metalico-de-quartzo/master-hpi-plus/LP_CF_DHPIP_EU/family)>. Acesso em: 20 nov. 2023.

[17] DIMENSIONAL. O que é temperatura de cor de uma lâmpada e como escolher? Disponível em: <<https://blog.dimensional.com.br/o-que-e-temperatura-cor-uma-lampada-como-escolher/>>. Acesso em: 14 out. 2023.

[18] SANTOS, C. R. A. Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/61677/1/000148456.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2023.

[19] Lúcio Luiz Fidélis de Freitas Júnior, Marília Dantas da Silva, Micaella Raíssa Falcão de Moura. "A Utilização do Geoprocessamento como Ferramenta de Gestão no Processo de Modernização da Iluminação Pública na Cidade do Recife-PE." Revista Científica ANAP Brasil 14.32 (2021)

[20] Iluminação LED: principais benefícios. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/iluminacao-led>>. Acesso em: 31 out. 2023.

[21] PAJEU SAMPAIO, F.; AUGUSTO SILVA ARAÚJO, L. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA: ESTUDO DE CASO DO BAIRRO JARDIM SANTA FÉ. Revista Científica Semana Acadêmica, v. 11, n. 237, p. 1–15, 2023.