



Universidade Federal de Ouro Preto
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas - ICEA
Departamento de Engenharia Elétrica - DEELT
Campus João Monlevade - MG



ANÁLISE DE VIABILIDADE TECNO-ECONÔMICA PARA A SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS DE LED EM VIAS PÚBLICAS

João Pedro de Araújo Moraes

João Monlevade - Minas Gerais - Brasil

2022

João Pedro de Araújo Morais

**ANÁLISE DE VIABILIDADE TECNO-ECONÔMICA PARA A
SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR
LUMINÁRIAS DE LED EM VIAS PÚBLICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto.

Professor orientador: Prof. Felipe Eduardo Moreira Cota

João Monlevade - Minas Gerais - Brasil

Janeiro de 2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M827a Moraes, Joao Pedro de Araújo .

Análise de viabilidade tecno-econômica para a substituição de luminárias convencionais por luminárias de LED em vias públicas . [manuscrito] / Joao Pedro de Araújo Moraes. - 2022.

85 f.: il.: color., graf., tab..

Orientador: Prof. Me. Felipe Eduardo Moreira Cota.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Engenharia Elétrica .

1. Energia elétrica - Consumo. 2. Estudos de viabilidade. 3. Iluminação municipal - Investimentos. 4. Lâmpadas de LED. 5. Lâmpadas incandescentes. I. Cota, Felipe Eduardo Moreira. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.31

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



FOLHA DE APROVAÇÃO

JOÃO PEDRO DE ARAÚJO MORAIS

ANÁLISE DE VIABILIDADE TECNO-ECONÔMICA PARA A SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS DE LED EM VIAS PÚBLICAS.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de graduação.

Aprovada em 13 de janeiro de 2021

Membros da banca

Mestre - Professor Felipe Eduardo Moreira Cota - UFOP
Mestre - Professor Edgard Gregory Torres Saravia - UFOP
Especialista - Eduardo José Quaresma - UEMG

Felipe Eduardo Moreira Cota, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 18/01/2022



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Eduardo Moreira Cota, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/01/2022, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0266672** e o código CRC **43BE1A23**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.000351/2022-21

SEI nº 0266672

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: - www.ufop.br

Análise de viabilidade tecno-econômica para a substituição de luminárias convencionais por luminárias de led em vias públicas

RESUMO

Este trabalho é o resultado de um estudo sobre a viabilidade da substituição de luminárias convencionais por equipamentos que utilizam tecnologia LED aplicado em vias públicas. O objetivo da pesquisa foi verificar se a troca desses equipamentos é viável financeira e tecnicamente para a administração pública, e qual o retorno essa implantação é capaz de trazer. Para isso, foram coletados, nas referências estudadas, diversos dados técnicos das luminárias convencionais e dos LEDs, para efetuar comparativos entre as tecnologias. Também foram levantados os custos dos equipamentos e da implantação dessa tecnologia. Outro aspecto estudado foi o município de João Monlevade-MG, onde foram coletados dados referentes ao parque luminotécnico da cidade, informações sobre o orçamento e sobre os custos que o município tem com o setor de iluminação pública. Os resultados das análises apontaram que a tecnologia LED aplicada à iluminação pública tem muitos aspectos positivos a oferecer e que é possível viabilizar o investimento na troca das luminárias. Entre os benefícios, pode-se destacar a eficiência energética e a economia financeira, em longo prazo, fatores que, aliados aos aspectos técnicos das luminárias de LED, possibilitam entregar uma melhor iluminação ao sistema; assim, esse conjunto de fatores justifica a viabilidade do investimento. Em contrapartida, a implantação dessas luminárias pode também trazer prejuízos para o município se não forem tomados os cuidados necessários para a realização desse processo. Diante disso, foram levantados pontos que devem ser analisados, quando se for realizar um investimento nesse modelo, e ainda foram indicadas características que ajudam a melhorar o retorno do investimento. Dessa forma, o estudo conseguiu apresentar cenários viáveis de investimento para a substituição de luminárias convencionais por luminárias de LED; apontou o retorno estimado, que pode vir a ser obtido, com a aplicação do projeto ao município de João Monlevade; por fim, destacou pontos de atenção que se traduzem em aspectos determinantes para a viabilidade do negócio.

Palavras-chave: Iluminação Pública; Luminárias de LED; Luminárias Convencionais; Viabilidade; Retorno do Investimento.

Techno-economic feasibility analysis for the replacement of conventional luminaires with led luminaires on public roads

ABSTRACT

This paper is the result of a study on the feasibility of replacing conventional luminaires by equipment that use LED technology applied on public roads. The objective of the research was to verify if the exchange of this equipment is financially and technically feasible for the public administration, and what return this implementation is capable of bringing. To this end, several technical data of the conventional luminaires and LEDs were collected in the references studied, in order to make comparisons between the technologies. The costs of the equipment and of the implementation of this technology were also surveyed. Another aspect studied was the municipality of João Monlevade-MG, where data were collected referring to the city's lighting system, information about the budget and about the costs that the municipality has with the public lighting sector. The results of the analysis indicated that LED technology applied to public lighting has many positive aspects to offer and that it is possible to make the investment in the exchange of luminaires viable. Among the benefits, one can highlight energy efficiency and financial savings in the long term, factors that, combined with the technical aspects of LED luminaires, make it possible to deliver better lighting to the system; thus, this set of factors justifies the viability of the investment. On the other hand, the deployment of these luminaires can also bring losses to the municipality if the necessary care is not taken to carry out this process. In view of this, points were raised that should be carefully analyzed when making an investment in this model, and also indicated characteristics that help to improve the return on investment. Thus, the study presented viable investment scenarios for the replacement of conventional luminaires by LED luminaires; it pointed out the estimated return that can be obtained by applying the project to the municipality of João Monlevade; finally, it highlighted points of attention that translate into determining aspects for the viability of the business.

Keywords: Public Lighting; LED Luminaires; Conventional Luminaires; Feasibility; Return on Investment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração de modelos de iluminação pública	13
Figura 2 - Distribuição das tecnologias do parque luminotécnico brasileiro até 2012.....	14
Figura 3 - Comparativo entre IRCs	21
Figura 4 - Lâmpada de vapor de mercúrio.	22
Figura 5 - Distribuição espectral para lâmpada de vapor de mercúrio.....	23
Figura 6 - Lâmpada de vapor de sódio	24
Figura 7 - Curvas fotométricas para lâmpada vapor de sódio	24
Figura 8 - Distribuição espectral para lâmpada VS.....	25
Figura 9- Distribuição espectral para lâmpada VMT	27
Figura 10 - Luminária de LED 150W	29
Figura 11 - Curva fotométrica para uma luminária de LED.....	29
Figura 12- Comparativo de diferentes IRC's	35
Figura 13- Gráfico de consumo anual das tecnologias em kWh.....	44
Figura 14 - Gráfico comparativo de custo acumulado entre as tecnologias.....	46
Figura 15- Gráfico comparativo de custos, considerando implantação e manutenção das luminárias	47
Figura 16 - Arrecadação COSIP do município entre 2018 e 2021 (até setembro).....	50
Figura 17 - Distribuição das tecnologias do parque luminotécnico de João Monlevade	53
Figura 18 Composição Básica da Tarifa de Energia	56
Figura 19 - Gráfico de custo de investimento em luminárias para marcas A, B e C.....	59
Figura 20 - Gráfico de custo estimado com energia do sistema atual de IP e após a modernização,	63
Figura 21 - Economia de energia em 10 anos	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Tabela de Temperatura de Cor	20
Tabela 2 - Características das lâmpadas de vapor de mercúrio	22
Tabela 3 - Características das lâmpadas de Vapor de sódio	25
Tabela 4 - Características das lâmpadas de vapor metálico	27
Tabela 5 - Características das luminárias de LED.....	30
Tabela 6 - Comparativo entre lâmpadas VM e LED	31
Tabela 7 - Comparativo entra lâmpadas VS e luminárias LED	33
Tabela 8- Comparativo entra lâmpadas VMT e luminárias LED.....	36
Tabela 9 Características dos reatores.....	38
Tabela 10 - Comparativo de valores para luminárias de 100W	41
Tabela 11 - Comparativo do preço de implantação das tecnologias	42
Tabela 12 - Tabela de tarifas para grupo de IP.....	45
Tabela 13 - Custo com energia elétrica, segundo Secretaria Municipal de Serviços Urbanos do município de João Monlevade.....	51
Tabela 14 - Pontos de IP do município de João Monlevade	54
Tabela 15 - Equivalência das Tecnologias para a substituição – Marcas A, B e C.....	57
Tabela 16 - Custo dos equipamentos das marcas A, B e C.	59
Tabela 17 - Custo de investimento para substituição de todo parque de João Monlevade	61
Tabela 18 - Potência Instalada no sistema de IP após modernização.....	62
Tabela 19 - Equivalência entre as tecnologias para a substituição.....	65
Tabela 20 - Retorno do investimento para troca total do parque.....	66
Tabela 21 - Equivalência das luminárias com especificações propostas.....	77
Tabela 22 - Retorno de investimento e custo total para equipamento com as especificações propostas.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LED – *light emitting diode*

VS – Vapor de Sódio

VM – Vapor de Mercúrio

VMT – Vapor Metálico

IRC – Índice de Reprodução de Cor

IP – Iluminação Pública

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

COPEL – Companhia Paranaense de Energia

COSIP – Contribuição para Custeio de Iluminação Pública

PPP – Parceria Público-Privada

US – Referência da CEMIG de valor para a instalação completa de um poste em uma rede de distribuição aérea equipado juntamente com mão de obra.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Iluminação pública no Brasil	12
1.2 Cenário nacional	13
1.3 Motivação	16
1.4 Justificativa	16
1.5 Metodologia.....	17
1.6 Organização do Texto	18
2 ESTADO DA ARTE	19
2.1 Viabilidade Técnica	19
2.1.1 Lâmpada de Vapor de Mercúrio.....	21
2.1.2 Lâmpada de Vapor de Sódio	23
2.1.3 Lâmpada de Vapor Metálico	26
2.1.4 Luminárias de LED	28
2.2 Comparativo entre as tecnologias.....	31
3 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	40
4 ANÁLISE DE VIABILIDADE E DE RETORNO – JOÃO MONLEVADE.....	50
4.1 Cenário Econômico.....	50
4.2 Parque luminotécnico.....	52
4.3 Equivalências das Luminárias e Custo de Implantação	57
4.4 Implantação.....	70
5 RECOMENDAÇÕES PARA FORMULAÇÃO DE PROCESSO LICITATÓRIO PARA SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS.....	71
5.1 Selo INMETRO	73
5.2 Sobre a garantia.....	73
5.3 Sobre a eficiência luminosa	74
5.4 Sobre a vida declarada nominal	74
6 APLICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EDITAL PARA CRIAÇÃO DE UM MODELO DE LUMINÁRIA.....	76

7 CONCLUSÃO.....	81
REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

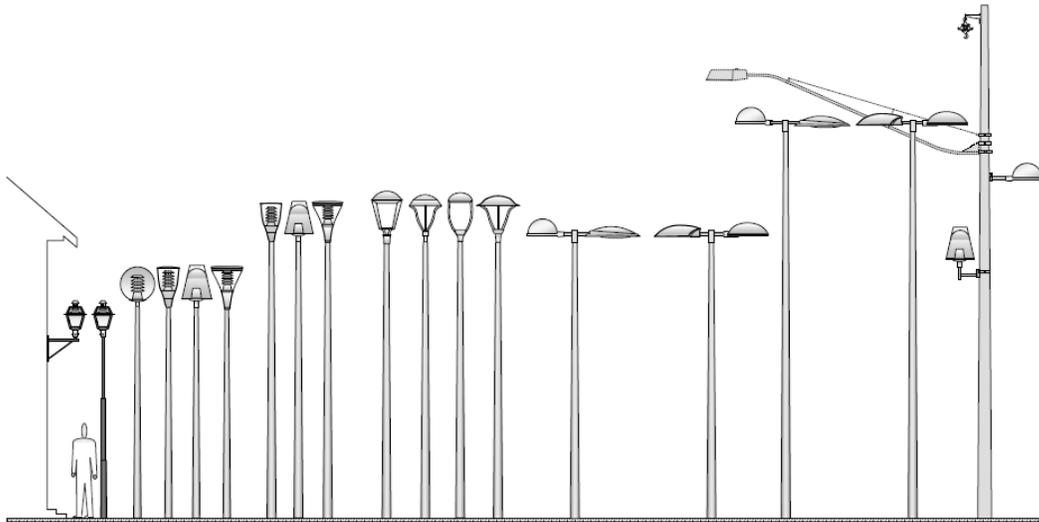
1.1 Iluminação pública no Brasil

O começo do sistema de iluminação pública no Brasil, de forma semelhante ao que é praticado hoje, data do século XVIII, por volta de 1794, com a instalação das primeiras luminárias na cidade do Rio de Janeiro, provenientes de Portugal, cujo funcionamento era através da queima de óleo de oliva. Porém, devido ao elevado custo do combustível utilizado, vindo da Europa, ele foi substituído por óleos vegetais e animais produzidos localmente, destacando-se o uso do óleo de baleia. (MELO, 2018).

O próximo passo para a evolução do sistema de iluminação pública, que passava a funcionar com outra fonte de combustível, foi o uso das luminárias a gás. Nacionalmente, a cidade de São Paulo, em meados do século XIX, foi pioneira no uso desse sistema, que esteve ativo até o ano de 1936. (CLEMENTE et al, 2018).

A iluminação proveniente da energia elétrica possui seu primeiro registro na cidade de Campos dos Goytacazes–RJ, no ano de 1883, para a qual a geração tinha como fonte de energia uma pequena usina termoelétrica no município. Pela mesma razão, Rio Claro, no estado de São Paulo, tornou-se a segunda cidade brasileira a ter o serviço de iluminação funcionando através de energia elétrica. Entretanto, a primeira capital brasileira a adotar o sistema público de iluminação alimentado por eletricidade foi a cidade de Porto Alegre–RS. Seguida por outras cidades, até que, no início do século XX, as capitais São Paulo e Rio de Janeiro implantaram tal sistema, que foi substituindo gradualmente os outros modelos de luminária, alimentadas por óleos ou gás, tornando a iluminação elétrica soberana em todo território. Desse modo, após os anos de 1960, deu-se início ao uso das luminárias de descarga, constituindo o parque que predomina no Brasil até hoje.

Figura 1 - Ilustração de modelos de iluminação pública



Fonte: CEMIG - ND 3.4.(2012)

1.2 Cenário nacional

O parque luminotécnico brasileiro ultrapassa, atualmente, um valor aproximado de 18 milhões de pontos, entre os quais apresentam as lâmpadas de vapor de sódio e de vapor de mercúrio como as tecnologias mais usadas, segundo estudo feito pelo Banco Mundial. Isso corresponde a aproximadamente 4,3% do consumo elétrico de todo país e impacta em 3% a 5% o orçamento dos municípios brasileiros (BNDES, 2017). Segundo o mesmo estudo, o parque luminotécnico brasileiro, no ano de 2012, era formado por 71% de luminárias utilizando lâmpadas VS (Vapor de sódio), e 23,6% das luminárias tinham instaladas lâmpadas a vapor de mercúrio, conforme indica a Figura 2. O restante do sistema de iluminação pública era composto, em 5,3%, por tecnologias, tais como: lâmpadas de vapores metálicos e halógenas. Os LEDs representavam apenas 0,1% dos pontos de IP no Brasil. A Figura 2 apresenta a configuração do parque luminotécnico brasileiro por distribuição de tecnologias até o ano de 2012.

Figura 2 - Distribuição das tecnologias do parque luminotécnico brasileiro até 2012



Fonte: *World Bank Group* (adaptado pelo autor).(2021)

A iluminação pública é um tema importante para a sociedade. Segundo a NBR 5101 (ABNT, 2012), a função desse serviço é prover visibilidade em forma de luz ou claridade artificial, de maneira rápida, confortável e precisa, com o objetivo de propiciar segurança e benefícios econômicos e sociais, como se segue:

- a) reduzir acidentes noturnos e facilitar o tráfego;
- b) auxiliar na segurança pública, visando à segurança de indivíduos e de propriedades;
- c) incrementar a qualidade de vida, principalmente em comunidades carentes;
- d) promover a eficiência energética;
- e) prover iluminação especial, para destaque de pontos públicos importantes como prédios e monumentos.

Pode-se, ainda, observar, por exemplo, como previsto na NBR 5101, uma correlação da criminalidade com a iluminação pública em determinadas regiões, (MENA, 2019). A esse respeito,

Mena (2019) relata um estudo realizado, em 2016, na cidade de Nova York, em parceria com a polícia metropolitana, cujo resultado apontou para uma redução de 36% nos crimes ocorridos durante a noite em ruas que receberam iluminação pública extra por um período de seis meses.

O crescente sucesso da tecnologia LED em todo o mundo, de fato, mostra-se uma alternativa muito interessante quando se fala de iluminação e eficiência energética. No intuito de entender melhor e também dimensionar a real capacidade de contribuição dessa tecnologia para a melhoria dos sistemas de iluminação pública, fez-se um estudo de viabilidade técnica, no qual foram abordados alguns conceitos como eficiência luminosa, fluxo luminoso, temperatura de cor, índice de reprodução de cores, entre outras características relevantes à qualidade do serviço. Esse levantamento foi realizado para luminárias de LED e para as luminárias convencionais de vapores de sódio e de mercúrio e de vapores metálicos por serem as mais utilizadas. A partir desse estudo, estabeleceu-se um comparativo entre as tecnologias citadas, a fim de ponderar sobre o uso de cada uma delas. Esse confronto entre as tecnologias considera os aspectos financeiros, nos quais são verificados os custos de cada equipamento, vida útil e/ou mediana e consumo energético.

Um ponto importante, nesse cenário, trata-se da Resolução Normativa ANEEL nº414, publicada em 9 de setembro de 2010, embasada no artigo 30, inciso V, da Constituição Federal, que delega aos municípios a responsabilidade de fornecer serviços de iluminação pública. A norma define, em seu artigo 218, que as concessionárias de energia devem transferir às prefeituras municipais a responsabilidade sobre a prestação do serviço supracitado.

De certa forma, essa resolução da ANEEL tornou mais difícil reunir as informações do sistema de iluminação de todo país, já que os dados estão mais dispersos, por causa tanto da descentralização das informações quanto da grande quantidade de municípios brasileiros. Entretanto, permitiu que os municípios tratassem a iluminação pública de forma local, que trabalhassem em seu parque luminotécnico da forma que a administração julgasse ser a mais vantajosa. Com isso, alguns municípios saíram na frente no que se diz respeito à implantação de LEDs para iluminar a cidade. Podemos citar, por exemplo, a cidade de Belo Horizonte–MG, que, já no ano de 2015, abriu uma consulta pública, consolidada em 2016, via licitação, de uma parceria público-privada (PPP), com o objetivo de melhorar o serviço de iluminação, utilizando a tecnologia LED.

Dessa forma, este trabalho tem como principal referência o município de João Monlevade-MG, no qual buscou, primeiramente, realizar um levantamento sobre o parque luminotécnico da

cidade, a partir de dois parâmetros: (a) quantificar os pontos de iluminação pública do município e (b) quantificar os que já utilizam tecnologia LED. Para isso, foram obtidos dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de João Monlevade, junto ao Consórcio Intermunicipal Multissetorial do Médio Piracicaba (CONSMEPI) que, atualmente, gere o serviço de manutenção de iluminação pública do município e dos demais associados.

Além dos dados quantitativos referentes à iluminação pública, informações econômicas ligadas a esta área foram relevantes para o desenvolvimento do projeto. O levantamento desses parâmetros, como consumo de energia, serviços de manutenção referentes à iluminação pública, receitas para custeio do serviço e investimentos feitos pela administração no setor, foi crucial para conhecer as despesas fixas. Portanto, analisaram-se tanto os aspectos físicos do sistema quanto a perspectiva econômica do município. Este trabalho, ao explorar as características técnicas das novas tecnologias de iluminação pública, procura apresentar uma solução que tenha comprovação de aperfeiçoamento técnico, considerando-se dois aspectos: o ponto de vista econômico, quanto à exequibilidade; como também o aprimoramento do sistema.

1.3 Motivação

A motivação do trabalho surgiu da ideia de fazer uma investigação diretamente ligada à prática e voltada para uma área na qual existe a possibilidade de se atuar diretamente na região. Dessa forma, entre os temas possíveis, a iluminação pública, especificamente a substituição de luminárias convencionais por luminárias de LED nas vias pública, foi escolhida devido ao crescimento do uso dessa tecnologia e ao movimento de substituição dos parques de IP que tem ganhado força. Aliado à possibilidade de os resultados previstos se tornarem práticos e aplicáveis ao contexto atual da iluminação pública.

1.4 Justificativa

A iluminação pública é um tema muito importante para a sociedade, seja pela crescente demanda de se ter sistemas com mais eficiência energética, seja pela economia de energia; principalmente quando se pensa a questão ambiental, o que trouxe os LEDs como uma nova alternativa para o setor de iluminação. Portanto, as luminárias de LED aparecem como solução

para a modernização dos parques luminotécnicos das cidades. Dessa forma, a avaliação da viabilidade dessa tecnologia é um tema que merece atenção. Além disso, o foco no sistema de iluminação pública pretende trazer informações úteis, a fim de que os órgãos competentes da administração pública possam avaliar, tecnicamente, o uso dessas luminárias em seus parques de iluminação.

1.5 Metodologia

O estudo iniciou-se com a construção de um banco de dados referente ao parque luminotécnico de João Monlevade-MG e a pesquisa sobre as tecnologias presentes, atualmente, na iluminação pública. Para isso, foram feitas buscas por informações nos órgãos responsáveis pela administração do sistema de iluminação pública do município. A pesquisa sobre as tecnologias existentes se fez através dos fabricantes de luminárias e de lâmpadas para iluminação pública, explorando-se os folhetos com dados dos equipamentos. Também contou com as diretrizes da NBR 5101 (ABNT, 2012); da Portaria nº 20 do INMETRO (INMETRO, 2017); o uso do Manual de Iluminação Pública (COPEL, 2012) e, principalmente, a ND 3.4 referente a projetos de iluminação pública (CEMIG, 2012), a qual rege as normas da concessionária local, aplicada à iluminação pública.

O levantamento dos dados econômicos, referentes ao município de João Monlevade-MG, contou com pesquisa junto à prefeitura municipal e com consultas ao portal de transparência do município para conhecimento da dimensão de receitas e despesas provenientes da iluminação pública.

De posse dos dados econômicos e das características técnicas dos equipamentos, uma série de análises foi realizada no intuito de (a) confirmar a existência de viabilidade na substituição dos equipamentos e (b) mensurar os resultados desse processo. Juntamente com essas análises, foram adicionados dados de consumo energético e de custos envolvidos no processo, os quais foram obtidos a partir do banco de dados construído anteriormente.

1.6 Organização do Texto

O presente trabalho está dividido em sete capítulos:

Neste primeiro capítulo apresentou-se o tema e sua caracterização, a motivação, a justificativa e a metodologia. No capítulo 2, foi apresentado o estado da arte, considerando-se a viabilidade técnica, na qual se descreveu as principais tecnologias presentes nas luminárias para iluminação pública, e a análise comparativa entre essas mesmas tecnologias. O capítulo 3 tratou da viabilidade econômica, etapa em que se compararam as tecnologias pesquisadas do ponto de vista (a) dos custos energéticos; (b) dos custos de manutenção e (c) a vida mediana útil dos equipamentos comparados. O capítulo 4 analisou os custos do investimento na modernização da iluminação pública da cidade pesquisada e seu impacto nas receitas do município, segundo o modelo de implantação a ser escolhido. Já o capítulo 5 apresenta, à guisa de recomendações, parâmetros técnicos para guiar as prefeituras na formulação de editais para processos licitatórios que visem substituição de luminárias em vias públicas. O capítulo 6, por sua vez, propõe um modelo de equipamento capaz de apresentar condição favorável para geração de eficiência energética e economia aos cofres públicos, avaliando-se, também, o quantitativo do aporte financeiro que justifica o investimento em modernização do parque de IP. Enfim, o capítulo 7 explicitou as considerações finais.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Viabilidade Técnica

Para que possa ser verificada a viabilidade técnica das tecnologias de iluminação, primeiramente, tem-se que abordar alguns parâmetros referentes à qualidade e à eficiência energética quando se trata de iluminação pública. Para isso, alguns termos técnicos são usados tanto no decorrer do trabalho quanto em comparativos entre as tecnologias de iluminação. Os termos citados abaixo foram obtidos no Manual de Iluminação Pública (COPEL, 2012), quais sejam:

- a) **Fluxo luminoso:** pode ser entendido como a quantidade de energia radiante em todas as direções, emitida por unidade de tempo, e avaliada de acordo com a sensação luminosa produzida. A unidade de medida é o lúmen (lm);
- b) **Eficiência Luminosa:** é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela potência elétrica absorvida, sendo a unidade de medida o lúmen por Watt (lm/W). Este conceito é utilizado para comparar a diferentes fontes luminosas;
- c) **Iluminância:** é a densidade de fluxo luminoso recebido por uma superfície. Por definição a unidade de medida é o lúmen por metro ao quadrado (lm/m²), que pode ser denominada também de lux. A verificação deste parâmetro é fundamental para comprovar a qualidade da iluminação de um determinado local.
- d) **Temperatura de Cor:** este parâmetro não está relacionado com o calor emitido por uma lâmpada, mas pela sensação de conforto que a mesma proporciona em um determinado ambiente. Quanto mais alto for o valor da temperatura de cor, mais branca será a luz emitida, denominada comumente de “luz fria” e que é utilizada, por exemplo, em ambientes de trabalho, pois induz maior atividade ao ser humano. No entanto, caso seja baixa a temperatura de cor, a luz será mais amarelada, proporcionando uma maior sensação de conforto e relaxamento, chamada popularmente de “luz quente”, utilizada preferencialmente em salas de estar ou quartos. As fontes luminosas artificiais podem variar entre 2000K (muito quente) até mais de 10000K (muito fria).
- e) **Índice de reprodução de cor (IRC):** o IRC de uma fonte luminosa é a medida de cor real de uma superfície e sua aparência a ser iluminada pela fonte artificial. Uma fonte com IRC 100% é a que apresenta as cores de um objeto com a máxima fidelidade. Na Figura 4, é apresentado o mesmo local sob as mesmas condições, porém iluminado com fontes luminosas diferentes.
- f) **Vida mediana:** tempo após o qual 50% das lâmpadas de uma determinada amostragem, submetidas a um ensaio de vida, deixam de funcionar (COPEL, 2012, p. 4-6).

A respeito da temperatura de cor, veja-se a Tabela 1, a seguir, que apresenta exemplos da escala de aparência, de acordo com a sensação de conforto emitida.

Tabela 1 Tabela de Temperatura de Cor

Temperatura de cor (K)	Aparência	
<3300	Quente (branco alaranjado)	
De 3300 a 5000	Intermediária (branco)	
>5000	Fria (branco azulado)	

Fonte: Manual de Iluminação Pública, Copel (2012)

Em termos comparativos, é possível observar as diferenças ocasionadas por iluminação a partir de fontes luminosas diferentes na Figura 3, a seguir:

Figura 3 - Comparativo entre IRCs



Fonte: Ledstar (<https://www.ledstar.com.br/guia-luminaria-de-led/>)

2.1.1 Lâmpada de Vapor de Mercúrio

As lâmpadas de vapor de mercúrio enquadram-se no grupo de lâmpadas de descarga de alta pressão, como ilustrado na Figura 4, e estão presentes nos parques luminotécnicos do país. Segundo a ND 3.4 (CEMIG, 2012), devem ser usadas apenas para manutenção de pontos já existentes de lâmpadas de vapor de mercúrio, ou seja, seu uso é indicado apenas em pontos onde já existe essa tecnologia e não para novos projetos de iluminação pública.

O seu princípio de funcionamento é descrito no Manual de Iluminação Pública (COPEL, 2012), como se vê na sequência:

Tem sua produção de luz através da excitação de gases provocada por corrente elétrica. Na partida desta lâmpada, há a ionização de um gás inerte, em geral o argônio, provocando um aquecimento no bulbo fazendo evaporar o mercúrio e produzindo uma luz amarelada pela migração de elétrons. Na sequência, há a ionização do mercúrio e as colisões entre os elétrons livres deste com o argônio produz uma luz azulada, e a composição das duas é o resultado obtido desta lâmpada.

A característica da impedância desta lâmpada após a partida é de alta condutância, sendo necessária a utilização de reatores para limitar a corrente elétrica de alimentação (COPEL, 2012, p. 5-6).

Figura 4 - Lâmpada de vapor de mercúrio.



Fonte: Manual de Iluminação Pública, Copel (2012)

Através da Tabela 2, é possível conhecer os aspectos gerais das lâmpadas VM, indicados pela CEMIG (ANO), segundo a ND 3.4. Os parâmetros técnicos, mostrados na Tabela 2, podem variar de acordo com os fabricantes.

Tabela 2 - Características das lâmpadas de vapor de mercúrio

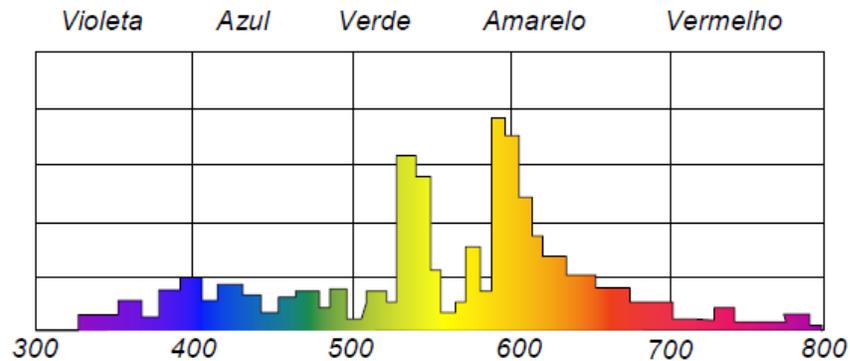
Características das lâmpadas VM

Potencia (W)	Fluxo luminoso (lm)	Vida mediana (hrs)	IRC (%)	Temperatura de cor (K)
80	3.800	9.000-15.000	<48	3500-4500
125	6.300			
250	13.000			
400	22.000			

Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com especificações de: CEMIG, COPEL, Philips (2021)

A Figura 5 apresenta um gráfico de distribuição espectral, indicando quais espectros de radiação são emitidos pela lâmpada.

Figura 5 - Distribuição espectral para lâmpada de vapor de mercúrio



Fonte: CEMIG (2012).

2.1.2 Lâmpada de Vapor de Sódio

A lâmpada de vapor de sódio é a mais utilizada em todo o sistema de iluminação pública do país; em 2012, como mostra o estudo do Banco Mundial, essa tecnologia correspondia a 71% de todo parque nacional. Com um funcionamento similar ao da lâmpada de vapor de mercúrio, também necessita do uso associado de um reator, segundo o Manual de Iluminação Pública (COPEL, 2012), o que pode ser comprovado na descrição abaixo:

Comercializada a partir de 1955, tem princípio de funcionamento muito similar à vapor de mercúrio, tendo como diferença básica a adição do sódio, e que devido suas características físicas exige que a partida seja feita mediante a um pico de tensão da ordem de alguns quilovolts com duração da ordem de microssegundos.

A grande desvantagem desta fonte luminosa é seu baixo índice de reprodução de cor (IRC), e a cor amarelada da luz emitida (COPEL, 2012, p. 5-6).

Para fins de exemplificação, mostra-se, na Figura 6, uma lâmpada de vapor de sódio.

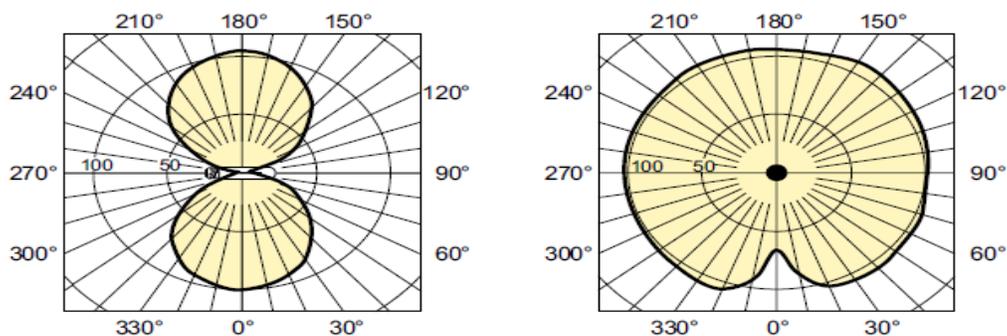
Figura 6 - Lâmpada de vapor de sódio



Fonte: Philips (www.lighting.philips.com.br)

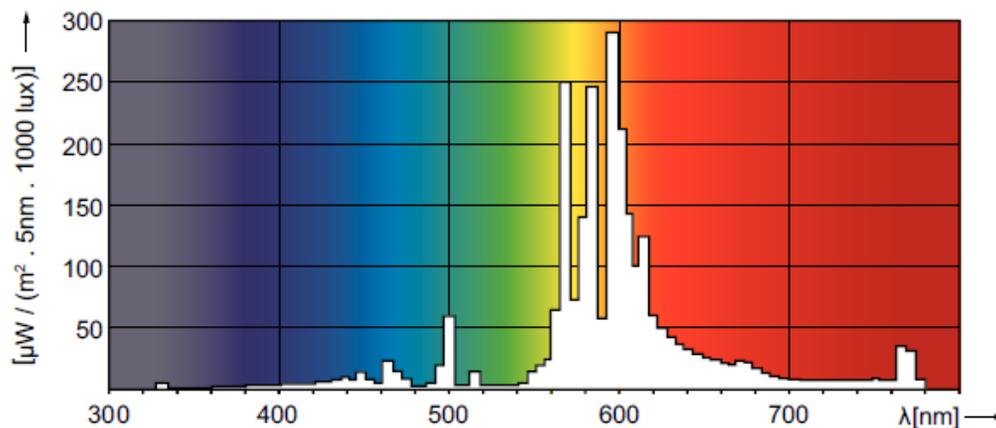
Em sequência, as Figuras 7 e 8 apresentam dados fotométricos de uma lâmpada de vapor de sódio, com a finalidade de ilustrar melhor o seu funcionamento. As curvas fotométricas, conforme Figura 8, indicam a distribuição da luz produzida pela lâmpada. Dessa forma, consegue-se projetar os sistemas de iluminação de maneira correta. Já a Figura 9 indica o espectro de luz que é emitido pela lâmpada, conforme é observado na imagem correspondente, esse tipo de lâmpada emite uma luz com comprimento de onda de luz visível entre as cores amarela e vermelha, fato que explica a cor amarelada ou alaranjada produzida por essas lâmpadas.

Figura 7 - Curvas fotométricas para lâmpada vapor de sódio



Fonte: Philips (www.lighting.philips.com.br)

Figura 8 - Distribuição espectral para lâmpada VS



Fonte: Philips (www.lighting.philips.com.br)

A Tabela 3 mostra algumas características indicadas para essas lâmpadas, segundo a ND 3.4 (CEMIG, 2012).

Tabela 3 - Características das lâmpadas de Vapor de sódio

Características das lâmpadas VS

Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Vida mediana (hrs)	IRC	Temperatura de cor (K)
70	6.600	18.000-32.000	<25	2000
100	10.700			
150	17.500			
250	33.200			
400	55.000			

Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com especificações de CEMIG, COPEL, Philips.

As lâmpadas de vapor de sódio eram as lâmpadas indicadas para novos projetos de iluminação pública, segundo a ND 3.4 (CEMIG, 2012), como se pode ver:

Devem ser instaladas em projetos novos, reforma, melhoramento, extensões, trevos, rotatórias, passagens em nível, túneis, rodovias, vias especiais.

Podem ser instaladas na iluminação pública decorativa de praças, em segundo nível, calçadas, fachadas e monumentos (CEMIG, 2012, p. 18).

2.1.3 Lâmpada de Vapor Metálico

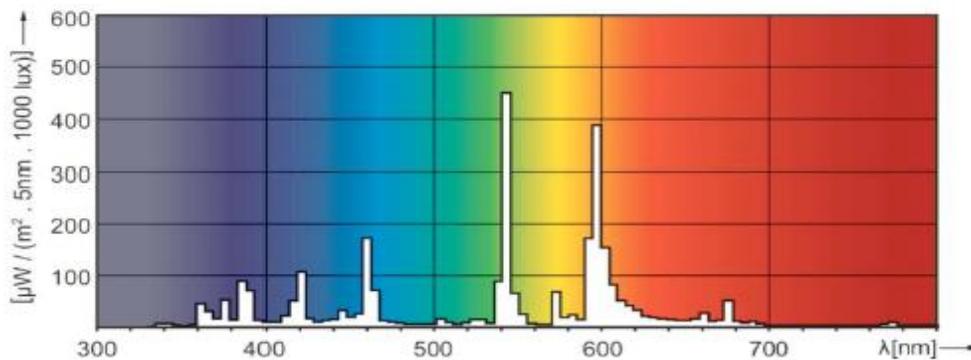
Semelhante às outras duas tecnologias apresentadas, as lâmpadas de vapores metálicos são consideradas uma evolução dessas lâmpadas, apresentando características um pouco diferentes: temperatura de cor maior, emissão de luz de cor mais clara e brilhante, encaixando-se nos espectros de luz fria com cores brancas. Veja-se, a respeito, descrição da COPEL (2012).

Esta lâmpada, comercializada a partir de 1964, é uma evolução da tecnologia a vapor de mercúrio, sendo fisicamente semelhante a vapor de sódio. O princípio é o mesmo, porém a adição de iodetos metálicos conferiu à fonte luminosa maior eficiência luminosa e IRC. A luz produzida é extremamente brilhante, realçando e valorizando espaços; por estes motivos esta lâmpada é empregada em sistemas de iluminação pública em locais em que se busca também o embelezamento urbano. Manual de Iluminação Pública (COPEL, 2012, p.19).

A VTM é uma tecnologia menos usada, não chegou a representar 5% dos pontos de iluminação pública levantados no ano de 2012, a qual é indicada para uso em praças e áreas verdes em segundo nível, calçadas e ciclovias, além de poder ocorrer em iluminação decorativa (CEMIG, 2012).

A Figura 9 representa a distribuição espectral característica de lâmpadas de vapor de metálico.

Figura 9- Distribuição espectral para lâmpada VMT



Fonte: Philips (www.lighting.philips.com.br)

Por sua vez, a Tabela 4 apresenta as características indicadas para as lâmpadas de vapor metálico, como se pode conferir:

Tabela 4 - Características das lâmpadas de vapor metálico

Características das lâmpadas VMT

Potencia (W)	Fluxo luminoso (lm)	Vida mediana (hrs)	IRC (%)	Temperatura de cor (K)
150	15.000	8.000-12.000	<85	3000 - 6000
250	22.000			
400	32.000			

Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com especificações de CEMIG, COPEL, Philips.

2.1.4 Luminárias de LED

A tecnologia LED vem se tornando protagonista dentre as tecnologias de iluminação, devido às suas características e ao período atual de avanços tecnológicos. O termo LED é sigla para *light emitting diode*, ou seja, expressão em inglês que significa em português ‘diodo emissor de luz’, que consiste em um dispositivo semicondutor, de junção P-N, construído de forma que, quando percorrido por uma corrente elétrica, se transforma em uma fonte de energia luminosa (eletroluminescência). (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Constituído por múltiplas camadas de material semicondutor, os dispositivos LEDs são capazes de emitir luz em um espectro determinado, mantendo, assim, uma temperatura de cor específica. Além disso, esse material é capaz de produzir luz em diversas cores do vermelho ao azul, de acordo com o material usado em sua composição.

Os LEDs têm diversas características que fazem dessa tecnologia uma candidata ao protagonismo nos parques de iluminação por todo mundo. Já existem diversos programas e iniciativas que visam à inserção desse tipo de tecnologia na iluminação pública. O fato de terem foco direcionável, livres de metais pesados, com uma alta eficiência e durabilidade, além de um IRC elevado e uma abrangência a várias temperaturas de cor, são alguns dos motivos que colocam o dispositivo LED como favorito para ser dominante no sistema de iluminação mundial (COPEL, 2012).

A estrutura externa das luminárias varia em tamanho e formas, mas tem em comum um corpo metálico, em geral, de alumínio. Essa estrutura possui uma lente na parte inferior onde os LEDs são posicionados, conforme demonstra a Figura 10. Os pontos em amarelo na imagem são os LEDs.

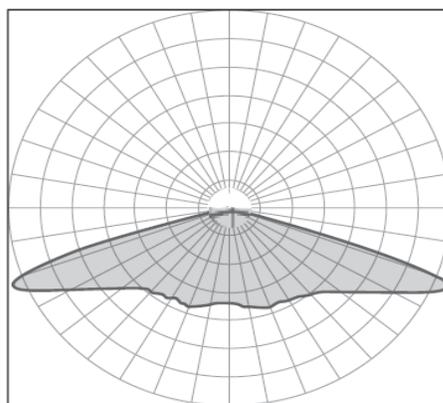
Figura 10 - Luminária de LED 150W



Fonte: Philips (*datasheet*)

A Figura 11 ilustra a curva fotométrica de uma luminária de LED.

Figura 11 - Curva fotométrica para uma luminária de LED



Fonte: Ledstar (*datasheet*)

De acordo com o fabricante, as luminárias de LED apresentam uma variação nos parâmetros de vida declarada nominal, IRC, e fluxo luminoso. Dependendo do tipo de construção e disposição dos LEDs. Assim, a Tabela 5 foi elaborada a partir das informações presentes em fontes de pesquisa utilizadas neste trabalho. A Tabela 5 apresenta as características gerais dos LEDs. Vale ressaltar

que a avaliação de vida útil para as luminárias de LED é feita em função apenas da manutenção do seu fluxo luminoso, desse modo, não é apresentada a durabilidade total do equipamento.

Tabela 5 - Características das luminárias de LED

Características das luminárias de LED

Potencia (W)	Fluxo luminoso (lm)	Vida útil (hrs)	IRC	Temperatura de cor (K)
70	>7.000	50.000-100.000	>70	3500-6500
100	>10.000			
150	>15.000			
200	>20.000			

Fonte: Adaptada da bibliografia consultada (2021).

Em geral, as luminárias de LED apresentam uma eficiência luminosa acima de 100(lm/W), conforme indicado na coluna de fluxo luminoso da Tabela 5. Também é comum uma alta vida útil dessas luminárias, geralmente acima de 50.000 horas. Em alguns casos, pode chegar até acima de 100.000 horas. Apesar de os LEDs serem capazes de produzir temperaturas de cor na faixa de 2.000K–10.000K, os valores usados na Tabela 5 referem-se ao que geralmente é utilizado para iluminação pública e, conseqüentemente, mais encontrado no mercado.

Durante a evolução da pesquisa, as informações sobre as luminárias de LED mostraram uma característica construtiva que as difere de grande parte das luminárias convencionais, como ilustra a Figura 10. As células de LED, sejam elas únicas ou de várias células em uma mesma luminária, são voltadas diretamente para baixo. Ao contrário dos modelos convencionais, que possuem característica construtiva na qual o fluxo luminoso é direcionado para o interior da luminária e depois refletido. Os equipamentos que usam tecnologia LED têm seu encapsulamento feito para que o fluxo seja direcionado, em sua totalidade, para o ambiente que se deseja iluminar.

2.2 Comparativo entre as tecnologias.

Todas as tecnologias citadas são aplicadas no parque luminotécnico brasileiro. Por conseguinte, todo equipamento que consiga cumprir os requisitos da NBR 5101:2012 apresentam capacidade técnica de serem utilizados, partindo-se do objetivo de fornecer iluminação para os espaços públicos. Assim, existem parâmetros técnicos que vão diferenciar esses equipamentos e influenciar na qualidade do serviço de iluminação ofertado.

Como o objetivo do trabalho é avaliar a capacidade dos LEDs de figurarem como principal tecnologia de iluminação pública, alguns comparativos sobre essas tecnologias são apresentados. A escolha das potências das luminárias comparadas segue o critério de equivalência do fluxo luminoso, e serve para apresentar as diferenças entre as tecnologias. Outra necessidade existente é dimensionar a equivalência de uma tecnologia para a outra, pois isso requer uma junção das características dos equipamentos. Ou seja, se for tomado como base apenas um parâmetro para fazer a equivalência das tecnologias, os resultados podem não ser os ideais. Para a construção das tabelas, tomam-se como base as características das lâmpadas convencionais que podem ser encontradas na ND 3.4, norma da CEMIG DISTRIBUIÇÃO, referente à iluminação pública. Essa norma determinava os critérios e parâmetros das instalações de iluminação em Minas Gerais antes da resolução normativa da ANEEL. Assim, é pressuposto que a maioria das instalações convencionais segue os padrões de exigência da CEMIG.

A Tabela 6, na sequência, apresenta um comparativo entre lâmpadas de vapor de mercúrio e lâmpadas LED, considerando-se a potência (W), o fluxo luminoso (lm) e a eficiência (lm/W), em relação a quatro marcas encontradas no mercado.

Tabela 6 - Comparativo entre lâmpadas VM e LED

Lâmpadas de Vapor de Mercúrio		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
80	3.800	47,5
125	6.300	50,4

250	13.000		52		
400	22.000		55		
Luminária de LED					
MARCA A			MARCA B		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
24	4.500	179,16	30	3.910	130
33	6.100	180,56	50	6.465	129
76	13.600	181,38	115	15.581	135
122	21.600	178,9	175	21.899	125
MARCA C			MARCA D		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
22	3.212	146	33	3.960	120
51	7.149	140	50	6.250	125
100	14.200	142	100	12.500	125
150	21.000	140	200	25.000	125

Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com especificações de CEMIG, Philips, Tecnowatt, SX Ligth, OL Iluminação

Conforme é apresentado na Tabela 6, as características das lâmpadas de vapor de mercúrio ao serem comparadas às luminárias de LED são muito distantes em valores. O estudo aponta, em alguns casos, eficiência luminosa 3x maior na tecnologia LED, o que significa que, consumindo uma potência muito menor, as luminárias de LED têm capacidade de fornecer luminosidade semelhante, de forma equivalente às lâmpadas VM. Pode-se considerar para efeitos de comparação, por exemplo, a potência de 250W: uma lâmpada VM que produz um fluxo de aproximadamente 13.000 lúmens comparada a uma luminária LED que produz 15.581 lúmens, consome apenas 115W. Vale ressaltar que esse comparativo tomou como base a equivalência de fluxo luminoso,

porém, quando são contabilizados parâmetros luminotécnicos, a equivalência entre as tecnologias apresenta um resultado ainda mais favorável para o LED. Em geral, as luminárias de LED apresentam vida útil 50% maior do que a vida mediana das lâmpadas VM, as quais começam a queimar entre 9.000 e 15.000 horas. Por sua vez, a luminária de LED da marca D, que tem a menor eficiência luminosa, consegue entregar 12.500 lúmens, demandando uma potência de 100W apenas e, ainda, tem uma vida útil de 50.000 horas, ou seja, durabilidade três vezes maior que a lâmpada de vapor de mercúrio.

Elevando-se o parâmetro de comparação, para uma luminária de LED da marca A, que apresentou maior eficiência luminosa entre as marcas comparadas, a qual entrega um fluxo de 13.600 lúmens, consumindo apenas 76W. Isso significa uma eficiência luminosa 300% maior do que a lâmpada VM. Além disso, a marca A, em seu *datasheet*, indica vida útil de 78.000 horas, isto é, 5x mais durável, fato importante, pois aumenta a confiabilidade do sistema de iluminação pública, uma vez que demanda menos manutenção.

Tabela 7 - Comparativo entre lâmpadas VS e luminárias LED

Lâmpadas de Vapor de Sódio		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
70	6.600	94,3
100	10.700	107
150	17.500	116,6
250	33.200	132,8
400	55.000	137,5
Luminária de LED		

MARCA A			MARCA B		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
33	6.100	180,56	50	6.465	129
55	9.600	170,68	80	10.510	131
100	17.200	172,65	140	18.700	134
169	29.200	175,74	190	23.559	124
195	35.100	184,70	200	23.358	117
MARCA C			MARCA D		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
50	7.149	140	50	6.250	125
74	10.360	140	80	10.000	125
120	17.040	142	120	15.000	125
150	21.000	140	150	18.750	125
150*	25.800	172	200	25.000	125

Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com especificações de CEMIG, Philips, Tecnowatt, SX Ligth, OL Iluminação.

*A marca C apresenta duas linhas de luminárias, com eficiências luminosas diferentes. Por essa razão, temos uma mesma potência e um fluxo luminoso maior.

As luminárias de vapor de sódio conseguem entregar um fluxo luminoso e uma eficiência luminosa satisfatória, chegando a valores de até 137,5 lúmens por watt, segundo as características indicadas pela ND 3.4 (CEMIG, 2012). Além disso, comparada às demais tecnologias convencionais, é a que apresenta maior vida mediana, em torno de 28.000 horas para 70W e 32.000 horas para as demais potências. Estas têm eficiência luminosa equivalente a alguns modelos de luminárias de LED. Todavia, conforme a Tabela 7, vê-se que para a potência de 150W, uma lâmpada VS entrega 17.500 lúmens com eficiência de 116,6 lm/W, assim, no comparativo com a

tecnologia LED, que apresenta, na Tabela 7, a marca A como a mais eficiente, produz 17.200 lúmens e consome 100W, e a marca D como a menos eficiente, pois fornece 15.000 lúmens com eficiência de 125 lm/W, percebe-se que a tecnologia LED consegue ser mais eficiente que lâmpadas VS. Podem-se apontar como desvantagens das lâmpadas VS a temperatura de cor de 2000K que tem um tom amarelo/alaranjado; enquanto que as luminárias LED, a maioria trabalha com temperaturas de 4000K a 6500K; outro aspecto que tem um impacto negativo para as lâmpadas VS é o baixo IRC, menor do que 25%, que é considerado apenas funcional pela CEMIG. Isso implica que esse tipo de iluminação fornece ao usuário das vias públicas uma sensação de menor visibilidade.

A Figura 12 ilustra fontes luminosas com diferentes IRCs.

Figura 12- Comparativo de diferentes IRC's



Fonte: Manual da Iluminação Pública COPEL (2012)

As características de alto IRC e uma faixa de temperaturas de cor ampla concedem aos LEDs um ponto positivo quando comparado às lâmpadas VS. Dessa forma, o uso do dispositivo LED gera um maior conforto visual ao usuário, implicando em uma melhor iluminação. Outro ponto importante é que mesmo as lâmpadas de vapor de sódio possuem uma vida mediana, em torno de 32.000 horas, nos melhores casos, a maioria das luminárias de LED apresentam um valor de mais de 50.000 horas. Porém, a marca A informa que suas luminárias têm vida útil de 78.000 horas e a marca C, por seu lado, apresenta em seu selo do INMETRO o valor de 102.000 horas. Esse fato aumenta a viabilidade desse tipo de iluminação.

Tabela 8- Comparativo entre lâmpadas VMT e luminárias LED.

Lâmpadas de Vapor Metálico

Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
70	6.300	90
150	15.000	100
400	32.000	80

Luminária de LED

MARCA A			MARCA B		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
33	6.100	180,56	50	6.456	129
83	14.700	178,67	115	15.581	135
195	35.100	184,70	190	23.559	124
MARCA C			MARCA D		
Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	Eficiência (lm/W)
51	7.149	140	50	6.250	125
100	14.200	142	120	15.000	125
150	25.800	172	200	25.000	125

Fonte: Elaborada pelo autor de acordo com especificações de CEMIG, Philips, Tecnowatt, SX Ligth, OL Iluminação.

As lâmpadas de vapores metálicos têm sua indicação para locais de destaque, por garantirem uma iluminação com uma qualidade mais agradável aos olhos onde o aspecto visual seja importante (CEMIG, 2012). Essa demanda é justificada pelo fato de essa tecnologia apresentar o maior IRC e, também, as maiores temperaturas de cor entre as tecnologias convencionais apresentadas neste trabalho. Essas são características comuns aos dispositivos LEDs, que possuem IRC >70%, e as lâmpadas VMT apresentam IRC <85%, ambas as tecnologias trabalham em faixas de temperatura de cor de 4000K a 6000K. No entanto, quando se avalia a vida mediana desses equipamentos, elas se distanciam muito das luminárias de LED que, em geral, possuem mais de 4x a vida útil dessas lâmpadas, que fica na faixa de 8.000 a 12.000 horas. Esse valor é considerado baixo, além de ser a menor durabilidade entre as tecnologias apresentadas.

As luminárias de LED também têm vantagem quando se compara a eficiência luminosa, mesmo evidenciando uma pequena vantagem, como visto na Tabela 8, para uma potência 150W, uma lâmpada VMT fornece 15.000 lúmens; as luminárias de LED que produzem um fluxo equivalente consomem 83W, 100W, 115W e 120W. Como a durabilidade dos LEDs é maior. Em longo prazo, essa eficiência se mostra importante na redução de custos.

Um ponto importante a se destacar no comparativo entre as tecnologias são os reatores que as lâmpadas convencionais necessitam para seu funcionamento. Devido à característica de funcionamento das tecnologias de descarga de gases, as lâmpadas inicialmente são vistas pelo sistema elétrico como um circuito aberto, em razão da alta impedância. Porém, no momento em que as lâmpadas entram em funcionamento, essa impedância atinge valores reduzidos, passando a ser visto pelo sistema como um curto-circuito. Quando essa mudança de comportamento ocorre, surge a necessidade de controlar a corrente de alimentação desses equipamentos, daí a funcionalidade do reator. Segundo o Manual de iluminação Pública (COPEL, 2012):

Os reatores eletrônicos são fontes chaveadas em alta frequência, da ordem de quilo Hertz, que controlam a corrente de alimentação da lâmpada. Estes equipamentos, diferentemente dos reatores magnéticos, dispensam o uso de ignitores e de grandes capacitores externos para a correção do fator de potência. Possibilitam também o controle de outros parâmetros elétricos da lâmpada, conferindo maior vida útil para a mesma e maior rendimento em todo o conjunto. Contudo, devido ao alto custo e menor robustez, se comparado ao magnético, ainda não foram amplamente empregados.

Os reatores magnéticos são indutores dimensionados para operarem na frequência da rede elétrica. Podem ser subdivididos em externos e internos, dependendo da aplicação. Os externos são geralmente fixados na estrutura de sustentação e se necessário possibilitam a conexão com os relés fotoelétricos. Junto com o indutor, no interior do reator são

instalados o ignitor e um capacitor para correção do fator de potência (COPEL DISTRIBUIÇÃO, 2021, p. 22).

Tabela 9 Características dos reatores

Tipo de lâmpada (220 V - 60 Hz)	Potência do reator (W)	Perdas Máximas (W)	Fator de potência
VS	70	14	0,92
	100	17	
	150	22	
	250	30	
	400	38	
VM	80	11	
	125	14	
	250	20	
	400	26	
VMT	35	10	
	70	14	
	150	25	

Fonte: CEMIG (2012)

As lâmpadas convencionais de descarga de alta pressão contêm metais pesados na sua produção, como o mercúrio, o que implica em um problema, quando esses equipamentos são descartados, já que esses metais são tóxicos e contaminam o meio ambiente. Outro ponto que deve ser destacado é que as luminárias de LED não demandam metais tipicamente pesados em seu processo construtivo.

Pode-se dizer que todas as tecnologias apresentadas possuem capacidade técnica para utilização em vias públicas, desde que contenham parâmetros para atender as especificações da NBR 5101.

As lâmpadas VM não são indicadas para novos projetos apesar de presentes ainda no sistema. Esse fato se justifica porque esses equipamentos têm baixa eficiência luminosa e vida útil menor do que as lâmpadas VS e os LEDs, além do fato de terem quantidade maior de mercúrio em sua composição. As lâmpadas de vapor de sódio são eficientes e têm boa durabilidade, mas deixam a desejar em aspectos visuais por terem uma cor de luz amarelada com temperatura de cor em torno de 2000K e um baixo IRC. A tecnologia de vapores metálicos é, das convencionais, a que apresenta melhores características visuais com alto IRC e temperatura de cor elevada. No entanto, é menos eficiente que as lâmpadas VS e tem baixa vida mediana, fator que pode explicar o maior uso das luminárias VS no sistema.

Os dispositivos LEDs têm ganhado cada vez mais representatividade no mercado de iluminação pública, porque conseguem aliar alta eficiência energética e vida útil prolongada com bons parâmetros de IRC e uma variada faixa de temperatura de cor. Dessa forma, as potências das luminárias de LED, equivalentes às potências de lâmpadas convencionais, podem ser reduzidas ainda mais, como exposto nas Tabelas 6, 7 e 8 de equivalência dos fabricantes, uma vez que a iluminação percebida pelo usuário é proveniente da junção de todos os parâmetros técnicos, aumentando a vantagem sobre as outras tecnologias.

A tecnologia é promissora, visto que os equipamentos podem entregar eficiência luminosa com mais de 180 lúmens por watt e oferecem garantia de até 10 anos. Outro ponto importante a se destacar é que o fluxo produzido por essas luminárias é direcionado para baixo, ao contrário das lâmpadas convencionais, onde parte do fluxo luminoso produzido incide na parte de dentro do equipamento para ser refletido. Isso significa que, quando comparamos uma mesma faixa de fluxo luminoso, o dispositivo LED torna-se mais eficiente, porque existe uma equivalência entre as tecnologias mesmo com o LED fornecendo um fluxo luminoso menor que o de uma lâmpada convencional. À vista disso, ao fazer uma equivalência entre as tecnologias, podem ser escolhidos equipamentos de LED que oferecem, conseqüentemente, uma potência menor, aumentando a eficiência energética do sistema, e exploram fatores, como IRC e temperatura de cor, para garantir uma melhoria nas condições de iluminação.

Os aspectos técnicos e os comparativos feitos entre as tecnologias são também importantes para o próximo capítulo, no qual se vão avaliar as características de cada equipamento, explorando-se aspectos econômicos como consumo e custos de implantação. Por esse motivo, o conceito de eficiência luminosa, que está diretamente ligado ao consumo e à vida útil, que se relaciona com os custos de manutenção dos equipamentos, é importante para os propósitos do trabalho.

3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a proposta deste trabalho, é necessário se considerar o cenário econômico que envolve esse contexto. Como já citado, os sistemas de IP são responsáveis por até 5% do orçamento das cidades. Diante disso, avaliar melhorias que possam produzir ganhos nesse aspecto é de suma importância. O estudo até este ponto focou em aspectos técnicos, os quais revelaram alguns dos motivos pelos quais os dispositivos LEDs estão ganhando notoriedade no mercado. Mas, para que essa tecnologia seja aceita como a mais viável para os sistemas de iluminação, ela precisa aliar viabilidade técnica com econômica e, ainda, se mostrar vantajosa para os cofres públicos. Para demonstrar o cenário econômico que cerca as tecnologias de iluminação pública, são expostas as características econômicas das tecnologias já apontadas.

O mercado de LED atualmente é muito amplo e diversificado, oferecendo várias configurações e características para luminárias. Dentre essas variáveis, pode-se incluir o valor dos produtos, pois se encontra no mercado uma diversidade grande de valores para um mesmo perfil de características. Para exemplificar, são mostrados valores de diferentes produtos, de diferentes marcas, mas em faixa de potência próxima a 100W, como também alguns atributos que possam justificar a discrepância entre os valores. Essa informação é relevante para o estudo, pois é uma variante que interfere diretamente nos resultados das discussões sobre viabilidade econômica, de acordo com o valor escolhido para as análises comparativas. Na tabela 9, é possível acompanhar a variação de valores para luminárias de 100W.

Tabela 10 - Comparativo de valores para luminárias de 100W

Comparativo de custo de luminárias de LED

MARCA	A	B	C	D
Potência	100W	100W	100W	100W
Eficiência Luminosa (l/W)	80	100	142	159
IRC (%)	>70	>70	>72	>80
Vida útil (hrs)	30.000	50.000	100.000	60.000
Valor	R\$ 156,90	R\$ 239,99	R\$ 716,14	R\$ 1568,89

Fonte: Mercado Livre, DigitalLED, Loja viária.

Conforme dados da Tabela 10, apresentada a seguir, é importante destacar que alguns parâmetros são diretamente proporcionais ao valor dos produtos e devem ser cuidadosamente analisados. Os conceitos técnicos, apresentados neste estudo, ajudam a entender o papel de cada parâmetro destacado na tabela. Com isso, é notável que aspectos relativos à qualidade dos produtos, como oferecer uma melhor eficiência luminosa, com melhores IRC's e alta vida útil, são características presentes em equipamentos de maior valor. Durante a pesquisa, foi observado que alguns produtos são facilmente encontrados em buscas na internet, e chama a atenção devido ao baixo custo desses produtos, pois não possuem selo do INMETRO nem garantia do vendedor sobre o tempo total de vida útil indicado na descrição do produto. Esses fatores são determinantes para se ter um baixo preço no mercado. Diante disso, é importante ressaltar que, mesmo com o intuito de se comprovar a viabilidade econômica, tomou-se cuidado na análise das características gerais das luminárias. Dessa forma, os produtos escolhidos para os comparativos são equipamentos comerciais que aliam aspectos técnicos relevantes, como também um custo acessível. O objetivo é estabelecer valores condizentes de produtos que realmente entreguem ao sistema público de iluminação economia, confiabilidade e qualidade para o serviço.

A primeira avaliação é o caso de um novo projeto de iluminação pública, executado para extensão de rede, em um novo bairro de um município. Nesse cenário, os comparativos não incluem as lâmpadas de vapor de mercúrio, uma vez que essa tecnologia é, desde 2012, segundo a CEMIG, indicada apenas para manutenção de pontos existentes e não para novos projetos. Ressalte-se que

neste projeto contemplaram-se somente os custos de implantação dos equipamentos de iluminação, sem levar em conta a mão de obra, os braços, cintas e postes comuns para ambas as tecnologias.

Tabela 11 - Comparativo do preço de implantação das tecnologias

CUSTO DE IMPLANTAÇÃO POR LUMINÁRIA

SISTEMA CONVENCIONAL COM LÂMPADA VS				
Potência	CUSTO LUMINÁRIA	CUSTO LÂMPADA	CUSTO REATOR	TOTAL
150W	R\$ 430,39	R\$ 46,62	R\$ 107,15	R\$ 584,16
250W	R\$ 430,39	R\$ 75,33	R\$ 136,83	R\$ 642,55
400W	R\$ 430,39	R\$ 84,26	R\$ 150,12	R\$ 664,77
SISTEMA CONVENCIONAL COM LÂMPADA VMT				
150W	R\$ 430,39	R\$ 75,90	R\$ 101,79	R\$ 608,08
250W	R\$ 430,39	R\$ 109,97	R\$ 111,24	R\$ 651,60
400W	R\$ 430,39	R\$ 119,19	R\$ 229,88	R\$ 779,46
SISTEMA LED				
PONTÊNCIA DO PONTO CONVENCIONAL	CUSTO LUMINÁRIA A	POTÊNCIA	CUSTO LUMINÁRIA B	POTÊNCIA
150W	R\$ 687,12	115W	R\$ 627,27	70W
250W	R\$ 750,46	140W	R\$ 716,14	100W
400W	R\$ 821,24	200W	R\$ 744,89	120W

Fonte: Elaborada pelo autor com base em Loja Elétrica, Magazine Luiza, Arquivo pessoal (uso autorizado).

A partir da Tabela 11, é possível ainda se obter outros dados importantes que são aproveitados no desenvolvimento da discussão sobre viabilidade econômica. Um ponto importante na análise é que, diferentemente da análise técnica, em que se comparam faixas de fluxo luminoso semente; neste caso, as potências das luminárias de LED, que hipoteticamente seriam implantadas no sistema, foram escolhidas levando-se em conta parâmetro de equivalência dos fabricantes, além

de outros aspectos das luminárias, tais como, diferente IRC e temperatura de cor, a fim de definir qual seria a potência equivalente.

Para o preço médio das luminárias de LED, equivalentes às potências de 150W, 250W e 400W, obteve-se, respectivamente R\$ 657,20, R\$733,30 e R\$783,07. Assim, em valores de hoje, a diferença de preço entre as luminárias convencionais e as luminárias de LED são, em média, 11% mais caras; ficando com um custo 15% maior que as luminárias equipadas com lâmpadas VS, e 7% maior que a tecnologia VMT, considerando-se o valor médio.

A Resolução Normativa 888, de 30 de junho de 2020, a qual visa aprimorar as disposições sobre o fornecimento de energia para a iluminação pública, em sua seção IV, trata sobre medição e faturamento. Pelo Art. 24, inciso IV, o consumo mensal de um ponto pode ser estimado através da seguinte expressão:

Equação 1 - Cálculo de consumo estimado por ponto, segundo RN 888 (ANEEL)

(3.1)

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\text{Carga} \times \left(N \times \text{Tempo} - \frac{\text{DIC}}{2} \right)}{1.000}$$

Onde temos:

Carga: potência nominal total do ponto de iluminação, incluindo equipamentos;

N: número de dias do mês;

Tempo: tempo considerado para o faturamento diário da iluminação pública;

DIC = Duração de Interrupção Individual da unidade consumidora que agrega os pontos de iluminação pública no último mês disponível, conforme cronograma de apuração da distribuidora, em horas, conforme Módulo 8 do PRODIST.

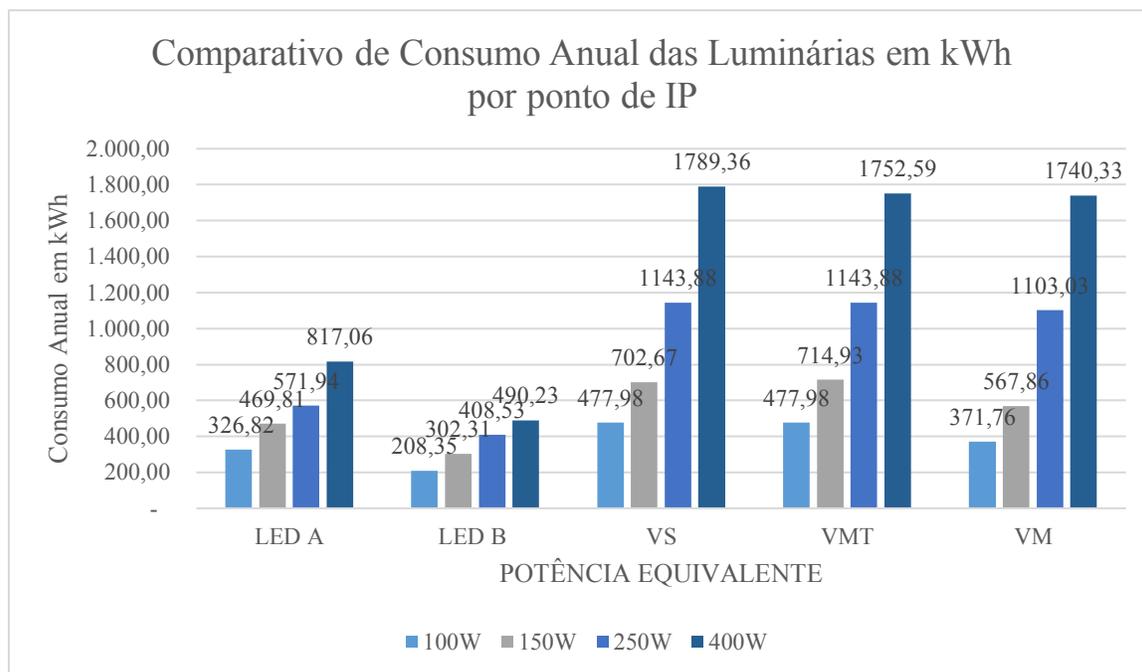
Fonte: Resolução Normativa 888 (ANEEL, 2020)

A partir da equação descrita acima, os parâmetros necessários para calcular o consumo foram encontrados. A ANEEL disponibiliza os indicadores de continuidade por município, para o município de referência deste estudo, João Monlevade-MG, o DIC ficou em um valor de 4,71, alusivo ao indicativo mensal do ano de 2020 da cidade em questão (ANEEL, 2021). As cargas dos

equipamentos foram definidas de acordo com os dados citados no estudo de viabilidade técnica, ressaltando-se que, para as tecnologias convencionais, foram adicionadas as perdas máximas dos reatores ao cálculo. O número de dias do mês foi considerado para um ano com 365 dias. Assim, fevereiro tem 28 dias e os demais meses 30 ou 31 dias. O tempo de uso diário dos equipamentos é definido, segundo a Resolução Homologatória 2.590 (ANEEL, 2019), e é tomado como base novamente o município de João Monlevade, onde se considera 11h27min de uso de iluminação pública.

A Figura 13, na sequência, expõe o gráfico que ilustra o consumo anual das tecnologias em kWh; observado o limite dos tipos de tecnologias aqui considerados.

Figura 13- Gráfico de consumo anual das tecnologias em kWh



Fonte: Elaborado pelo autor com base em ANEEL (2020).

É possível visualizar, no gráfico da Figura 13, como as luminárias de LED apresentam um consumo energético menor que as luminárias convencionais. Como se pode observar, mesmo entre a categoria de luminárias de LED (A e B) existe uma diferença de consumo. Todavia, fazendo-se a análise em valores médios, as tecnologias convencionais, comparadas com a média de consumo dos dois modelos de LED, observa-se que, para uma potência equivalente de 100W, tem-se o consumo médio de luminária convencional em 442,57kWh por ano, isso significa um valor de,

aproximadamente, 175 kWh a mais de consumo energético. Ou seja, consumindo cerca de 65% mais. Para a faixa de equivalência de 150W, a tecnologia LED consegue economizar 42,9% em consumo, o que representa uma diferença de 283,9kWh de energia em um ano, por ponto de iluminação. E para potências maiores, a economia gerada é ainda mais significativa. Na faixa de 250W, as luminárias convencionais consomem 130,6% mais energia, resultando em uma variação de consumo 640,3 kWh. Ainda, comparando-se em números, para 400W, o consumo das luminárias LEDs é de 1107,11 kWh menor, chegando a uma economia energética de 62,9%.

Visto que existe uma diferença de consumo energético entre as tecnologias, esses valores são transformados em custo financeiro de um ponto de IP para o município e analisados em longo prazo, para isso, tomou-se como base a tabela de tarifas da CEMIG para o grupo B4, indicada na Tabela 12, a seguir. Para os cálculos, a tarifa aplicável foi a B4a, que é a tarifa referente a IP, cuja responsabilidade é do município. Outro ponto importante é que para os cálculos de custo de consumo adotou-se a bandeira verde, por ter sido a tarifa que predominou no ano de 2020, devido a um despacho que suspendeu o sistema de bandeiras naquele ano (ANEEL, 2021).

Tabela 12 - Tabela de tarifas para grupo de IP

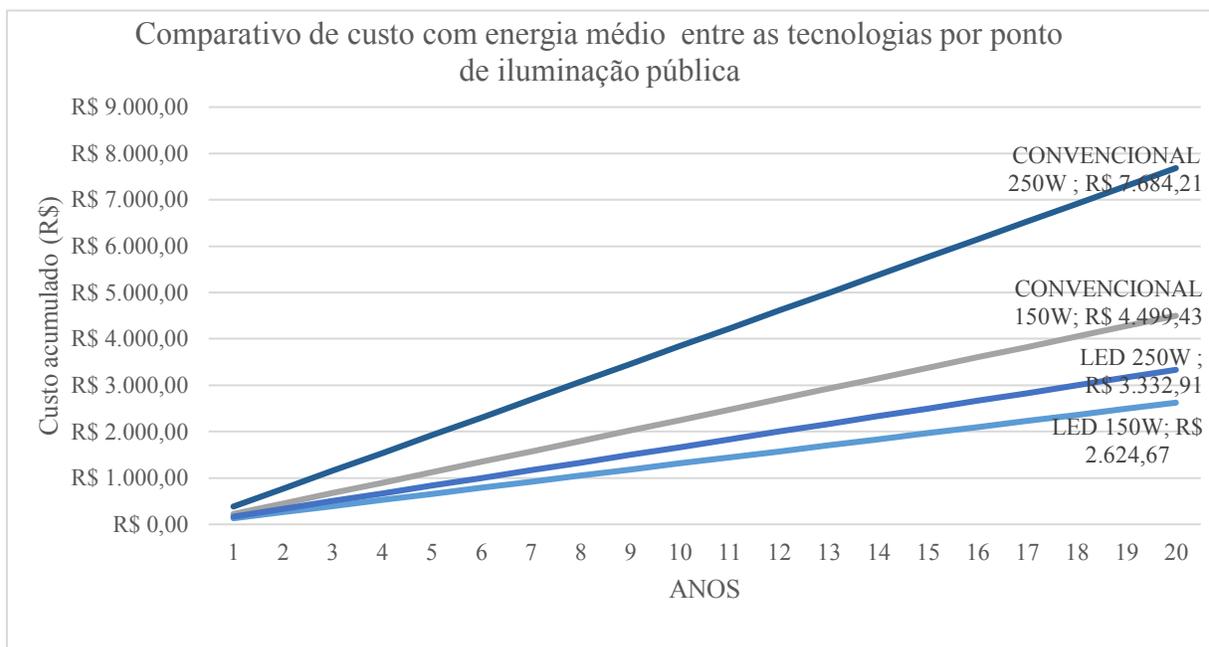
Bandeiras Tarifárias para o Grupo B4 – Iluminação Pública

	Bandeira Verde (R\$/kWh)	Bandeira Amarela (R\$/kWh)	Bandeira Vermelha 1 (R\$/kWh)	Bandeira Vermelha 2 (R\$/kWh)
B4a – Rede de Distribuição	0,33993	0,358670	0,379640	0,434850
B4b – Bulbo da lâmpada	0,37082	0,389560	0,410530	0,465740

Fonte: CEMIG (2021)

A Figura 14 apresenta os quantitativos médios de consumo expresso em reais, por ponto de IP, acumulando-se os valores em longo prazo, por um período de 20 anos.

Figura 14 - Gráfico comparativo de custo acumulado entre as tecnologias

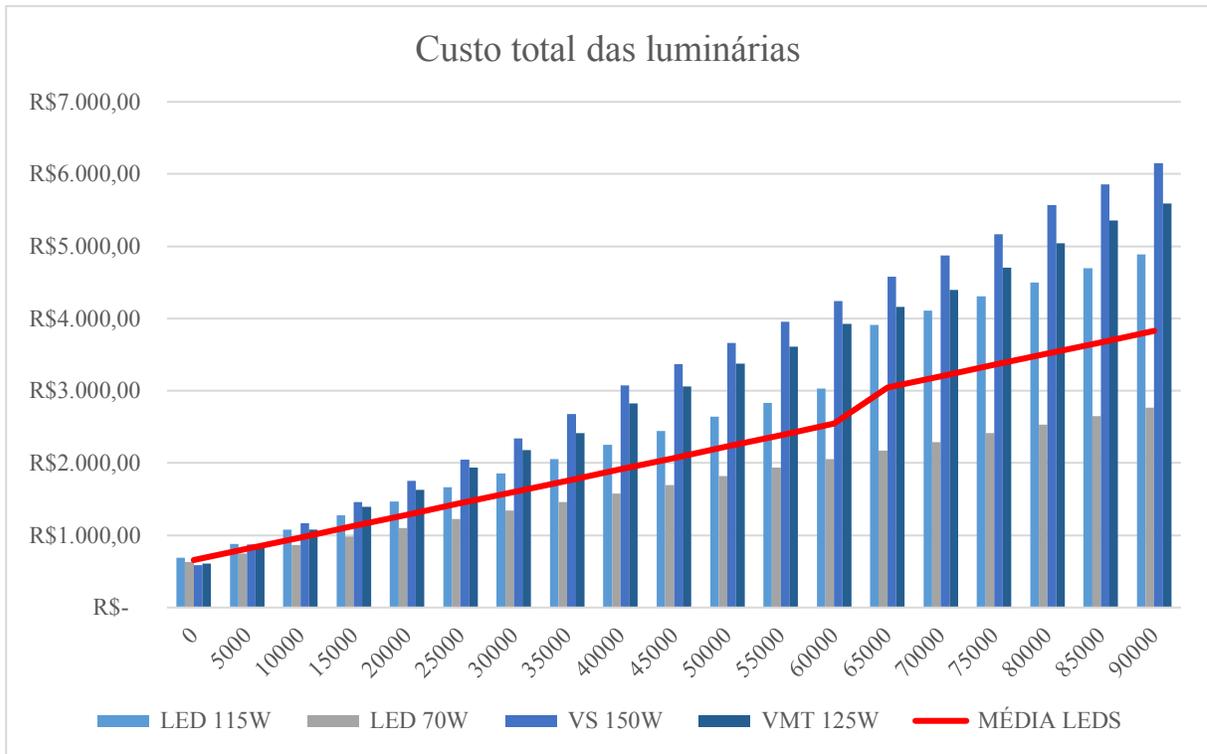


Fonte: Elaborado pelo autor com base em CEMIG (2021).

Conforme observado, a tecnologia LED traz um benefício financeiro muito grande para o município, já que o consumo para uma potência equivalente de 150W, o custo acumulado é 42% menor; enquanto que para a potência de 250W, o custo é cerca de 57% menor.

Na Figura 15, tem-se o gráfico que apresenta um comparativo de custo das tecnologias de LED e as convencionais de Vapor de Sódio e Vapor Metálico, levando-se em conta o custo inicial de cada uma delas e, ainda, o custo de manutenção, durante um período de 90.000 horas de funcionamento.

Figura 15- Gráfico comparativo de custos, considerando implantação e manutenção das luminárias



Um ponto chave para esse trabalho é mostrado na Figura 15. Como estão expostos na Tabela 10, os custos iniciais não têm uma disparidade, porém os dispositivos LEDs ainda requerem um investimento inicial maior. O custo relacionado ao consumo energético das tecnologias, apresentado na Figura 15, mostrou uma grande diferença entre as tecnologias, com vantagem para os dispositivos LEDs. Não obstante, em nenhuma análise feita anteriormente, foram levados em conta os custos com a manutenção dos pontos de IP. O custo de manutenção foi somado ao custo energético, seguido da vida mediana ou útil dos equipamentos. Para o dispositivo LED A, foi considerado 66.000 horas e para o dispositivo LED B, 100.000 horas. Já as tecnologias convencionais têm uma lógica diferente, pois são compostas de um reator ligado à lâmpada, a vida útil do reator foi definida como de 40.000 horas para ambas as tecnologias, enquanto a durabilidade da lâmpada VS foi de 32.000 horas, e a VMT, 12.000 horas.

O custo de um ponto de IP que usa lâmpada de vapor metálico tem seu custo elevado devido à junção de dois fatores: consumo maior e baixa vida mediana. Isso faz que, no longo prazo, um ponto que use tecnologia VMT demande mais manutenção que um ponto de lâmpada VS ou LED.

Isso implica em um custo apenas 9% menor que a lâmpada vapor de sódio, mesmo tendo 25W a menos de potência e 31,54% maior de custo médio que os dispositivos LEDs.

Já se observou, como característica positiva, a durabilidade das lâmpadas de vapor de sódio, como também sua boa eficiência energética. Essa condição dá a elas uma vantagem competitiva. Caso se faça uma análise comparativa dessa tecnologia em relação à luminária LED de 115W, notar-se-á uma diferença pequena nos valores, até mesmo no momento da primeira manutenção do LED, os custos das tecnologias chegam a atingir patamares próximos, chegando a uma diferença final de 20,49% de economia no uso da tecnologia LED.

Um motivo para essa pequena variação pode ser o elevado custo de manutenção das luminárias de LED, já que a manutenção nesses equipamentos, a fim de recondiçaná-los, sem que haja a necessidade da substituição da luminária completa, ainda é um tema que gera divergências. Consequentemente, considera-se que, a cada período de 66.000 horas, é o período de manutenção do fluxo luminoso especificado no descritivo técnico do produto, mais uma luminária será adquirida e substituída no sistema. Todavia, se não existe uma disparidade de custo entre as tecnologias, é comprovada uma economia que, mesmo não sendo tão expressiva, é compensada pelas características luminotécnicas da tecnologia LED, que são muito superiores às das lâmpadas de vapor de sódio, conseguindo, dessa forma, melhorar a qualidade do sistema por um valor monetário menor.

Evidenciado isso, existem diversos modelos de luminárias disponíveis no mercado. Agora, a análise comparativa entre a lâmpada VS e o segundo modelo de LED do gráfico permite observar valores mais espaçados e uma vantagem para a segunda tecnologia. Nesse caso, o custo de um ponto de LED ficou 55% mais baixo que o ponto com lâmpada VS, incluindo-se implantação e manutenção. Isso se deve ao fato de esse equipamento consumir ainda menos energia, além de possuir uma vida útil declarada nominal de mais de 100.000 horas. Assim, no período contemplado no gráfico, não houve a necessidade de manutenção, o que gera um ponto muito positivo. Por fim, adicionou-se ao gráfico da Figura 15 uma média de custo do dispositivo LED, para uma análise mais global.

Notadamente, é perceptível que a tecnologia é viável economicamente em relação às outras tecnologias, mesmo quando se contabiliza os gastos provenientes de manutenção, em um prazo que extrapola a garantia inicial dos equipamentos. Comparado às luminárias de Vapor de Sódio, os LEDs apresentaram custo 37,75% menor, e a tecnologia de vapores metálicos, com uma

diferença menos expressiva, apresentou um custo 46,07% maior que o custo médio das luminárias de LED.

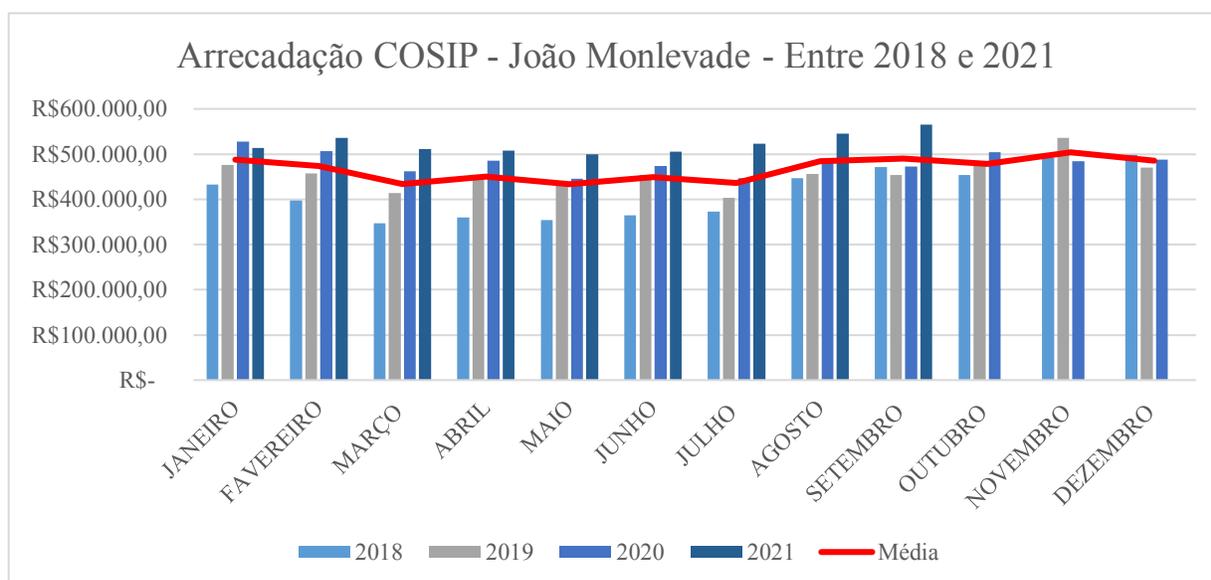
4 ANÁLISE DE VIABILIDADE E DE RETORNO – JOÃO MONLEVADE

4.1 Cenário Econômico

Abordar o cenário econômico, no caso deste estudo, consiste em compreender como o custo de energia elétrica impacta na economia da cidade e quanto o município arrecada com a contribuição para o custeio da iluminação pública. Esses dados associam os custos do investimento na modernização da iluminação pública às receitas do município.

Segundo informações expostas no portal da transparência (PMJM, 2021), o município estima arrecadar R\$ 6.000.000,00 (seis milhões de reais) provenientes da Contribuição para o Custeio da Iluminação Pública (COSIP). Até o mês de setembro de 2021, o total arrecadado atingiu o valor de R\$ 4.708.172,07. Esse valor já se aproxima de R\$4.990.787,86 arrecadados no ano de 2018, e, por estimativa, deve superar os anos de 2019 e 2020, os quais receberam valores na ordem de R\$ 5.476.165,75 e R\$ 5.785.219,82, respectivamente.

Figura 16 - Arrecadação COSIP do município entre 2018 e 2021 (até setembro)



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de João Monlevade e Portal Transparência PMJM

Observa-se, através dos dados da Figura 16, que a taxa de arrecadação é variável ao longo dos meses do ano, mas segue um padrão, como mostra a curva de média dos valores que pode ser associado às variações no custo da conta de energia elétrica, uma vez que esse recurso é captado pela CEMIG por meio da conta de luz e repassado aos municípios. Outro fator importante é que a arrecadação cresceu, considerando-se de 2018 para 2021, quando se aferiu, em média, 33% a mais por mês.

Tabela 13 - Custo com energia elétrica, segundo Secretaria Municipal de Serviços Urbanos do município de João Monlevade.

**CUSTO COM ILUMINAÇÃO PÚBLICA
EM JOÃO MONLEVADE ENTRE 2018 E 2021**

MÊS	2018	2019	2020	2021
JANEIRO	R\$ 190.563,50	R\$ 236.316,21	R\$ 224.441,98	R\$ 228.157,98
FAVEREIRO	R\$ 194.225,43	R\$ 226.491,45	R\$ 229.263,29	R\$ 203.919,50
MARÇO	R\$ 180.231,52	R\$ 228.031,94	R\$ 239.849,22	R\$ 224.613,22
ABRIL	R\$ 162.731,33	R\$ 202.695,91	R\$ 230.386,39	R\$ 221.970,93
MAIO	R\$ 179.475,70	R\$ 221.321,40	R\$ 217.046,84	R\$ 243.307,15
JUNHO	R\$ 388.157,23	R\$ 218.201,50	R\$ 232.091,13	R\$ 253.238,53
JULHO	R\$ 238.922,56	R\$ 256.212,47	R\$ 187.757,05	R\$ 274.434,09
AGOSTO	R\$ 270.330,95	R\$ 254.818,25	R\$ 235.157,55	R\$ 278.829,62
SETEMBRO	R\$ 257.095,81	R\$ 282.326,18	R\$ 233.464,30	R\$ 297.723,41
OUTUBRO	R\$ 252.904,57	R\$ 239.009,37	R\$ 218.284,98	R\$ 308.916,44
NOVEMBRO	R\$ 228.007,68	R\$ 238.000,00	R\$ 228.630,94	R\$ 295.058,56
DEZEMBRO	R\$ 74.279,20	R\$ 231.231,31	R\$ 344.552,38	R\$ 318.306,25
TOTAL	R\$ 2.616.925,48	R\$ 2.834.655,99	R\$ 2.820.926,05	R\$ 3.148.475,68
MÉDIA MENSAL	R\$ 218.077,12	R\$ 236.221,33	R\$ 235.077,17	R\$ 247.354,94

Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de João Monlevade e Portal da Transparência PMJM.

Como existiam dados ainda não disponíveis para criação da tabela, foi usada a fórmula de previsão linear no *software* Excel para mensurar o dado não disponível. O custo com a despesa de energia elétrica para a iluminação pública é de interesse deste estudo, pois a informação permite mensurar qual a real dimensão da economia que pode ser gerada por um processo de modernização do parque de IP da cidade. Diante disso, a tabela 13 apresenta os valores mensais e totais, compreendendo o período de 2018 até 2021 (limitado ao mês de setembro), das despesas da Secretaria Municipal de Serviços Urbanos com a concessionária de energia local. Esses dados foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de João Monlevade, como também estão lançados no portal da transparência do município, com as informações pertinentes sobre cada despesa. Para montar a tabela acima, foram selecionados os dados da ação “2.095 – Manutenção das redes de iluminação pública”, da natureza de “Serviços de Energia Elétrica”.

A partir da análise da Tabela 13, é possível perceber que houve um aumento do custo médio mensal, entre 2018 e 2021, de aproximadamente 13,4%. Comparando-se, ainda, a Tabela 13 com os valores apresentados de arrecadação da COSIP, nota-se que, em média, a cidade consome quantidade de energia superior a 50% do valor arrecadado.

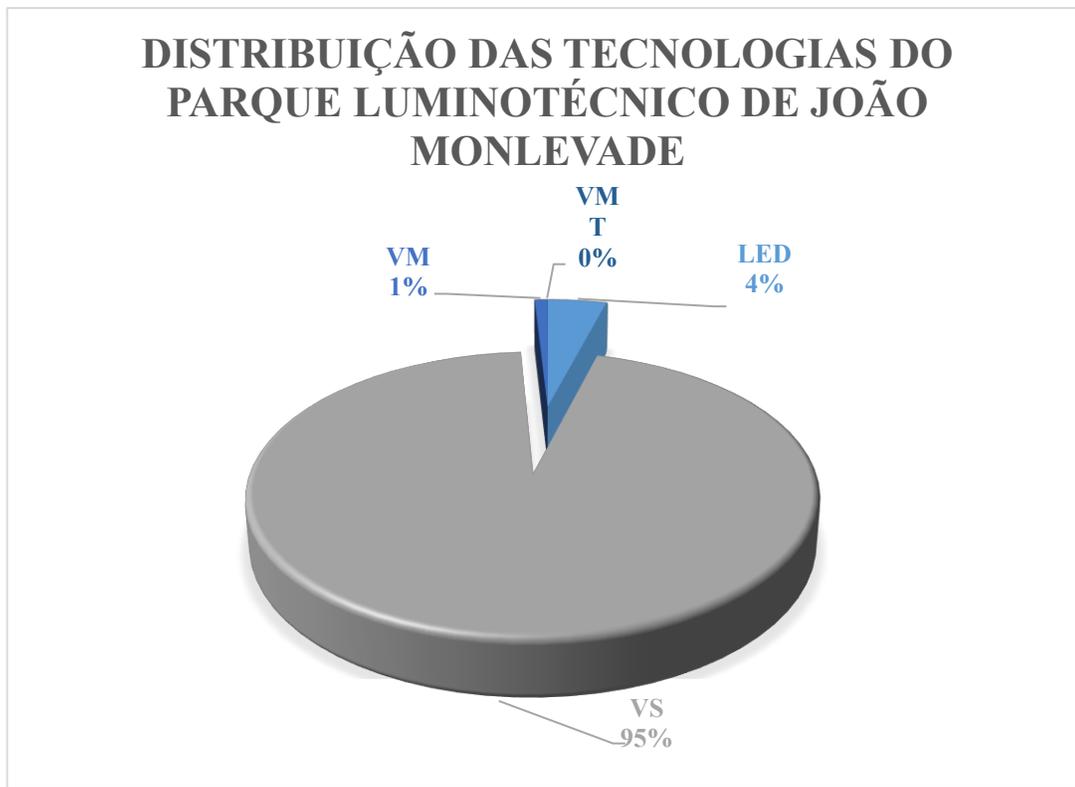
A manutenção da iluminação nas vias públicas também é outro ponto que gera despesas aos municípios; no ano de 2021, segundo dados do município, a prefeitura já gastou R\$298.588,95 no período de janeiro a outubro. Assim, o custo médio mensal com manutenção da iluminação pública está em torno de R\$ 29.858,90.

4.2 Parque luminotécnico

O estudo de viabilidade técnica e econômica para substituição de luminárias públicas por LED está diretamente ligado ao sistema luminotécnico do município. Dessa forma, conhecer as tecnologias que, atualmente, fazem parte desse cenário é fundamental, para que sejam construídos cenários de modernização do parque luminotécnico eficientes e executáveis pela administração pública. O município de João Monlevade conta hoje com, aproximadamente, 9515 pontos de iluminação pública. Porém, são observadas obras de infraestrutura urbana no município que podem alterar esses parâmetros.

Na Figura 17, exposta na sequência, encontram-se os dados relativos à distribuição das tecnologias encontradas no parque luminotécnico da cidade, bem como a proporção em que são achadas.

Figura 17 - Distribuição das tecnologias do parque luminotécnico de João Monlevade



Fonte: Adaptado de Secretaria Municipal de Serviços Urbanos de João Monlevade

Como se pode verificar, o gráfico, apresentado na Figura 17, mostra o cenário atual do parque luminotécnico de João Monlevade, no qual é visto que o município já conta com equipamentos que utilizam a tecnologia LED em suas vias públicas, a qual atinge um total de 4% dos pontos de iluminação. Entretanto, existe predomínio do uso de lâmpadas de vapor de sódio, o que corresponde a 95% dos pontos de IP do município.

Por sua vez, a Tabela 14 expõe os pontos de IP do município de João Monlevade, considerando-se 03 (três) parâmetros: o tipo de lâmpada, a potência e a quantidade.

Tabela 14 - Pontos de IP do município de João Monlevade

QUANTITATIVOS DOS PONTOS DE IP EM JOÃO MONLEVADE

LÂMPADA	POTÊNCIA (W)	QUANTIDADE
LED	200	217
LED	150	8
LED	142	62
LED	130	94
LED	100	7
VS	400	8
VS	250	976
VS	150	995
VS	100	3960
VS	70	3103
VM	125	56
VM	250	24
VMT	70	5
TOTAL		9515

Fonte: Adaptado de Secretaria Municipal de Serviços Urbanos de João Monlevade.

Os pontos de iluminação do município estão contabilizados, conforme os dados da Tabela 14, que mostra o quantitativo de cada equipamento e sua respectiva potência. Pode-se obter, através desse consolidado, a potência total estimada consumida pelas lâmpadas do município, que é de 1089,334 KW. Considerando-se, ainda, os equipamentos convencionais que possuem reator, essa potência recebe um adicional de carga de 163,57 KW, totalizando 1252,904 KW de carga estimada para o município de João Monlevade.

Utilizando-se esse dado, pode-se estimar o consumo mensal em KWh do município, por meio do modelo de cálculo de consumo estimado, oriundo da Resolução Normativa 888/2020 (ANEEL,2020). Como se pode ver na Equação 2, a seguir:

Equação 2: Cálculo de consumo estimado para o mês de agosto de 2021

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{\text{Carga} \times \left(N \times \text{Tempo} - \frac{DIC}{2} \right)}{1.000}$$

$$\text{Consumo (kWh)} = \frac{1252904 \times \left(31 \times 11h27m - \frac{4,71}{2} \right)}{1.000}$$

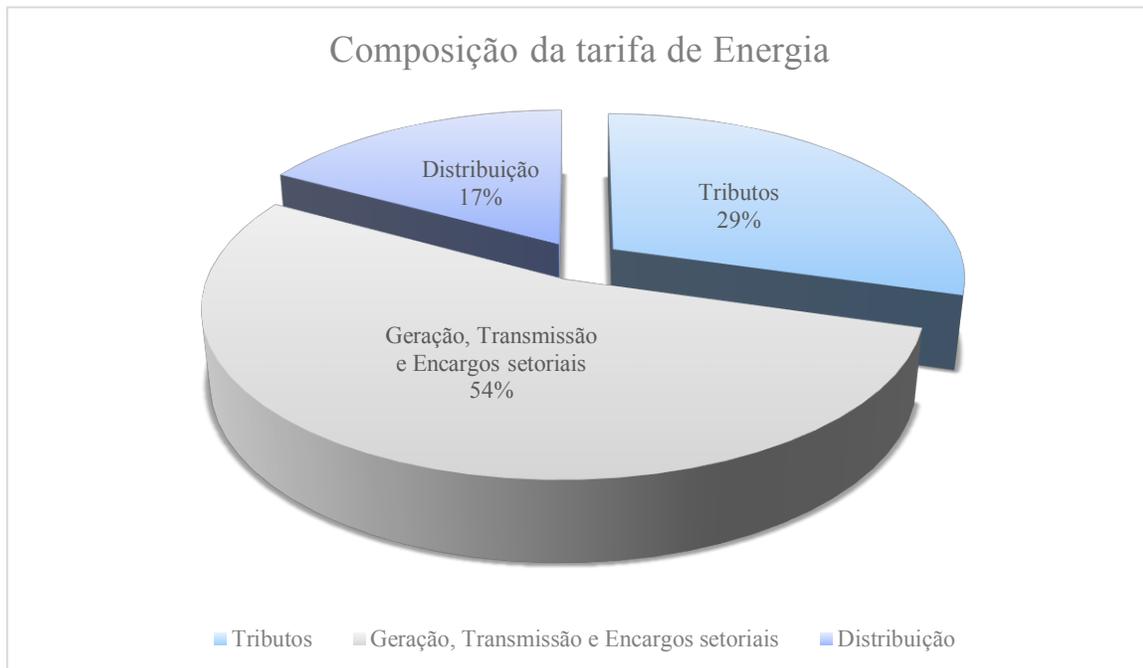
$$\text{Consumo (kWh)} = 442.105,97$$

Fonte: Resolução Normativa 888/2020 (ANEEL, 2020).

A partir desse consumo, adotando-se como referência o mês de agosto de 2021, o qual teve bandeira tarifária vermelha, nível 2, e ainda, considerando-se o adicional de R\$9,492 a cada 100 kWh consumidos; o custo com energia elétrica no município é da ordem de R\$ 234.213,91, com base na medição por ponto de IP estimada e nos dados da Tabela 13.

O cálculo apresentado acima mostra um valor próximo ao quantitativo pago no mês de agosto de 2021, que foi de R\$278.829,62 (Portal Transparência, PMJM, 2021), conforme lançado nas despesas referentes às tarifas de energia pagas para a CEMIG, no empenho referente à iluminação pública. Existe uma diferença no valor estimado por cálculo e no valor exposto no Portal Transparência. Essa divergência pode ser devida a diversos fatores, como por exemplo, o quantitativo de pontos de IP no banco de dados da CEMIG e da Prefeitura de João Monlevade estar divergentes ou, ainda, desatualizados, não contabilizando, por exemplo, os LEDs já instalados. Outro fator que deve ser considerado é que o cálculo feito durante este estudo não leva em conta os encargos que compõem a fatura cobrada pelas distribuidoras; além disso, o valor da tarifa disponibilizado pela CEMIG não contabiliza impostos. Basicamente, a tarifa é composta por: energia gerada (custo de geração), transmissão (custos referentes ao transporte de energia pelas transmissoras), distribuição (serviço de distribuição e comercialização das concessionárias) e os encargos setoriais e tributos (ANEEL, 2021), conforme ilustra a Figura 18.

Figura 18 Composição Básica da Tarifa de Energia



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021).

A parcela de valores que não fazem parte da composição da bandeira tarifária é somada à fatura de energia do município, aumentando o valor da fatura de energia; porém, o exemplo de cálculo de custo da energia foi realizado considerando-se somente o valor da tarifa de iluminação pública.

Diante do contexto apresentado, é possível estimar os valores, ainda que não sejam exatos, o que possibilita entender e dimensionar os efeitos da substituição das luminárias convencionais por LED no município. A esse título, são apresentados cenários de implantação do projeto de substituição das luminárias em João Monlevade, explorando-se duas frentes: a implantação imediata ou a troca gradual dos equipamentos. O primeiro panorama busca a substituição imediata de todo o parque, vale ressaltar que, quando se refere ao termo imediato, se considera que o objeto do serviço seja a modernização do parque da maneira mais rápida possível, dentro dos tempos hábeis para execução de um serviço de qualidade. Já o segundo cenário enseja a troca gradual do parque, visando encaixar os custos dessa opção na arrecadação da taxa COSIP do município. Em ambos os cenários, serão substituídas todas as luminárias de vapor de sódio, mercúrio e metálico, apresentadas na Tabela 14, o que totaliza 9127 pontos de iluminação pública.

4.3 Equivalências das Luminárias e Custo de Implantação

O estudo de viabilidade técnica, apresentado no corpo deste texto, é um ponto importante para que seja estimada a potência equivalente de uma luminária de LED que substitua uma luminária convencional. Por se tratar de uma substituição de equipamentos já existentes, a proposta de substituição visa manter as características semelhantes para os equipamentos.

A Tabela 15, a seguir, expõe a equivalência das tecnologias para fins de substituição, considerando-se as marcas de equipamentos A, B e C.

Tabela 15 - Equivalência das Tecnologias para a substituição – Marcas A, B e C

EQUIVALÊNCIA DAS TECNOLOGIAS PARA SUBSTITUIÇÃO – MARCAS A, B e C			
POTÊNCIA	FLUXO LUMINOSO (LM)	POTÊNCIA	FLUXO LUMINOSO (LM)
CONVENCIONAIS		MARCA A	
VS 400 W	55.000	150W	21.000
VS 250 W	33.200	120W	17.040
VS 150 W	17.500	100W	14.200
VS 100 W	10.700	70W	10.360
VS 70 W	6.600	50W	7.140
VM 125 W	6.300	50W	7.140
VM 250 W	13.00	70W	10.360
VMT 70 W	6.300	50W	7.140
MARCA B		MARCA C	
225W	33.200	200W	33.200
190W	25.483	150W	24.900
110W	16.913	100W	17.000
80W	9.630	60W	9.240
40W	5.095	40W	6.680
50W	6.465	40W	6.680

80W	12.031	80W	12.880
50W	6.465	40W	6.680

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

São importantes que se façam altos investimentos em iluminação pública, que se explorem as diversas opções de produtos do mercado, cujo acesso passou a ser facilitado pelo processo de globalização e pela explosão da internet. Esse é um aspecto que exige cuidado quanto à escolha dos produtos. Desse modo, para fins comparativos, é feita a análise da qualidade descritiva das luminárias, sobretudo pesquisando em empresas sérias, que entregam confiabilidade e garantia dos seus equipamentos, além de possuírem os selos do INMETRO, de acordo com a Portaria n.º 20, de 15 de fevereiro de 2017 (INMETRO, 2017), e etiqueta do PROCEL, sob o aspecto da eficiência energética. Existem, atualmente, registrados 2745 produtos na categoria de iluminação pública viária, de acordo com a Portaria nº20/2017 (INMETRO, 2021).

A escolha das potências para substituir as lâmpadas convencionais existentes ocorreu visando manter as características do sistema já existente, considerando-se que este foi implantado seguindo as normas da CEMIG, conseqüentemente, a NBR 5101. Assim, a equivalência aplicada preservou essas normas e visou trazer benefícios ao parque de IP, explorando-se as características dos LEDs. A estimativa feita para a substituição não substitui o estudo dos locais onde os equipamentos deverão ser instalados e existe a necessidade de que esse projeto seja realizado, caso ocorra a implantação dessa tecnologia, desde que seguidas as normas citadas no escopo deste trabalho, com destaque para a NBR 5101 e as normas da CEMIG D. Por se tratar de projetos específicos para cada situação e cada local, neste estudo, não foram elaborados cálculos luminotécnicos específicos.

A Tabela 15 apresenta uma proposta de substituição das tecnologias de IP existentes com base nos equipamentos das marcas A, B e C. A marca B apresenta algumas linhas diferentes de produtos, por isso, nessa tabela, existem luminárias com mesma potência apresentando fluxos luminosos diferentes. Observa-se, ainda, que os fluxos luminosos das tecnologias convencionais e dos LEDs ficaram em valores próximos, o que gera certa melhora no aspecto visual, uma vez que as luminárias de LED têm uma maior eficiência na irradiação do fluxo por produzi-lo de maneira direcionada e não de forma radial, como acontece nas lâmpadas tubulares e ovoides convencionais.

Como foi abordado no cenário de viabilidade técnica, tendo em vista as características das luminárias de LED, a diferença entre os IRCs e entre as temperaturas de cor das tecnologias LED confrontadas às tecnologias convencionais, acredita-se que os equipamentos de LED possam atender tranquilamente aos requisitos para substituir as luminárias convencionais. Fato esse que é corroborado pelo catálogo do fabricante A.

A Tabela 16, a seguir, apresenta o custo unitário das luminárias de LED.

Tabela 16 - Custo dos equipamentos das marcas A, B e C.

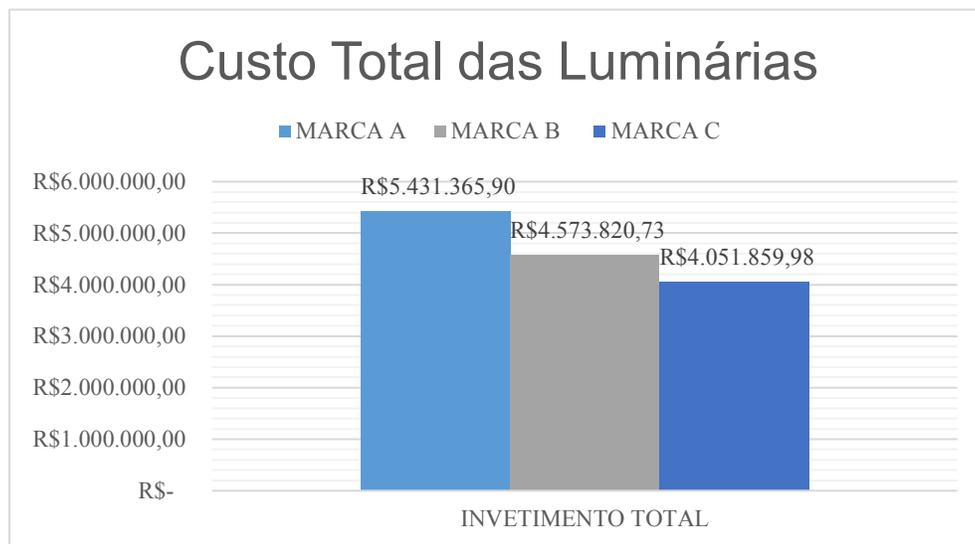
CUSTO UNITÁRIO DAS LUMINÁRIAS DE LED

POTÊNCIA(W)	MARCA A	POTÊNCIA(W)	MARCA B	POTÊNCIA(W)	MARCA C
150W	R\$ 690,20	225W	R\$ 864,81	200	R\$ 958,93
120W	R\$ 620,10	190W	R\$ 732,35	150	R\$ 576,73
100W	R\$ 600,90	110W	R\$ 673,23	100	R\$ 508,30
70W	R\$ 599,30	80W	R\$ 639,09	80	R\$ 498,53
50W	R\$ 580,00	80W	R\$ 488,11	60	R\$ 439,88
-	-	50W	R\$ 405,08	40	R\$ 386,11
-	-	40W	R\$ 389,72	-	-

Fonte: Elaborada por meio de cotação.

A substituição dos pontos de IP do município pesquisado considera os pontos já existentes, por esse motivo não são observados nos cálculos custos com braços e cabos, uma vez que, na maior parte dos casos, é possível reaproveitar esses itens. Assim, a Tabela 16 apresenta o custo unitário das luminárias de LED que poderiam ser empregadas na modernização do parque luminotécnico da cidade de João Monlevade. O quantitativo de cada tecnologia convencional a ser substituído encontra-se na Tabela 13. Com base nos dados reunidos nas tabelas citadas, é possível estimar o custo total com luminárias, para que seja feita a modernização do parque luminotécnico do município, conforme os dados presentes na Figura 19 abaixo.

Figura 19 - Gráfico de custo de investimento em luminárias para marcas A, B e C



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Além disso, ainda são necessários que sejam agregados mais alguns custos a esse investimento. Os relés fotoelétricos são imprescindíveis para o funcionamento ideal do sistema de iluminação pública, pois são os responsáveis pelo acionamento das luminárias quando escurece. Outro custo que incide sobre o projeto de modernização do parque luminotécnico é a mão de obra referente à instalação das luminárias, além das ferramentas e equipamentos necessários para isso. Para estimar esse custo, considera-se a substituição de todos os relés por novos, a fim de se garantir que todo o sistema funcione perfeitamente e tenha maior continuidade de fornecimento do serviço, isso decorre menos necessidade de manutenção.

Já em relação à mão de obra, toma-se como base o custo médio indicado pela CEMIG, em sua tabela de remuneração serviços, ANEXO VI (CEMIG, 2021), considerando a substituição de luminária em ponto convencional, que compreende as luminárias instaladas em até 7,90 metros de altura e a substituição de ponto semi convencional, que abrange luminárias instaladas entre 8 e 12 metros de altura. A tabela de remuneração indica 0,10 US para ponto convencional e 0,14 US para o semi convencional, dessa forma, tem-se o custo médio de 0,12 US. Baseando-se nos valores de US recebidos pelas contratadas CEMIG para os serviços de manutenção na região (registrados no portal de compras da CEMIG), o valor médio aplicado é de R\$1873,40/US, multiplicando-o pelo

valor médio dos serviços de troca de luminárias, adota-se o valor da troca por ponto de R\$ 225,00 (arredondado).

Dessa forma, é possível estimar o custo do investimento para substituição de todo parque IP da cidade de João Monlevade, como atesta a Tabela 17, a seguir:

Tabela 17 - Custo de investimento para substituição de todo parque de João Monlevade

CUSTO DE INVESTIMENTO TOTAL ESTIMADO

	VALOR	TOTAL
LUMINÁRIAS MARCA A	R\$ 5.431.365,90	R\$7.703.988,90
LUMINÁRIAS MARCA B	R\$ 4.573.820,73	R\$ 6.846.443,73
LUMINÁRIAS MARCA C	R\$ 4.051.859,98	R\$ 6.324.482,98
RELÉS FOTOELÉTRICOS	R\$ 24,00	R\$ 219.048,00
MÃO DE OBRA	R\$ 225,00	R\$ 2.053.575,00

Fonte: Formulada pelo autor (2021).

A Tabela 17 apresenta uma estimativa de investimento para uma completa substituição das luminárias convencionais por LEDs no parque de João Monlevade. Na coluna “TOTAL”, para as luminárias das marcas A, B e C, considera-se o valor dos equipamentos, somados ao custo dos relés e da mão de obra, para os 9127 pontos. Já na coluna “VALOR”, mostram-se o custo unitário e, em seguida, o custo total desses mesmos equipamentos.

Dessa forma, conhecida a dimensão financeira do investimento a ser aplicado, segue-se para equacionar o retorno que isso trará ao município. A Tabela 18 mostra a redução percentual e a nova potência instalada no sistema de iluminação pública, considerando-se as três marcas pesquisadas. Esse dado interessa ao estudo, porque é um dos parâmetros usados no cálculo de consumo de energia, apresentado pela equação 1; desse modo, a partir da obtenção da carga do sistema, é possível estimar o consumo em KWh dos pontos e, conseqüentemente, mensurar o valor gasto em reais (R\$) a partir da tarifa de energia.

Tabela 18 - Potência Instalada no sistema de IP após modernização

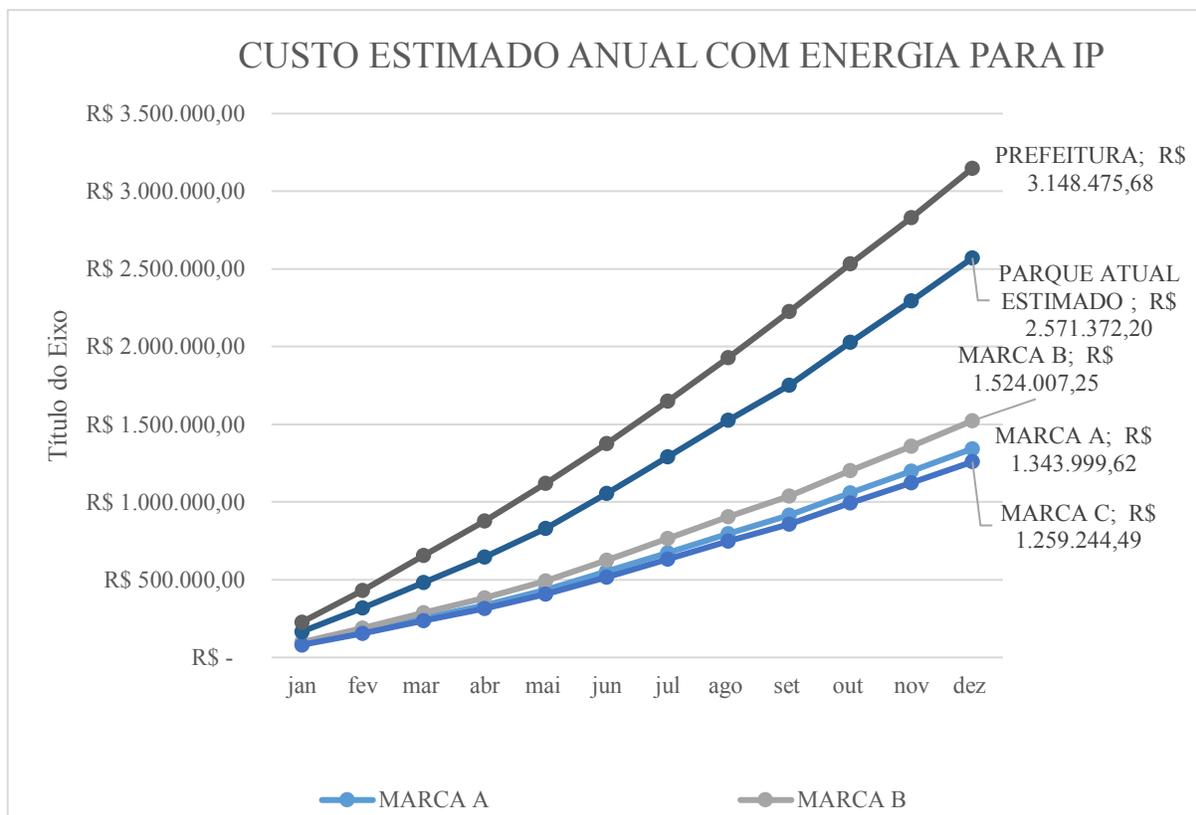
POTÊNCIA INSTALADA NO SISTEMA DE IP APÓS A MODERNIZAÇÃO

LUMINÁRIAS LED	POTENCIA TOTAL (W)	DIFERENÇA (%)
MARCA A	654.900,00	47,73%
MARCA B	742.580,00	40,73%
MARCA C	613.580,00	51,03%

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A fim de construir um gráfico que apresente os custos relacionados ao consumo de energia, após a substituição das luminárias convencionais por LEDs, comparando-se com o custo atual da iluminação pública, foram levantados os dados referentes às bandeiras tarifárias incidentes sobre as contas de energia ao longo do ano de 2021. E, em seguida, aplicou-se a equação 1 aos valores de carga do sistema de IP para as três marcas até aqui analisadas, como também para o parque luminotécnico atual. Entretanto, convém lembrar que existe uma diferença referente à incidência de impostos, os quais não estão incluídos na tarifa de energia; assim, adicionou-se também o valor lançado no portal da transparência para fins de comparação. Diante do fato de a tributação ser proporcional ao consumo, conforme está demonstrado na Figura 20, são analisados os valores percentuais.

Figura 20 - Gráfico de custo estimado com energia do sistema atual de IP e após a modernização, ano referência 2021

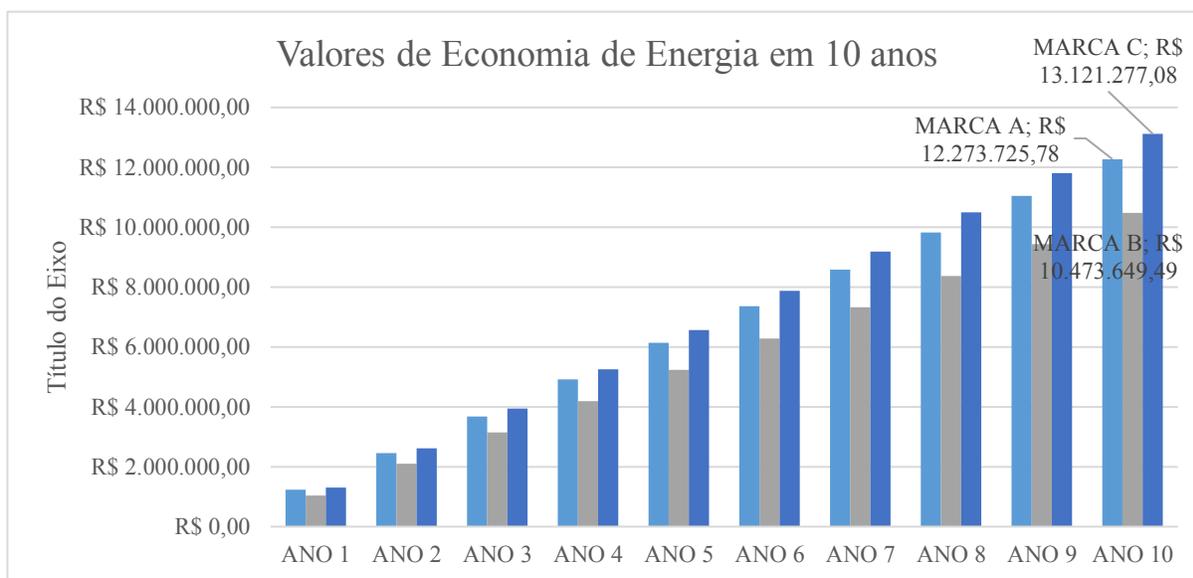


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O gráfico apresentado acima, Figura 20, mostra as informações referentes ao custo com energia, considerando-se tanto o parque atual quanto a substituição por LEDs, em que se observa, nitidamente, uma diferença de valores. Percentualmente, o parque luminotécnico modernizado com o uso de tecnologia LEDs consegue reduzir o custo, em média, de 46,50%, ultrapassando até 50% no melhor cenário, diante dos equipamentos utilizados como base para o estudo.

A Figura 21, na sequência, mostra os valores (R\$) da economia gerada, em longo prazo (10 anos), com a substituição do parque luminotécnico do município pesquisado.

Figura 21 - Economia de energia em 10 anos



O gráfico, apresentado na Figura 21, mostra os valores, em reais (R\$), da economia gerada, em longo prazo, com a substituição do parque luminotécnico do município. Os valores são obtidos da estimativa de custo com energia anual, apresentada na Figura 20. Para isso, foi subtraído o valor do custo com energia, para cada uma das marcas, ao valor do custo estimado do parque atual do município. O prazo escolhido de dez anos é considerado razoável diante da vida útil informada pelos fabricantes que, em todos os casos, é superior a 15 anos. Observando-se todos os aspectos apontados, evidencia-se uma economia expressiva com custos de energia, no decorrer de dez anos, que ultrapassa a casa dos dez milhões de reais. Porém, ao mesmo tempo em que existe uma grande economia, há também um alto valor de investimento para se efetuar a troca de todo o parque luminotécnico. Dessa forma, o próximo passo é estimar a dimensão desse retorno, se ele realmente existir, e avaliar em quanto tempo o município pode vir a colher os frutos desse investimento.

Outro fator importante a se considerar, durante a análise de economia e de retorno financeiro, é a durabilidade desses equipamentos. Segundo a Portaria nº 20, do INMETRO, os equipamentos devem ter garantia de pelo menos 60 meses, ou seja, 5 anos. Além disso, as luminárias trazem informação de sua vida declarada nominal que é o período de manutenção do fluxo luminoso acima de 70%, que é a forma de estimar a vida útil dos produtos de LEDs, alguns modelos trazem em suas especificações a vida útil da luminária. Assim, esses dois dados são

explorados neste estudo, a fim de se estabelecer comparativos do melhor e do pior cenário de durabilidade dos equipamentos. Ainda, na análise de retorno financeiro do investimento, é importante considerar a redução de custos de manutenção que a tecnologia LED pode trazer para o município, logo se calcula, também, o novo valor a ser pago pela prefeitura para manutenção de IP, com base na proposta vencedora do último processo licitatório do CONSMEPI para esse tipo de serviço na região. No referido processo, a empresa ofereceu um valor de remuneração de R\$1,48 por ponto de LED; dessa forma, caso se considere os 9515 pontos de João Monlevade, o município passará a pagar mensalmente R\$14.082,20, ou seja, uma redução de mais de 52%.

A Tabela 19, apresentada na sequência, por sua vez, evidencia que produto barato pode não ser o mais eficiente em termos de equivalência, considerando-se dois parâmetros: potência e fluxo luminoso.

Tabela 19 - Equivalência entre as tecnologias para a substituição

EQUIVALÊNCIA DAS TECNOLOGIAS PARA SUBSTITUIÇÃO – MARCA BARATA

POTÊNCIA	FLUXO LUMINOSO (LM)	POTÊNCIA	FLUXO LUMINOSO (LM)
CONVENCIONAIS		MARCA “BARATA”	
VS 400 W	55.000	200 W	20000
VS 250 W	33.200	200 W	20000
VS 150 W	17.500	150 W	15000
VS 100 W	10.700	100 W	10000
VS 70 W	6.600	50 W	5000
VM 125 W	6.300	50 W	5000
VM 250 W	13.00	100 W	10000
VMT 70 W	6.300	50 W	5000

Fonte: Elaborada pelo autor com base em dados da CEMIG e em cotação (2021).

É possível observar, através dos dados da Tabela 19, que a marca mais barata tem custo mais baixo, porém entrega uma eficiência luminosa de apenas 100 lm/W em todas as potências disponíveis. Devido a esse fator, a menor eficiência reflete em um custo maior com energia,

gerando menos economia ao município. Essa marca apresentou o maior custo com energia nos cenários de substituição, com valor estimado de R\$1.852.518,92 para o ano de 2021. Além disso, tem uma gama menor de potências disponíveis; além disso, na sua descrição, não cita possuir selo do INMETRO, não obstante, sua garantia abrange o período de apenas 1 ano. O custo apresenta ser, em média, 47,48% inferior ao valor mais baixo dentre as outras três marcas pesquisadas.

Por sua vez, a Tabela 20 apresenta os dados referentes à análise do retorno do investimento para o município, comparando-se diferentes opções de marcas e os parâmetros escolhidos como essenciais para determinar uma possível seleção.

Tabela 20 - Retorno do investimento para troca total do parque

RETORNO DO INVESTIMENTO

MARCA	GARANTIA (ANOS)	VIDA ÚTIL (ANOS)	DURANTE A GARANTIA (%)	DURANTE A VIDA ÚTIL (%)	DURANTE A GARANTIA (R\$)	DURANTE A VIDA ÚTIL (R\$)
A	5	23	-8%	323%	-R\$ 620.524,01	R\$ 24.879.949,60
B	5	15	-10%	171%	-R\$ 663.016,98	R\$ 11.703.836,51
C	5	17	19%	304%	R\$ 1.182.757,56	R\$ 19.200.134,85
“BARATA”	1	11	-80%	116%	-R\$3.718.648,06	R\$ 5.363.088,68

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A Tabela 20 foi construída a partir de alguns dados oriundos de tabelas e gráficos anteriormente apresentados, os quais serviram para medir o retorno desse investimento, além de permitir estabelecer um comparativo importante para o contexto do trabalho, isto é, a viabilidade de uso de uma marca com preço mais barato. Porém, essa marca apresenta características inferiores às demais marcas pesquisadas; inclusive não é informada a submissão dela aos critérios do INMETRO. A marca mais barata, ainda, possui garantia bem menor que os demais equipamentos, cuja equivalência sobre as lâmpadas convencionais é apresentada na Tabela 19. Dessa forma, para calcular o retorno do investimento foi estimado o valor de economia anual que o uso de LEDs de

cada uma das marcas pode trazer para o município, segundo a equação 1, através da qual se estima o consumo por ponto do parque atual e o consumo por ponto dos equipamentos de LED, tudo isso somado ao custo de manutenção para o caso dos LEDs, conforme valor apresentado no texto. Para estimar o retorno do investimento, em longo prazo, o resultado da economia com energia, juntamente com a economia com custo de manutenção, foi multiplicado por cinco anos para o caso de garantia das marcas A, B e C, e por 1 ano no caso do LED “barato”. Na coluna retorno para vida útil, foram adotados os valores de 100.000, 66.000, 72.000 e 50.000 horas, respectivamente. Dessa forma, para finalizar o cálculo do retorno de investimento, a fórmula final usada foi:

Equação 3 - Cálculo de retorno de investimento

$$RI = (ENERGIA + MANUTENÇÃO) * TEMPO - CI$$

Onde: RI → Retorno do investimento

ENERGIA → Economia de energia em R\$

MANUTENÇÃO → Economia com custos de manutenção de IP em R\$

TEMPO → Período de garantia ou vida útil dos equipamentos

CI → Custo total do investimento

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

Conforme visto na Tabela 20, durante o período de garantia, considerando-se que a durabilidade dos equipamentos está limitada a esse período, nem sempre é vantajoso para o município tal investimento, uma vez que, em três casos, por um período de cinco anos, a economia gerada desse investimento não consegue superar o valor investido. O caso da marca mais barata apresenta pior resultado de retorno, considerando-se o período de garantia, já que gera um prejuízo de 80% do valor investido, se for considerado o prazo de 1 ano. Porém, como os equipamentos LED têm como característica longa vida útil, quando a análise é feita a partir da vida declarada nominal das luminárias, o retorno do investimento para os cofres públicos é muito interessante, porque ultrapassa a casa dos 320%, o que significa cifras da ordem de até vinte e quatro milhões de reais no melhor caso apresentado. Diante dos dados apresentados, considerando-se a vida declarada nominal dos equipamentos, todos os cenários de investimento estudados são rentáveis,

inclusive nos casos extremos, ou seja, observando-se a marca mais barata e a marca mais cara, salientando-se, assim, como a vida útil dos equipamentos impacta na viabilidade do investimento. Justifica-se esse fator pelo fato de os melhores resultados apresentados estarem ligados às duas marcas com mais tempo de vida declarada nominal. Entretanto, o retorno é menor para o caso de LED mais barato em comparação com os demais.

Em geral, o investimento começa a ser rentável, nos cenários aplicados a este estudo, ou seja, um valor próximo a cinco anos; admite-se que o melhor cenário compreende um período de 4 anos e 77 dias, aproximadamente, para a marca C. Para as marcas A, B e para o LED “barato”, o tempo de retorno é, aproximadamente, de 5 anos e 160 dias; 5 anos e 196 dias; e 5 anos e 52 dias, respectivamente.

Os cálculos apresentados, anteriormente, foram realizados buscando-se englobar todos os custos ligados à substituição das luminárias convencionais por LEDs, incluindo, dessa forma, mão de obra e relés fotoelétricos. O custo não previsto nos cálculos é o de substituição de braços para iluminação pública. Porém, se fossem feitas as mesmas análises para o caso exclusivo das luminárias, os resultados para retorno do investimento tornar-se-iam ainda mais vantajosos para a administração pública. Com esse fim, são apresentados alguns dados para efeitos de comparação. Considerando-se somente o custo dos equipamentos, apenas a marca de LEDs mais barata daria prejuízo aos cofres públicos na ordem de 65% do investimento, correspondente ao seu período de garantia (1 ano). A utilização das demais marcas implicaria em retornos, aproximadamente, de 30% para a marca A; de 35% para B; e de 85% para a marca C. O investimento seria compensado em 3 anos e 304 dias para a marca A; em 3 anos e 255 dias para B; em 2 anos e 255 dias para a opção da marca C; e, por fim, em 2 anos e 304 dias para o LED mais barato. Já no cenário que mensura o retorno do investimento baseado na vida útil ou vida declarada nominal dos equipamentos, os valores encontrados para as marcas foram:

- a) R\$ 27.152.572,60 – marca A;
- b) R\$ 13.976.459,51 – marca B;
- c) R\$ 21.472.757,85 – marca C;
- d) R\$ 7.416.663,68 – marca mais barata.

Esses números, traduzidos em percentual do investimento, mostram grande retorno, tendo-se apurado, aproximadamente, de 500% para marca A; de 306% para a marca B; de 530% para a marca C e de 288% para o LED mais barato.

Diante do apresentado, é possível definir o LED como um bom investimento para o município, visto que, em todos os casos apresentados, é possível obter o retorno desse investimento em longo prazo. Entretanto, existem ressalvas importantes a serem feitas. Primeiramente, o retorno não é dependente exclusivamente do custo de investimento, já que a análise de viabilidade da substituição da tecnologia vai além de simplesmente escolher o produto com menor valor.

Dois outros pontos se mostraram importantes no cálculo de retorno do investimento, sejam eles vida útil e eficiência luminosa. A eficiência luminosa aumenta a economia de energia, uma vez que a equivalência entre as luminárias pode ser alcançada com o uso de um equipamento de menor potência, desde que esse produza quantidade de lumens necessários para substituir o ponto atual. Por outro lado, os equipamentos de maior vida útil permitem que os custos iniciais sejam recuperados por meio da longevidade da economia, ou seja, essa característica contribui para que a durabilidade do equipamento garanta seu funcionamento por um período maior, assim, se gera mais economia ao município. Fato comprovado pelos resultados apresentados, que indicam os dois melhores casos com equipamentos que têm os melhores parâmetros para esses dois quesitos.

O mercado é muito amplo e as possibilidades de investimento são variáveis dentro das características de cada equipamento. Sabe-se que é viável investir na tecnologia de LED e, também, que esse investimento gera retorno financeiro para a cidade que adotar esses equipamentos em seu parque luminotécnico. Entretanto, é importante ressaltar que os resultados obtidos neste estudo são provenientes da metodologia aplicada a determinados equipamentos, fato esse que não exime a possibilidade de que existam condições que favoreçam ainda mais esse investimento. Dentre as várias opções no mercado nacional e internacional, podem existir equipamentos com maior garantia, eficiência maior que viabilize um investimento maior, e até equipamentos com menor valor que tenham boas características que possam gerar melhores resultados de retorno de investimento. Portanto, o importante é pensar em equipamentos que aliem qualidade, eficiência, garantia longa e alta vida útil ao menor valor possível, para que a administração pública seja beneficiada e tenha a segurança de realizar esse processo.

4.4 Implantação

A implantação das novas luminárias ao parque luminotécnico de João Monlevade pode ser feita de duas formas distintas: troca imediata ou gradual. O primeiro cenário, todavia, exige que o município empenhe recursos de outras fontes, não somente explorando a taxa COSIP, destinada à iluminação pública. Quando se refere à implantação imediata, espera-se que a prefeitura contrate o serviço de troca de luminárias convencionais por LED, abrangendo todos os pontos do município, e que o prazo estipulado para sua realização seja o mínimo dentro das possibilidades compatíveis com esse tipo de serviço. Para o caso de implantação gradual, um cenário possível é trabalhar com o valor excedente da tarifa de custeio de IP, após retirada dos custos com manutenção e com energia do parque atual para a execução do serviço.

Segundo os dados da prefeitura municipal de João Monlevade, o município gasta cerca de 50% da arrecadação COSIP com a iluminação pública, logo, nesse cenário, uma implantação imediata da tecnologia LED no parque luminotécnico dependeria de outras fontes de recurso. De posse desse recurso, considerando-se uma troca de 50 luminárias/dia, levar-se-ia em torno de 183 dias para a conclusão do projeto de substituição total das luminárias convencionais por LEDs.

Já se considerar o uso dos recursos provenientes da COSIP, somente o processo de substituição demoraria um pouco mais de tempo. Estimando que o município investisse R\$ 245.000,00 por mês, para efetuar a substituição das luminárias convencionais, a troca por completo do parque de IP, em João Monlevade, teria os prazos de, aproximadamente:

- a) 31 meses e 14 dias para a MARCA A;
- b) 27 meses e 30 dias para a MARCA B;
- c) 25 meses e 26 dias para a MARCA C.

Esse resultado considera que o serviço seja contratado para ser feito gradualmente e que seja remunerado com o valor médio de economia mensal estimado pela prefeitura para o ano de 2021. Dessa forma, o valor total da contratação deveria ser dividido pelo valor de investimento mensal. Evidente que, durante o processo de substituição, nesses termos, acarretaria uma queda gradual também na tarifa de energia, assim, esse valor extra que a prefeitura economizaria poderia retornar ao município, a fim de ser destinado a outras obras e projetos.

5 RECOMENDAÇÕES PARA FORMULAÇÃO DE PROCESSO LICITATÓRIO PARA SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS

A Lei 14.133, de abril de 2021, rege as normas de contratação de órgãos públicos de escala municipal a federal, em seu artigo 2º, inciso V, está disposto que se enquadram nessa lei obras e serviços de engenharia, como é o caso da situação apresentada no estudo.

A formulação desse processo é de suma importância, para que a administração pública saia com um resultado satisfatório. Existem diversos modelos de processos licitatórios, mas, para obras e serviços de engenharia, os meios adotados são os descritos no art. 46 da Lei 14.133/2021, quais sejam:

Na execução indireta de obras e serviços de engenharia, são admitidos os seguintes regimes:

- I - empreitada por preço unitário;
 - II - empreitada por preço global;
 - III - empreitada integral;
 - IV - contratação por tarefa;
 - V - contratação integrada;
 - VI - contratação semi-integrada;
 - VII - fornecimento e prestação de serviço associado.
- (Lei Federal 14.133, de abril de 2021, art. 46)

Esses regimes de contratação estão descritos no Art. 6, da Lei 14.133/2021, conforme os incisos (de XXVIII a XXXIV) citados, a seguir:

- XXVIII - empreitada por preço unitário: contratação da execução da obra ou do serviço por preço certo de unidades determinadas;
- XXIX - empreitada por preço global: contratação da execução da obra ou do serviço por preço certo e total;
- XXX - empreitada integral: contratação de empreendimento em sua integralidade, compreendida a totalidade das etapas de obras, serviços e instalações necessárias, sob

inteira responsabilidade do contratado até sua entrega ao contratante em condições de entrada em operação, com características adequadas às finalidades para as quais foi contratado e atendidos os requisitos técnicos e legais para sua utilização com segurança estrutural e operacional;

XXXI - contratação por tarefa: regime de contratação de mão de obra para pequenos trabalhos por preço certo, com ou sem fornecimento de materiais;

XXXII - contratação integrada: regime de contratação de obras e serviços de engenharia em que o contratado é responsável por elaborar e desenvolver os projetos básico e executivo, executar obras e serviços de engenharia, fornecer bens ou prestar serviços especiais e realizar montagem, teste, pré-operação e as demais operações necessárias e suficientes para a entrega final do objeto;

XXXIII - contratação semi-integrada: regime de contratação de obras e serviços de engenharia em que o contratado é responsável por elaborar e desenvolver o projeto executivo, executar obras e serviços de engenharia, fornecer bens ou prestar serviços especiais e realizar montagem, teste, pré-operação e as demais operações necessárias e suficientes para a entrega final do objeto;

XXXIV - fornecimento e prestação de serviço associado: regime de contratação em que, além do fornecimento do objeto, o contratado responsabiliza-se por sua operação, manutenção ou ambas, por tempo determinado; (...). (Lei Federal 14.133, de abril de 2021, art. 6).

Um ponto importante dos editais, da natureza privilegiada neste estudo, é a elaboração de projeto básico e de projeto executivo. No escopo desses projetos, como enunciado no Art. 6 da Lei Federal 14.133/2021, estão presentes a descrição dos elementos constituintes de cada tipo de projeto:

XXV - projeto básico: conjunto de elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para definir e dimensionar a obra ou o serviço, ou o complexo de obras ou de serviços objeto da licitação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegure a viabilidade técnica e o adequado tratamento do impacto ambiental do empreendimento e que possibilite a avaliação do custo da obra e a definição dos métodos e do prazo de execução, devendo conter os seguintes elementos:

(...)

c) identificação dos tipos de serviços a executar e dos materiais e equipamentos a incorporar à obra, bem como das suas especificações, de modo a assegurar os melhores resultados para o empreendimento e a segurança executiva na utilização do objeto, para

os fins a que se destina, considerados os riscos e os perigos identificáveis, sem frustrar o caráter competitivo para a sua execução;

(...)

f) orçamento detalhado do custo global da obra, fundamentado em quantitativos de serviços e fornecimentos propriamente avaliados, obrigatório exclusivamente para os regimes de execução previstos nos incisos I, II, III, IV e VII do caput do art. 46 desta Lei; XXVI - projeto executivo: conjunto de elementos necessários e suficientes à execução completa da obra, com o detalhamento das soluções previstas no projeto básico, a identificação de serviços, de materiais e de equipamentos a serem incorporados à obra, bem como suas especificações técnicas, de acordo com as normas técnicas pertinentes; (Lei Federal 14.133 de abril de 2021, art. 6, incisos XXV, XXVI).

Dessa forma, cabe ao órgão competente da administração pública preparar os anexos, a fim de instruir e de exigir dos candidatos que participarão do processo a aplicação de serviços que atendam totalmente às expectativas; além de definirem os critérios para dar mais clareza ao que se espera do objeto licitado. Diante disso, com base nas análises de viabilidade presentes neste trabalho, são apresentados pontos identificados como importantes para a verificação da qualidade dos equipamentos, com isso se espera que os processos não sejam prejudicados pela possibilidade de receberem equipamentos que inviabilizem a modernização dos parques de IP.

5.1 Selo INMETRO

Conforme já citado durante o estudo, a Portaria nº 20, de 15 de fevereiro de 2017, do INMETRO, dispõe de normas que as marcas devem seguir, como também de parâmetros importantes que devem ser apresentados pelas luminárias de iluminação pública, em acordo com as normas vigentes. Por isso, é de suma importância, quando se adquire essa classe de produtos, que estes contenham o selo INMETRO, que é uma garantia de que o produto foi vistoriado, testado e que segue as normas da Portaria, além das demais legislações nas quais ela se baseia.

5.2 Sobre a garantia

O primeiro tópico referente ao selo do INMETRO já garante no mínimo 5 anos de garantia para as luminárias, ou seja, dentro desse período, o fabricante é responsável por repor os

equipamentos que apresentarem defeito nos termos da garantia. Entretanto, já existem no mercado marcas que apresentam garantia superior a cinco anos, fator esse que aumenta a segurança do município ao adquirir determinado produto. Diante dos resultados apresentados no capítulo 4 deste estudo, a marca que demorou mais tempo para gerar retorno ao investimento demandou 5 anos e 196 dias.

5.3 Sobre a eficiência luminosa

A eficiência luminosa de uma luminária mede a razão entre o fluxo luminoso e a potência do equipamento em lm/W , conseqüentemente, quanto mais eficiente ela for maior será a economia que esse equipamento irá trazer ao sistema. Os dois casos que melhor performaram durante o estudo, conforme resultados apresentados nas Figuras 21 e 22, além da Tabela 19, foram de luminárias com eficiência maior ou igual a 140 lm/W . É possível que equipamentos com menor eficiência também entreguem resultados bons e sejam viáveis para aplicação? Sim, neste próprio estudo houve resultado de economia satisfatória, em longo prazo, com equipamentos de menor eficiência. Dessa forma, esse valor é uma boa referência, embora não seja uma regra exclusiva.

5.4 Sobre a vida declarada nominal

Esse aspecto é o tempo de vida útil do equipamento em horas, para os LEDs esse valor é mensurado em termos do período de manutenção do seu fluxo luminoso (INMETRO, 2017).

Em todas as situações apresentadas, no percurso do estudo, um período de 50.000 horas demonstrou ser suficiente para que haja retorno do investimento aos órgãos públicos, conforme exposto no capítulo 4 nas considerações sobre retorno do investimento. Durante as simulações de investimento, feitas para verificar a viabilidade do estudo, foi notório o impacto da vida útil dos equipamentos no retorno do investimento. Devido a esse motivo, é importante considerar a aquisição de luminárias com vida útil superior a 66.000 horas para obtenção de resultados mais vantajosos para a administração pública.

Tomando-se os cuidados já citados para a elaboração de um processo licitatório; fazendo-se um levantamento prévio das necessidades do município e elaborando-se um projeto básico com informações suficientes para o entendimento perfeito do que se espera de retorno com esse

investimento; os resultados obtidos com o estudo da tecnologia LED se mostraram uma ótima opção para promover a eficiência energética ao município, porque é capaz de trazer diversos benefícios econômicos e sociais. Assim, propõe-se um *check-list* das especificações das luminárias de LED, com base nos resultados obtidos durante este estudo, os quais, se espera, possam auxiliar na obtenção de um retorno de investimento que seja satisfatório para os órgãos públicos, com a expectativa de que, quando de fato se realizar um projeto dessa dimensão, o efeito seja o mais positivo possível dentro das possibilidades existentes.

Nesse contexto, destacam-se quatro pontos que o estudo mostrou serem fundamentais para que seja viável a substituição dos parques luminotécnicos por luminárias de LED, a fim de que se garanta um bom retorno para a municipalidade, quais sejam:

- equipamentos que possuam certificação do INMETRO;
- garantia, mínima, de 5 anos;
- fluxo luminoso, a partir de 140 lm/W;
- vida declarada nominal superior a 66.000 horas.

Observadas essas diretrizes, como mostraram os resultados obtidos neste estudo, é possível dizer que um investimento na modernização do parque luminotécnico trará aos municípios bons resultados, principalmente no que se refere à economia de energia no longo prazo. Não é possível, entretanto, afirmar o tamanho do retorno que um investimento que considere essas características trará, uma vez que, para que esse cálculo seja efetuado, é preciso conhecer o valor total do investimento, as características peculiares de cada marca e de cada situação. No entanto, os parâmetros descritos mostraram-se, no âmbito deste estudo, com um retorno e com viabilidade muito interessantes para esse tipo de investimento, por isso a recomendação de se aplicar essas características em um possível edital de troca de luminárias convencionais por LEDs.

Outro papel importante do município, além de elaborar um bom edital para o investimento na substituição das luminárias convencionais, é o acompanhamento do processo feito por um servidor competente do município, de forma a garantir que as condições previstas para o serviço sejam totalmente atendidas e, dessa forma, haja um grande benefício para a cidade.

6 APLICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EDITAL PARA CRIAÇÃO DE UM MODELO DE LUMINÁRIA

Considerando o disposto no capítulo anterior onde foram feitas recomendações acerca de características que os equipamentos devem possuir para que tragam uma maior segurança de obtenção de retorno aos cofres públicos, nesse momento do trabalho, a proposta é criar um modelo de equipamento com base nessas condições supracitadas e fazer algumas simulações de aplicação no caso real do município de João Monlevade. Dessa forma, torna-se possível definir uma condição muito favorável para geração de economia e eficiência energética, avaliando-se até mesmo qual aporte financeiro justifica esse investimento.

Primeiramente, definem-se os parâmetros gerais da luminária, que se aplicam a todas as potências que forem utilizadas nas simulações de substituição do parque luminotécnico de João Monlevade. São eles:

- a) Eficiência luminosa de 165 lm/W;**
- b) Garantia de 10 anos;**
- c) Vida Declarada Nominal de 85.000 horas.**

Para a escolha desses pontos gerais das luminárias hipotéticas que vai descrever, foram adotados alguns critérios com base nos resultados do estudo até aqui. Dessa forma, a escolha pela eficiência luminosa de 165lm/W deveu-se ao fato de os melhores resultados de retorno de investimento, até o momento, estarem relacionados a equipamentos que possuem eficiência luminosa maior que 140 lm/W. O segundo e o terceiro pontos são parâmetros que já foram verificados como fundamentais para garantir o retorno financeiro do investimento, além de assegurarem os benefícios gerados por mais tempo; assim, como na maioria dos cenários, o retorno do investimento demanda mais de cinco anos para ser concretizado, a opção pela garantia de 10 anos será um diferencial positivo para esses equipamentos. Quanto ao valor da vida declarada nominal das luminárias hipotéticas foi escolhido o que é pouco maior que o dobro da garantia, apesar de já existirem no mercado modelos com mais de 20 anos de vida útil. Dessa forma, os

parâmetros básicos das luminárias foram definidos dentro de possibilidades reais de mercado, com aspectos já presentes em outros modelos de equipamentos.

Diante disso, é possível definir uma equivalência sobre as tecnologias convencionais de IP, com base nos mesmos parâmetros utilizados até o momento, que se dá conforme a Tabela 21, na sequência.

Tabela 21 - Equivalência das luminárias com especificações propostas

LUMINÁRIA PROPOSTA		CONVENCIONAIS	
POTÊNCIA (W)	FLUXO LUMINOSO (LM)	FLUXO LUMINOSO (LM)	POTÊNCIA
170	28.050,00	55.000,00	VS 400 W
150	24.750,00	33.200,00	VS 250 W
100	16.500,00	17.500,00	VS 150 W
60	9.900,00	10.700,00	VS 100 W
40	6.600,00	6.600,00	VS 70 W
35	5.775,00	6.300,00	VM 125 W
80	13.200,00	13.000,00	VM 250 W
35	5.775,00	6.300,00	VMT 70 W

Fonte: Adaptada de CEMIG (2012).

A Tabela 21 apresenta a equivalência das potências dos modelos de luminárias de LED com especificações propostas de acordo com os resultados do trabalho. Esse modelo pretende ser uma otimização dos resultados até aqui encontrados, o qual, se espera, sirva de modelo base para aplicação em um caso real. Para avaliar o desempenho dos equipamentos com essa descrição, são usados os dados acima para realizar o cálculo de consumo energético e o valor de custo com energia, considerando-se a implantação desses equipamentos no parque luminotécnico de João Monlevade-MG.

O cálculo de consumo energético gerado pelas luminárias descritas na Tabela 21 foi realizado através da equação 2, ou seja, seguindo a mesma metodologia aplicada neste estudo. Para

um novo consumo total do parque de iluminação pública, a partir de 613.035 kW de potência instalada, uma redução de 51,07%, o custo estimado de energia elétrica para a iluminação pública, durante um ano, considerando-se as bandeiras tarifárias aplicadas em 2021, é de R\$ 1.258.116,34. Apresentando, dessa forma, o menor custo até o momento, superando os equipamentos descritos anteriormente.

A fim de mensurar o retorno do investimento de luminárias com essas características no sistema de IP do município, foi realizada a análise seguindo-se as mesmas condições da Tabela 20. Porém, como, nesse caso, estão sendo propostas as características dos equipamentos, não existe um valor certo de custo; dessa forma, foi considerado o custo médio dos equipamentos das três marcas apresentadas para cada potência em que eles foram empregados, e acrescidos, a esse valor médio, a porcentagem de 20%, 30% e 45%, respectivamente.

Tabela 22 - Retorno de investimento e custo total para equipamento com as especificações propostas

RETORNO DO INVESTIMENTO

ACRESCIMO DE VALOR	CUSTO TOTAL (R\$)	GARANTIA (ANOS)	VIDA ÚTIL (ANOS)	DURANTE A GARANTIA (%)	DURANTE A VIDA ÚTIL (%)	DURANTE A GARANTIA (R\$)	DURANTE A VIDA ÚTIL (R\$)
20 %	7.895.441,64	10	20	90%	281%	7.130.320,89	22.156.083,42
30 %	8.364.009,86	10	20	80%	259%	6.661.752,67	21.687.515,20
45 %	9.066.862,19	10	20	66%	231%	5.958.900,34	20.984.662,87

Fonte: Elaborada pelo autor (2021).

A Tabela 22 mostra os valores totais de investimento, considerando-se já mão de obra para os casos dos equipamentos com valor de 20%, 30% e 45%, maiores que a média das potências das marcas apresentadas anteriormente neste estudo. Na Tabela 22, veem-se, ainda, os dados de retorno para o investimento nesses equipamentos. Um ponto de destaque, na tabela em análise, é o retorno

do investimento durante o período de garantia. O fato de a marca proposta dispor de uma garantia de 10 anos permite que o retorno alcançado dentro desse período seja muito satisfatório, apresentando seu melhor resultado em 90% do valor de investimento. Isso significa que em um cenário hipotético em que houvesse a perda de todos os equipamentos, após o período de garantia, para o melhor cenário, o investimento já teria sido pago, além disso, já teria retornado em economia mais de sete milhões de reais aos cofres públicos. Já para o pior cenário, o retorno apresentado foi de 66% do investimento, uma melhora considerável, quando comparado ao retorno durante a garantia, se comparado com a Tabela 20. A confiabilidade que esse fator apresentado traz ao investimento é muito positiva e, ainda, permite que a economia gerada seja aplicada em outras áreas de necessidade do município, uma vez que, num período de dez anos, não é estimada a compra de novos equipamentos.

O próximo ponto para análise é o retorno ao longo do período de vida útil, nesse caso, os resultados obtidos são inferiores aos apresentados pelas marcas A e C descritas neste estudo. Resultado de certa forma esperado, uma vez que em um comparativo a marca proposta tem uma vida útil menor que a marca A, nesse ponto, justifica-se a diferença maior de valores finais de retorno. No confronto com a marca C, a diferença está principalmente nos valores iniciais de investimento que, nesse caso, ficam 19,90% menores para a marca C em comparação com o cenário de acréscimo de 20% do valor médio das potências, caso mais barato. Esses pontos não desqualificam as propriedades que foram sugeridas para as especificações dos aparelhos, pelo contrário, o resultado apresentado foi muito satisfatório, porque ficaram demonstrados retornos superiores a 20 milhões de reais, em um período de 20 anos, para todos os valores de investimento apresentados. Além disso, o resultado durante o período de garantia superou muito o obtido pelos outros equipamentos, o que qualifica ainda mais esse parâmetro como um dos pilares para a análise da viabilidade do investimento.

O valor dos equipamentos é grande parte do investimento apresentado neste estudo, pelos conteúdos vistos até aqui, acredita-se que esses estejam dentro das possibilidades existentes no mercado; logo, é possível conseguir adquirir um equipamento com especificações semelhantes dentro da faixa dos valores apresentados. Outro ponto importante é que o resultado viabiliza a instalação das luminárias de LED no parque de IP, deixando ainda margem suficiente para que sejam admitidos custos de bonificação das prestadoras de serviço e encargos envolvidos no processo, o que é passível de ocorrer.

O modelo proposto, dessa forma, conseguiu se enquadrar em possibilidades reais de mercado, demonstrando ser viável, porque, mesmo com investimento inicialmente mais caro, teve a capacidade de gerar retorno financeiro ao município, juntamente com economia de energia pautada na eficiência energética. Assim, é possível explorar as características indicadas na proposta, a fim de se obter mais confiabilidade e segurança no investimento; explorar as opções que o mercado consiga entregar, a partir dos aspectos aqui analisados, buscando o menor valor, para conseguir o mais vantajoso para a administração pública. Porém, como foi apontado pelos dados analisados, o menor valor de investimento não é necessariamente o mais rentável. Dessa forma, a aplicação de modelos eficientes é muito importante para assegurar a viabilidade do investimento.

7 CONCLUSÃO

Inicialmente, a proposta era uma análise de viabilidade técnica e econômica para a substituição de luminárias convencionais por LED em vias públicas. Visando levantar dados para esse estudo, primeiro, buscou-se compreender os motivos que levaram as luminárias de LED a aparecerem como candidatas a protagonista na iluminação pública. De fato, as luminárias LED já viraram uma realidade que impulsiona a busca pela modernização dos parques luminotécnicos em todo país. Durante os estudos de viabilidade técnica, tornaram-se visíveis os pontos que fazem os LEDs sobressaírem às tecnologias convencionais, dessa forma, foi possível entender tal motivo. Os equipamentos convencionais, muitas vezes, não conseguem reunir todas as características. Alguns exemplos podem ser elencados, começando pelas lâmpadas VS que têm boa eficiência energética e produzem bom fluxo luminoso, além de vida útil maior que as demais convencionais, porém têm baixo IRC e produzem uma luz de cor amarelada. Já as lâmpadas de vapor metálico têm um bom IRC e temperatura de cor em torno de 3000K a 6000K, entretanto apresentam baixa vida útil e menor eficiência energética. O mesmo ocorre com as lâmpadas à base de mercúrio, as quais são as mais prejudiciais ao meio ambiente devido à presença de material tóxico. O fato de as luminárias de LED conseguirem trazer essas características juntas, aliando eficiência energética a boas características de IRC e variedade ampla de temperaturas de cor, indo de 2000K a 10000K, além de vida útil muito superior às demais tecnologias comparadas, qualificam-nas como excelente opção para a iluminação pública.

Conhecidas as características que as luminárias de tecnologia LED trazem para a iluminação, passou-se para o estudo de avaliação do consumo e do custo com energia de um ponto de iluminação, além dos custos envolvidos na sua implantação e manutenção; além disso, foram feitos comparativos com os custos e consumo energético das lâmpadas convencionais. Nessa etapa do trabalho, verificou-se que existem várias opções de modelos de luminárias LED no mercado, em decorrência disso, existe uma grande variação nos valores e especificações desses equipamentos, ponto que podia alterar as análises de viabilidade das tecnologias; tanto que podem existir casos não abordados neste estudo, como os que apresentem viabilidade menor ou que sejam inviáveis; ou ainda podem existir cenários que viabilizem ainda mais o uso das luminárias de LED de acordo com as especificações do equipamento, além de outras hipóteses. Durante a análise de

viabilidade econômica, constatou-se a economia energética superior do LED sobre os equipamentos convencionais; logo, essa redução no consumo de energia, conseqüentemente, diminui o custo mensal com energia elétrica do município. Esse valor pode ser mensurado através de cálculos de estimativa de consumo. Houve um resultado favorável às luminárias de LED que sobressaíram sobre as convencionais no que se diz respeito a consumo energético e também ao custo com manutenção, esse último mensurado a partir da vida útil desses equipamentos. São justamente as características que os modelos de luminárias usados durante este estudo conseguem reunir que validam os resultados encontrados. O fato de os equipamentos conseguirem produzir fluxo luminoso, demandando menor potência, por isso, entregando maior eficiência energética, aliada a vida útil desses equipamentos, é que justificam os resultados obtidos. Porém, no processo de análise de viabilidade econômica, foram feitos comparativos pontuais, aplicados a apenas um ponto de iluminação pública; não foi considerada a realidade completa de um parque luminotécnico.

Existia a necessidade de aplicar os estudos de viabilidade técnica e econômica a um caso real, para estimar qual a real situação de uma substituição de todas as lâmpadas convencionais por luminárias de LED em um município. Além disso, era necessário englobar outros custos ao processo, como custo de mão obra para instalação, despesas fixas de manutenção e equipamentos auxiliares para mensurar a real viabilidade do investimento. Ao aplicar as informações dos comparativos técnicos e econômicos a um caso real, definiu-se para o estudo o município de João Monlevade-MG como base. Após um levantamento de informações sobre questões econômicas ligadas à iluminação pública do município, junto aos órgãos da administração pública, também foram agrupadas informações sobre o quantitativo e os tipos de luminárias instaladas no parque luminotécnico da cidade, somente assim foi possível iniciar um estudo de viabilidade e retorno de investimento.

Nessa etapa, foi constatada a dimensão numérica de 9127 pontos de IP convencionais do município, juntamente com o quantitativo de 388 luminárias de LED já instaladas na cidade. A partir desses dados, definiram-se os pontos que seriam substituídos e foram estimadas as potências equivalentes a estes para três marcas distintas. A equivalência é estimada, pois existem peculiaridades para determinar qual a luminosidade instalada em cada ponto do município, considerando-se, ainda, que a iluminação atual segue os parâmetros exigidos pelas normas vigentes, buscou-se ao máximo manter as características semelhantes ao parque atual, por esse

motivo para a melhor definição de uso de determinada luminária no ambiente, é importante a realização de projeto luminotécnico, segundo a NBR 5101 e as normas da concessionária de energia local. Definidos os valores de potências que substituiriam as lâmpadas convencionais, foi necessário usar o valor unitário para ser calculado o valor total dos equipamentos, obtendo-se, assim, a primeira e maior parte do investimento, ou seja, as luminárias. Em seguida, foi pesquisado o valor de mão de obra para a realização da troca de luminárias, a partir de valores descritos nas tabelas de remuneração da CEMIG e, com base no preço dos serviços para região de João Monlevade, somado aos custos para todas as marcas, já que o valor da mão de obra independe de qual luminária será instalada. Computados esses custos, ainda foi incluído o valor dos relés fotoelétricos, a fim de garantir o funcionamento ideal e para que o parque fique 100% aceso, inicialmente, partiu-se para a estimação de consumos, conforme modelo da ANEEL. Naquele momento, incluiu-se na análise uma classe de equipamentos mais barata que a média dos demais, a qual apresentava alguns parâmetros inferiores, no intuito de especular se somente o valor do investimento é justificado para haver economia.

O consumo de energia é o principal ponto da viabilidade desse investimento, uma vez que, como os valores iniciais para aquisição de equipamentos e pagamento de mão de obra são altos, só se justifica fazê-lo se houver uma redução dos custos com consumo de energia elétrica. Nessa análise, ficou evidente, quando se observou os casos aqui estudados, que existem situações em que a viabilidade do investimento pode ser posta em xeque. Por exemplo, no caso de retorno do investimento considerando-se apenas o período de garantia dos equipamentos, visto que em três casos haveria um prejuízo, se, por exemplo, após o vencimento da garantia, todos os equipamentos parassem subitamente de funcionar. Há que se ressaltar que, mesmo estando em vigor a garantia, ainda foi computado um custo de manutenção de IP, para os casos de queima de relés ou outros problemas que possam ocorrer durante o período da sua vigência. Entretanto, quando computamos a economia baseada na vida útil declarada dos equipamentos, em todos os casos apresentados no estudo foram verificados valores satisfatórios de retorno do investimento, ressaltando-se o caso da marca mais barata que apresentou o menor retorno para o investimento. Com isso, foi visto que a viabilidade do investimento e o retorno do mesmo são proporcionais às características e especificações dos equipamentos e não somente em relação ao seu valor, sendo que o caso que mais trouxe retorno em reais (R\$), durante o período de vida útil, foi o cenário de maior custo de investimento.

Como, na administração pública, a contratação de serviços é feita através de processos licitatórios com o intuito de auxiliar na construção de editais que forneçam informações suficientes sobre as características das luminárias de LED, foi elaborado um capítulo especial dentro do trabalho, em que são fornecidas recomendações sobre algumas especificações dos equipamentos que foram verificadas no estudo, as quais se mostraram fundamentais para garantir a viabilidade do investimento. Essas recomendações são pautadas nas análises de viabilidade técnica e econômica, confirmadas pela aplicação da metodologia ao cenário de substituição do parque luminotécnico da cidade de João Monlevade, em que foram usados os resultados que produziram melhor retorno, para o município para efetuar as recomendações de especificações. A partir das especificações citadas, foi proposto um modelo de luminária com apenas três características básicas, mas que no estudo se mostraram pilares da viabilidade do investimento, que são a eficiência luminosa, a garantia e o tempo de vida útil. Esses pontos, aliados ao valor do investimento, foram fundamentais para as análises de exequibilidade do investimento. A proposta do modelo foi importante para indicar que, com bons parâmetros, os equipamentos conseguem dar retorno em uma ampla faixa de valores, além disso, ficou demonstrado que esses aspectos são tão importantes quanto o valor do equipamento. Dessa forma, o modelo proposto reuniu as características que os resultados apresentaram ser suficientes para viabilizar o investimento em um valor, que se acredita, dentro das possibilidades do mercado para trazer um retorno satisfatório para a administração pública, podendo ser aplicado e adequado a diversos casos.

Finalmente, diante dos resultados do estudo, o uso dos LEDs, como alternativa para substituição das luminárias convencionais na iluminação pública, mostrou-se uma opção viável e rentável aos municípios, como foi verificado no capítulo de viabilidade e retorno do investimento, pois existem cenários de implantação das luminárias de LED que têm potencial para gerar um grande benefício financeiro para o município, porque trazem para seu parque luminotécnico uma solução pautada na eficiência energética. Mas, existem ressalvas a serem feitas, entre elas, os casos que pode não ser tão interessante fazer o investimento, ou seja, o retorno e a viabilidade só serão alcançados se o investimento for planejado de forma cuidadosa, seguindo as normas vigentes e tomando as precauções cabíveis para se evitar o uso de equipamentos que não entreguem os resultados esperados. Importante declarar que os resultados apresentados neste trabalho estão relacionados aos parâmetros descritos no mesmo; logo, em um mercado com diversos fornecedores em escala global podem existir resultados divergentes, tanto positiva quanto negativamente.

A proposta inicial foi satisfeita, quando o texto apresentou evidências de que existem formas viáveis e muito vantajosas para se fazer a modernização dos parques luminotécnicos públicos. As ressalvas que foram citadas estão apresentadas, quando se instrui que, ao se projetar a modernização de seu sistema de iluminação pública, os municípios tomem todas as precauções necessárias para que seu objetivo seja satisfeito. Como procedimentos, recomenda-se o conhecimento do seu parque de IP e a elaboração de um processo licitatório que exija, principalmente, qualidade, durabilidade e confiabilidade dos equipamentos instalados, além de acompanhamento e fiscalização adequados. Por fim, pode-se afirmar que as luminárias de LED se classificam, sim, como fortes e viáveis, além de ótimas candidatas a ocupar os sistemas de iluminação pública nos próximos anos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5101. **Iluminação Pública** – Procedimento. Rio de Janeiro. 2012. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/nbr-5101-2018-iluminaao-publicapdf-2-pdf-free.html>. Acesso em: 23 de junho de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. **Resolução Normativa Nº 414**. Distrito Federal, 2010. Disponível em: www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0. Acesso em: 20 de maio de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Aprimora as disposições relacionadas ao fornecimento de energia elétrica para o serviço público de iluminação pública. **Resolução Normativa nº 888**, 30 de junho de 2020. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020888.pdf>. Acesso em: 04 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Espaço do Consumidor/ Destaques – Tarifas/ **Como é composta a tarifa**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/destaques-tarifas/>. Acesso em: 03 de novembro de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Indicadores Individuais de Continuidade por Município**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/limites-dos-indicadores-de-continuidade-por-municipio>. Acesso em: 04 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Homologa os tempos a serem considerados para o consumo diário para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública e à iluminação de vias internas de condomínios. **Resolução Homologatória nº 2590**, 13 de agosto de 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192590ti.pdf>. Acesso em: 04 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Bandeiras Tarifárias, **Relatório de Acionamento**. Agosto de 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/6to-2021.pdf>. Acesso em: 09 de agosto de 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Agência Nacional de Energia Elétrica/ Sala de Imprensa/**Bandeira tarifária para o mês de agosto é vermelha patamar 2**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/>. Acesso em 25 de outubro de 2021.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Perfis setoriais: Iluminação Pública**. BNDES, Hub de Projetos. Disponível em:

<https://hubdeprojetos.bndes.gov.br/pt/setores/Iluminacao-Publica#2>. Acesso em: 10 de junho de 2021.

CLEMENTE, A. C. *et al.* Gerenciamento de iluminação pública. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. Ano 03, ed. 11, Vol. 05, pp. 107-147, nov., 2018. ISSN: 2448-0959.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **ANEXO VI – TABELAS. Portal de Compras**. Disponível em:

<https://compras.cemig.com.br/PortalPublico.aspx?ReturnUrl=%2fDefault.aspx> Acesso em: 22 de novembro de 2021.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Manual de Distribuição**: ND 3.4 - Projetos de Iluminação Pública. Minas Gerais. 2012. 64 p. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/nd3_1_000001p.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2021.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Portal de Compras**. Disponível em: <https://compras.cemig.com.br/PortalPublico.aspx?ReturnUrl=%2fDefault.aspx> Acesso em: 22 de novembro de 2021.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG). **Valores de tarifas e serviços**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/> Acesso em: 22 de julho de 2021.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA (COPEL). **Manual de Iluminação Pública**. Paraná. 2012. 44 p. Disponível em:

[https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual_iluminacao_publica/\\$FILE/manual%20iluminacao%20publica.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/manual_iluminacao_publica/$FILE/manual%20iluminacao%20publica.pdf). Acesso em: 22 de julho de 2021.

DIGITAL LED, 2021. Home/Luminárias de Postes/Luminária Pública LED SMD 100W Branco Frio IP66. Disponível em: <https://www.digitalled.com.br/luminarias-de-poste/luminaria-publica-led-smd-100w-branco-frio-ip66> . Acesso em 10 de agosto de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria n.º 20**, de 15 de fevereiro de 2017. Disponível em: inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002452.pdf. Acesso em: 16 de novembro de 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Produtos**. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/prodcert/produtos/lista.asp> Acesso em 17 de novembro de 2021.

LEDVANCE. **LED**: tecnologia para soluções flexíveis, com eficiência de energia. Ledvance, Conhecimentos básicos sobre o led. Disponível em:

<https://www.ledvance.com.br/produtos/conhecimentos-sobre-o-produto/nocoos-basicas-do-led/conhecimentos-basicos-sobre-o-led/index.jsp> Acesso em: 20 de julho de 2021.

LOJA ELÉTRICA, 2021. **Destaques**. Disponível em: <http://www.lojaeletrica.com.br/> Acesso em 10 de agosto de 2021.

MAGAZINE LUIZA, 2021. Magalu > Casa e Construção > Lâmpada > **Lâmpada Vapor Metálica 150W 220V E40 Tubular Ge**. Disponível em: <https://www.magazineluiza.com.br/lampada-vapor-metalica-150w-220v-e40-tubular-ge/>. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

MELO, A. L. (Ed.). **História da Iluminação Pública no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://www.estudokids.com.br/a-historia-da-iluminacao-publica-brasileira>. Acesso em: 20 de junho de 2021.

MENA, F. **Experimento mostra que iluminação pública reduziu 36% dos crimes noturnos**. Folha de São Paulo, São Paulo, 15 de jul. de 2019. Disponível em < <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/07/experimento-mostra-que-ruas-com-iluminacao-publica-tem-menor-riscos-de-serem-pontos-de-crime.shtml>> Acesso em: 10 de junho de 2021.

MERCADO LIVRE, 2021. Casa, Móveis e Decoração > Iluminação Residencial > **Refletores** > Por unidade. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1947127507-luminaria-led-100w-ip66-iluminaco-publica-poste-branco-frio-_JM. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

MEYER, M. *et al.* **Iluminando cidades brasileiras: modelos de negócio para eficiência energética em iluminação pública**. Washington: Banco Mundial, 2017.

MM SINALIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO VIÁRIA EIRELI - ME, 2021. Loja Viária. Disponível em: https://www.lojaviaria.com.br/luminaria-publica-led-100w-optimus?utm_source. Acesso em: 10 de agosto de 2021.

PMJM, Prefeitura Municipal de João Monlevade. Disponível em: <http://pmjm.mg.gov.br/pagina/?idPagina=8>. Acesso em: 8 de outubro de 2021.

Portal Transparência PMJM. Prefeitura Municipal de João Monlevade. **Despesas**. Disponível em: <https://portaltransparenciajm.portaltp.com.br/>. Acesso em: 04 de outubro de 2021.

Portal Transparência PMJM. Prefeitura Municipal de João Monlevade. **Receitas**. Disponível em: <http://portaltransparenciajm.portaltp.com.br/consultas/receitas.aspx>. Acesso em: 04 de novembro de 2021.

SECRETARIA MUNICIPAL DE SERVIÇOS URBANOS. Prefeitura Municipal de João Monlevade. Disponível em: [/pmjm.mg.gov.br/secretariaView/25_Secretaria-de-Servicos-Urbanos-.html](http://pmjm.mg.gov.br/secretariaView/25_Secretaria-de-Servicos-Urbanos-.html). Acesso em: 02 de novembro de 2021.

TEIXEIRA, I.; LIMA, R. R. S.; REIFF, L. O. **Iluminação LED: sai Edison, entram Haitz e Moore: benefícios e oportunidades para o país**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 43, p. [363]-412, mar. 2016.

TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “**Análise de viabilidade tecno-econômica para a substituição de luminárias convencionais por luminárias de led em vias públicas**” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem a devida citação ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 13 de janeiro de 2022.

JOAO PEDRO DE
ARAUJO
MORAIS:06882379670



Assinado de forma digital por
JOAO PEDRO DE ARAUJO
MORAIS:06882379670
Dados: 2022.01.18 07:45:29
-03'00'

João Pedro de Araújo Morais