



**UNISUL**

**UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA**

**LUAN VIEIRA**

**ROBERTO CARLOS KÜHL**

**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Palhoça/SC

2019

**LUAN VIEIRA**  
**ROBERTO CARLOS KÜHL**

**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Fabiano Max da Costa, Eng. Esp.

Palhoça/SC

2019

**LUAN VIEIRA**  
**ROBERTO CARLOS KÜHL**

**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Elétrica da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 12 de novembro de 2019.



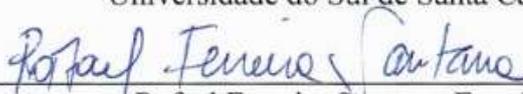
---

Professor e orientador Fabiano Max da Costa, Eng. Esp.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Professor Paulo Roberto May, MSc.  
Universidade do Sul de Santa Catarina



---

Rafael Ferreira Santana, Eng. Esp.  
Conectar Engenharia Ltda.

Dedicamos este trabalho a todos que colaboraram para que o concluíssemos com êxito. Aos nossos pais, familiares e amigos.

## AGRADECIMENTOS

**Luan** agradece a:

Primeiramente a Deus, por ter me dado forças para seguir em frente diante das dificuldades enfrentadas durante a vida.

Agradeço aos meus pais, Lucia Otília da Silva Vieira e Odi Paulo Vieira, que me educaram e desde sempre incentivaram meus estudos, me ajudando sempre que possível. A eles, todo o meu agradecimento. À minha família, irmãos e irmãs, pelo carinho e paciência demonstrado durante todos esses anos.

Aos meus amigos, pelo apoio e paciência nesses anos de graduação, pois em diversas comemorações não pude estar presente devido às provas e aos trabalhos que se acumulavam. Agradeço aqui em especial ao meu amigo Márcio João Silvano, que me incentivou a iniciar essa graduação.

Agradeço também ao nosso orientador, Prof. Fabiano Max da Costa, pelo conhecimento transmitido em sala de aula e pelo tempo dedicado a este trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, me ajudaram nesta jornada.

A todos, o meu muito obrigado!

**Roberto** agradece a:

Agradeço a Deus por ter me dado forças para não desistir nos momentos difíceis ao longo da jornada de graduação e que, diga-se de passagem, não foram poucos.

Agradeço, especialmente, a minha esposa, Vanessa Heerdt Kühl, que me apoiou em todos os momentos, me incentivando e me ajudando no que estava ao seu alcance para que pudesse estudar, muitas vezes saindo de casa com as crianças para não atrapalhar meus estudos, e também agradeço às minhas filhas, Kaylane Isaura Kühl, Vitória Roberta Kühl e Isabela Maria Kühl, pela paciência que tiveram com o seu pai, que muitas vezes deixou de estar presente em suas vidas para poder fazer os trabalhos e estudar para as provas.

Agradeço aos meus pais Arny Ady Kühl e Olira Moenster Kuhl, que sempre me incentivaram a estudar, que devemos dar valor às pequenas coisas da vida, e que a família é a base de tudo. Agradeço também a todos os familiares e amigos que de alguma forma me incentivaram e me apoiaram nessa longa jornada.

Agradeço a todos os professores da Unisul, que se dedicaram a nos ensinar com sabedoria e paciência.

Agradeço, também, ao nosso orientador, Prof. Fabiano Max da Costa, pelo conhecimento passado em sala de aula e pelo tempo dedicado a este trabalho.

Agradeço à Quantum Engenharia, empresa que trabalho há vários anos e que sempre que precisei me ausentar ou sair mais cedo do trabalho para estudar ou para fazer as viagens de visitas técnicas, sempre me liberou e entendeu a importância desta graduação para mim.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que me ajudaram, me apoiaram de uma forma ou de outra, pois só quem esteve comigo durante esse longo tempo de formação acadêmica sabe o quanto foi difícil chegar até aqui, o quanto me dediquei, o quanto estudei, quantas vezes pensei em desistir, quantas noites em claro passei, quantas vezes que deixei de me divertir com minha família, quantas vezes tive que me dividir entre trabalho, família e faculdade e tantos outros obstáculos que surgiram ao longo desse caminho.

A todas essas pessoas, o meu muito obrigado!

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino.” (Leonardo da Vinci).

## RESUMO

No Brasil, a iluminação pública representa mais de 3% do consumo total de energia elétrica do País. Nesse cenário, são observadas diversas ações governamentais para a modernização dos parques de iluminação pública pelo País, com o objetivo de substituir a tecnologia obsoleta utilizada em grande parte dos parques, por tecnologias mais eficientes, diminuindo, assim, o consumo de energia elétrica desse setor. Temos como exemplo o Programa de Eficiência Energética (PEE), com base no qual as concessionárias de energia elétrica são obrigadas por lei a aplicar anualmente o percentual mínimo de 0,5% da receita operacional líquida a esse programa. Temos também o programa Procel Reluz, com resultados alcançados significantes no setor de iluminação pública. Com o avanço das tecnologias aplicadas aos sistemas de iluminação pública, vimos um leque de possibilidades que podem resultar em maior eficiência energética nesses sistemas, visto que são focados na substituição de luminárias antigas por luminárias com a tecnologia LED. Nesse sentido, realizou-se neste trabalho o estudo de viabilidade econômica para aplicação de dimerização nas luminárias LED utilizadas em programas PEE, em horários de baixo fluxo de movimento nas vias – horário este em que, em teoria, os sistemas de iluminação pública não necessitam operar a 100% de sua capacidade para garantir a segurança nas vias.

Palavras-chave: Iluminação pública. Eficiência energética. Luminárias. Dimerização.

## ABSTRACT

In Brazil, street lighting represents more than 3% of the country's total electricity consumption. In this scenario is seen several governmental actions for the modernization of public lighting parks across the country, with the object of replacing the obsolete technology used in most parks, with more efficient technologies, thus reducing the electricity consumption of this sector. An example is the energy efficiency program (PEE), where electric utilities are required by law to apply a minimum percentage of 0.5% of net operating revenue to this program per year. There is also the PROCEL RELUZ program which have been significant results achieved in the street lighting sector. With the advancement of technologies applied to street lighting systems, we have seen a range of possibilities that can result in greater energy efficiency in these systems as they focus on replacing old fixtures for those with LED technology. In this work, we will carry out the economic feasibility study for the dimming of LED fixtures used in PEE programs, at times of low movement flow in the streets, since in theory, at these times the public lighting systems do not need to be at 100% of its capacity to ensure road safety.

**Keywords:** Street lighting. Energy efficiency. Lamps. Dimerization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Espectro eletromagnético.....	22
Figura 2 - Luz refletida.....	22
Figura 3 - Fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente.....	23
Figura 4 - Iluminância vs. Luminância.....	24
Figura 5 - Temperatura de cor .....	28
Figura 6 - Comparativo entre duas fontes luminosas de diferente IRCs.....	28
Figura 7 - Triângulo retângulo de potências.....	30
Figura 8 - Fator de potência - Carga puramente resistiva.....	31
Figura 9 - Fator de potência - Carga indutiva.....	32
Figura 10 - Fator de potência - Carga capacitiva.....	32
Figura 11 - Conjunto de iluminação pública .....	42
Figura 12 - Luminária aberta .....	43
Figura 13 - Luminária fechada .....	44
Figura 14 - Aumento da eficiência das luminárias .....	45
Figura 15 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio .....	46
Figura 16 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de sódio .....	48
Figura 17 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor metálico.....	48
Figura 18 - Reator interno e externo para iluminação pública .....	50
Figura 19 - Relé para iluminação pública.....	52
Figura 20 - Braço para iluminação pública .....	52
Figura 21 - Economia de energia nos últimos 5 anos (bilhões de KWh) .....	54
Figura 22 - Etapas do projeto PEE .....	56
Figura 23 - Arquitetura de um sistema de telegestão .....	58
Figura 24 - Luxímetro Meter T-10A. ....	62
Figura 25 - Medidor PowerNET T-500 G4.....	65
Figura 26 - Medido PowerNET instalado.....	65
Figura 27 - Proposta de dimerização .....	69
Figura 28 - Faturamento de iluminação pública no município de Santo Amaro da Imperatriz.....	69
Figura 29 – Subgrupos de faturamento da CELESC.....	70

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Eficiência Luminosa das Lâmpadas.....	25
Gráfico 2 - Comparativo entre as luminárias dimerizadas .....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de energia no Brasil por Classe (GWH) .....	14
Tabela 2 - Faixas de temperatura de cor.....	27
Tabela 3 - Volume tráfego de pedestres .....	38
Tabela 4 - Classificação das vias conforme intensidade de tráfego de veículos motorizados .	39
Tabela 5 - Requisitos de luminância e uniformidade .....	39
Tabela 6 - Iluminância média mínima e uniformidade mínima para cada classe.....	40
Tabela 7 - Iluminância média mínima e uniformidade por classe de via para pedestres .....	40
Tabela 8 - Comparativo entre as tecnologias de lâmpadas.....	46
Tabela 9 - Luminárias anterior x sistema atual.....	60
Tabela 10 - Sistema anterior vs. sistema atual.....	60
Tabela 11 – Composição do sistema atual modernizado.....	61
Tabela 12 - Equipamentos instalados .....	62
Tabela 13 - Luminárias dimerizadas .....	63
Tabela 14 - Medições de luminária LED 150 W.....	63
Tabela 15 - Medições de luminária LED 114 W.....	64
Tabela 16 - Medições de potência de luminária LED 114 W .....	66
Tabela 17 - Medições de potência de luminária LED 150 W .....	66
Tabela 18 - Níveis para acionamento dos relés de iluminação pública.....	67
Tabela 19 - Classificação do volume de tráfego .....	67
Tabela 20 - Proposta de horários para aplicar a dimerização .....	70
Tabela 21 - Cálculos de consumo de energia .....	71
Tabela 22 - Comparação do consumo de energia.....	71
Tabela 23 - Orçamento do sistema de telegestão .....	73
Tabela 24 - Demonstrativo sistema Calculado vs Sistema Ideal.....	77
Tabela 25 - Resumo para a viabilidade do sistema .....	78

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRASI	Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Iluminação Pública
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
cd/m <sup>2</sup>	Candela por metro quadrado
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
COPEL	Companhia Paranaense de energia
COSIP	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FP	Fator de potência
GWh	Gigawatt hora
IBD	Instituto Brasileiro de Desenvolvimento
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IP	Iluminação pública
IRC	Índice de reprodução de cores
kVA	Quilovolt-ampere – unidade de potência aparente
kVAr	Quilovolt-ampere reativo – unidade de potência reativa
kW	Quilowatt – unidade de potência ativa
LED	Diodo Emissor de Luz
lm	Lúmen – unidade de medida de fluxo luminoso
lm/W	Lúmen por watt – unidade de medida de eficiência luminosa
lux	Unidade de medida de iluminância
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
MME	Ministério de Minas e Energia
NA	Normalmente aberto
NBR	Norma Brasileira
NF	Normalmente fechado
nm	Nanômetro – unidade de medida
PBS	<i>Payback</i> Simples
PEE	Programa de Eficiência Energética
Procel	Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo-Benefício
THD	Distorção harmônica total

TIR	Taxa Interna de Retorno
THDi	Distorção harmônica total da corrente
W	Watt – unidade de potência

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA .....	15
1.2	JUSTIFICATIVA .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	17
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
1.4	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	18
1.6	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>20</b>
2.1	BREVE HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....	20
2.2	ASPECTOS RELACIONADOS À ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Luz .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Fluxo Luminoso .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Iluminância .....</b>	<b>23</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Luminância .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Eficiência Luminosa.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Fator de Uniformidade .....</b>	<b>26</b>
2.2.6.1	Uniformidade da Iluminância.....	26
2.2.6.2	Uniformidade Global.....	26
2.2.6.3	Uniformidade Longitudinal .....	27
<b>2.2.7</b>	<b>Temperatura de Cor .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.8</b>	<b>Índice de Reprodução de Cor.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2.9</b>	<b>Vida Mediana.....</b>	<b>29</b>
2.2.9.1	Distorção Harmônica Total .....	29
<b>2.2.10</b>	<b>Fator de Potência.....</b>	<b>30</b>
2.3	REGULAMENTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....	33
<b>2.3.1</b>	<b>Medição de consumo de energia elétrica.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3.2</b>	<b>CIP/COSIP.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Normas regulamentadoras vigentes .....</b>	<b>37</b>
2.3.3.1	Norma Técnica 5101 - Procedimento.....	38
<b>2.3.4</b>	<b>Normas da concessionária vigente na região .....</b>	<b>40</b>

2.4	PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	41
<b>2.4.1</b>	<b>Luminárias.....</b>	<b>42</b>
2.4.1.1	Luminárias Abertas .....	43
2.4.1.2	Luminárias fechadas para lâmpadas de descarga .....	44
<b>2.4.2</b>	<b>Lâmpadas.....</b>	<b>45</b>
2.4.2.1	Lâmpada a vapor de mercúrio .....	46
2.4.2.2	Lâmpada a vapor de sódio.....	47
2.4.2.3	Lâmpada a vapor de metálico.....	48
2.4.2.4	LED .....	49
<b>2.4.3</b>	<b>Reatores.....</b>	<b>50</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Relés.....</b>	<b>51</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Braços .....</b>	<b>52</b>
2.5	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	53
<b>2.5.1</b>	<b>Procel.....</b>	<b>53</b>
2.5.1.1	Resultados Procel .....	54
2.5.1.2	Procel Reluz.....	55
<b>2.5.2</b>	<b>Programa de Eficiência Energética (PEE).....</b>	<b>55</b>
<b>2.5.3</b>	<b>ILUMINAÇÃO PÚBLICA MAIS EFICIENTE .....</b>	<b>56</b>
2.5.3.1	Sistema de telegestão.....	57
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>59</b>
3.1	SANTO AMARO DA IMPERATRIZ.....	59
3.2	CIDADE + EFICIENTE - ILUMINAÇÃO PÚBLICA SANTO AMARO DA IMPERATRIZ (EE-047/2018) .....	59
3.3	MEMORIAL DE CÁLCULO.....	60
<b>3.3.1</b>	<b>Dados do sistema de iluminação modernizado .....</b>	<b>61</b>
3.3.1.1	Equipamentos Instalados .....	61
<b>3.3.2</b>	<b>Medição da iluminância.....</b>	<b>62</b>
3.3.2.1.1	<i>Medição de potência e fator de potência da luminária dimerizada.....</i>	<i>65</i>
<b>3.3.3</b>	<b>DIMERIZAÇÃO DE LUMINÁRIAS LED .....</b>	<b>67</b>
3.3.3.1	Proposta de dimerização.....	68
3.3.3.2	Comparativo de consumo .....	69
3.4	MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA PONTO A PONTO .....	71
3.5	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	72
<b>3.5.1</b>	<b>Proposta para sistema de telegestão .....</b>	<b>73</b>

<b>3.5.2 Método do valor presente líquido .....</b>	<b>74</b>
<b>3.5.3 Método da Taxa Interna de Retorno .....</b>	<b>75</b>
<b>3.5.4 <i>Payback</i> Simples.....</b>	<b>76</b>
<b>3.5.5 Investimento inicial máximo .....</b>	<b>76</b>
<b>3.6 RESUMO DE CONCLUSÕES .....</b>	<b>77</b>
<b>4 CONCLUSÃO.....</b>	<b>79</b>
<b>4.1 SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS .....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO A – RESUMO CIDADE + EFICIENTE .....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO B – FICHA DE LEVANTAMENTO LUMINOTÉCNICO .....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de iluminação pública eficientes proporcionam uma melhor qualidade de vida, favorecem o comércio local, encorajam o turismo e o lazer noturno da população em geral. Além de iluminarem ruas, avenidas, calçadas, praças públicas, embelezam e destacam monumentos históricos, sendo, assim, de suma importância para o desenvolvimento regional e conseqüentemente nacional (ABRASI, 2019).

Segundo a vigente Constituição Federal do Brasil, art. 30, inciso V, compete ao município “organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial” (BRASIL, 1988, p. 79). Considerando a jurisprudência atual, a qual considera que a iluminação pública seja de interesse local, fica esta inserida nesse artigo da Constituição.

Segundo o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento (IBD) as cidades consomem dois terços da produção de energia global. No ambiente urbano os sistemas de iluminação pública são responsáveis por uma parcela significativa desse consumo, sendo os gastos com fatura de energia para a iluminação pública o segundo maior item orçamentário da maioria dos municípios brasileiros, superado apenas pela folha de pagamento. Com base nesses dados, projetos de efficientização do sistema de iluminação pública podem representar uma diminuição no item orçamentário municipal (IBD, 2017).

No Brasil, o sistema de iluminação pública representa cerca de 3,3% de toda a energia consumida no País, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Consumo de energia no Brasil por Classe (GWH)

	2013	2014	2015	2016	2017	Part. %
<b>Brasil</b>	<b>463.142</b>	<b>474.823</b>	<b>465.708</b>	<b>461.780</b>	<b>467.161</b>	<b>100</b>
Residencial	124.908	132.302	131.190	132.872	134.368	28,8
Industrial	184.685	179.106	169.289	165.314	167.398	35,8
Comercial	83.704	89.840	90.768	87.873	88.292	18,9
Rural	23.455	25.671	25.899	27.266	28.136	6
Poder público	14.653	15.355	15.196	15.095	15.052	3,2
<b>Iluminação Pública</b>	<b>13.512</b>	<b>14.043</b>	<b>15.333</b>	<b>15.035</b>	<b>15.443</b>	<b>3,3</b>
Serviço público	14.847	15.242	14.730	14.969	15.196	3,3
Próprio	3.379	3.265	3.304	3.355	3.277	0,7

Fonte: Anuário Estatístico de Energia Elétrica (2018, p. 85).

Segundo Santana (2010), devido à utilização de equipamentos ineficientes e à gestão deficiente, por parte do município responsável, os sistemas de iluminação pública podem

apresentar elevado desperdício de energia elétrica. Segundo Silva (2006), a falta de recursos humanos e de competência técnica para tratar questões relativas à iluminação pública implica em manutenções e expansões do sistema feitas de forma pouco planejadas, fatores que, juntamente com a falta de gestão, tornam o sistema ineficiente.

Ainda segunda Silva (2006), a utilização de novas tecnologias mais avançadas e eficientes na modernização do sistema de iluminação pública garante uma maior qualidade no serviço de iluminação e diminuição no consumo de energia, gerando um ganho direto para o município, visto que, com a evolução dos equipamentos utilizados, é possível chegar aos mesmos níveis de iluminamento com potências cada vez menores.

Diante disso, algumas ações governamentais estão sendo tomadas para a modernização e efficientização dos sistemas de iluminação pública do País. Dentre algumas medidas, podemos citar o Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficiente (Procel Reluz), do Ministério de Minas e Energia.

O programa Procel Reluz teve início no ano de 2000 e até 2012 tinha como foco a substituição de lâmpadas incandescentes, mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas a vapor de sódio, a alta pressão ou a vapor metálico. Em sua nova fase, que teve início em 2016, suportado pela Lei nº 13.280/2016, o Procel Reluz foca na promoção da iluminação pública a LED, ou *Light-Emitting Diodes*, tecnologia mais eficiente e durável que as anteriores. Trata-se de um semicondutor que transforma energia elétrica em luz, proporcionando uma alta economia de energia e uma vida útil longa. Desde a sua criação, o Procel Reluz já realizou a substituição de mais de 2,7 milhões de pontos de iluminação em todo o País, assim beneficiando e melhorando a qualidade de vida da população.

Em Santa Catarina, a concessionária de energia local, Celesc, tem aderido ao Programa de Eficiência Energética (PEE), o qual visa ao combate ao desperdício de energia, promovendo o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia.

## 1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Com o aumento crescente da preocupação mundial com a racionalização e economia no setor elétrico, observa-se também o aumento da procura por métodos capazes de diminuir os desperdícios de energia elétrica. A eficiência energética na iluminação pública é tema atual, o qual abrange grande área de pesquisa.

As novas tecnologias aplicadas aos sistemas de iluminação pública permitem uma diversidade de métodos que podem ser aplicados com o intuito de diminuir o consumo de

energia elétrica e que ainda são poucos explorados e aplicados na prática. Dentre alguns métodos, podemos citar a possibilidade de dimerização de luminárias LED, método que consiste na redução da intensidade luminosa em horários em que não se há a necessidade de muita luz.

Além da dimerização há a possibilidade de as despesas com faturamento de energia elétrica serem feitas ponto a ponto, sendo cobrado o consumo real e não uma estimativa, como é atualmente definido pela ANEEL.

#### Seção X Da Iluminação Pública

Art. 24. Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento. (ANEEL, 2010).

A utilização de métodos de dimerização, combinada com uma medição de consumo ponto a ponto, pode tornar o sistema muito mais eficiente, confiável e justo.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente há programas governamentais que buscam a efficientização dos sistemas de iluminação pública do País, com o objetivo de reduzir o consumo e o desperdício de energia elétrica e, por consequência, o valor pago na conta de luz. Essa conta é paga por meio de taxas, contribuição para custeio do serviço de iluminação pública (COSIP), que é cobrada pela concessionária de energia elétrica de seus clientes e repassada às prefeituras correspondentes (GRANDA, 2019).

Com um sistema de iluminação pública eficiente, em longo prazo, é possível a diminuição dessa taxa, representando um alívio na conta dos consumidores locais. Além da diminuição de emissão de gases causadores do efeito estufa, decorrentes da produção de energia elétrica.

Adicionalmente a isso, busca-se a atualização dos sistemas de iluminação pública, com a utilização de novas tecnologias para proporcionar aos usuários boa visibilidade, conforto e segurança além de melhorar a aparência das vias e de espaços públicos como praças, parques e ciclovias.

### 1.3 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos deste estudo.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Promover um estudo de caso com a finalidade de investigar e analisar os benefícios da atualização dos sistemas de iluminação pública. Com a substituição de luminária ineficientes por luminárias eficientes, é possível avaliar as diferentes tecnologias de lâmpadas e demais equipamentos que são aplicadas ao sistema de iluminação pública do Município de Santo Amaro da Imperatriz (SC). Analisar a viabilidade da inclusão de métodos de dimerização e medição de consumo ponto a ponto ao programa de Eficientização Energética (PEE) da CELESC.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

São objetivos específicos:

- a) Elucidar características das diferentes lâmpadas utilizadas;
- b) Elucidar características de dimerização na iluminação pública;
- c) Elucidar características luminárias do LED;
- d) Relatar os benefícios de programas de eficientização energética voltados à iluminação pública;
- e) Elucidar sobre a Dimerização;
- f) Relatar os benefícios sobre a Medição de consumo ponto a ponto.

### 1.4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Após definido o tema da pesquisa, foram realizadas pesquisas bibliográficas para um melhor domínio do tema proposto como também a aquisição de conhecimento das contribuições teóricas já existentes. As fontes bibliográficas são diversas e podem ser classificadas como livros, publicações periódicas e impressos diversos, porém, “convém aos pesquisadores assegurarem-se das condições em que os dados foram obtidos [...]” (GIL, 2008, p. 44). Neste estudo de caso, as pesquisas foram realizadas em artigos, livros, normas técnicas, dados publicados por organizações governamentais, entre outros.

Para a aplicação, será utilizado o método de estudo de caso, ou seja, uma investigação sobre a eficiência de sistemas de iluminação pública visando encontrar as características e os métodos que podem ser aplicados para a melhoria dos programas de eficiência. Esse estudo poderá ajudar na busca de novas teorias e questões que servirão como base para futuras investigações.

Segundo Gil (2008), os propósitos do estudo de caso não são os de proporcionar o conhecimento preciso das características do meio, mas sim o de proporcionar uma visão global do problema ou de identificar possíveis fatores que o influenciam ou são por ele influenciados.

Dessa forma, o estudo de caso será baseado na aplicação de técnicas de dimerização e medição de consumo de energia elétrica ponto a ponto como meios de alcançar uma maior eficiência nos sistemas de iluminação pública. Para isso, será utilizado como base o projeto “Cidade + Eficiente – Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz (EE-047/2018)” do programa de eficiência da CELESC.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é constituído por quatro capítulos.

No primeiro capítulo é apresentada a introdução, que busca caracterizar a pesquisa, definindo os problemas de pesquisa, os objetivos do trabalho, a metodologia adotada e as limitações do estudo.

No segundo capítulo é descrita uma breve história sobre a origem da iluminação pública no Brasil, bem como sobre os principais itens que compõem um sistema de iluminação pública, as normas vigentes, como é feita a tarifação atualmente e quais os programas governamentais de eficiência voltados para a iluminação pública.

No terceiro capítulo são apresentados o cenário de estudo, os meios para atingir uma maior eficiência e os resultados detalhados apresentados em forma de tabelas e gráficos.

Por fim, no capítulo quarto, são feitas as conclusões e considerações finais.

## 1.6 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Com a evolução gradativa de luminárias para a aplicação em sistemas de iluminação pública, aliada à busca constante para diminuição do desperdício de energia elétrica por meio de programas de eficiência, este trabalho limita-se a analisar a possibilidade de utilização

da dimerização em luminárias LED, como um método para diminuir o consumo de energia elétrica dos sistemas de iluminação pública. Além disso, também é analisada a utilização de medição de consumo ponto a ponto como uma forma de faturamento mais justa.

Este trabalho não tem como objetivo propor o desenvolvimento de novas tecnologias para aplicação em sistemas de iluminação pública, mas sim a utilização das tecnologias atualmente disponíveis no mercado nacional.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas de iluminação pública, sejam de grandes ou pequenas cidades, são de fundamental importância para a sociedade, pois estão diretamente envolvidos com a qualidade de vida da população. Com o crescimento das cidades e o aumento populacional, vê-se a necessidade de cada vez mais haver a modernização do sistema de iluminação pública que está diretamente ligada à segurança pública nas vias, à prevenção da criminalidade, além de permitir que a população desfrute de espaços públicos no período noturno, embelezando, destacando e valorizando monumentos, prédios e paisagens (COPEL, 2018).

Um sistema de iluminação pública eficiente diminui o desperdício de energia, melhora a imagem do município, favorece o comércio, o turismo e o lazer noturno, além de contribuir diretamente para o desenvolvimento econômico e social do município e, por consequência, do País. Com as evoluções tecnológicas, este é um mercado que está sempre em transformação, devido à oferta de produtos mais eficientes e inovadores (COPEL, 2018).

### 2.1 BREVE HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Anteriormente à colonização do território brasileiro pelos portugueses, o fogo e a luz natural emitida pela Lua eram as únicas fontes geradoras de luz no período noturno. Com a chegada dos portugueses no ano de 1500, outras formas de iluminação começaram a ser aplicadas no Brasil, oriundas da Europa.

De acordo com Carvalho (2012), a lamparina foi uma das primeiras alternativas como fonte geradora de luz trazida pelos portugueses ao solo brasileiro. Elas funcionavam à base de óleos vegetais e/ou animais. O óleo de oliva era o mais usado como combustível para as lamparinas, porém esse óleo era oriundo da Europa e havia um alto custo envolvido no seu transporte para o território brasileiro, ficando a utilização da lamparina exclusiva apenas à elite nobre. Posteriormente, o óleo de oliva foi substituído por óleos produzidos em solo brasileiro, como o óleo de coco e o de mamona. Também foram produzidos óleos derivados de gordura animal, principalmente de peixes, fazendo da pesca da baleia um negócio importante no litoral brasileiro.

Ainda segundo Carvalho (2012), até o século XVIII não havia iluminação pública nas cidades e a instalação de lamparinas como forma de iluminar as ruas teve início no século XIX, porém não eram todas as cidades brasileiras que contavam com esse sistema. Posteriormente, as lâmpadas à base de óleos começaram a ser substituídas por lampiões a gás.

Com a chegada da energia elétrica ao Brasil e a instalação das redes de distribuição de energia, os sistemas de iluminação a gás e/ou a óleos começaram a ser substituídos pelas lâmpadas incandescentes, e a partir dos anos sessenta teve início a utilização de lâmpadas de descarga nos sistemas de iluminação. Carvalho (2012) afirma, ainda, que a primeira cidade a ter redes de energia elétrica nas ruas foi a cidade de Campos, no interior do Rio de Janeiro, em 1883, devido à presença de uma usina termoelétrica na cidade.

Segundo o manual de iluminação pública COPEL (2018, p. 13):

Historicamente a iluminação pública de ruas começou baseada em conceitos de segurança individual e da propriedade e, posteriormente, na necessidade de identificação do cidadão dentro da comunidade e de sua participação em atividades públicas. Finalmente, com a invenção do automóvel, a iluminação pública veio contribuir para a sinalização e orientação do tráfego automobilístico.

Segundo Melo (2015), um fato que dificultou a chegada da iluminação pública a todas as cidades foi a inexistência de usinas geradoras de energia nas proximidades, porém, com a chegada das linhas de transmissão, a iluminação pública elétrica no Brasil foi impulsionada.

## 2.2 ASPECTOS RELACIONADOS À ILUMINAÇÃO PÚBLICA

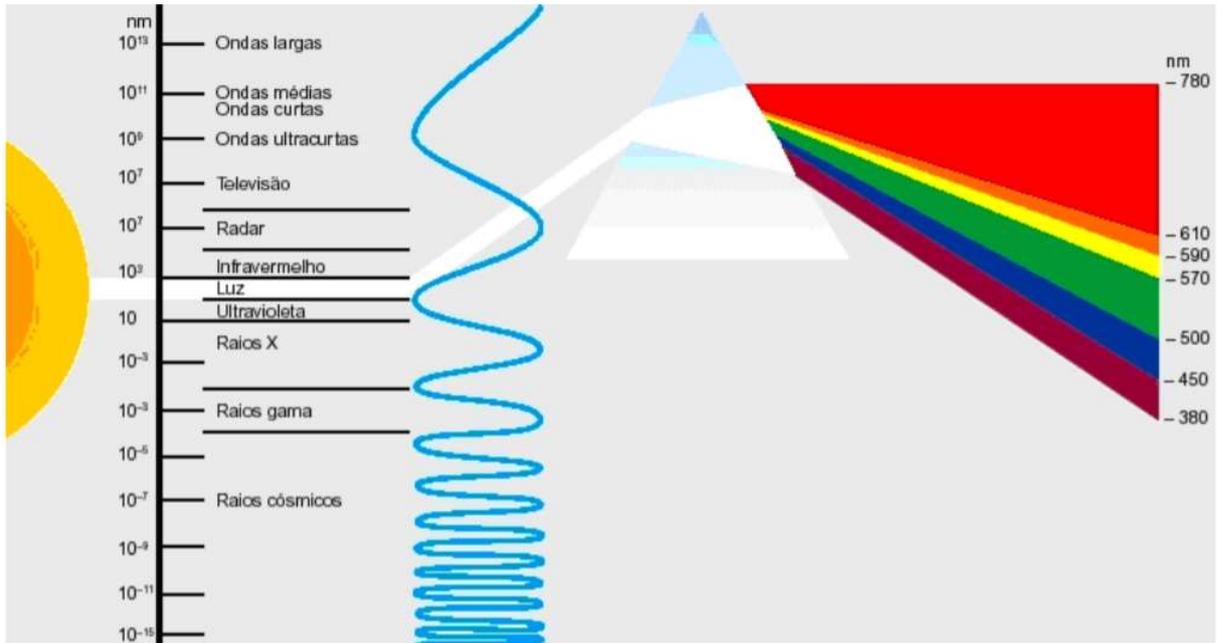
Neste item serão elucidados alguns dos principais aspectos relacionados aos projetos de iluminação viária e apresentada uma revisão sobre as principais tecnologias disponíveis e aplicáveis para esse fim.

### 2.2.1 Luz

A luz, segundo Mamede Filho (2017), conforme mostra Figura 1, é uma onda eletromagnética de diferentes comprimentos, porém, apenas alguns comprimentos de onda são visíveis ao olho humano.

Conforme ilustrado na Figura 1, a faixa de 380 a 780 nm (nanômetro) tem a capacidade de estimular a retina do olho humano, gerando, assim, a sensação de luminosidade.

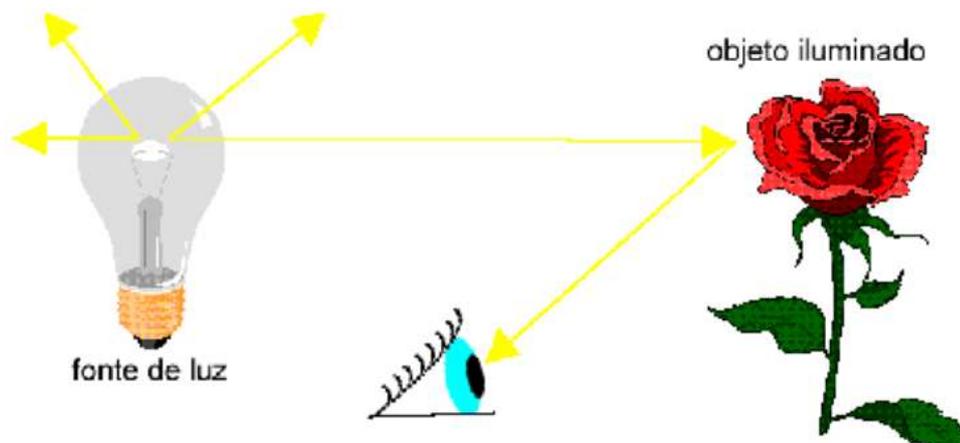
Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: Procel (2011).

Ainda segundo Mamede Filho (2017), no geral, o ser humano julga que os objetos possuem cores definidas por conhecê-los em ambientes iluminados contendo todos os espectros de cores, porém o que poucos sabem, conforme ilustrado na Figura 2, é que as cores dos objetos são definidas em função da radiação luminosa incidente. Além disso, o que é visto pelo olho humano é a luz refletida pelos objetos.

Figura 2 - Luz refletida



Fonte: Chagas (2012).

### 2.2.2 Fluxo Luminoso

Segundo Mamede Filho (2017), fluxo luminoso é a quantidade total de energia luminosa emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço, conforme Figura 3, por segundo. Sua unidade de medida é o lúmen (lm).

Figura 3 - Fluxo luminoso de uma lâmpada incandescente



Fonte: Mamede Filho (2017).

### 2.2.3 Iluminância

A Iluminância é também conhecida como o nível de iluminamento, sendo sua unidade o lux, que corresponde ao fluxo luminoso incidente em uma determinada superfície de área (m<sup>2</sup>) (PROCEL, 2011).

Segundo Mamede Filho (2017), a iluminância é obtida por meio da Equação (1):

$$E = \frac{F}{S} \text{ (lux)} \quad (1)$$

Em que:

F = Fluxo luminoso, em lúmens;

S = Área da superfície iluminada, em m<sup>2</sup>.

Na prática, considera-se o fluxo luminoso médio devido ao fluxo luminoso não ser distribuído uniformemente por toda a superfície medida (MAMEDE FILHO, 2017).

## 2.2.4 Luminância

De acordo com Mamede Filho (2017), a luminância é caracterizada como a medida da sensação de claridade provocada por uma determinada superfície ou por uma fonte de luz e avaliada pelo cérebro, já o manual de iluminação pública Procel (2011, p. 10), descreve a luminância como sendo “o brilho de um objeto que pode ser percebido pelo olho humano”. A unidade de luminância é a candela por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ) e o seu valor é obtido pela Equação (2):

$$L = \frac{I}{S} * \cos \alpha \text{ (cd/m}^2\text{)} \quad (2)$$

Em que:

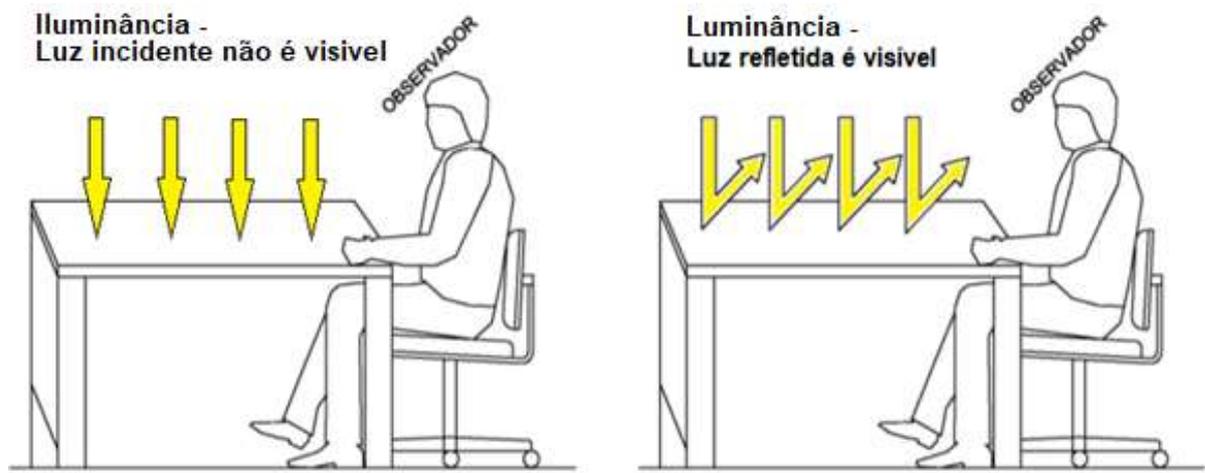
$\alpha$  = ângulo entre a superfície iluminada e a vertical, que é ortogonal à direção do fluxo luminoso;

I = Intensidade Luminosa (cd);

S = Área da superfície iluminada ( $\text{m}^2$ ).

Para Antunes (2015), é comum o conceito de iluminância ser confundido com luminância. A iluminância é o fluxo luminoso que incide em uma determinada superfície de área e não depende do tipo de coeficiente de reflexão da superfície que está sendo emitida. Já a luminância, conforme ilustra a Figura 4, é a intensidade luminosa refletida por uma superfície refletora e sua área aparente.

Figura 4 - Iluminância vs. Luminância



Fonte: Adaptado de Procel (2011).

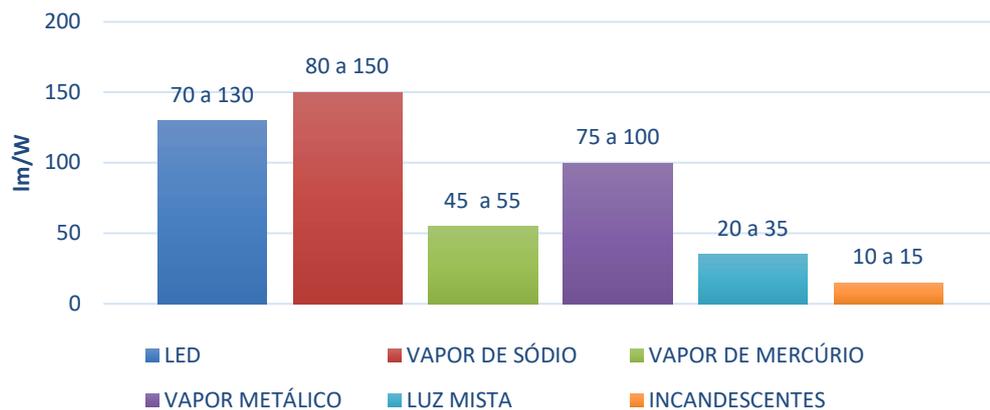
De acordo com Mamede Filho (2017), o fluxo luminoso, a intensidade luminosa e, por sua vez, a iluminância, somente serão visíveis se refletidos em uma superfície, transmitindo a sensação de luz aos olhos, cujo fenômeno é conhecido como luminância.

### 2.2.5 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa, segundo a ABNT NBR 5461:1991, é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela potência elétrica absorvida, sendo a unidade de medida o lúmen por Watt (lm/W).

No Gráfico 1 podemos ver a eficiência luminosa das lâmpadas utilizadas nos sistemas de iluminação pública do Brasil. Por meio desse conceito se é possível comparar diferentes fontes luminosas.

Gráfico 1 - Eficiência Luminosa das Lâmpadas



Fonte: Adaptado de Empalux (2019).

Segundo Mamede Filho (2017), a eficiência luminosa é dada pela Equação (3):

$$\eta = \frac{F}{P_c} \quad (\text{lm/W}) \quad (3)$$

Em que:

F = Fluxo luminoso, em lúmens;

P<sub>c</sub> = Potência consumida em Watts (W).

### 2.2.6 Fator de Uniformidade

É a razão entre as medidas de luminância e iluminância, obtidas por medições em determinado plano. Seu resultado é um valor adimensional que varia de zero a um e indica o quão uniforme está a distribuição luminosa no plano medido. A ABNT NBR 5101:2018 classifica a uniformidade em:

- Uniformidade da iluminância;
- Uniformidade global;
- Uniformidade longitudinal.

#### 2.2.6.1 Uniformidade da Iluminância

É a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em um determinado plano. O fator de uniformidade da iluminância é dado pela Equação (4), ABNT NBR 5101 (2018, p. 2).

$$U = \frac{E_{mín}}{E_{med}} \quad (4)$$

Em que:

$E_{mín}$  = iluminância mínima;

$E_{med}$  = iluminância média.

#### 2.2.6.2 Uniformidade Global

É a razão entre a luminância mínima e a luminância média em um determinado plano. O fator de uniformidade global é dado pela Equação (5), conforme ABNT NBR 5101 (2018, p. 2).

$$U_o = \frac{L_{mín}}{L_{méd}} \quad (5)$$

Em que:

$L_{mín}$  = luminância mínima;

$L_{méd}$  = luminância média.

### 2.2.6.3 Uniformidade Longitudinal

Na iluminação pública de algumas vias é possível observar o efeito “zebrado”, que é ocasionado pelo posicionamento das fontes luminosas que geram áreas mais claras e outras mais escuras entre as fontes. Esse efeito é resultado do parâmetro de uniformidade longitudinal, que corresponde à razão entre a luminância mínima e a luminância máxima ao longo das linhas paralelas do eixo longitudinal da via em um plano especificado (RODRIGUES, 2017).

De acordo com a ABNT NBR 5101 (2018, p. 2), o valor da uniformidade longitudinal é dado pela Equação (6):

$$U_L = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (6)$$

Em que:

$L_{\min}$  = luminância mínima;

$L_{\max}$  = luminância máxima.

### 2.2.7 Temperatura de Cor

A temperatura de cor expressa a aparência de cor da luz emitida pela fonte de luz, tendo como unidade de medida o Kelvin (K), porém sua denominação não está relacionada ao calor emitido pela fonte luminosa, e sim com a tonalidade da luz emitida (PROCEL, 2011).

Conforme a concessionária de energia COPEL (2018), a temperatura de cor das lâmpadas pode variar de quente à fria, conforme mostra Tabela 2.

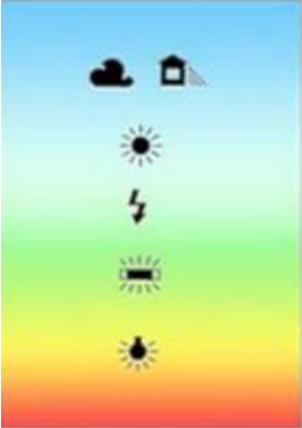
Tabela 2 - Faixas de temperatura de cor

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

Fonte: COPEL (2018).

Os valores podem variar de 1.000 K a mais de 8.000 K, conforme mostra Figura 5.

Figura 5 - Temperatura de cor

	10000 - 15000 K	Céu Azul Limpo
	6500 - 8000 K	Céu Nublado/ Sombra
	6000 - 7000 K	Luz de Meio-Dia
	5500 - 6500 K	Luz Média
	5000 - 5500 K	Flash Eletrônico
	4000 - 5000 K	Luz Flourescente
	3000 - 4000 K	Começo da Manhã
	2500 - 3000 K	Luz Doméstica
1000 - 2000 K	Luz de Velas	

Fonte: FOCUS (2017).

### 2.2.8 Índice de Reprodução de Cor

O índice de reprodução de cor (IRC) é caracterizado pela aptidão de uma fonte luminosa em não deformar o aspecto das cores de um objeto que por ela for iluminado (PROCEL, 2011).

Na Figura 6, é possível a visualização de um local iluminado por uma fonte de alto IRC à esquerda e à direita no mesmo local, porém, iluminado por uma fonte de luminosidade de baixo IRC.

Figura 6 - Comparativo entre duas fontes luminosas de diferente IRCs



Fonte: COPEL (2018).

O valor do IRC pode variar de 1 a 100, de modo que quanto maior for o IRC, maior será a fidelidade na reprodução das cores do objeto.

## 2.2.9 Vida Mediana

É o intervalo de tempo, em horas, no fim do qual se espera que 50% das lâmpadas de uma determinada amostragem atinjam o fim de suas vidas individuais (COPEL, 2018).

### 2.2.9.1 Distorção Harmônica Total

A distorção harmônica total (THD – *Total Harmonic Distortion*) é o resultado da variação entre corrente e tensão gerada por um dispositivo não linear, por conta da variação irregular de diferentes reatâncias, podendo ser indutivas ou capacitivas de um circuito. O instituto brasileiro do cobre (PROCOBRE, 2001, p. 11) define as harmônicas da seguinte maneira:

Uma tensão ou corrente harmônica pode ser definida como um sinal senoidal cuja frequência é múltipla inteiro da frequência fundamental do sinal de alimentação. Dessa forma, podemos dizer que um sinal periódico contém harmônicas quando a forma de onda desse sinal não é senoidal ou, dito de outro modo, um sinal contém harmônicas quando ele é deformado em relação a um sinal senoidal.

Na iluminação pública, segundo o manual de iluminação pública COPEL (2012), a distorção harmônica ocorre na corrente absorvida pelos reatores das lâmpadas, que tendem a lançar componentes harmônicas na rede. Essa distorção harmônica da corrente THDi pode provocar distorções nas formas de onda da corrente e tensão do sistema elétrico, reduzindo, assim, a qualidade da energia entregue e, por consequência, prejudicando o funcionamento de outros equipamentos conectados a essa mesma rede.

O THDi é obtido por meio da Equação (7):

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{j=2}^n I_j^2}}{I_1} \Rightarrow THDi(\%) = 100 * THDi \quad (7)$$

Em que:

$I_j$  = valor eficaz da componente harmônica da corrente absorvida pela carga e;

$I_1$  = componente fundamental da corrente, com frequência de 60 Hz;

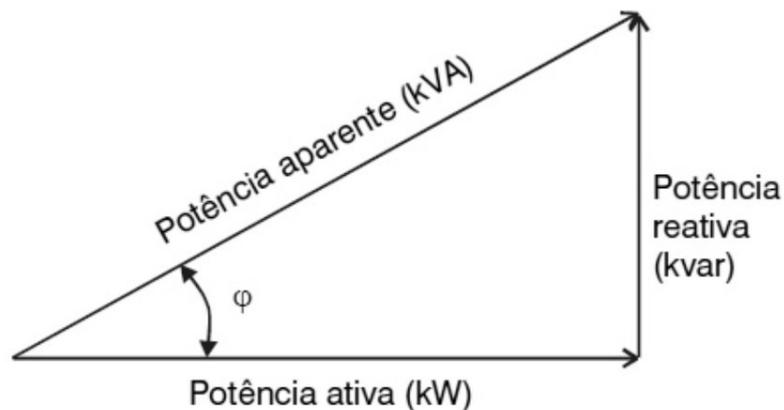
THDi (%) = distorção harmônica total da corrente expressa em valores percentuais.

Segundo o PROCOBRE (2001), as harmônicas nas redes de energia elétrica podem causar sobrecorrente e, por consequência, um aumento de temperatura em cabos e/ou equipamentos, reduzindo assim a vida útil destes. Em outras situações, devido às harmônicas de sequência nula, zeros ou homopolares, pode haver corrente de terceira ordem no condutor neutro, que por conseguinte ocasiona também aquecimento excessivo do condutor neutro.

### 2.2.10 Fator de Potência

O fator de potência (FP) é definido pela razão entre as potências ativa (kW) e aparente (kVA) de um circuito, que resulta em um número adimensional entre zero e um, potência reativa (kvar). Na Figura 7 temos o triângulo retângulo de potências (COPEL, 2012).

Figura 7 - Triângulo retângulo de potências



Fonte: Schoolpedia (2013).

Segundo o manual de iluminação pública COPEL (2012), quando as tensões e correntes de um sistema elétrico são senoidais puras, seus valores eficazes totais são iguais aos de suas componentes fundamentais. No entanto, as correntes e tensões do sistema elétrico não são senoidais puras, devido à imersão de harmônicas na rede. Assim, para a obtenção do FP do conjunto da iluminação pública se deve considerar o THDi.

Assim, para obtenção do FP do conjunto, utiliza-se a Equação (8):

$$FP = \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1 + THDi^2}} \quad (8)$$

Em que:

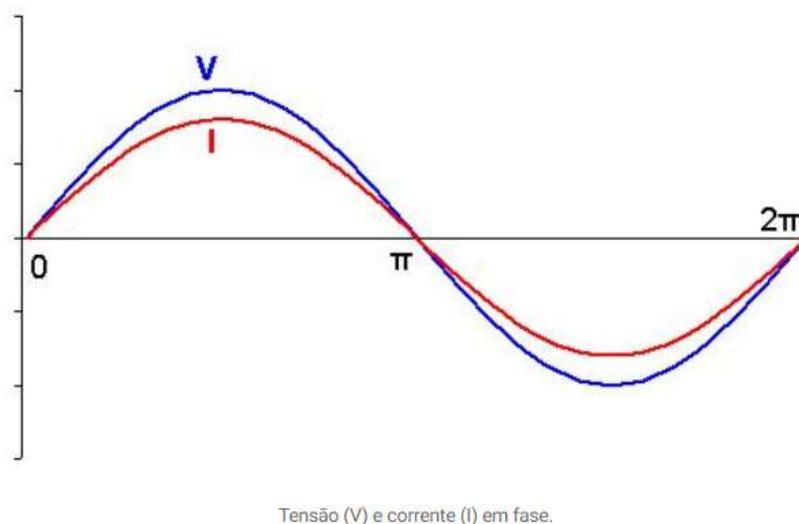
$\varphi$  = ângulo formado entre potência ativa e potência aparente;

THDi = distorção harmônica total da corrente.

Quanto mais próximo o FP for de um, mais eficiente será o consumo de energia elétrica, visto que apenas a potência ativa realiza trabalho efetivamente. No entanto, quanto mais próximo a zero, maior será o consumo de energia reativa, energia essa necessária para o funcionamento de elementos armazenadores de energia, como indutores e capacitores (utilizados para a correção do fator de potência) presentes nos reatores das lâmpadas – mas que devem ser compensadas, pois geram perdas e diversas perturbações no sistema elétrico. Resumindo, o FP indica a eficiência do consumo de energia elétrica no conjunto de IP (RODRIGUES, 2017).

Na Figura 8 temos um fator de potência 1 (um), uma carga completamente resistiva, como, por exemplo, as lâmpadas incandescentes, porém estas têm sua venda e fabricação proibidas no Brasil, conforme determinou a Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010.

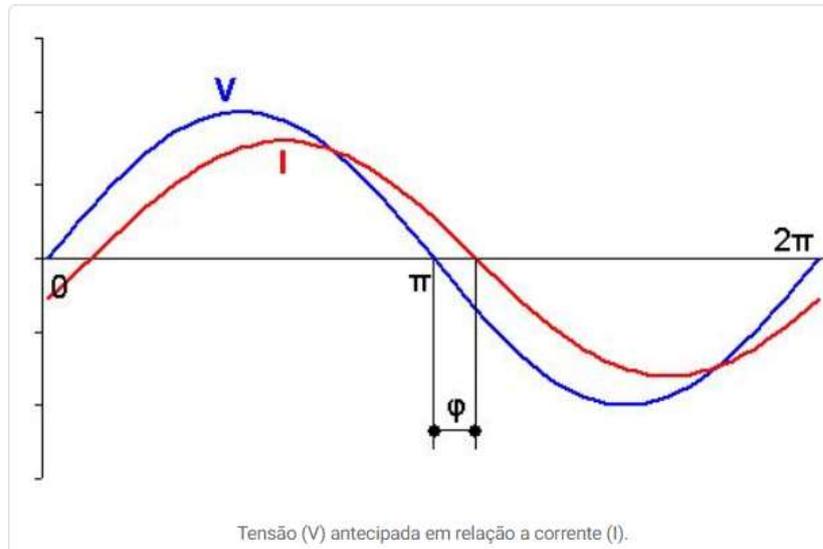
Figura 8 - Fator de potência - Carga puramente resistiva



Fonte: DMESG (2015).

Já na Figura 9 temos uma carga indutiva, em que é possível observar um atraso da corrente em relação à tensão. Desta característica surge a potência reativa.

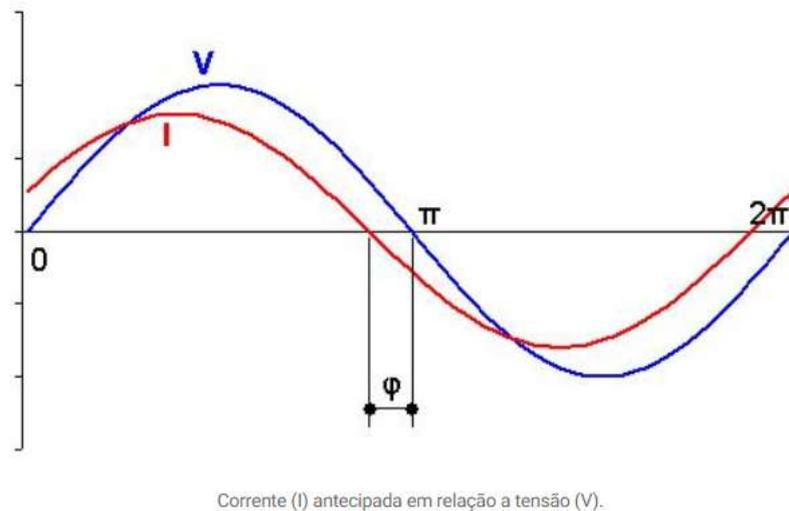
Figura 9 - Fator de potência - Carga indutiva



Fonte: DMESG (2015).

Opostamente ao que ocorre nas cargas indutivas, nas cargas capacitivas a corrente está antecipada à tensão elétrica, conforme ilustra a Figura 10. Podemos citar como exemplo os reatores utilizados por lâmpadas de descarga utilizados em sistemas de iluminação pública.

Figura 10 - Fator de potência - Carga capacitiva



Fonte: DMESG (2015).

## 2.3 REGULAMENTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

De acordo com a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, por se tratar de serviço público de interesse local, a manutenção da iluminação pública é de responsabilidade do município.

Conforme Brasil (1988):

**Art. 30. Compete aos Municípios:**

V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial.

Nesse caso, o município pode organizar e prestar diretamente os serviços ou fazê-lo sob regime de concessão ou permissão. A concessão desse serviço público a empresas privadas ou a concessionárias públicas é realizada por meio de licitação, na modalidade de concorrência e obedecendo às leis vigentes na data de sua elaboração.

No entanto, devido à falta de recursos financeiros, técnicos e humanos, até o fim da década de 1990 muitos municípios optaram por transferir essa responsabilidade, por meio de licitações, para as concessionárias que já despunham de mão de obra especializada para prover as manutenções e ampliações necessárias. Os sistemas de iluminação pública administrados pelas concessionárias tinham como foco principal a eficiência energética, a redução de custos e o atendimento dos requisitos mínimos estipulados nas normas vigentes. Porém, como já visto, um sistema de iluminação pública pode ser explorado também para o desenvolvimento direto dos municípios. Diante disso, muitos administradores públicos começaram a resgatar esse conceito, que está proposto indiretamente na própria Constituição Federal (COPEL, 2011).

Com esse foco, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que é, atualmente, o órgão responsável por regular e fiscalizar os serviços de energia elétrica no Brasil. Publicou no ano de 2010 a Resolução Normativa nº 414/2010, em substituição à Resolução nº 456/2000, que regulamenta, além das condições gerais de fornecimento de energia elétrica, os sistemas de iluminação pública no País. Dentre várias normativas, o Artigo 218 determina que os acervos de iluminação pública que estiverem registrados como Ativo Imobilizado em Serviço das concessionárias devem ser transferidos para a pessoa jurídica de direito público, tendo como argumentos para isso o que define a própria Constituição Federal (COPEL, 2011).

Conforme Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010:

**Seção III Disposições Finais e Transitórias**

Art. 218. A distribuidora deve transferir o sistema de iluminação pública registrado como Ativo Imobilizado em Serviço – AIS à pessoa jurídica de direito público competente. (ANEEL, 2010).

Vale ressaltar que os municípios possuem a obrigação de efetuar o pagamento dos gastos referentes ao consumo de energia elétrica gerado pelas lâmpadas instaladas em logradouros públicos. No ano de 2002, por meio de Emenda Constitucional, foi autorizada a cobrança de tributos para o custeio das despesas geradas pelos sistemas de iluminação pública dos municípios.

Conforme consta na Constituição Federal:

Art. 149-A Os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III. (BRASIL, 1988).

Essa cobrança chamada de “contribuição para custeio do serviço de iluminação pública” ficou conhecida inicialmente como CIP e atualmente chama-se COSIP, seguindo a legislação municipal de cada município.

### **2.3.1 Medição de consumo de energia elétrica**

Segundo a COPEL (2018), a maioria das instalações elétricas destinadas à iluminação pública não possuem medição de consumo de energia ponto a ponto – essas são chamadas ligações a *forfait*. A legislação em vigor não determina a instalação de medidores de energia elétrica para os pontos de iluminação pública. Nesse caso, para fins de faturamento, os valores de consumo são estimados com base na carga instalada e no período de consumo, incluindo a carga de equipamentos auxiliares.

Para determinar o valor do consumo é necessário ter conhecimento das tarifas aplicadas e estabelecer a medida do consumo de energia. Assim, determina-se o valor a ser pago às distribuidoras de energia. Conforme determina a Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010, a iluminação pública é enquadrada no Grupo B (subgrupo B4). A tarifa aplicada à IP foi estabelecida em seu art. 53-P, conforme segue:

Art. 53-P Para a classe iluminação pública aplicam-se as tarifas homologadas pela ANEEL para o Grupo A, e para o Grupo B, as tarifas homologadas do subgrupo B4a. (ANEEL, 2010).

Com relação ao faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública, observa-se o que estabelece o art. 24 da Resolução Normativa nº 414/2010:

Art. 24. Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento.

§ 1º O tempo a ser considerado para consumo diário pode ser diferente do estabelecido no *caput*, após estudo realizado pelo consumidor e a distribuidora junto ao Observatório Nacional, devidamente aprovado pela ANEEL.

§ 2º A tarifa aplicável ao fornecimento de energia elétrica para IP é a Tarifa B4a. (ANEEL, 2010).

A quantidade e potências das lâmpadas utilizadas para o cálculo do faturamento são obtidas por meio de conferências de cargas realizadas pela concessionária. Para se obter o valor total do consumo de energia elétrica, segundo a COPEL (2018), aplica-se a Equação (9):

$$DCE = \frac{KWh * TE}{1 - \frac{ICMS + PIS + COFINS}{100}} \quad (9)$$

Em que:

DCE = Despesa com Consumo de Energia;

KWh = Consumo de Energia, medido em kWh;

TE = Tarifa de Energia (B4a);

ICMS = Imposto sobre circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (conforme legislação na data dos cálculos);

PIS = Programa de Integração Social (conforme legislação na data dos cálculos);

COFINS = Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (conforme legislação na data dos cálculos).

Para se obter o valor total do consumo de energia do sistema de iluminação pública, segundo a COPEL (2018), aplica-se a Equação (10):

$$KWh = \frac{NL * (PO + PR) * (ND * HD)}{1000} \quad (10)$$

Em que:

KWh = Consumo de Energia, medido em kWh;

NL = Número de lâmpadas;

PO = Potência das lâmpadas;

PR = Perda do Reator (conforme tabela do fabricante);

ND = Número de Dias do mês;

HD = Horas Diárias: 11,8667 (0,8667 = relação decimal entre 52 minutos e 60 minutos).

### 2.3.2 CIP/COSIP

Para a formação de preço da COSIP, a metodologia a ser adotada deve garantir a sustentabilidade econômico-financeira do serviço de iluminação pública, em que deverá ser mantida igualdade entre receitas e despesas. O ponto de equilíbrio entre esses parâmetros pode ser obtido mediante aplicação da Equação (11), (COPEL, 2018):

$$COSIP = (DCE + DPS) \quad (11)$$

Em que:

COSIP = Contribuição para o custeio do serviço de iluminação pública;

DCE = Despesas com o consumo de energia;

DPS = Despesas com a prestação do serviço.

O art. 149-A da Constituição Federal do Brasil, de 1988, não fixa uma base de cálculo a ser utilizada pelos municípios, ficando a administração municipal responsável por legislar e estabelecer essa base.

Diante do exposto, foram várias propostas criadas como bases de cálculo, sendo que o sistema de gestão de consumidores da distribuidora possibilita a implantação de uma das três formas abaixo, cabendo ao município analisar os seus critérios para instituir a base de cálculo da contribuição, segundo o manual da iluminação pública COPEL (2018, p. 40):

- **FIXO** - estabelece valores fixos por classe e faixa de consumo;
- **UVC** - estabelece um valor de UVC (Unidade de Valor de Custeio) e tabelas com percentuais de desconto por classe e faixa de consumo;
- **IMPORTE** - estabelece a cobrança por um percentual do valor da fatura, possuindo ou não um valor limitador e podendo o percentual e o valor limitador ser diferentes para cada classe de consumo.

A CIP/COSIP poderá ser incluída nas contas de energia elétrica dos consumidores/contribuintes, de forma destacada, com base nas leis municipais vigentes. Para tanto, entre o município e a distribuidora é fundamental ter um contrato formalizado autorizando a arrecadação (COPEL 2018).

### 2.3.3 Normas regulamentadoras vigentes

Para a implantação dos sistemas de iluminação pública são adotadas como base as normas nacionais e as vigentes onde o sistema está localizado. A seguir serão apresentadas as principais normas nacionais:

- NBR 5101 (ABNT, 2018) – Iluminação Pública – Procedimentos;
- NBR 15129 (ABNT, 2012) – Luminárias para iluminação pública – Requisitos particulares;
- NBR 13593 (ABNT, 2013) – Reator e ignitor para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão – Especificação e ensaios;
- NBR 14305 (ABNT, 2015) – Reator e ignitor para lâmpada a vapor metálico (halogenetos) – Requisitos e ensaios;
- NBR 5461 (ABNT, 1991) – Iluminação – Terminologia;
- NBR 16026 (ABNT, 2012) – Dispositivo de controle eletrônico c.c. ou c.a. para módulos de LED – Requisitos de desempenho;
- NBR 14744 (ABNT, 2001) – Poste de aço para iluminação;
- NBR 5123 (ABNT, 2016) – Relé fotocontrolador intercambiável e tomada para iluminação – Especificações e ensaios;
- NBR IEC 60598-1 (ABNT, 2010) – Luminárias Parte 1: Requisitos gerais e ensaios;
- NBR IEC 62722-2-1 (ABNT, 2016) – Desempenho de luminárias; Parte 2-1: Requisitos particulares para luminárias LED;
- NBR IEC 60529 (ABNT, 2017) – Graus de proteção providos por invólucros (Códigos IP);
- NBR IEC 60662 (ABNT, 1997) – Lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão;
- NBR IEC 1167 (ABNT, 1997) – Lâmpadas a vapor metálico;
- IEC/TS 62504 – Termos e definições para LEDs e os módulos de LED de iluminação geral;

- NBR IEC 60238 – (ABNT, 2006) – Porta-lâmpadas de rosca Edison;
- Resolução Normativa nº 414 (ANEEL, 2010) – Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada;
- Portaria nº 20 (INMETRO, 2017) – Regulamento Técnico da qualidade para luminárias para iluminação pública viária.

### 2.3.3.1 Norma Técnica 5101 - Procedimento

Esta Norma estabelece os requisitos para iluminação de vias públicas, propiciando segurança ao tráfego de pedestres e de veículos. Basicamente, avalia níveis de iluminância médios, mínimos e a uniformidade para os mais diversos tipos de vias. Ela define as vias conforme vias rurais e vias urbanas. Para cada classe há ainda subdivisões de acordo com a aplicação de cada tipo de via. Essa classificação, aliada ao volume de tráfego de veículos e pedestres, determina os níveis mínimos de iluminância e uniformidade de cada classe de via. As classificações das vias estão em classes que variam de V1 a V5 para veículos e P1 a P4 para pedestres.

Na

Tabela 3 temos a classificação das vias de acordo com a intensidade de tráfego de pedestres conforme ABNT NBR 5101:2018.

Tabela 3 - Volume tráfego de pedestres

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

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018 p. 11).

Com relação ao volume de tráfego de veículos, a ABNT NBR 5101:2018 estabelece a classificação conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação das vias conforme intensidade de tráfego de veículos motorizados

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

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018 p. 11).

Segundo Nascimento (2012), a norma ABNT NBR 5101:2012 não avalia o resultado de iluminância (lux) sobre uma determinada área de avaliação na via pública, mas sim o resultado que essa luz incidente nessa área gera de efeito visual aos olhos de um observador padrão. Isso porque o olho humano não é capaz de enxergar a luz que incide em determinado objeto, mais sim a reflexão que esse objeto oferece aos olhos de um observador, conforme já descrito neste trabalho. O que está sendo avaliado é a parcela de luz que chega ao observador, a luminância ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ), descrição essa que também se aplica à NRB 5101:2018. A Tabela 5 apresenta os níveis mínimos de luminância de acordo com a classificação da via.

Além dos requisitos de luminância, os níveis de iluminação necessários para a iluminação das diversas vias devem atender também aos requisitos de iluminância e uniformidade. Na Figura 6 estão os níveis de iluminância mínimos e uniformidade de acordo com a ABNT NBR 5101 (2018).

Tabela 5 - Requisitos de luminância e uniformidade

Classe de Iluminação	Lmed	$U_o \geq$	$U_L \leq$	TI %	SR
V1	2	0,4	0,7	10	0,5
V2	1,5	0,4	0,7	10	0,5
V3	1	0,4	0,7	10	0,5
V4	0,75	0,4	0,6	15	--
V5	0,5	0,4	0,6	15	--

Lmed: luminância média; UO: uniformidade global; UL: uniformidade longitudinal; TI: incremento linear.  
 NOTA 1: Os critérios de TI e SR são orientativos, assim como as classes V4 e V5.  
 NOTA 2: As classes V1, V2 e V3 são obrigatórias para a luminância.

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018 p. 10).

Tabela 6 - Iluminância média mínima e uniformidade mínima para cada classe

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima Emed, mín Lux	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{mín}/E_{med}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018 p. 11).

Como dito anteriormente, a ABNT NBR 5101 (2018) também determina níveis mínimos de acordo com o volume de pedestres. Na Figura 7 estão os níveis de iluminância mínimos e uniformidade.

Tabela 7 - Iluminância média mínima e uniformidade por classe de via para pedestres

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima Emed Lux	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{mín}/E_{med}$
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018, p. 12).

A ABNT NBR 5101:2018 avalia diversos tipos de vias, e para avaliar seus níveis de iluminância médios mínimos há a necessidade de se determinar padrões de avaliação. Não é propósito aqui apresentar as formas de avaliação da norma, apenas apresentar as exigências mínimas que devem ser seguidas em projetos de iluminação pública.

### 2.3.4 Normas da concessionária vigente na região

Além das normas citadas, também são adotadas como base as normas da concessionária de energia local:

#### CELESC – Distribuição S/A:

- E-313.0020 – Reator para Lâmpada a Vapor de Mercúrio a Alta Pressão;

- E-313.0021 – Relés fotoelétricos;
- E-313.0023 – Chaves para Comando de Iluminação Pública;
- E-313.0043 – Luminária integrada;
- E-313.0044 – Iluminação pública;
- E-313.0047 – Reator externo com capacitor e ignitor incorporado para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão;
- E-313.0050 – Relés fotoeletrônicos;
- E-313.0054 – Kit removível (reator, ignitor e capacitor) para lâmpada a vapor de sódio a alta pressão;
- E-313.0076 – Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão.

#### 2.4 PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A tecnologia aplicada aos sistemas de iluminação pública tem apresentado grande evolução ao longo dos anos em todo o mundo, cujo resultado reflete no produto final por meio de custos reduzidos e maior eficiência. Por esse motivo, a utilização de equipamentos mais confiáveis e modernos constitui tópico de grande relevância entre as empresas que prestam esse serviço.

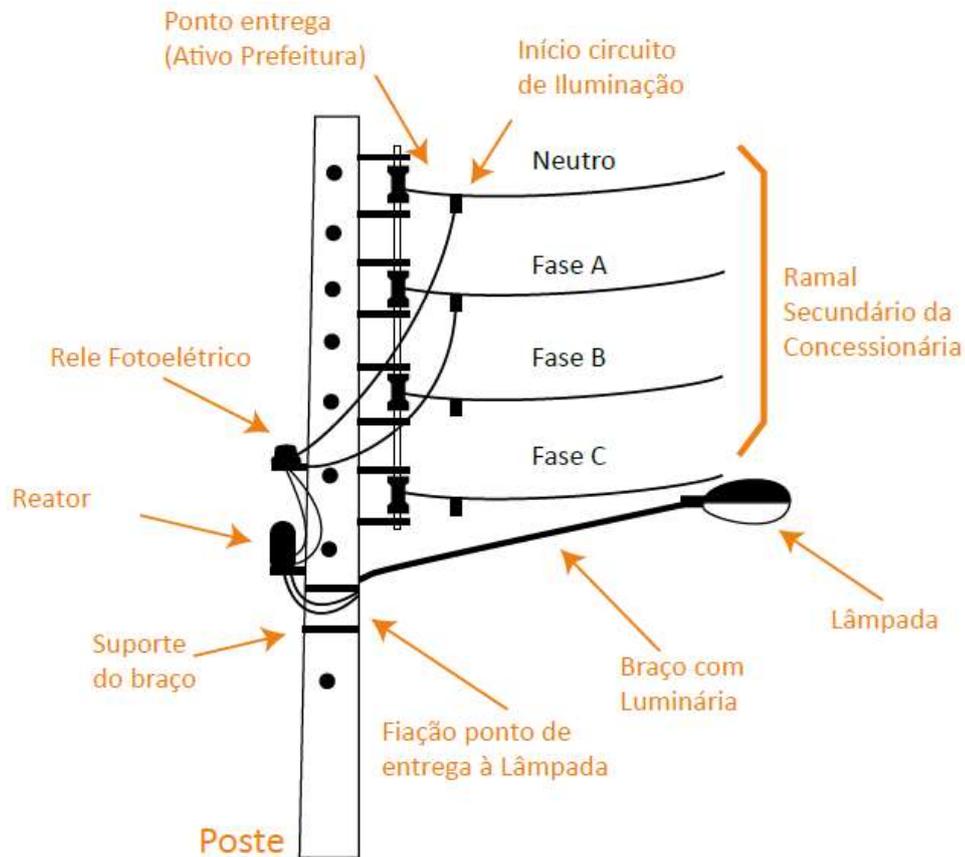
Os principais equipamentos utilizados no sistema de iluminação pública são os seguintes:

- Luminárias;
- Lâmpadas;
- Reatores;
- Relés;
- Braços;
- Tomadas (antiga base para relé).

Na ilustração da

Figura 11, podemos observar os principais equipamentos que formam o conjunto do ponto de iluminação pública.

Figura 11 - Conjunto de iluminação pública



Fonte: COPEL (2018).

## 2.4.1 Luminárias

Como parte fundamental do sistema de iluminação pública, tem-se as luminárias, segundo a ABNT NBR 5401 (1996, p. 44):

### 3.10.1 Luminária

Aparelho que distribui, filtra ou modifica a luz emitida por uma ou mais lâmpadas, e que contém, exclusive, as próprias lâmpadas, todas as partes necessárias para fixar e proteger as lâmpadas, e, quando necessário, os circuitos auxiliares e os meios de ligação o circuito de alimentação. (845-1 O-01)

Para Beller *et al.* (2001), as luminárias têm como funções básicas: distribuir a luz, alojar a lâmpada e os equipamentos auxiliares e, de certa forma, atuar como elemento estético. Somente com a luz produzida pela lâmpada não seria possível garantir a distribuição adequada da luminosidade na via ou espaço público. Para uma eficiência maior existe a necessidade da lâmpada ou LED estarem instalados em uma luminária. Basicamente, existem

três tipos básicos de luminárias aplicáveis à iluminação pública, os quais serão descritos a seguir.

#### 2.4.1.1 Luminárias Abertas

As primeiras luminárias utilizadas eram do tipo abertas, conforme mostra a Figura 12. Porém, essas luminárias possuem baixa eficiência luminosa, além de deixarem a lâmpada exposta a atos de vandalismo, insetos, entre outros agentes que podem diminuir a vida útil da lâmpada.

Figura 12 - Luminária aberta



Fonte: COPEL (2012)

O uso dessa luminária era permitido pela normativa ABNT NBR 10304:1988 – Luminária Aberta para Iluminação Pública –, porém, no ano de 2006 essa norma foi cancelada e substituída pela NBR 15129:2006 – Luminárias para iluminação pública — Requisitos particulares. Dentre várias normativas, a NBR 15129:2006 determina que as luminárias para iluminação pública tenham um índice de proteção mínimo (IP) para grupo ótico e alojamento. Conforme consta na norma ABNT NBR 15129:2012:

##### **7.1. Os graus mínimos de proteção para as luminárias devem ser:**

- a) IP65, para o compartimento óptico;
  - b) IP44, para o compartimento de reator.
- Para Luminária integrada com coluna, com porta de abertura, a classificação do IP deve ser:
- a) Partes abaixo de 2,5 m: IP3X (ver IEC 60361-7-714);

- b) Partes a partir de 2,5 m: IP55 para o compartimento óptico e IP33 para o compartimento do reator, caso exista.

Por serem abertas, não é possível atingir IP mínimo exigido em norma, ficando assim proibida sua utilização. Atualmente, a NBR 15129 está em sua segunda edição, validada em 2012. Nos dias atuais ainda se vê muito dessas luminárias instaladas em parques de iluminação, gerando gastos desnecessários com manutenções e desperdício de fluxo luminoso.

#### 2.4.1.2 Luminárias fechadas para lâmpadas de descarga

Objetivando melhorar a eficiência luminosa das luminárias e proteger a lâmpada, foram desenvolvidas luminárias fechadas, conforme ilustra a Figura 13. Estas possuem conjuntos ópticos com a função de direcionar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas para iluminar apenas áreas de interesse. Por consequência, diminuem também a poluição luminosa pela dispersão de luminosidade.

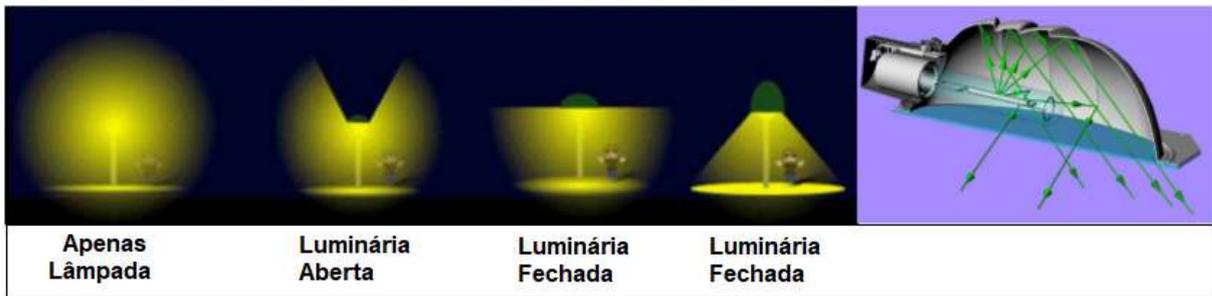
Figura 13 - Luminária fechada



Fonte: COPEL (2012).

Com a evolução das luminárias e dos conjuntos ópticos utilizados por elas, obteve-se um grande aumento na eficiência luminosa e um menor desperdício de luminosidade, conforme já descrito. Na Figura 14 pode-se ver o aumento da eficiência luminosa das luminárias em quatro modelos, desde as abertas até as fechadas (COPEL, 2012).

Figura 14 - Aumento da eficiência das luminárias



Fonte: Adaptado de COPEL (2012).

Conforme pode-se observar na Figura 14, há um melhor aproveitamento da luz emitida pelas lâmpadas, fazendo com que a luz não fique dispersa em direções em que não há necessidade, ou seja, a luminária fechada tem um maior rendimento, pois ela direciona a luz para ambientes que necessitam e foram projetados para serem iluminados.

#### 2.4.2 Lâmpadas

A ABNT NBR 5461 (1991, p. 31) define lâmpada como sendo a “fonte primária construída para emitir radiação óptica, em geral visível”. Para Beller *et al.* (2001), esse é o elemento principal em um sistema de iluminação, visto que as lâmpadas evoluíram muitos aspectos ao longo das últimas décadas. A primeira lâmpada usada efetivamente para a iluminação pública foi a lâmpada incandescente. Porém, com o passar do tempo, essas lâmpadas foram substituídas por lâmpadas de descarga e atualmente por LED.

As lâmpadas mais utilizadas atualmente são:

- Lâmpada a vapor de mercúrio;
- Lâmpada a vapor de sódio;
- Lâmpada a vapor metálico;
- LED.

Na Tabela 8 temos um comparativo entre as tecnologias de lâmpadas utilizadas.

Tabela 8 - Comparativo entre as tecnologias de lâmpadas

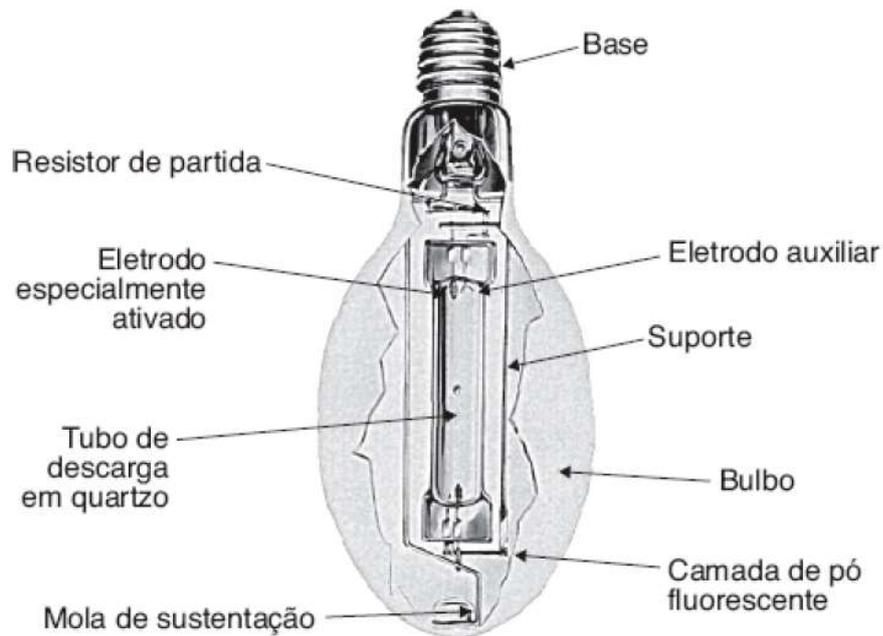
Tecnologia	Temperatura de cor (K)	IRC (%)	Eficiência luminosa (lm/W)	Vida mediana (horas)
Incandescente	2700	100	10-20	1000
Vapor de mercúrio	3000-4000	40-55	45-58	9000-15000
Vapor de sódio	2000	22	80-150	18000-32000
Vapor metálico	3000-6000	65-85	65-90	8000-12000
Indução	4000	80-90	80-110	60000

Fonte: COPEL (2012).

#### 2.4.2.1 Lâmpada a vapor de mercúrio

Muito utilizada nos sistemas de iluminação pública, atualmente seu uso é inviável devido às novas tecnologias de lâmpadas, que oferecem menor consumo para um mesmo fluxo luminoso. Na Figura 15 é demonstrada a estrutura de uma lâmpada a vapor de mercúrio.

Figura 15 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de mercúrio



Fonte: Mamede Filho (2017).

A ABNT NBR 5461 (1996, p. 33) define a lâmpada a vapor de mercúrio como sendo:

Lâmpada a descarga de alta intensidade na qual a maior parte da luz é emitida, direta ou indiretamente, pela radiação de vapor de mercúrio, cuja pressão parcial, durante o funcionamento, é maior do que 100 kPa.

Segundo a COPEL (2016), são lâmpadas que emitem luz branca, possuem IRC baixo, entre 40 e 60, e uma vida útil de aproximadamente 24.000 horas, podendo atingir eficiência de 55 lm/W.

Seu funcionamento ocorre por meio do controle externo da corrente no tubo de descarga, sem a presença de filamento. O arco elétrico gerado no interior do tubo de descarga gera calor, que, por sua vez, vaporiza o mercúrio ali contido e, lentamente, leva ao aumento de pressão do vapor de mercúrio e, conseqüentemente, ao aumento do fluxo luminoso. Porém, para essa lâmpada há a necessidade da utilização de reatores, sendo mais um equipamento a ser instalado (MAMEDE FILHO, 2017).

#### 2.4.2.2 Lâmpada a vapor de sódio

As lâmpadas a vapor de sódio possuem seu funcionamento semelhante ao das lâmpadas a vapor de mercúrio. No entanto, no tubo de descarga, além do mercúrio, em menor quantidade, há também o sódio como elemento principal (BELLER *et al.*, 2001).

Essa lâmpada, segundo a COPEL (2016), emite luz amarelada, possui baixo IRC, em torno de 20, vida útil que pode variar de 14.000 a 24.000 horas e eficiência atingindo cerca de 130 lm/W.

##### **3.7.23 Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão**

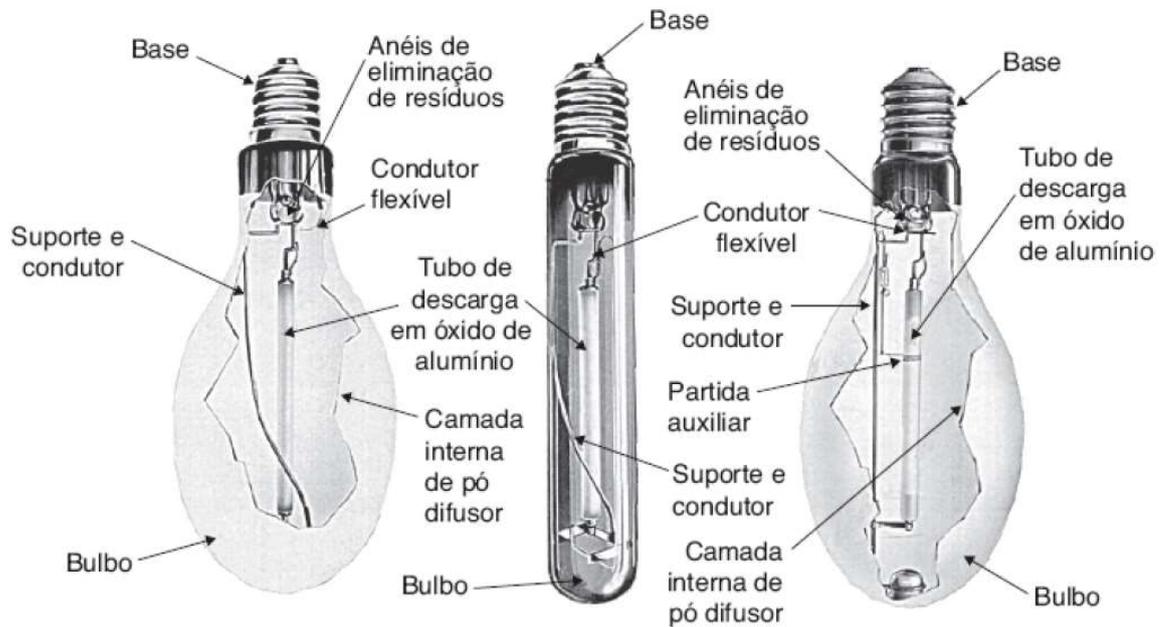
Lâmpada a descarga de alta intensidade na qual a luz é emitida principalmente pela radiação de vapor de sódio, cuja pressão parcial, durante o funcionamento, é da ordem de 10 kPa.

##### **3.7.24 Lâmpada a vapor de sódio a baixa pressão**

Lâmpada a descarga na qual a luz é emitida pela radiação de vapor de sódio, cuja pressão parcial, durante o funcionamento, fica situada entre 0,1 Pa e 1,5 Pa.

Na Figura 16 são demonstrados os principais componentes de diferentes modelos de lâmpadas a vapor de sódio.

Figura 16 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor de sódio

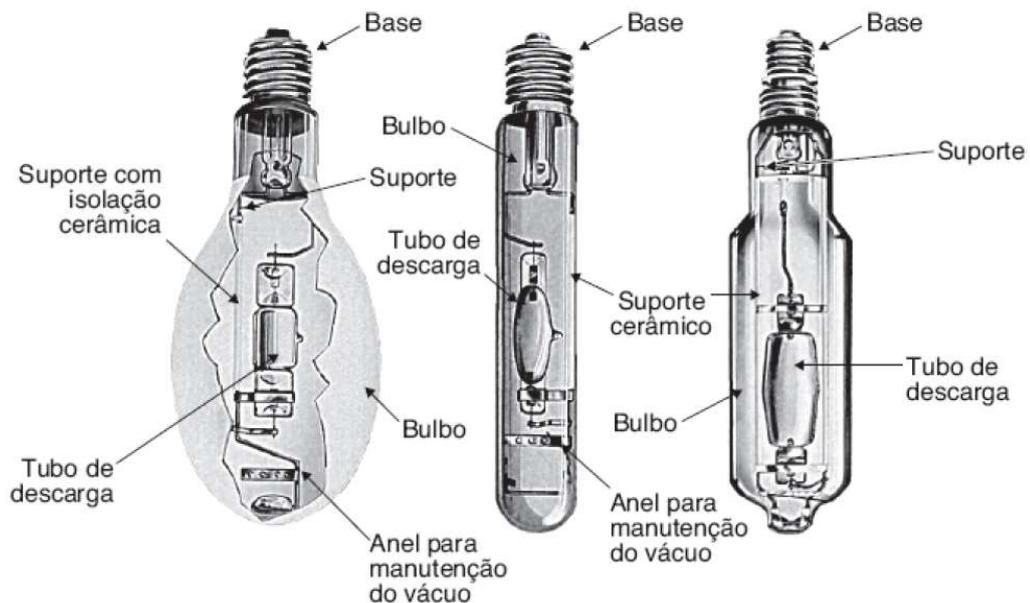


Fonte: Mamede Filho (2017).

#### 2.4.2.3 Lâmpada a vapor de metálico

A Figura 17 mostra os principais componentes de diferentes tipos de lâmpadas a vapor metálico.

Figura 17 - Detalhes principais de uma lâmpada a vapor metálico



Fonte: Mamede Filho (2017).

As lâmpadas a vapor metálico, semelhantes às de vapor de sódio, possuem em seu tubo de descarga uma mistura de materiais nobres que, por sua vez, geram uma luz mais confortável. A ABNT NBR 5461 (1991, p.33) as define da seguinte forma:

**3.7.25 Lâmpadas a vapor metálico e halogenetos**

Lâmpada a descarga de alta intensidade na qual a maior parte da luz é emitida pela radiação de uma mistura de vapor metálico com produtos da dissociação de halogenetos.

**Nota:** Este termo compreende lâmpadas de bulbo claro ou revestido por uma camada luminescente. (845-7-25)

Essa lâmpada, segundo a COPEL (2016), emite luz branca, possui uma temperatura de cor mais alta (mais branca) que as descritas anteriormente. Além disso, possui um grande fluxo luminoso e eficiência alta. Seu IRC pode variar de 70 a 90 e sua eficiência atinge os 90 lm/W. Com uma vida útil que varia de 8.500 a 15.000 horas.

**2.4.2.4 LED**

O LED (diodo emissor de luz), segundo Nascimento (2012), é basicamente um componente eletrônico formado por uma junção p-n de um semicondutor. Quando se faz passar uma corrente elétrica por esse semicondutor de modo a forçar o fluxo de elétrons há a liberação de energia na forma de radiação eletromagnética. Nos LEDs utilizados na iluminação pública, essa energia radiada está na faixa do espectro da luz visível.

Em geral, os LEDs operam com níveis de tensão que podem variar de 1,6 a 3,3 volts em corrente contínua. Para aplicação em sistemas de iluminação pública, onde a tensão eficaz entre fase/neutro é normalmente 220 ou 110 volts há a necessidade de haver junto à luminária um conversor de corrente alternada para corrente contínua e estes devem estar em conformidade com a Portaria nº 20/2017 do INMETRO.

Por se tratar de fontes luminosas com feixe de luz bem direcionado, livres de metais pesados, uma alta vida mediana (cerca de 50.000 horas), alta eficiência, (cerca de 80 lm/W), são mais resistentes a vibrações, possuem elevado IRC e flexibilidade na escolha da temperatura de cor desejada. Essa tecnologia vem se tornando a alternativa mais viável para sistemas de iluminação (COPEL, 2012).

### 2.4.3 Reatores

O reator nos sistemas de iluminação pública, conforme ilustra a Figura 18, tem como função básica controlar a corrente que passa pela lâmpada de descarga, uma vez que a descarga elétrica acontece em um dielétrico e caso não seja controlada tenderá ao infinito, ocasionando a queima da lâmpada.

A ABNT NBR 5461 (1991, p. 37), define os reatores como sendo:

#### 3.8.34 Reator

Dispositivo ligado entre a fonte de alimentação e uma ou mais lâmpadas a descarga, e que é destinado principalmente a limitar a corrente nas lâmpadas ao valor desejado.

**Nota:** O reator pode incorporar também um transformador da tensão de alimentação, elementos para melhorar o fator de potência e, por si mesmo ou em combinação com um dispositivo de acendimento, assegurar as condições necessárias para o acendimento de uma ou mais lâmpadas. (845-08-34)

Figura 18 - Reator interno e externo para iluminação pública



Reator de uso interno

Reator de uso externo

Fonte: Adaptado de INTRAL (2019).

Há duas condições de aplicações para os reatores, uso externo e interno, segundo Nascimento (2012). O reator de uso externo é utilizado em casos quando a luminária não possui local em seu interior para sua instalação, e, nesses casos, o reator é instalado junto ao poste da concessionária de energia, exposto ao sol, à chuva e permitindo o acesso de pessoas não qualificadas. Os reatores de uso externo devem possuir grau de proteção IP-33 em conformidade com a NBR IEC 60529. Já o reator de uso interno é para uso exclusivo no interior da luminária. Nesses casos, eles têm como característica o fato de serem mais

compactos que os reatores de uso externo, devido à não necessidade de haver grandes proteções, pois estão em um ambiente fechado.

No Brasil, reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio e lâmpadas a vapor metálico, com fator de potência menor que 0,92, têm sua fabricação, importação e comercialização proibidas conforme definido pela Portaria nº 454 INMETRO (2010):

Art. 6º Determinar a proibição da fabricação, importação e comercialização dos reatores eletromagnéticos para lâmpadas à vapor de sódio e lâmpadas a vapor metálico (halogenetos) com baixo fator de potência ( $FP < 0,92$ ) a partir dos prazos estabelecidos nos artigos 4º e 5º desta Portaria.

O uso de reator com baixo rendimento aumenta o consumo de energia do ponto de iluminação desnecessariamente, gerando desperdício de energia. Um fator importante na especificação dos reatores é a qualidade da matéria-prima utilizada nos fios de cobre e chapas de ferro silício, do processo produtivo e da otimização do projeto do indutor, pois impactam diretamente no seu rendimento (COPEL, 2012).

#### **2.4.4 Relés**

O relé para uso na iluminação pública, conforme mostra a Figura 19, tem como função monitorar a luminosidade do local e fazer o acionamento da luminária propriamente dita. Existem dois tipos de funcionamento: os relés com contatos NA (Normalmente aberto) ou com NF (Normalmente fechado). O relé NF mantém os contatos fechados na ausência de luz, enquanto que o NA mantém os contatos abertos. Sua escolha dependerá das características de operação que se busca (SANTANA, 2010).

Figura 19 - Relé para iluminação pública



Fonte: Exatron (2019).

#### 2.4.5 Braços

O braço no sistema de iluminação pública, segundo Santana (2010) e conforme consta na

Figura 20, é um equipamento fixado ao poste da concessionária de energia junto ao qual é instalada a luminária. Os braços devem ser dimensionados para suportar a carga (massa) da luminária além de esforços decorrentes de ventos, vibrações, dentro de certos limites. Eles podem ser fabricados com diferentes características dependendo da necessidade, como, por exemplo: tamanho, grau de inclinação etc.

Figura 20 - Braço para iluminação pública



Fonte: Os Autores (2019).

## 2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Segundo dados publicados pela concessionária de energia elétrica COPEL (2018), no ano de 2016 estimava-se que o setor de iluminação pública no Brasil tinha em torno de 18.753.679 pontos de luz. O parque luminotécnico instalado é composto predominantemente de lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão e, em menor escala, por lâmpadas a vapor de mercúrio. A utilização da tecnologia LEDs é muito baixa.

Conforme já citado neste trabalho, após a mudança regulatória implantada pela Resolução Normativa nº 414/2010, da ANNEL, que determinou que até o final de 2014 todos os ativos de iluminação pública, os quais antes estavam em poder das concessionárias de energia elétrica, deveriam ser transferidos para os municípios, segundo o IBD (2017), aproximadamente 42% de municípios brasileiros foram afetados.

Com a conclusão dessa transferência, todos os municípios passaram a exercer plenamente o direito à titularidade dos serviços, conforme determinado pela constituição brasileira, bem como assumiram a obrigação de gerenciar os ativos e prestar serviço adequado à população. De acordo com a legislação, todos os serviços de iluminação pública devem ser prestados pelas prefeituras, seja de forma direta ou mediante terceirização. Como poder concedente, as prefeituras têm pleno poder para definir o modelo de negócio que melhor lhe convir, desde que amparado pela legislação em vigor (IBD, 2017).

Foram criados pelo governo federal do Brasil dois programas de eficiência energética, o Procel Reluz, administrado pela Eletrobrás, e o Programa de Eficiência Energética (PEE), administrado pelas concessionárias de energia e gerenciado pela ANEEL.

### 2.5.1 Procel

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), é um programa coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobrás. Foi instituído em 30 de dezembro de 1985, pela Portaria Interministerial nº 1.877, com o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica e combater o seu desperdício, conseqüentemente, os impactos ambientais e colaborando para um Brasil mais sustentável.

O Procel gera benefícios para toda a sociedade por meio de ações de eficiência energética em diversos segmentos da economia, ajudando, assim, o País a economizar energia elétrica e conseqüentemente diminuindo a emissão de poluentes que estão associados à geração de energia elétrica.

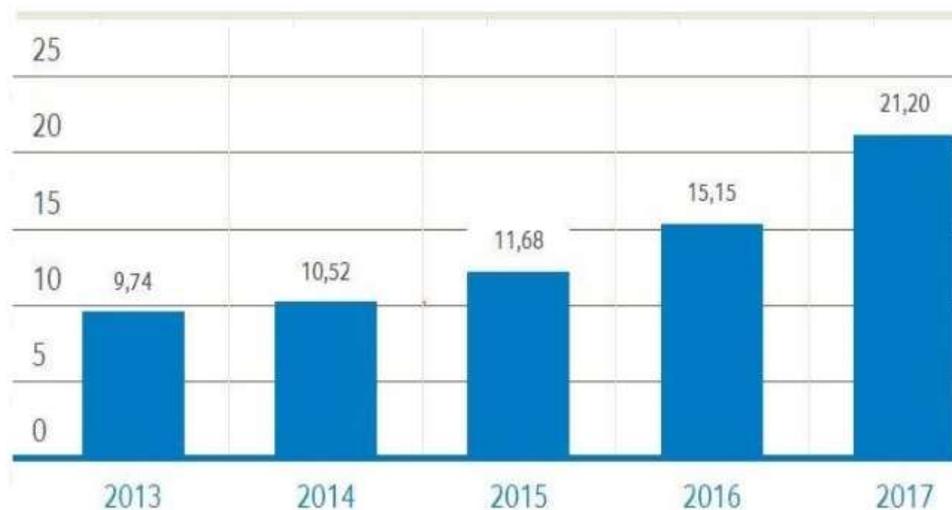
Os segmentos do Procel são:

- Equipamentos – identificação, por meio do Selo Procel, dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, o que induz ao desenvolvimento e ao aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro;
- Edificações – promoção do uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores;
- Iluminação pública (Reluz) – apoio a prefeituras no planejamento e implantação de projetos de substituição de equipamentos e melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica;
- Poder público – ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implantação de projetos que visem ao menor consumo de energia em municípios e ao uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento;
- Indústria e comércio – treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com a otimização dos sistemas produtivos;
- Conhecimento – elaboração e disseminação de informação qualificada em eficiência energética, seja por meio de ações educacionais no ensino formal ou da divulgação de dicas, livros, *softwares* e manuais técnicos.

#### 2.5.1.1 Resultados Procel

Considerando os resultados obtidos pelo programa desde o ano de início de suas atividades 1986, até o ano de 2017, último ano de publicação de resultados, a economia de energia total obtida foi de aproximadamente 128,6 bilhões de kWh. Os ganhos energéticos anuais mais recentes podem ser verificados na Figura 21 (PROCEL, 2018).

Figura 21 - Economia de energia nos últimos 5 anos (bilhões de kWh)



Fonte: Resultados Procel (2018, p. 17).

### 2.5.1.2 Procel Reluz

O Procel Reluz teve suas atividades iniciadas no ano de 2000, tendo como objetivo promover o desenvolvimento de sistemas mais eficientes para a iluminação pública. Possui em sua linha de atuação o objetivo de promover projetos de eficiência energética, a valorização noturna de espaços públicos, a redução do consumo de energia elétrica, melhoria nas condições de segurança e a qualidade de vida nas cidades (PROCEL, 2018).

Desde a sua criação, o Procel Reluz já proporcionou a substituição de mais de 2,7 milhões de pontos de iluminação pública em todo o País. Até o ano de 2012, isso foi feito substituindo-se lâmpadas incandescentes, mistas e a vapor de mercúrio por lâmpadas a vapor de sódio a alta pressão ou a vapor metálico. A partir de 2016, com base na Lei nº 13.280/2016, o Procel Reluz, em sua nova fase, foca na promoção da iluminação pública a LED, tecnologia mais eficiente e durável que as anteriores (PROCEL, 2018).

Todos os projetos se baseiam no conceito de maximizar a eficiência energética nos espaços públicos, com níveis de iluminância compatíveis e de acordo com os índices estabelecidos pelas normas técnicas brasileiras de iluminação pública. Além das lâmpadas, todos os projetos englobam os demais acessórios que compõem os sistemas de iluminação pública (PROCEL, 2018).

### 2.5.2 Programa de Eficiência Energética (PEE)

De acordo com a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, em seu Art. 1º, é determinado que as empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar, por ano, o percentual mínimo de 0,5% da receita operacional líquida em programas de eficiência energética (PEE).

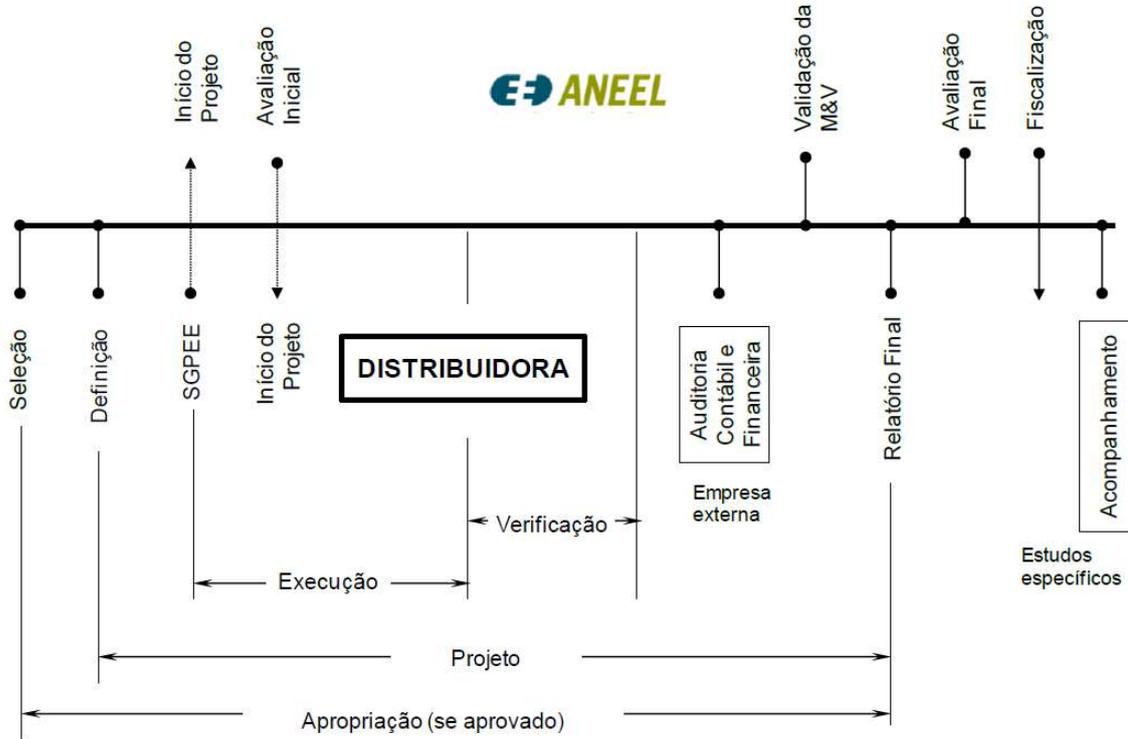
Todos os projetos devem atender os procedimentos específicos determinados pelo manual do programa de eficiência energética (PROPEE).

Esse manual descreve os objetivos do PEE da seguinte forma (PROPEE, 2018, p. 6):

O objetivo do PEE é promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica.

Cada projeto, em linhas gerais, seguirá as etapas mostradas na Figura 22.

Figura 22 - Etapas do projeto PEE



Fonte: PROPEE (2018, p. 7).

### 2.5.3 ILUMINAÇÃO PÚBLICA MAIS EFICIENTE

Atualmente, cidades desenvolvidas enfrentam muitas demandas e a iluminação pública possui um papel fundamental na sociedade. Há programas governamentais e diversas leis que exigem e destinam recursos para a melhora desse serviço. Ao mesmo tempo, a opinião pública e a conscientização da importância de práticas ecológicas demonstram que as cidades estão procurando novas formas de minimizar seu impacto no planeta. Segundo Philips (2019), o cenário econômico atual indica que a administração pública deve buscar encontrar formas de economia sempre que puderem. Além disso, os residentes esperam uma qualidade de vida cada vez melhor. Portanto, as cidades precisam encontrar formas de serem mais seguras, mais limpas, mais claras e mais dinâmicas.

Além disso, é tendência que luminárias LED sejam cada vez mais utilizadas em projetos de iluminação pública, porém possuem um custo mais elevado se comparado a outras tecnologias no mercado. Porém, a tendência é que seus componentes tenham uma redução no custo e, assim, tornem-se cada vez mais viáveis. Há estudos que revelam uma redução anual superior a 20% na relação custo por fluxo luminoso (R\$/lm). A eficiência de um LED está em

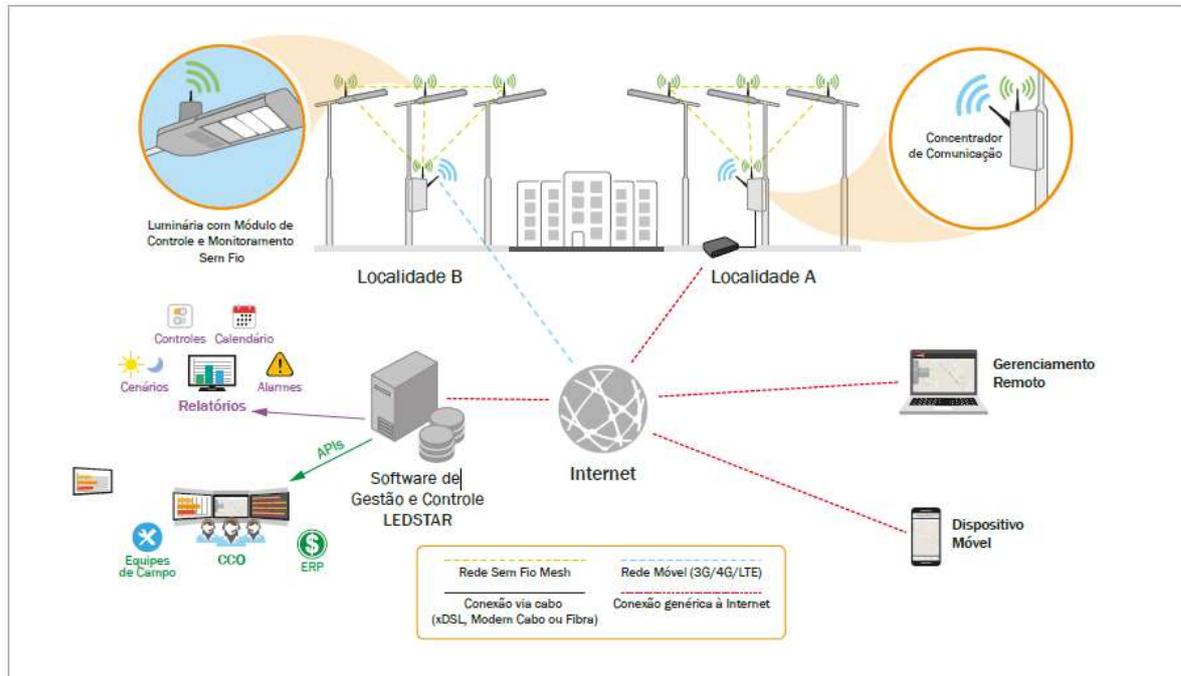
torno de 125 lm/W, porém é estimado que em 2020 esta eficiência possa superar 200 lm/W. Em comparação, as fluorescentes tubulares de maior eficiência apresentam aproximadamente 100 lm/W e as a vapor de sódio a alta pressão, em torno de 140 lm/W (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2013).

A substituição das luminárias tradicionais equipadas com lâmpadas de vapor de sódio e/ou vapor metálico por modelos de luminárias LED tornou a iluminação pública uma porta de entrada para sistemas inteligentes nas cidades. Além de emitirem menos poluentes e serem mais econômicas e eficientes, as luminárias LED permitem a dimerização de seu fluxo luminoso, diminuindo também seu consumo de energia elétrica. Além disso, permitem a implementação de projetos de internet das coisas (*Internet of Things* – IoT) para a criação de cidades inteligentes, isso porque é possível utilizar sua infraestrutura para conectar diferentes serviços na localidade. Diante disso, estão surgindo sistemas de gestão de iluminação pública que trazem uma série de benefícios para a população em geral (EXATI, 2018).

#### 2.5.3.1 Sistema de telegestão

O sistema de telegestão consiste em equipamentos montados na luminária e pode ser resumido em um dispositivo que monitora e controla um reator ou *driver* de luminária LED. Esses equipamentos formam uma rede, permitindo que essas informações sejam transmitidas através dos pontos e possam ser acessadas de qualquer lugar, conforme ilustra a Figura 23 (LEDSTAR, 2018).

Figura 23 - Arquitetura de um sistema de telegestão



Fonte: LEDSTAR (2018).

Esses sistemas permitem que os responsáveis pelo parque de iluminação pública controlem cada ponto de iluminação individualmente ou em grupos personalizados e tenham informações em tempo real dos *status* das luminárias, identificando possíveis falhas. O sistema permite aos operadores a possibilidade de definir níveis de iluminação personalizadas e programações de dimerização. Além de controle do consumo de energia elétrica, podendo o município assegurar que somente está pagando pela energia que realmente é consumida (LEDSTAR, 2018).

### 3 DESENVOLVIMENTO

A fim de atender ao objetivo central deste trabalho, foi utilizado como base o projeto “Cidade + Eficiente – Iluminação Pública Santo Amaro da Imperatriz (EE-047/2018)”, que visa à substituição de 2.255 pontos de iluminação contendo lâmpadas de descarga por modelos a LED.

O estudo de caso é direcionado à cidade de Santo Amaro da Imperatriz devido ao programa PEE que se encontra em fase de execução, com a substituição das luminárias contendo lâmpadas a vapor por luminárias LED.

#### 3.1 SANTO AMARO DA IMPERATRIZ

O município de Santo Amaro da Imperatriz localiza-se na região metropolitana de Florianópolis, no estado de Santa Catarina, distante em torno de 32 km da capital do estado. Seus limites territoriais se encontram ao Norte com o município de São José e São Pedro de Alcântara, ao Sul com os municípios de São Bonifácio e Paulo Lopes, a Leste com o município de Palhoça e a Oeste com município de Águas Mornas.

Estima-se que a população residente em 2015 seja de 22.266 habitantes (IBGE/2016) e seu território possua uma área de 344.049 km<sup>2</sup>. O município oferece muitas opções de lazer, com suas águas termais, atrativos naturais e variadas festividades religiosas e culturais.

#### 3.2 CIDADE + EFICIENTE - ILUMINAÇÃO PÚBLICA SANTO AMARO DA IMPERATRIZ (EE-047/2018)

A Prefeitura Municipal de Santo Amaro da Imperatriz, por meio da UC 12193599, foi beneficiada diretamente com os resultados financeiros oriundos das ações do programa de eficiência energética no sistema de iluminação pública do município. Com isso, tanto os setores comerciais, turísticos, além dos munícipes, foram beneficiados com a melhora na qualidade do sistema de iluminação pública local.

O projeto tem como objetivo a substituição de luminárias de baixo rendimento, alumínio estampado e injetado, dos reatores eletromagnéticos e das lâmpadas a vapor de mercúrio, a vapor metálico e vapor de sódio por luminárias de alto rendimento, mais eficientes, equipadas com tecnologia LED, gerando uma redução do consumo de energia

elétrica na instalação em questão, bem como a redução de demanda no horário de ponta da distribuidora.

Conforme apresentado no Anexo A, o projeto teve por objetivo a substituição de 2.255 pontos de iluminação (Tabela 9), substituindo lâmpadas a vapor por modelos a LED.

Tabela 9 - Luminárias anterior x sistema atual

<b>Luminária</b>	<b>LED 40W</b>	<b>LED 80W</b>	<b>LED 120W</b>	<b>LED 200W</b>	<b>Total</b>
70 W Sódio	743	4	2		<b>749</b>
80 W Mercúrio	399	3			<b>402</b>
150 W Sódio	11	117			<b>128</b>
250 W Sódio	39	111	539	21	<b>710</b>
400 W Sódio	8	10	185	11	<b>214</b>
400 W Vapor Metálico			44	8	<b>52</b>
<b>Total</b>	<b>1200</b>	<b>245</b>	<b>770</b>	<b>40</b>	<b>2255</b>

Fonte: Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz (2019).

A

Tabela 10 apresenta os resultados esperados após a finalização do projeto.

Tabela 10 - Sistema anterior vs. sistema atual

	<b>Sistema Anterior</b>	<b>Sistema atual</b>
Quantidade de pontos	2255	2255
Potência Instalada (kW)	452,2	166,6
Horas de Funcionamento (h/ano)	4380	4380
Energia Consumida (MWh/ano)	1980,4	729,9

Fonte: Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz (2019).

Após finalizada a execução do projeto PEE, a previsão de economia no consumo de energia elétrica por ano é de 36,86% comparado ao sistema de iluminação antigo, gerando uma economia aos cofres públicos de aproximadamente R\$ 799.438,42 por ano, valor esse que pode variar devido à adição de bandeiras referentes à geração de energia, aos encargos setoriais, aos impostos aplicados ao faturamento da energia e à variação do preço do kWh.

### 3.3 MEMORIAL DE CÁLCULO

Neste memorial serão apresentados descritivamente as etapas da análise de viabilidade técnica e econômica para a determinação da aplicação da dimerização no sistema de

iluminação pública como alternativa para aumentar sua eficiência, ou seja, diminuir seu consumo de energia por mês, gerando uma economia de energia elétrica e impactando diretamente no valor pago na conta de luz.

Os dados utilizados de potência média das luminárias foram obtidos do “Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz” disponibilizado pela prefeitura municipal e publicado em novembro de 2018.

### 3.3.1 Dados do sistema de iluminação modernizado

Na Tabela 11 é apresentada a composição do sistema modernizado segundo o “Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz”, disponibilizado pela prefeitura municipal de Santo Amato da Imperatriz.

Tabela 11 – Composição do sistema atual modernizado

<b>Número Lâmpadas</b>	<b>Potência Luminária LED</b>	<b>Potência Média Luminária LED</b>	<b>Dias/ano</b>	<b>Horas funcionamento /dia</b>	<b>kWh/ano</b>	<b>Valor por ano (R\$)</b>
1200	40	44,34	365	12	233051,04	<b>R\$ 91.693,23</b>
245	80	71,99	365	12	77252,469	<b>R\$ 30.394,75</b>
770	120	114,4	365	12	385825,44	<b>R\$ 151.801,86</b>
40	200	192,6	365	12	33743,52	<b>R\$ 13.276,29</b>
<b>Total</b>					<b>729872,469</b>	<b>R\$ 287.166,13</b>

Fonte: Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz (2019).

#### 3.3.1.1 Equipamentos Instalados

Na Tabela 12 são apresentados os equipamentos instalados no programa de efficientização em estudo, com marca, modelo, potência, fluxo luminoso e demais características, a fim de identificar as características dos materiais aplicados, conforme norma vigente.

Tabela 12 - Equipamentos instalados

Marca	Modelo	Potência (W)	Fluxo luminoso da luminária (lm)	Eficiência Luminosa da Luminária (lm/w)	Índice de reprodução de Cor (IRC)	Fator de Potência	Vida útil da Luminária (h) (TM-21)	Material da Lente
Philips	BRP220	43	4300	100	<70	>0,95	<50.000	Vidro
Philips	BRP371	77	8470	110	<70	>0,95	<50.000	Vidro
Philips	BRP371	114	12540	110	<70	>0,95	<50.000	Vidro
Philips	BRP372	183	21960	120	<70	>0,95	<65.000	Vidro

Fonte: Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz (2019).

### 3.3.2 Medição da iluminância

Para verificação do nível de iluminância com potência nominal e com dimerização, para comparação, realizou-se a medição da iluminância real para cada cenário, utilizando o luxímetro, conforme mostra a Figura 24, da marca Konica Minolta, modelo Illuminace Meter T-10A.

Figura 24 - Luxímetro Meter T-10A.



Fonte: Os Autores (2019).

Para a dimerização das luminárias, foi utilizado o sistema de telegestão implantado no local, programa-piloto desenvolvido pela empresa Quantum Engenharia, que permitiu a utilização do *software*, porém não permitiu a divulgação de mais detalhes referentes ao *software*. Para a dimerização, o *software* controla, por meio de dispositivos eletrônicos contidos na luminária, a corrente que é entregue ao LED, por consequência, gerando uma dimerização no fluxo luminoso da luminária. Toda as medições seguiram o modelo

apresentado no Anexo B. Na Tabela 13 é descrito o resumo dos resultados obtidos por meio de medição *in loco*.

As medições foram realizadas no dia 26 de setembro de 2019 às 22h, na Rua Alírio Bossle do município de Santo Amaro da Imperatriz, com condições climáticas estáveis. A escolha dessa rua se deu por conta do baixo índice de interferência externo, como, por exemplo, fachadas iluminadas de prédios, placas etc.

Essa via, conforme ABNT NBR 5101, é classificada como V2, de acordo com a Tabela 4. Nesse caso, a iluminância média mínima é de 20 Lux e o fator de uniformidade é de 30%, conforme mostra a

Tabela 6, e os níveis atuais de iluminação atendem às exigências da norma ABNT 5101.

Na Tabela 13 são relacionadas as luminárias que foram utilizadas como teste para a aplicação da dimerização.

Tabela 13 - Luminárias dimerizadas

Tabela de Dados das Luminárias Amostradas										
Marca	Potencia (W)	Fluxo luminoso do LED (lm)	Fluxo luminoso da luminária (lm)	Eficácia Luminosa da Luminária (lm/w)	Índice de reprodução de Cor (IRC)	FP	Vida Útil da Luminária (h) (TM-21)	Vida Útil do LED (h)	Material da Lente	Classificação Fotométrica
Unicoba	150	23925	21750	145	<70	>0,95	<78.000	<100.000	Polícarbônico	IESNA TIPO II CURTA - Limitada em angulação 0°
Philips	114	Não Informado	12540	110	<70	>0,95	<50.000	Não informado	Vidro	Não Informada

Fonte: Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz (2019).

A fim de comparar os resultados obtidos, além da luminária utilizada no projeto PEE (nesse caso, a luminária Philips), foi utilizada uma outra luminária da marca Unicoba.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados obtidos por meio das medições realizadas em campo na luminária LED 150 W, da marca Unicoba.

Tabela 14 - Medições de luminária LED 150 W

Potência	100%	75%		50%		25%	
	Medido (lux)	Valor Medido (lux)	Percentual Dimerizado Medido	Valor Medido (lux)	Percentual Dimerizado Medido	Valor Medido (lux)	Percentual Dimerizado Medido
<b>Emed - Via</b>	68,29	59,01	86,41%	40,10	58,72%	21,42	31,37%
<b>U Via= Emin / Emed=</b>	47,30%	51,86%		44,39%		46,69%	

Fonte: Os autores (2019).

A seguir, na Tabela 15, são apresentados os valores obtidos para a luminária LED 114 W, da marca Philips.

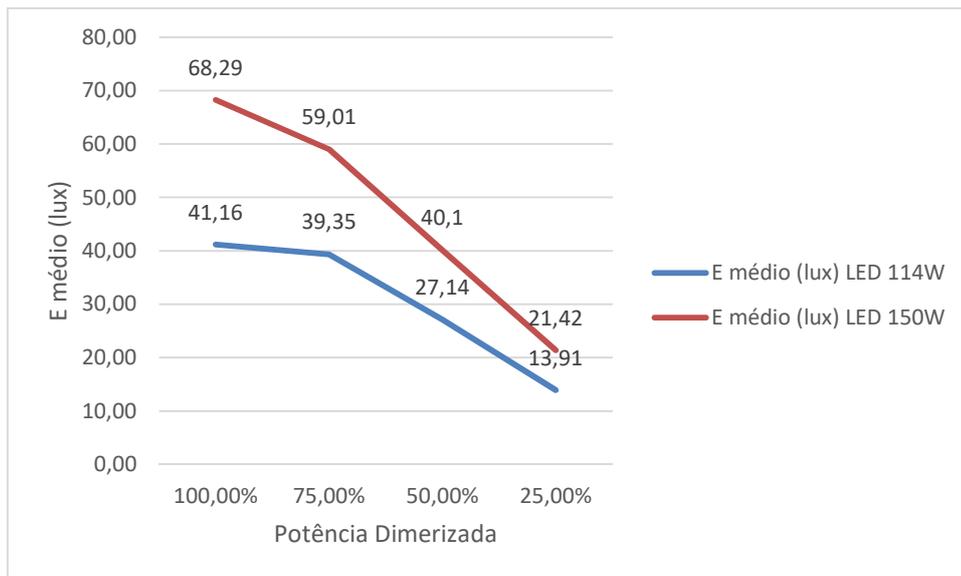
Tabela 15 - Medições de luminária LED 114 W

Potência	100%	75%		50%		25%	
	Medido (lux)	Valor Medido (lux)	Percentual Dimerizado Medido	Valor Medido (lux)	Percentual Dimerizado Medido	Valor Medido (lux)	Percentual Dimerizado Medido
<b>Emed - Via</b>	41,16	39,35	95,59%	27,14	65,93%	13,91	33,79%
<b>U Via= Emin / Emed=</b>	44,21%	44,04%		44,66%		44,01%	

Fonte: Os autores (2019).

No Gráfico 2 é feita uma comparação entre as curvas E Médio (lux), conforme a dimerização aplicada na luminária, utilizando do *software* de telegestão.

Gráfico 2 - Comparativo entre as luminárias dimerizadas



Fonte: Os autores (2019).

É notável que os modelos utilizados de marcas diferentes se comportaram de maneiras distintas. Enquanto a luminária de LED 114 W, ao ser aplicada a dimerização de 75%, houve uma queda de 13,6% em seu E médio (lux); já a luminária LED 150 W teve uma queda de 4,4%. É importante frisar que as medições foram realizadas no mesmo local, com as mesmas condições climáticas e utilizando os mesmos equipamentos.

### 3.3.2.1.1 Medição de potência e fator de potência da luminária dimerizada

Com o intuito de obter as potências para utilização nos cálculos de consumo deste trabalho, além de verificar o fator de potência das luminárias enquanto dimerizadas, foi utilizado o medidor de grandezas PowerNET T-500 G4 (*standard*), conforme consta na Figura 25.

Figura 25 - Medidor PowerNET T-500 G4



Fonte: Os autores (2019).

O medidor, conforme consta na Figura 26, foi instalado em série com a luminária. As medições foram feitas e registradas minuto a minuto em memória de massa durante o funcionamento da luminária.

Figura 26 - Medido PowerNET instalado



Fonte: Os autores (2019).

Por meio das medições *in loco*, utilizando o medidor PowerNET, foi possível obter aos resultados demonstrados na Tabela 16 e na Tabela 17.

Tabela 16 - Medições de potência de luminária LED 114 W

Luminária Dimerizada Philips 114W																
Calculada					Medida											
Potencia Dimerizada Pelo sistema (%)	Potencia da Luminária (W)	Fluxo da Luminária (lm)	Fator de Potencia	Emedio (lux)	Potencia Dimerizada Calculada (W)	Potencia Dimerizada Medida (W)	Potencia Dimerizada Medida (%)	Emedio (lux)	Emedio (%)	V [V]	Ia [A]	Q [VAR]	S [VA]	Ang Ia [°]	PF	F [Hz]
100%	114,00	12.500,00	0,95	41,16	114,00	115,89	100%	41,16	100%	228,6	0,53	-34,17	120,8	16,43	0,96	59,99
75%				30,87	85,50	107,27	94%	39,35	96%	231,3	0,49	-34,21	112,6	17,7	0,95	60,01
50%				20,58	57,00	70,94	62%	27,14	66%	229,9	0,34	-30,93	77,41	23,58	0,92	60,005
25%				10,29	28,50	35,83	31%	13,91	34%	230,2	0,19	-27,045	44,89	37,07	0,8	60,005

Fonte: Os autores (2019).

Tabela 17 - Medições de potência de luminária LED 150 W

Luminária Dimerizada Unicoba 150W																
Calculada					Medida											
Potencia Dimerizada Pelo sistema (%)	Potencia da Luminária (W)	Fluxo da Luminária (lm)	Fator de Potencia	Emedio (lux)	Potencia Dimerizada Calculada (W)	Potencia Dimerizada Medida (W)	Potencia Dimerizada Medida (%)	Emedio (lux)	Emedio (%)	V [V]	Ia [A]	Q [VAR]	S [VA]	Ang Ia [°]	PF	F [Hz]
100%	150,00	21.750,00	0,95	68,29	150,00	147,955	100%	68,29	100%	228	0,66	-26,88	150	10,3	1	60
75%				51,22	112,50	120,11	80%	59,01	86%	229	0,54	-27,04	123	12,7	1	60,01
50%				34,15	75,00	78,65	52%	40,10	59%	231	0,36	-27,01	83,2	19	1	60
25%				17,07	37,50	42,7	28%	21,42	31%	231	0,22	-28,41	51,3	33,7	0,8	60,005

Fonte: Os autores (2019).

É notável que, em ambas as luminárias, a potência final dimerizada é maior do que as potências calculadas teóricas. Para os cálculos de consumo foi utilizada a potência média obtida por meio das medições realizadas.

Outro fator observado em ambas as luminárias foi seu fator de potência. Em ambos os casos, quando aplicada a dimerização de 25% da potência nominal da luminária, o fator de potência ficou em 0,8, abaixo dos 0,92 exigidos pelo INMETRO, conforme a Portaria nº 20, de fevereiro de 2015. Por esse motivo, não foram considerados para os cálculos deste trabalho as luminárias com dimerização de 25%.

### 3.3.3 DIMERIZAÇÃO DE LUMINÁRIAS LED

Atualmente, o acendimento e o desligamento do relé de iluminação pública são regulamentados pela ABNT NBR 5123:2016. Na Tabela 18, são descritos os níveis estabelecidos para o acionamento e o desligamento do relé para sistemas de iluminação pública.

Tabela 18 - Níveis para acionamento dos relés de iluminação pública

	<b>Amanhecer (lux)</b>	<b>Anoitecer (lux)</b>
<b>Caso 1 (tempo mínimo)</b>	80	20
<b>Caso 2 (tempo máximo)</b>	80	3

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5123:2016.

Buscando formas de aumentar a economia no consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, gerar economia nas contas, é possível a aplicação da dimerização das luminárias LED, aplicada ao projeto PEE, em horários de baixo fluxo tanto de automóveis como de pedestres.

A ABNT NBR 5101, que determina os parâmetros a serem seguidos com relação aos resultados mínimos de iluminação a serem aplicados em via pública, também determina de que forma as vias são classificadas em relação ao fluxo de veículos que transitam por ela, conforme Tabela 19.

Tabela 19 - Classificação do volume de tráfego

<b>Classificação</b>	<b>Volume de tráfego noturno <sup>a</sup> de veículos por hora, em ambos os sentidos <sup>b</sup>, em pista única</b>
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1 200
Intenso (I)	Acima de 1 200

<sup>a</sup> Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18 h e 21 h.  
<sup>b</sup> Valores para velocidades regulamentadas por lei.

NOTA Para vias com tráfego menor do que 150 veículos por hora, consideram-se as exigências mínimas do grupo leve (L) e, para vias com tráfego muito intenso, superior a 2 400 veículos por hora, consideram-se as exigências máximas do grupo de tráfego intenso (I).

Fonte: ABNT NBR 5101 (2018).

Após a classificação, devem ser calculados os parâmetros luminotécnicos para determinada via. Todas as instalações devem ser dimensionadas para o fluxo máximo previsto na via para garantir a segurança e o conforto dos usuários, principalmente nas vias

motorizadas. Porém, conforme normativa, a classificação da via é feita entre as 18 horas e as 21 horas, ou seja, a norma considera os valores máximos de fluxo de veículos nos horários considerados de pico, horário de maior fluxo de veículos.

Após o horário de pico, o fluxo de veículos tende a diminuir, podendo essa via ser classificada de fluxo “intenso” para “médio” por exemplo, assim não exigindo um fluxo luminoso alto. Nesse caso, a dimerização dos pontos permitiria que, nesses horários, o nível de iluminação seja reduzido seguindo aos novos parâmetros, garantindo, ainda assim, a segurança dos usuários, mantendo a uniformidade da iluminação, evitando o efeito zebado e, dessa forma, alcançando uma economia no consumo de energia elétrica.

Outro ponto a considerar é a luz crepuscular que pode contribuir para a redução do tempo determinado para a utilização da iluminação pública. Segundo Munner (2004), o crepúsculo é definido como o período de luz natural parcial antes do nascer do sol ou depois do pôr do sol, isto é, quando o Sol se encontra abaixo da linha do horizonte, sendo isso decorrente da reflexão e espalhamento da luz solar pelas camadas superiores da atmosfera terrestre. Nesse caso, as luminárias poderiam ser acionadas com uma potência menor e conforme a luz crepuscular for diminuindo, a potência da luminária aumenta.

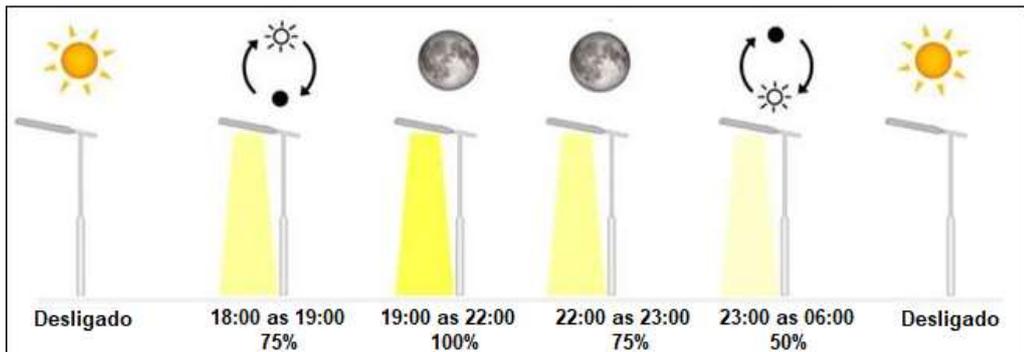
Conforme consta na Tabela 4 e na

Tabela 6, uma via classificada como V1, com iluminância média mínima de 30 lux e uniformidade média de 0,4, poderia, dentro do horário de baixo fluxo, passar a ser classificada como uma V2, com iluminância média mínima de 20 lux e uniformidade de 0,3, permitindo assim a dimerização em vias classificadas em V1, V2 e V3.

#### 3.3.3.1 Proposta de dimerização

Para fins de comparação de consumo de energia, foi adotado para este trabalho o funcionamento das luminárias conforme ilustra a Figura 27.

Figura 27 - Proposta de dimerização



Fonte: Os autores (2019).

3.3.3.2 Comparativo de consumo

Para atender ao objetivo central deste trabalho é realizada a seguir a comparação entre o consumo de energia elétrica do sistema atual, modernizado, e o mesmo sistema, porém utilizando dimerização em horários conforme detalhado no item 3.3.3.1 - Proposta de dimerização. Para fins de comparação, foi utilizado o valor de R\$ 0,393447 por kW/h praticado na fatura do mês de outubro de 2019, conforme ilustra a Figura 28.

Figura 28 - Faturamento de iluminação pública no município de Santo Amaro da Imperatriz

		Celesc Distribuição S.A. Av Itamarati, 160 - Florianópolis CNPJ: 08.336.783/0001-90 Insc.Est.: 255266626		<b>Conta de Energia Elétrica</b>													
EMISSÃO: 06/09/2019 APRES.: 12/09/2019 NOTA FISCAL/CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE ÚNICA: 000.007.262.287 - FAT-01-20195197378997-81 REF.: 09/2019		<b>MUNICÍPIO DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ</b> CPJ 82.892.324/0001-46 ST GERAL SANTO AMARO ILUMINACAO PUBLICA - STO AMARO IMP-CENTRO - SANTO AMARO I Classificação: ILUMINACAO PUBLICA / CONVENCIONAL / MONOFASICO Tensão nominal ou contratada (V): 220 Limites adequados de tensão (V): 202 a 231 Grupo de Tensão: B Tipo de Tarifa: Convencional		<b>Nº DA UNIDADE CONSUMIDORA</b> <b>12193599</b> <b>ATENDIMENTO AO CLIENTE</b> <b>LIGUE</b> <b>0800 480120</b>													
<b>DADOS DA MEDIÇÃO</b> Equipamento: Unidade de medida: kWh Origem da leitura atual: Data da leitura anterior: 05/08/2019 Data da leitura atual: 04/09/2019 Data da próxima leitura: 04/10/2019 Número de dias faturados: 30 Leitura atual: Leitura anterior: Constante de faturamento: Consumo medido no mês: 0 Consumo faturado no mês: 248255 Fator de potência:		<b>VENCIMENTO</b> <b>25/10/2019</b> <b>CONSUMO TOTAL FATURADO</b> <b>248.255 kWh</b> <b>VALOR ATÉ O VENCIMENTO</b> <b>R\$ 111.973,81</b>		<b>Dados do Faturamento</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Faturado</th> <th>Tarifa (R\$)</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Consumo</td> <td>248.255</td> <td>97.675,47</td> </tr> <tr> <td>Adic Band. Vermel P1</td> <td>0,393447</td> <td>14.298,34</td> </tr> <tr> <td><b>Subtotal (R\$)</b></td> <td></td> <td><b>111.973,81</b></td> </tr> </tbody> </table>		Faturado	Tarifa (R\$)	Valor (R\$)	Consumo	248.255	97.675,47	Adic Band. Vermel P1	0,393447	14.298,34	<b>Subtotal (R\$)</b>		<b>111.973,81</b>
Faturado	Tarifa (R\$)	Valor (R\$)															
Consumo	248.255	97.675,47															
Adic Band. Vermel P1	0,393447	14.298,34															
<b>Subtotal (R\$)</b>		<b>111.973,81</b>															
<b>HISTÓRICO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA - kWh</b> Set/2018: 19783.1   Out/2018: 15769.1   Nov/2018: 11791.1   Dez/2018: 13762.1   Jan/2019: 11791.1   Fev/2019: 19783.1   Mar/2019: 11791.1   Abr/2019: 38566.1   Mai/2019: 15035.1   Jun/2019: 19231.1   Jul/2019: 11209.1		<b>Mensagens:</b>															

Fonte: CELESC (2019).

Vale ressaltar que a tarifa aplicada à iluminação pública é a B4a, conforme mostra a Figura 29, porém o valor utilizado neste trabalho já engloba todos os encargos setoriais aplicados.

Figura 29 – Subgrupos de faturamento da CELESC

Subgrupos	Classificação	Energia R\$/kWh
<b>B1</b>	Residencial Normal	0,46978
	Residencial Baixa Renda até 30kWh	0,143353
	Residencial Baixa Renda de 31 a 100kWh	0,245748
	Residencial Baixa Renda de 101 a 220kWh	0,368622
	Residencial Baixa Renda acima de 220kWh	0,40958
<b>B2</b>	Rural, não cooperativa	0,35703
	Cooperativa de Eletrificação	0,35703
	Serviço Público de Irrigação	0,31945
<b>B3</b>	Água, Esgoto e Saneamento	0,413406
	Demais Classes	0,46978
<b>B4a</b>	Iluminação Pública - Rede de Distribuição	0,25838
<b>B4b</b>	Iluminação Pública - Bulbo da Lâmpada	0,28187

Fonte: CELESC (2019).

Para os cálculos foi considerado o funcionamento dos equipamentos durante um período ininterrupto de 12 horas, conforme utilizado no “Plano de M&V: Eficiência Energética do Sistema de Iluminação Pública de Santo Amaro da Imperatriz”. Será adotado, conforme Tabela 20, os seguintes valores de dimerização e a quantidade de horas de funcionamento diário.

Tabela 20 - Proposta de horários para aplicar a dimerização

Dimerização	Intervalo de Funcionamento	Total de Horas
0%	19:00 as 22:00	3
75%	18:00 as 19:00 e 22:00 as 23:00	2
50%	23:00 as 06:00	7

Fonte: Os Autores (2019).

Conforme já mencionado, a potência média da luminária LED 114 W foi obtida por meio de medições realizadas *in loco*, porém não foi possível a realização das medições para os modelos de 70 W e 190 W. Nesse caso, por se tratar de luminárias de mesmo fabricante, considerou-se que as potências dimerizadas dessas luminárias se comportam da mesma forma que da luminária LED de 114 W medida. Na Tabela 21 são apresentados os modelos e seu consumo por ano.

Tabela 21 - Cálculos de consumo de energia

Número Lâmpadas	Potência média luminária	Potência Dimerizada			Horas de funcionamento			Dias/ano	kWh/ano	Valor por ano (R\$)
		50%	75%	100%	50%	75%	100%			
1200	44,34	0	0	44,34	0	0	12	365	233051	R\$ 91.693,23
245	71,99	36	53,99	71,99	7	2	3	365	51501,65	R\$ 20.263,17
770	114,4	70,94	107,3	114,4	7	2	3	365	296316,6	R\$ 116.584,89
40	192,6	119,4	180,6	192,6	7	2	3	365	25915,26	R\$ 10.196,28
									Total	R\$ 238.737,57

Fonte: Os Autores (2019).

Nota-se que as luminárias com potência média de 44,34W não foram aplicadas a dimerização, pois estas luminárias são utilizadas em vias classificadas como V4 e V5, vias essas que já possuem como características o baixo fluxo de veículos e pedestres exigindo assim níveis mínimos de iluminância a fim de garantir a segurança dos usuários e, nesse caso, há a necessidade de um estudo detalhado em cada via afim de averiguar a possibilidade de aplicar a dimerização, sem comprometer a segurança dos usuários. Além disso, nesse modelo de luminária utilizado não era possível a aplicação da dimerização.

Na Tabela 22 é feita a comparação do consumo do sistema atual com o consumo calculado do sistema dimerizado, gerando uma economia de 16,8% ao ano por meio da aplicação da dimerização.

Tabela 22 - Comparação do consumo de energia

	Energia consumida por ano kW/h	R\$
Sistema normal	729872,469	R\$ 287.166,13
Sistema com dimerização	606784,5813	R\$ 238.737,57
<b>Economia por ano</b>	<b>123087,8877</b>	<b>R\$ 48.428,56</b>

Fonte: Os Autores (2019).

### 3.4 MEDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA PONTO A PONTO

Segundo a Resolução ANEEL nº 414, de 2010, a base de cálculo para encargo com iluminação pública em vigor é especificamente 11 h e 52 min, considerando o ano todo, determinada com parâmetro na média anual de horas entre o pôr e o nascer do sol, ou seja, o período estimado desde o momento em que o sol se põe no plano do horizonte até o momento em que ele nasce.

Contudo, a duração de uma noite dependerá, exclusivamente, da época do ano e da localidade, especificada pela longitude e latitude geográficas e pela altitude. Nesses casos, há noites maiores e noites menores, acarretando diretamente no tempo de funcionamento do sistema de iluminação pública

A base de cálculo atual também não considera o período crepuscular, quando há luz no céu, apesar de o Sol encontrar-se abaixo da linha do horizonte. De fato, a consideração da luz crepuscular pode contribuir para a redução do tempo determinado para a utilização da iluminação pública. Todavia, para tanto, é preciso o conhecimento desse fenômeno e sua quantificação, de forma a possibilitar a correta previsão dos tempos de acionamento de iluminação pública (FERREIRA; SOUZA, 2013).

Para um sistema de faturamento do consumo de energia elétrica de forma precisa e, nesse caso, justa, temos a possibilidade de instalação de sistemas de telegestão, que, além de realizarem a medição real de consumo da luminária em tempo real, permitem também a sua dimerização – conforme proposta deste trabalho para maior efficientização do sistema de iluminação pública.

### 3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Por meio da análise econômica foi possível avaliar o potencial de conservação da energia elétrica. Com isso, foi possível determinar se a economia proposta cobrirá o investimento para a instalação de sistema de telegestão exclusivamente para fins de dimerização das luminárias, a fim de diminuir gastos com fatura de energia elétrica.

Para validar a viabilidade deste projeto foram utilizados os seguintes métodos:

- Método do valor presente líquido;
- Método da taxa interna de retorno;
- *Payback* simples.

Os métodos apresentados têm como base o manual Elektro de Eficiência Energética. Para os cálculos, foi considerada como taxa de juros a Taxa Selic ou Taxa Básica de Juros que, de acordo com a Receita Federal, corresponde à taxa equivalente do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) para títulos federais. Atualmente, a taxa Selic para o ano de 2019, conforme o Banco Central do Brasil, equivale a 5,5%.

### 3.5.1 Proposta para sistema de telegestão

Não é intuito aqui a comparação de qualidade entre os sistemas de telegestão disponíveis no Brasil. Portanto, para este trabalho os fornecedores foram classificados como sendo: Fornecedor A e Fornecedor B.

Com o objetivo de obter resultados mais próximos da realidade, os orçamentos foram realizados com fornecedores reais, para o sistema de iluminação pública estudado neste trabalho, levando em consideração as características montanhosas da região, fato esse que elevou os valores para o sistema de telegestão. Foi orçado o sistema de telegestão para os 2.255 pontos modernizados por meio programa PEE “Cidade + Eficiente – Iluminação Pública Santo Amaro da Imperatriz (EE-047/2018)”.

Na Tabela 23 são descritos os valores obtidos para a implantação de um sistema de telegestão para os 2.255 pontos de iluminação pública modernizados com a instalação de luminárias equipadas com a tecnologia LED.

Tabela 23 - Orçamento do sistema de telegestão

Orçamento Sistema de Telegestão	
Fornecedor A	R\$ 1.026.181,00
Fornecedor B	R\$ 1.310.620,00

Fonte: Os Autores (2019).

Atualmente, não há norma específica para os controladores de telegestão ou simplesmente relés de telegestão. Nesse caso, foi considerado para este trabalho que a vida útil do relé de telegestão é igual ao do relé convencional, descrito no item 2.4.4 deste trabalho.

Conforme determina a NBR 5123 (2016), os relés devem ser capazes de operar 5.000 vezes a carga nominal sem sofrer alterações de suas características. Considera-se uma operação a cada ciclo completo de abertura e fechamento do contato. Nesse caso, dividindo o número de operações mínimas por 365 dias, chega-se a uma vida útil de 13,7 anos. Porém, foram consideradas condições ideais de funcionamento nas quais o relé faça apenas uma operação por dia.

Para este trabalho, foi considerado 75% da idealidade como o tempo de vida útil do relé, ou seja, foi considerado para os cálculos de *Payback* que o relé de telegestão possua uma vida útil de 10 anos.

Nesse orçamento também não foram discutidos métodos de negociação e pagamento do sistema de telegestão.

### 3.5.2 Método do valor presente líquido

O método do Valor Presente Líquido (VPL) avalia a viabilidade de projetos, transferindo para o momento presente todas as variações esperadas no caixa, em seu período de desenvolvimento, descontando a taxa mínima de atratividade. Trata-se de uma metodologia que transfere para a data zero todos os custos e despesas esperados em um novo projeto, com desconto da taxa de juros à qual é direcionado.

O VLP é obtido a partir da Equação 12:

$$VPL = -I + A * FVP(i, n) \quad (12)$$

Em que:

I = Investimento de capital;

A = Custo evitado / benefício auferido;

FVP (i,n) = Fator de Valor Presente.

O Fator de Valor Presente (FVP) transporta para zero o valor futuro do capital deste investimento, levando em consideração a taxa de juros sobre o período de aplicação.

O FVP é obtido a partir da Equação 13:

$$FVP(i, n) = \frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n} \quad (13)$$

Em que:

i = Taxa de juros;

n = número de períodos (em meses, semestre, anos etc.).

O valor final para o VPL pode resultar em três situações de análise diferentes:

- a) Valor de VPL maior que zero. Isso indica que o projeto pode ser aceito, pois haverá retorno sobre o investimento.

- b) Valor de VPL igual a zero. Nesse caso, haverá somente a modernização do sistema. Não haverá retorno sobre o investimento, como também não há despesas extras sobre o capital investido.
- c) Valor de VPL menor que zero. O projeto deve ser rejeitado, pois ao longo do tempo os custos serão maiores com o novo sistema proposto.

Utilizando o valor do menor orçamento como investimento inicial, R\$ 1.026.181,00, com a taxa de juros de 5,05% ao ano no período de 10 anos (vida útil dos relés), é evitado o custo de R\$ 48.428,56 anuais, resultando em um VPL igual a -661.145,89. Analisando esse resultado, chega-se à conclusão de que o projeto não é viável economicamente, segundo o método do valor presente líquido, pois os custos serão maiores que os retornos.

### 3.5.3 Método da Taxa Interna de Retorno

A Taxa Interna de Retorno (TIR) corresponde à taxa de juros que torna equivalentes as receitas de um projeto com o seu investimento, ou seja, a taxa de juros que torna nulo o Valor Presente Líquido do projeto. Corresponde, então, à taxa de remuneração do capital investido num projeto. Para determinar tal taxa, deve-se aplicar a Equação 14.

$$TIR = \frac{A}{I} \quad (14)$$

Em que:

I = Investimento de capital;

A = Custo evitado / benefício auferido;

Analisando o valor obtido, a TIR deve ser maior que a taxa mínima de atratividade. Para este trabalho foi considerado como taxa mínima de atratividade a taxa Selic para o ano de 2019, no valor de 5,5% ao ano. Se for menor, o projeto deve ser desconsiderado. O valor obtido também pode ser expresso como uma Relação Custo-Benefício (RCB). Para os procedimentos do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, aplica-se o RCB como critério de viabilidade e define-se que este deve ser inferior ou igual a 0,8 para tornar o projeto atrativo.

Neste estudo de caso o investimento inicial é de R\$ 1.026.181,00 para um retorno anual no valor de R\$ 48.428,56. Aplicando esses valores à Equação 14, obtém-se uma TIR igual a 0,047 (4,7%) e, nesse caso, o valor está abaixo da taxa mínima de atratividade (Taxa Selic), não atendendo à Relação Custo-Benefício.

### 3.5.4 *Payback* Simples

O *Payback* Simples (PBS) compreende o método destinado para avaliação do tempo de retorno de investimento. A partir deste, determina-se o prazo necessário para recuperar o capital investido.

Deve-se considerar que se aplica este método apenas para projetos que não possuem variação do fluxo de caixa, ou seja, projetos com retornos periódicos do investimento não variáveis.

Esse método não deve ser aplicado como parâmetro de seleção entre alternativas diferentes. Para a obtenção do PBS, aplica-se a Equação 15.

$$PBS = \frac{I}{A} \quad (15)$$

Em que:

I = Investimento de capital;

A = Custo evitado / benefício auferido;

Considerando o investimento inicial de R\$ 1.026.181,00 para a implantação do sistema de telegestão e o retorno anual de aproximadamente R\$ 48.428,56 ao ano, o capital investido será restituído ao município em um período de 21,2 anos, ou seja, ao final de 21,2 anos todo o valor aplicado será reembolsado em forma de economia de energia.

Neste cenário de estudo, visto que a vida útil dos relés do sistema de telegestão é de 10 anos, o projeto proposto não se torna viável economicamente.

### 3.5.5 Investimento inicial máximo

Por meio da aplicação dos métodos do Valor Presente Líquido (VPL), pelo método de *PayBack* Simples (PBS) e pelo método da taxa interna de retorno (TIR), que o projeto

proposto não é viável economicamente, devido ao alto investimento inicial para a instalação do sistema de telegestão.

Com a utilização do método do Valor Presente Líquido (VPL) foi determinado qual o valor máximo de investimento inicial, ou seja, o valor máximo a ser pago para implantação do sistema de telegestão para que o projeto se torne viável economicamente.

Dessa forma, aplica-se ao cálculo o valor de VPL nulo para determinarmos o valor investido total (A), utilizando o custo evitado de R\$ 48.428,56 anuais e a taxa de juros de 5,5% ao ano, no período de 10 anos (vida útil dos equipamentos). O valor final, que determina o preço máximo a ser pago pelo sistema de telegestão, para que o projeto se torne viável economicamente, resulta em R\$ 365.035,11.

No cenário de estudo em que se aplica o método da taxa interna de retorno (TIR), com o investimento de R\$ 365.035,11 e custo evitado de R\$ 48.428,56 anuais, obtendo, assim, uma TIR de 0,132 ou 13,2%, o projeto se torna viável.

Aplicando também ao método de *Payback* Simples (PBS), chega-se ao valor de 7,53, ou seja, ao final de 7,53 anos todo o valor aplicado será reembolsado em forma de economia de energia. Nesse cenário, o projeto é considerado viável, visto que o sistema de telegestão possui uma vida útil de 10 anos.

### 3.6 RESUMO DE CONCLUSÕES

Através dos métodos de viabilidade econômica utilizado, Tabela 24, conclui-se que o sistema de telegestão, com uso exclusivo para aplicar a dimerização nas luminárias LED, a ser instalado no município de Santo Amaro da Imperatriz, com base no projeto PEE, não é viável devido ao seu alto custo de investimento inicial.

Tabela 24 - Demonstrativo sistema Calculado vs Sistema Ideal

SISTEMA CALCULADO						
Valor do Sistema	Taxa de Atratividade	(TIR)	Vida Útil do sistema	Economia Anual	Payback Simples	VPL
R\$ 1.026.181,00	5,50%	4,70%	10 Anos	R\$ 48.428,56	21,2 Anos	-R\$ 661.145,89

Fonte: Os Autores (2019).

Na Tabela 25, é apresentado o resumo para que o sistema se torne viável.

Tabela 25 - Resumo para a viabilidade do sistema

<b>INVESTIMENTO INICIAL MÁXIMO PARA VIABILIDADE DO PROJETO</b>					
<b>Valor Máximo do Sistema</b>	<b>Taxa de atratividade</b>	<b>TIR</b>	<b>Vida Útil do sistema</b>	<b>Economia Anual</b>	<b>Payback Simples</b>
R\$ 365.035,11	5,50%	13,20%	10 Anos	R\$ 48.428,56	7,532 Anos

Fonte: Os Autores (2019).

## 4 CONCLUSÃO

Nos dias atuais, é nítido o esforço governamental para o desenvolvimento de ações que tornem produtos mais eficientes, independentemente do setor. Uma evolução lenta, mas que ocorre de forma gradativa.

Além de gerar impactos econômicos, as soluções de projetos eficientes vêm colaborando para o desenvolvimento sustentável da sociedade em geral, reunindo, dessa forma, interesses mútuos entre economia e sociedade.

No setor de iluminação pública, nota-se que as soluções de eficiência energética proporcionadas por investimentos governamentais vêm fornecendo retorno positivo, sendo fundamentais no crescimento dos municípios em geral.

Os resultados apresentados pelo Procel para o ano de 2015, por exemplo, com o programa Procel Reluz, mostram que houve uma redução de 120 GWh no consumo de energia e 27 MW de redução da demanda no horário de ponta somente com a iluminação pública. Essa redução de consumo resulta na modernização de pontos de iluminação.

Além do programa Procel Reluz, que impacta diretamente nesse setor, as ações da ANEEL com o PROPEE, o desenvolvimento e atualização de normas técnicas específicas para a iluminação e a implantação das gestões energéticas municipais, contribuem com parcelas significativas no desenvolvimento eficiente da iluminação pública.

Para os projetos de efficientização da iluminação, as soluções aplicadas focam principalmente na substituição de lâmpadas a vapor de sódio a alta e baixa pressão, lâmpadas a vapor metálico e lâmpadas a vapor de mercúrio por tecnologias mais eficientes, como, por exemplo, a utilização de luminárias LED, as quais já são conhecidas por sua eficiência pela sociedade em geral.

Atualmente, a tecnologia LED se fortalece na iluminação em geral. É possível notar a sua aplicação desde a iluminação residencial à iluminação pública e sinalização. Além de ter como promessa a economia de energia, há outros benefícios destacáveis, como: vida útil elevada, IRC elevado, não emissão de raios ultravioleta e infravermelho, alta eficiência etc.

Durante o desenvolvimento da pesquisa percebeu-se que, apesar da hipótese de dimerização ser viável em um primeiro momento, visto que a após a dimerização a luminária continuou a atender aos requisitos da via, tal configuração não é regulamentada nas normas vigentes para o setor, tão pouco se achou material de confiança que abordasse o tema.

Outro ponto destacável é a necessidade de grandes estudos para a normatização deste método, visto que em diversas vias brasileiras ocorrem festas regionais e, nesses casos, o

método de dimerização não poderia ser fixo, tendo a necessidade de ser ajustável via *software*, como em sistemas de telegestão (abordados neste trabalho) ou através de outros métodos inovadores, com a utilização de sensores capazes de determinar o fluxo de veículos e pedestres na via em tempo real, por exemplo.

Observa-se atualmente um mercado em expansão, no qual se busca cada vez mais por tecnologias e métodos inovadores para a efficientização energética. Há atualmente no mercado diversas empresas fornecendo sistemas de telegestão que prometem o controle total do parque de iluminação pública, como o georreferenciamento das luminárias, a dimerização, o controle de consumo de energia do ponto, o controle da qualidade da energia fornecida e o controle sobre o funcionamento do equipamento, podendo, assim, haver uma antecipação a futuros problemas de queima, por exemplo – tudo isso em tempo real. Nesse cenário, o gestor do parque tem total acesso a todos esses dados, podendo, assim, programar manutenções preventivas e/ou corretivas.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, percebeu-se uma falta de estudos mais complexos sobre o funcionamento dos relés de telegestão nas luminárias LED quanto à aplicação da dimerização. Neste trabalho foi realizada a comparação entre dois fabricantes diferentes e se percebeu que quando aplicada a dimerização na luminária, os resultados finais foram distintos. Assim, percebeu-se uma necessidade de padronização no processo de dimerização das luminárias e na fabricação do sistema de telegestão, para haver uma maior compatibilidade entre os equipamentos a fim de que o resultado final, o resultado medido, estivesse o mais próximo do valor teórico.

Outro fator relevante quanto ao sistema de telegestão é seu alto custo para aplicação. Nos orçamentos realizados, o menor valor pago por ponto foi de R\$ 455,07. Tal custo se explica pelo fato de que esses sistemas estão em fase de desenvolvimento e consolidação no mercado. Esse valor acaba afetando diretamente o interesse do consumidor pela compra do sistema.

Ao fim deste trabalho, devido ao alto custo do sistema de telegestão chegou-se à conclusão de que a aplicação da dimerização é válida, caso seja permitido reclassificar as vias em horários em que o fluxo de veículos e pedestres é menor. Porém, economicamente se torna inviável devido ao longo tempo de *Payback*, ultrapassando o tempo de vida útil dos equipamentos de telegestão, peça essencial para a aplicação da dimerização.

Diante desse cenário, conclui-se que investir em projetos de iluminação pública de forma parcial, elaborando isoladamente o projeto, o resultado final, pode não ser viável economicamente devido ao alto preço a ser pago pelo sistema de telegestão. Contudo,

aumentando o potencial de economia para projetos de maior extensão, junto à elaboração de um plano de compra, pode-se chegar à viabilidade econômica, tendo em vista que há uma consistente promessa de economia de energia.

Contudo, a utilização de sistemas de telegestão não está limitada exclusivamente à dimerização de luminárias. Como já citado, um dos maiores pontos desse sistema é o poder de ter a medição de consumo de energia real de cada luminária, diferentemente do que é praticado na atualidade. Assim, sendo faturado apenas o consumo de energia real do sistema de iluminação pública, o estudo mostrou-se complexo, visto que no Brasil ainda não há regulamentação para tal.

#### 4.1 SUGESTÃO PARA NOVOS TRABALHOS

- a) Estudo do comportamento da vida útil da luminária com a utilização de dimerização.
- b) Desenvolvimento de pesquisa para a padronização dos sistemas de telegestão.
- c) Desenvolvimento de pesquisa para a padronização dos métodos de dimerização de luminárias LED.

## REFERÊNCIAS

- ABRASI. **Iluminação Urbana**. Disponível em: <http://www.abrasi.org.br/index>. Acesso em: 06 abr. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf?>. Acesso em: 08 abr. 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA / PROCEDIMENTOS DO PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – ANEEL PROPEE. **Módulo 1 – Introdução**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica>. Acesso em: 25 maio 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101 – Iluminação Pública – Procedimentos**. Rio de Janeiro, 2018. Acesso em: 28 de abril de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5461 – Iluminação**. Rio de Janeiro, 1991. Acesso em: 28 de abril de 2019.
- BELLER, C. S. *et al.* **Alternativa de Conservação de Energia em Iluminação Pública e Áreas de Uso Comum**. 2001. 140 f. Monografia – Centro Federal de Educação Tecnológica, Paraná, 2001.
- BRASIL. [Constituição (1998)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicaocompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm). Acesso em: 06 abr. 2019.
- CARVALHO, L. **História da Iluminação Pública no Brasil**. [2019]. Disponível em: <https://escolakids.uol.com.br/historia/historia-da-iluminacao-publica-no-brasil.htm>. Acesso em: 20 abr. 2019.
- CELESC. **Programa de Eficiência Energética**. 2019. Disponível em: <http://site.celesc.com.br/peecelesc/>. Acesso em: 06 abr. 2019.
- CELESC. **Norma Técnica E-33.0044 – CELESC D – Iluminação Pública**. Acesso em: 05 maio 2019.
- CHAGAS, C. **Como é possível enxergar**. 2012. Disponível em: <http://cadernosdefisicadononoanomiraflores.blogspot.com/2012/11/como-e-possivel-enxergarmos.html>. Acesso em: 05 maio 2019.
- CONSAB. Saneamento Ambiental Consorcio Intermunicipal. **Iluminação Pública**. 2019. Disponível em: <https://www.consabambiental.com.br/iluminacao-publica/>. Acesso em: 05 maio 2019.
- COPEL. Companhia Paraense de Energia. **Manual de Iluminação Pública**. Versão 2012. 2012. Disponível em: <https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%E7%E3o%20P%FAblica/Manuai>

s/manual\_de\_iluminacao\_publica\_copel\_companhia\_paraense\_de\_energia.pdf. Acesso em: 20 abr. 2019.

COPEL. Companhia Paraense de Energia. **Manual de Iluminação Pública**. Versão 2018. 2018. 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: 20 abr. 2019.

COPEL. Companhia Paraense de Energia. **Tipos de Lâmpadas**. 2016. Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F423c114f77e78e81032573f7004b2e92>. Acesso em: 27 abr. 2019.

DMESG. Soluções em TI. **Entendendo e corrigindo o fator de potência**. 2016. Disponível em: <https://www.dmesg.com.br/fator-de-potencia/>. Acesso em: 19 maio 2019.

ELEKTRO. Manuais Elektro de Eficiência Energética. 2019. Disponível em: <https://www.elektro.com.br/>. Acesso em: 05 out. 2019.

EMPALUX. **Informações Luminotécnicas**. 2019. Disponível em: <http://www.empalux.com.br/?a1=1>. Acesso em: 05 maio 2019.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo de Energia Elétrica por Classe (Nacional)**. 2019. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-\(nacional\)](http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica/consumo-anual-de-energia-eletrica-por-classe-(nacional)). Acesso em: 06 abr. 2019.

FOCUS. Escola de Fotografia. **Equilíbrio de Branco e a Cor da Luz**. Disponível em: <https://focusfoto.com.br/equilibrio-de-branco-e-cor-da-luz/>. Acesso em: 05 maio 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008, 176 p.

GRANDA, A. **Eletróbrás vai investir R\$ 30 Milhões em iluminação pública eficiente**. 2019. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2019-06/eletrabras-vai-investir-r-30-milhoes-em-iluminacao-publica-eficiente>. Acesso em: 16 ago. 2019.

IBD. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento. **Modernização, otimização, expansão, operação e manutenção da infraestrutura de iluminação pública do município de Governador Celso Ramos / SC**. 2017. 68 f. – Estudo de Viabilidade Técnico Econômica. Curitiba, 2017.

INMETRO. **Portaria INMETRO nº 20/2017 – Regulamento Técnico da Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária**. 2017. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002452.pdf>. Acesso em: 25 maio 2019.

INMETRO. **Portaria INMETRO nº 454/2010 – Procedimento de Fiscalização**. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/fiscalizacao/treinamento/reator\\_lampadas.pdf](http://www.inmetro.gov.br/fiscalizacao/treinamento/reator_lampadas.pdf). Acesso em: 25 maio 2019.

LEDSTAR. **Catálogo: Telegestão de Iluminação Pública**. São Paulo, 2018. Acesso em: 26 maio 2019.

MAMEDE FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais**. 6. ed. São Paulo: LTC, 2017.

MELO, A. L. **A História da Iluminação Pública Brasileira**. 2019. Disponível em: <https://www.estudokids.com.br/a-historia-da-iluminacao-publica-brasileira/>. Acesso em: 20 abr. 2019.

NASCIMENTO, A. **Análise do uso da tecnologia LED na iluminação pública**: Estudo das perspectivas de aplicação na cidade de São Paulo. 2012. 206 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do ABC. São Paulo, 2012.

PHILIPS. **Luminárias Outdoor / Iluminação Pública**. Disponível em: [https://protect.eng.br/wp-content/uploads/2019/02/PHILIPS\\_Catalogo-Luminarias-Outdoor.pdf](https://protect.eng.br/wp-content/uploads/2019/02/PHILIPS_Catalogo-Luminarias-Outdoor.pdf). Acesso em: 26 maio 2019.

PORTAL FEDERATIVO. **A iluminação pública é obrigação dos municípios**. Disponível em: <http://www.portalfederativo.gov.br/noticias/destaques/a-iluminacao-publica-e-obrigacao-dos-municipios>. Acesso em: 20 abr. 2019.

PROCEL. **Manual de iluminação pública**. 2011. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO+-+PROCEL\\_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-54b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/MANUAL+DE+ILUMINACAO+-+PROCEL_EPP+-AGOSTO+2011.pdf/d42d2f36-0b90-4fe0-805f-54b862c9692c;jsessionid=A7AE9AD7FFE410D97E371853D50763B0.srv154). Acesso em: 20 abr. 2019.

PROCEL RELUZ. **Relatório de Resultados do Procel 2018 – Ano-base 2017**. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B5A08CAF0-06D1-4FFE-B335-95D83F8DFB98%7D&Team=&params=itemID=%7B7F74A07B-4402-45EB-82EA-142111AD95A4%7D;&UIPartUID=%7B05734935-6950-4E3F-A182-629352E9EB18%7D>. Acesso em: 06 abr. 2019.

RODRIGUES, F. **Eficiência Energética Aplicada em Sistemas de Iluminação Pública**: Estudo de Caso na Cidade de Garopaba – SC. 2017. 74 f. Monografia – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017.

SANTANA, R. M. B. **Iluminação Pública**: Uma abordagem Gerencial. 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Regulação da Indústria de Energia (MRIE), Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade de Salvador (UNIFACS), Salvador, 2010.

SILVA, L. L. F da. **Iluminação pública no Brasil**: Aspectos Energéticos e Institucionais. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

VASCONCELLOS, L.; LIMBERGER, M. **Iluminação Eficiente**: Iniciativas da Eletrobras, Procel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras/Procel, 2013.

**ANEXOS**

## ANEXO A – RESUMO CIDADE + EFICIENTE



## RESUMO - CIDADE + EFICIENTE - ILUMINAÇÃO PÚBLICA SANTO AMARO DA IMPERATRIZ (EE-047/2018)

1	Distribuidora	Celesc Distribuição S. A.									
2	Projeto no										
3	Tipo	ILUMINAÇÃO PÚBLICA									
4	Data	março.2018						LED 80W LED 80W LED 80W			
5	Tecnologias usadas	LED 40W	LED 40W	LED 80W	LED 200W	LED 40W	LED 40W	LED 40W	4	3	111
6	Unidades atendidas	399	743	117	11	39	8	11			
7	Consumidores beneficiados										
8	Economia energia	1231	MWh/ano								
9	Redução de demanda na ponta	281	kW								
10	Economia monetária (ótica do sistema)	786.799,86	R\$/ano								
11	Economia monetária (ótica do consumidor)	1.185.296,57	R\$/ano								
12	Investimento total	1.752.985,52	R\$								
13	Investimento total (PEE)	1.553.156,27	R\$ 89%								
14	RCB	Investimento total		Investimento PEE							
	Sistema	0,35	0,31								
	Consumidor	0,23	0,21								
15	Custo da energia evitada	Investimento total		Investimento PEE							
	Energia evitada	167,09	147,99		R\$/MWh						
	Demanda reduzida na ponta	245,14	217,11		R\$/kW						

## ANEXO B – FICHA DE LEVANTAMENTO LUMINOTÉCNICO

### FICHA DE LEVANTAMENTO LUMINOTÉCNICO DE SANTO AMARO DA IMPERATRIZ

DIMERIZAÇÃO:

Logradouro:

Tipo:

Condições do tempo:

Luminária: Tipo:      
 Modelo:   
 Altura de montagem (m):

Lâmpada: Tipo:      
 Potência (W):

Braço: Tamanho (m):

Postes: Distância entre os postes (m):   
 Poste 1 na altura do nº:  Plaqueta   
 Poste 2 na altura do nº:  Plaqueta

Poste 1

Poste 2

	Poste 1		Poste 2		Poste 1		Poste 2		
x	43,50	x	30,50	x	18,20	x	30,00	x	54,50
x	57,80	x	40,00	x	24,70	x	38,40	x	65,50
x	56,40	x	42,50	x	28,30	x	40,10	x	63,30
								Faixa 1	4,1
								Larg. Total	8,2
x	52,30	x	40,40	x	28,30	x	40,00	x	61,00
x	45,50	x	37,90	x	26,80	x	37,90	x	54,10
x	37,30	x	34,20	x	26,50	x	35,00	x	44,00
								Faixa 2	4,1

Lux      Lux

**Observações:**

Especificações conforme

Norma 5101:

Via: **V2**

Emed, min = **30Lux**

U = **0,30**

Executado por:  Visto:  Data: