



INSTITUTO FEDERAL DA PARAÍBA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MARCOS HENRIQUE MOZZINI

A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL: HISTÓRIA, DESAFIOS E
POSSIBILIDADES

João Pessoa- PB
2022

MARCOS HENRIQUE MOZZINI

**A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL: HISTÓRIA, DESAFIOS E
POSSIBILIDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, no Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica. Orientador: Prof. Dr. Alan Melo Nobrega, D. Sc.

João Pessoa - PB
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

M939i Mozzini, Marcos Henrique.

A iluminação pública no Brasil : história, desafios e possibilidades / Marcos Henrique Mozzini. – 2022.

56 f. : il.

TCC (Graduação - Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação da Paraíba / Unidade Acadêmica de Processos Industriais, 2022.

Orientação : Prof^o D.r Alan Melo Nóbrega.

1. Iluminação pública. 2. Tecnologia LED. 3. Engenharia da iluminação. 4. Luminotécnica. 5. Eficiência energética. I. Título.

CDU 628.9(81)(043)

Lucrecia Camilo de Lima
Bibliotecária - CRB 15/132

MARCOS HENRIQUE MOZZINI

**A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL: HISTÓRIA, DESAFIOS E
POSSIBILIDADES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, no Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Elétrica, como parte dos requisitos necessários para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Trabalho defendido e aprovado em 22 / 12 / 2022 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 ALAN MELO NOBREGA
Data: 14/03/2023 21:01:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Alan Melo Nobrega.

Orientador, IFPB
Documento assinado digitalmente
 WALMERAN JOSE TRINDADE JUNIOR
Data: 14/03/2023 15:12:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Walmeran José Trindade Junior.
Examinador, IFPB

Documento assinado digitalmente
 FRANKLIN MARTINS PEREIRA PAMPLONA
Data: 14/03/2023 14:58:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Franklin Martins Pereira Pamplona.
Examinador, IFPB

João Pessoa - PB

2022

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e amigos por todo apoio, e a todos os professores e colaboradores do IFPB que me acompanharam nesta jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a minha família pelo constante apoio em todos esses anos de academia e por acreditar em meu potencial.

À minha filha, Évora, motivação para que eu possa superar todos os desafios que venho enfrentando recentemente.

Ao Instituto Federal da Paraíba que me recebeu, acolheu, apoiou, mostrou-me que era possível eu ser mais e maior durante minha jornada acadêmica, tornando o processo de aprendizado leve e gratificante.

Aos professores, por sempre terem acreditado que a educação é veículo de mudanças no nosso país e pela excelente qualidade do ensino que proporcionam aos discentes.

Aos meus amigos e colegas por todo companheirismo durante o curso, em especial a Alan Pablo, Bruno Araújo, Matheus (*in memoriam*), Anamaria, Dalva, Isa Natália e Duda, que estiveram mais presentes nos momentos difíceis, além dos honoráveis, Marcos Fadanelli Ramos, Marcos Espinola e Rosângela Vilar, por terem dado a mão quando mais precisei.

Ao professor e orientador Dr. Alan Melo pela atenção que me dedicou, sempre me ouvindo e apoiando, mesmo durante as dificuldades, pois me guiou com sabedoria.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para
recomeçar com mais inteligência.”

Henry Ford

RESUMO

A iluminação pública contempla equipamentos e serviços que garantem, especialmente no período noturno, mas também em dias de pouca claridade, um sentimento de segurança e de bem-estar para a sociedade como um todo, assim como mobilidade para pedestres, fluidez para o trânsito, organização na ocupação das vias públicas, assegurando também o próspero funcionamento das atividades comerciais, industriais, turísticas e de lazer. Sendo assim, este trabalho tem como propósito demonstrar a importância da iluminação pública no Brasil, trazendo a evolução de tecnologias utilizadas, como também de componentes da iluminação pública, além de desafios e tendências para o futuro. Esses temas foram explicitados incorporando outros, de caráter mais técnico, que vão desde disposição de lâmpadas e luminárias bem como regulamentação e normalização, estudo tarifário, entre outros. Para tanto, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, tornando possível abordar a evolução da iluminação pública no Brasil e no mundo, bem como o panorama atual do Brasil em relação ao tema. Também é enfatizada a importância da iluminação pública em seu contexto histórico, servindo como veículo de desenvolvimento da sociedade e como promotora da segurança pública. Adicionalmente, a pesquisa bibliográfica permitiu demonstrar a importância da evolução de tecnologias em iluminação pública para a humanidade, contribuindo com soluções energéticas cada vez mais eficientes para os contextos desafiadores, que podem ser identificados neste mundo complexo, ambíguo e com taxas de mudança tecnológica cada vez maiores.

Palavras-chave: Iluminação Pública; Tecnologia LED; Soluções Energéticas.

ABSTRACT

Public lighting includes equipments and services that guarantee, especially at night but also on days of low light, a feeling of security for society, for pedestrians and for traffic, in the occupation of public places, also ensuring commercial and tourist activities. This work aims to demonstrate the importance of public lighting in Brazil, bringing the evolution of technologies, components of public lighting for Brazilian and challenges and trends for the future. These themes were explained, incorporating others of a more technical nature, ranging from the arrangement of lamps and luminaires as well as regulation and standardization, among others. Therefore, a bibliographic research of publications that touch the theme was carried out, in order to make it possible to approach this history of public lighting in Brazil and in the world and the current panorama of Brazil in the subject. It also emphasizes the importance of public lighting in its historical context, serving as a vehicle for the development of society and public safety. This bibliographic research allowed to demonstrate the importance of the evolution of technologies for humanity, contributing to have increasingly efficient energy solutions for the challenging contexts that we see in this volatile, uncertain, complex and ambiguous world.

Keywords: Public Lighting; LED technology; Energy Solutions.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Gráfico de Evolução de Pontos de Iluminação Pública a Gás e Elétrica.....	17
Figura 2 - Temperatura de cor correlata	25
Figura 3- Eficiência luminosa de lâmpadas de IP	26
Figura 4 - Vida útil e vida mediana de lâmpadas de IP, em horas.	27
Figura 5 - Configurações típicas de instalação de um ponto de iluminação pública: (a) reator externo e (b) reator integrado a luminária	28
Figura 6 - Gráfico dos tipos de lâmpadas instaladas na iluminação pública no Brasil, 2012.	32
Figura 7 - Diagrama de uma lâmpada mista.	32
Figura 8 - Lâmpada a vapor de mercúrio.....	33
Figura 9 - Lâmpada a vapor de sódio.	34
Figura 10 - Iluminação Pública em Lâmpadas Vapor de Sódio nas imediações do Parque Parahyba I.....	35
Figura 11 - Lâmpadas a vapor metálico.	35
Figura 12 - Lâmpada LED para iluminação pública	36
Figura 13- Iluminação Pública em LED no Parque Parahyba I, em João Pessoa - PB	37
Figura 14 - Esquema de ligação do relé fotoelétrico	41

LISTA DE GRÁFICO

Tabela 1- Consumo e número de consumidores.....	14
Tabela 2 - Evolução das Lâmpadas	18
Tabela 3 - Tráfego noturno de veículos por hora	23
Tabela 4 - Tráfego de pedestres	23
Tabela 5- Tabela comparativa entre lâmpadas de IP	43
Tabela 6 - Levantamento dos pontos de IP no Brasil	44
Tabela 7 - Tabela de projeção de atualização do sistema de IP no Brasil	45
Tabela 8 - Indicador Geral de Lâmpadas.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IESNA	<i>Illuminating Engineering Society</i>
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Reprodução de Cores
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
LDR	<i>Light Dependent Resistor</i>
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PL	Projeto de Lei
RN	Resolução Normativa
TCC	Temperatura de Cor Correlata
THD	Distorção Harmônica Total

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 METODOLOGIA.....	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. ORIGEM DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	16
2.1 ORIGEM DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA no Brasil	17
3. CONCEITO DE VIAS PÚBLICAS	20
3.1. A NBR 5101/2018	20
3.1.1 Classificação de vias públicas	20
3.1.1.1 Classificação de Vias Urbanas.....	21
3.1.1.1.1. Via de trânsito rápido	21
3.1.1.1.2. Via arterial	21
3.1.1.1.3. Via coletora.....	21
3.1.1.1.4. Via local.....	22
3.1.1.2. Classificação de vias rurais.....	22
3.1.1.2.1. Rodovias	22
3.1.1.2.2 Estradas.....	22
3.1.1.3. Classificação do volume do tráfego em vias públicas.....	22
4. COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	24
4.1 CONCEITOS BÁSICOS DE LUMINOTÉCNICA	24
4.1.1 Fluxo luminoso	24
4.1.2 Iluminância	24
4.1.3 Temperatura de Cor Correlata (TCC).....	25
4.1.4 Índice de Reprodução de Cor (IRC ou CRI)	25
4.1.5 Eficiência luminosa	25
4.1.6 A vida útil e vida mediana	26
4.2 Postes e luminárias	27
4.2.1 Conceitos obsoletos	30
4.2.2 Conceitos eficientes	30
4.3 LÂMPADAS	31
4.3.1 Lâmpadas mistas	32
4.3.2 Lâmpadas a vapor de mercúrio.....	33
4.3.3 Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão	34
4.3.4 Lâmpadas a vapor metálico	35

4.3.5 Diodos emissores de luz (LED).....	36
4.4 RELÉS FOTOELÉTRICOS	40
5. PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM IP	42
5.1 IP E EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA	42
5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE IP NO BRASIL	44
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	48
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

A iluminação artificial foi conquistada desde os primórdios da humanidade, quando a humanidade aprendeu a dominar o fogo e, a partir de então, acostumou-se a ter iluminação artificial noturna. A partir daí para manter-se acesa as chamas de iluminação por largos períodos de tempo, passou a se queimar óleos. Isso, por sua vez, ajudou a impulsionar um grande desenvolvimento nas civilizações.

A iluminação pública, compreendida também como um dos tipos de iluminação artificial, é constituída de materiais e de modelos variados que garantem a iluminação para a estrutura pública de uma sociedade, envolvendo uma melhor segurança e organização social dos indivíduos. Assim, a iluminação “acompanha a história da humanidade”, em que se inicia desde o fogo, passando pelos óleos combustíveis até os atuais componentes eletrônicos semicondutores, vulgo *LED Light Emitter Diode* (CASAGRANDE, 2020).

A energia elétrica é um insumo impactante nas contas municipais e varia conforme a contratação dos serviços das concessionárias. A iluminação pública de logradouros, dos centros urbanos e das periferias é um bem comum público, ou seja, é de interesse da população como um todo essa oferta de serviço. Assim sendo, a eficiência dos equipamentos utilizados para tal fim também compõe um interesse público e é nesta perspectiva que este texto se desenvolve.

A IP serve como importante instrumento de segurança pública e vetor de desenvolvimento de comunidades de renda inferior, as quais são as mais acometidas pela carência de infraestrutura urbana (FIDALGO, 2007). Por sua vez, a eficiência energética – fator preponderante na viabilização da IP – é essencial para atender demandas futuras de energia em contexto tanto nacional como também mundial, contribuindo para a segurança energética, assim como a competitividade como um todo da economia e a redução nos impactos causados ao meio ambiente, tal como a emissão de gases poluentes.

A IP é uma aplicação particular de iluminação artificial, com várias classificações, tais como urbana, rodoviária ou monumental. Dentro da categoria urbana, configura-se a iluminação de logradouros públicos, tais como ruas, avenidas, praças, jardins e outras vias públicas. Já a categoria rodoviária corresponde às estradas, sejam estas federais ou estaduais. Por fim, a categoria monumental abrange desde monumentos até pontos turísticos, fachadas de prédios e até pontes e viadutos, entre outros (CASAGRANDE, 2020).

Uma das principais motivações para o fomento de fontes de energia sustentáveis e uso eficiente de recursos é a minimização dos impactos causados pelo uso irracional de fontes

energéticas e a facilitação de acesso à energia elétrica em lugares remotos, que antes não contavam com esse serviço. Para relacionar eficiência energética e iluminação pública, pode-se atrelar dados analíticos de diversas variáveis que remetem a custo-benefício, tais como eficiência e fluxo luminoso, consumo energético e vida útil de cada equipamento. Neste sentido, é possível realizar análise comparativa de potência e de consumo de lâmpadas mais usadas, custos de aquisição, fonte de energia utilizada e luminosidade.

O aumento do consumo de energia representa economia aquecida e melhoria nos índices de qualidade de vida. Apesar disso e de melhorias advindas de tecnologias mais eficientes, ainda existem ditames legais que devem ser obedecidos e que podem representar algumas dificuldades para a implantação e expansão da IP. Como a prestação de serviço de iluminação pública é de responsabilidade dos municípios, atividades de implementação e manutenção devem ser executadas de forma direta por um ente público, conforme rege a Resolução Normativa 414/2010. Esta RN transferiu todos ativos de IP para a responsabilidade das prefeituras, sendo substituída em 2021 pela RN 1000/2021, que regulamentou a transferência destes ativos.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em sua RN 1000/2021, também atesta que a IP é o “serviço público que tem por objetivo prover claridade aos logradouros públicos, de forma periódica, contínua ou eventual”. Essa mesma resolução ainda esclarece o conceito de IP ao explicar que sua aplicação à “iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos e outros logradouros de domínio público, de uso comum e livre acesso” (ANEEL, 2021).

Segundo dados disponíveis no site da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a IP representou um total de 2,8% do consumo total de energia elétrica no país no ano de 2021, com um total de 14.034 GWh, com uma redução de 9,2% em relação ao ano anterior, de 2020 (EPE, 2022). Esses dados demonstram um investimento em eficiência energética e serão base de análise para este trabalho, como pode ser encontrado na Tabela 1.

Tabela 1- Consumo e número de consumidores.

BRASIL - Consumo e número de consumidores	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Δ% (2021/2020)	Part. % (2021)
Consumo (GWh)	448.126	463.143	474.823	465.708	461.780	467.161	475.764	482.527	476.569	497.503	4,4	100,0
Residencial	117.646	124.908	132.302	131.190	132.872	134.369	137.615	142.411	148.173	149.798	1,1	30,1
Industrial	183.425	184.685	179.106	169.289	165.314	167.398	170.066	167.701	166.452	180.366	8,4	36,3
Comercial	79.226	83.704	89.840	90.768	87.873	88.292	88.631	92.083	82.524	86.807	5,2	17,4
Rural	22.952	23.455	25.671	25.899	27.267	28.136	29.671	29.563	31.709	32.772	3,4	6,6
Poder Público	14.077	14.653	15.355	15.196	15.096	15.052	15.076	15.702	12.764	13.710	7,4	2,8
Iluminação Pública	12.916	13.512	14.043	15.333	15.035	15.443	15.690	15.845	15.463	14.034	-9,2	2,8
Serviço Público	14.525	14.847	15.242	14.730	14.969	15.196	15.778	15.964	16.345	16.668	2,0	3,4
Consumo Próprio	3.360	3.379	3.265	3.304	3.355	3.277	3.238	3.257	3.138	3.348	6,7	0,7
Consumidores (mil)	72.377	74.814	77.171	79.107	80.624	82.464	83.682	85.071	86.665	86.979	0,4	100,0
Residencial	61.697	63.862	66.007	67.746	69.277	70.907	72.081	73.380	74.808	75.232	0,6	86,5
Industrial	573	584	574	549	536	528	519	472	469	469	-0,2	0,5
Comercial	5.271	5.445	5.566	5.689	5.689	5.754	5.785	5.895	5.853	5.791	-1,1	6,7
Rural	4.129	4.200	4.279	4.366	4.365	4.499	4.520	4.528	4.715	4.421	-6,2	5,1
Poder Público	536	544	561	568	560	573	572	574	599	837	39,8	1,0
Iluminação Pública	83	87	88	93	96	99	97	105	98	103	5,5	0,1
Serviço Público	76	79	84	87	91	95	99	106	114	117	3,0	0,1
Consumo Próprio	12	12	14	10	9	9	9	10	10	10	1,1	0,0

Fonte: adaptado do Anuário da Empresa de Pesquisa Energética (2022).

A eficiência energética, seja no que tange a novos materiais ou a racionalização de recursos, nem sempre foi pauta prioritária para o setor elétrico. Neste contexto, estudar como obter essa eficiência, seja por processos mais evoluídos ou por novidades de tecnologia e materiais, mostra-se de grande valia para o setor elétrico nacional.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é mostrar a importância da iluminação pública no contexto social, no desenvolvimento da sociedade e nos benefícios gerados na economia, além de sua evolução no tempo. Assim sendo, pretende-se entender, através dos conceitos abordados, como se chegar a projetos mais eficientes no que tange à iluminação pública.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Demonstrar a evolução histórica da Iluminação Pública (IP);
- Elencar as principais tecnologias de componentes de IP;
- Analisar as tecnologias vigentes e suas vantagens e desvantagens;
- Analisar questões financeiras de projetos de IP;
- Expor o panorama atual e os avanços das tecnologias no Brasil.

1.2 METODOLOGIA

De acordo com Lakatos e Marconi (2003):

A pesquisa bibliográfica, ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo, desde publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico etc., até meios de comunicação oral: rádio, gravações em fita magnética e audiovisuais: filmes e televisão.

Diante disso, neste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de alguns que envolvem a iluminação pública, suas tecnologias e equipamentos associados, assim como histórico e desafios e tendências para o futuro, tanto de forma geral quanto específica, essa em que é possível ser notada claramente no discorrer desta obra. Também foi implementada uma extensa pesquisa de materiais no Brasil e no mundo que possuem informações sobre implementação, legislação, investimentos e aplicações para iluminação pública.

A pesquisa bibliográfica objetiva ligar os pesquisadores a todo conteúdo aplicado ao tema escolhido, proporcionando uma investigação do assunto de acordo com novas perspectivas, podendo trazer considerações inovadoras (LAKATOS E MARCONI, 2003).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho é composto por seis capítulos. No primeiro capítulo é apresentada a parte introdutória para contextualização do tema, assim como os objetivos, a metodologia utilizada e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo trata de um histórico sobre a iluminação pública no mundo e no contexto brasileiro, a fim de trazer a evolução de tecnologias até chegar ao momento atual.

O terceiro capítulo aborda a caracterização de vias públicas e suas particularidades com relação à NBR 5101/2018 e ao Código de Trânsito Brasileiro.

No quarto capítulo são tratados os componentes da Iluminação Pública, também à luz das normativas vigentes no país.

Já o quinto capítulo trata de projetos de eficiência energética e de elementos que pautam o que pode vir de aplicações futuras. O sexto e último capítulo trata das considerações finais do estudo, bem como dá sugestões para trabalhos futuros.

2. ORIGEM DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A iluminação pública tem raízes históricas, pois advém de tempos antigos. Desde que o homem conseguiu usar o fogo a seu favor, teve sua vida e costumes modificados e adaptou-se a ambientes iluminados artificialmente. Com isso, houve a introdução de novas formas de manter a iluminação artificial por mais tempo, tais como o uso de óleos combustíveis animais para manter seus ambientes domésticos e vias públicas de cidades.

Há registros de que a origem da iluminação pública data de 1415 na Inglaterra, por solicitação de comércios, a fim de coibir crimes e violência. Paris foi a cidade que contemplou um sistema público de iluminação datado em 1662, com luminárias com pavil embebido em azeite e velas comuns de cera, sendo pioneira neste serviço (ROSITO *et al*, 2009) As luminárias a azeite foram utilizadas fortemente a partir do século XVII, passando para lâmpadas a gás durante o século XIX e início do século XX, quando foram preteridas em relação às lâmpadas elétricas.

Com a chegada das lâmpadas de arco de carbono e da lâmpada incandescente elétrica de filamento, essa inventada por Thomas Edison no final do século XIX, houve grande mudanças nos paradigmas de iluminação pública no mundo. Logo no início do século XX, o conceito de iluminação artificial sofreria uma mudança enorme, fazendo com o que a sociedade pudesse evoluir em atividades noturnas, envolvendo trabalho, comércio e turismo, alterando comportamentos e hábitos. Em grande parte isso decorreu do desenvolvimento de inovações tecnológicas, como lâmpadas de descarga em atmosfera a gás, em altas e baixas pressões, tais como a lâmpada a vapor de mercúrio e a vapor de sódio.

Importa ressaltar que diferentes fontes de iluminação variam significativamente em relação à qualidade da luz que fornecem. Isso, por sua vez, tem um efeito dramático sobre a aparência do local iluminado à noite. O sódio de alta pressão, a fonte de luz ainda bastante usada em luminárias de rua nas cidades, lança um brilho laranja-amarelado que resulta em má reprodução de cores, compromete a clareza visual e prejudica enormemente a qualidade geral do ambiente urbano noturno.

Por outro lado, lâmpadas de vapor metálico, que surgiram como uma evolução das lâmpadas de vapor de mercúrio, ao servir como fonte de luz, produzem um brilho suave e branco, que renderiza a cor com precisão, oferece melhor clareza visual, melhora o tempo de reação para veículos e requer menos potência para a mesma visibilidade percebida.

É ainda importante observar que a qualidade da luz também é influenciada pela quantidade de luz ou, mais especificamente, pela relação entre o brilho de uma luz e a distância até ela. A luz torna-se mais difusa quanto mais longe da fonte, de modo que, para um determinado brilho, há uma faixa de alturas dentro da qual a fonte deve estar localizada para criar a qualidade desejada da luz.

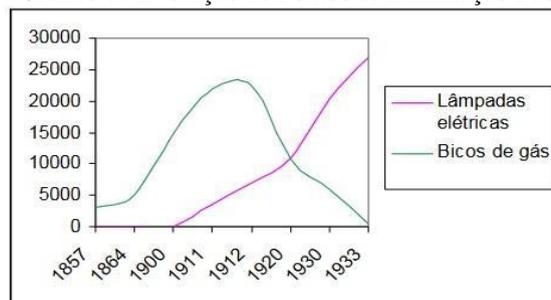
2.1 ORIGEM DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

Segundo Rosito (2009, p. 30), o século XVIII marcou a origem da iluminação pública no Brasil. As luminárias eram à base de óleo de azeite e foram instaladas no Rio de Janeiro e, posteriormente, em Porto Alegre, no século XX. Para que tais lâmpadas fossem acesas, nessa época, havia os “acendedores de lampião”, como registrado por Rosito. Em 1874, há o registro da primeira usina de gásômetro em Porto Alegre. Em 1876, Dom Pedro II, tendo visitado a Exposição da Filadélfia, nos Estados Unidos, voltou ao Brasil muito motivado pelas invenções de Thomas Edison, conseqüentemente inaugurando a iluminação da Estação Central Estrada de Ferro Dom Pedro II, que tinha seis lâmpadas elétricas.

As usinas que foram construídas no Brasil tiveram sua produção energética voltada, primordialmente, para a iluminação pública. Como a geração de energia elétrica sempre teve um contexto estratégico para a nação, sua concessão atribuiu-se exclusivamente ao governo federal. Mais tarde, a própria iluminação pública seria atribuída aos municípios, tornando a geração de energia elétrica e a iluminação bens públicos em sua essência. Somente no início do século XX o Brasil passou a substituir a iluminação a gás por elétrica, modernizando-se inicialmente Rio de Janeiro e Porto Alegre, como já citado.

A evolução na produção de iluminação artificial elétrica começou em 1808 com a lâmpada de arco voltaico e continua até os dias atuais com a introdução das lâmpadas de LED, conforme pode ser observado na figura 1.

Figura 1- Gráfico de Evolução de Pontos de Iluminação Pública a Gás e Elétrica



Fonte: FRÓES DA SILVA, 2006.

Essa evolução não teve foco somente na qualidade da luz, sempre esteve orientada também pelo consumo energético, uma variável determinante nas decisões sobre o assunto. Na iluminação pública, admite-se índice de reprodução de cores baixo pelo fato de que o consumo é menor. É o caso das lâmpadas a vapor de sódio, que são utilizadas de forma amplana IP. Nesse sentido, a evolução da iluminação pública traz a reboque cada vez mais eficiência energética e econômica.

Tabela 2 - Evolução das Lâmpadas

Ano	Fonte Luminosa	Observação
1808	Lâmpada a arco voltaico	
1879	Lâmpada incandescente de carvão	Inventada por Thomas Edison
1880	Lâmpada a arco voltaico controlado	
1901	Lâmpada a vapor de mercúrio de baixa pressão	
1907	Lâmpada incandescente de tungstênio	
1908	Lâmpada a vapor de mercúrio de alta pressão	Alta radiação ultravioleta
1931	Lâmpada a vapor de sódio de baixa pressão	Alimentada em corrente contínua
1932	Lâmpada fluorescente	Reprodução de cores inadequada
1941	Lâmpada de luz mista	
1955	Lâmpada a vapor de sódio de alta pressão	
1964	Lâmpada multivapores metálicos	
1980	Lampada compacta fluorescente	
1997	Lâmpada LED	Apesar de ser inventado em 1962, a primeira lâmpada LED data de 1995 e sua chegada ao mercado apenas em 1997

Fonte: adaptado de FRÓES, 2006.

O setor de IP no Brasil já começou o processo de transformação. O uso do LED e das tecnologias de telecomunicação estão mudando cidades, pois, além de estar diretamente ligada à segurança no tráfego noturno, a IP também ajuda na prevenção da criminalidade e embeleza as áreas urbanas, destacando e valorizando monumentos, prédios e paisagens. Também atua na facilitação da hierarquia viária, orienta percursos e confere melhor aproveitamento às áreas de lazer.

Por isso, quando as antigas lâmpadas de vapor metálico são substituídas por LED, as cidades garantem avanços. Elas ganham ruas mais iluminadas, o que amplia a sensação de segurança, reduzem gastos com manutenção e ainda economizam mais de 50% na conta de energia elétrica.

Entretanto, a infraestrutura utilizada na iluminação LED permite mais. As chamadas Cidades Inteligentes aproveitam os benefícios da tecnologia para melhorar a qualidade de

vida dos moradores. A busca da eficiência energética, com a modernização dos sistemas de IP, é o primeiro passo rumo a essa realidade.

3. CONCEITO DE VIAS PÚBLICAS

Neste capítulo será discutido o conceito de vias públicas, estabelecido na NBR 5101/2018, com o objetivo de nortear os preceitos que devem ser respeitados quanto a realização de projetos em iluminação pública.

3.1. A NBR 5101/2018

O conceito de vias públicas, dentre outros, está englobado na Norma Brasileira de número 5101, datada do ano de 2018. Essa já sofreu pequenas alterações, porém não foi publicada uma nova Norma. Sendo assim, ela especifica parâmetros mínimos que devem ser considerados em projetos de IP e na inspeção em campo após a instalação de um sistema. A norma é baseada nos documentos da IESNA (*Illuminating Engineering Society*), que são normas norte-americanas cuja última atualização ocorreu em 1992. Tal regulamento também classifica as vias públicas com a finalidade de obter o melhor arranjo construtivo de equipamentos de IP para cada via. Assim sendo, faz-se necessária a compreensão dessas classificações a fim de se obter um projeto em consonância com as normas.

3.1.1 Classificação de vias públicas

A NBR 5101/2018 diz que “via é uma superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo pista, calçada, acostamento, ilha e canteiro central.”

Neste mesmo sentido, o Código de Trânsito Brasileiro classifica vias como sendo as seguintes:

- Vias urbanas:
 - Via de trânsito rápido;
 - Via arterial;
 - Via coletora;
 - Via local;
- Vias rurais:
 - Rodovias;
 - Estradas.

Ainda, para avaliação de projeto de iluminação pública, devem ser consideradas características como classificação de velocidade da via e volume de tráfego, tudo isso descrito no Código Brasileiro de Trânsito. Com essas características, podem ser estabelecidos os critérios básicos de qualidade para assegurar a Iluminação Pública das vias.

3.1.1.1 Classificação de Vias Urbanas

A via urbana é caracterizada por estar em meio a construções, com presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala. Segundo a NBR 5101/2018, são estas: “ruas, avenidas, vielas ou caminhos similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão”.

3.1.1.1.1. Via de trânsito rápido

São ruas e avenidas asfaltadas que sejam exclusivas para o tráfego motorizado e que não predomine construções, por haver menor trânsito de pedestres, porém alto tráfego de veículos. Ainda é caracterizada por ter “acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros e sem travessia de pedestres em nível, com velocidade máxima de 80 km/h” (NBR 5101/2018).

3.1.1.1.2. Via arterial

Trata-se de uma via exclusiva para tráfego motorizado caracterizada por ter grande volume e pouco acesso de tráfego, com “várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista” (NBR 5101/2018). A velocidade máxima da via arterial é de 60 km/h.

3.1.1.1.3. Via coletora

São vias exclusivas para tráfegos motorizados, com características de um volume de tráfego inferior e acesso de tráfego superior ao apresentado nas vias arteriais. É destinada a coletar e distribuir o trânsito que exija entrada ou saída das vias de trânsito rápido ou coletoras, com velocidade máxima de 40 km/h.

3.1.1.1.4. Via local

São as vias que permitem acessos “às edificações e outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno volume de tráfego” (NBR 5101/2018). Possuem velocidade máxima de 30 km/h.

3.1.1.2. Classificação de vias rurais

São as vias conhecidas por estradas de rodagem e que nem sempre apresentam em exclusividade o tráfego motorizado. Podem ser classificadas como Rodovias e Estradas.

3.1.1.2.1. Rodovias

São as vias para “tráfego motorizado, pavimentadas, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo pode ser classificado como urbanos...” (NBR 5101/2018). Suas velocidades diferem de acordo com os tipos de automóveis, sendo automóveis comuns e camionetas 110 km/h, 90 km/h para ônibus e micro-ônibus e, finalmente, 80 km/h para os demais veículos.

3.1.1.2.2 Estradas

As estradas são vias para tráfego motorizado, que podem ter acostamento ou não, com tráfego de pedestres e que pode ter trechos urbanos. Como se trata de uma via rural não pavimentada, sua velocidade máxima é de 60 km/h.

3.1.1.3. Classificação do volume do tráfego em vias públicas

As vias públicas são classificadas de acordo com o tráfego a fim de se obter o nível adequado de iluminação para cada trecho, facilitando o acesso e uso dessas vias. Esta classificação dá para estabelecer padrões tanto para veículos motorizados como também para pedestres.

Tabela 3 - Tráfego noturno de veículos por hora

Classificação de Volume	Volume de tráfego noturno de veículos por hora
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

Fonte: adaptado da NBR 5101/2018.

A tabela 3 leva em consideração o quantitativo de veículos por hora, nos dois sentidos de tráfego, em uma única pista e nos horários de pico, que gira entre 18h e 21h. Também são ressaltadas as condições não citadas na tabela, tais como as de volume inferior a 150 veículos e superior a 2400 veículos por hora, que seguem, respectivamente, as orientações de tráfego Leve (L) e Intenso (I).

Tabela 4 - Tráfego de pedestres

Classificação	Pedestres cruzando vias com tráfego motorizado
Sem tráfego (S)	Como nas vias arteriais
Leve (L)	Como nas vias residenciais médias
Médio (M)	Como nas vias comerciais secundárias
Intenso (I)	Como nas vias comerciais principais

Fonte: adaptado da NBR 5101/2018.

No que tange ao tráfego de pedestres, o projetista deve levar em consideração a tabela 4 para classificação de vias.

Esses conceitos são basilares para a compreensão de como se projetar um sistema de IP de forma correta, segura e padronizada.

4. COMPONENTES DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Estima-se que o impacto do valor total de equipamentos de iluminação pública gira em torno de 15% com relação ao total dos gastos que se tem ao longo da vida útil de uma instalação pública (ROSITO, 2009, p.18). As prefeituras e concessionárias precisam investir montantes expressivos por ano para implantar novos pontos, substituição de equipamentos avariados, queimas e até o vandalismo contra esses bens. Assim sendo, estima-se que 85% do gasto com iluminação pública jaz no consumo e na manutenção do sistema. Por isso, é de vital importância entendermos o impacto de equipamentos mais eficientes relativamente a investimentos iniciais, custo de manutenção e vida útil para podermos pautar projetos de iluminação pública eficientes e viáveis ao longo do tempo.

Sendo assim, faz-se necessário deixar claro alguns conceitos para que se possa seguir a discussão acerca dos componentes de IP com maior clareza. Estes conceitos trarão um melhor entendimento das características intrínsecas de cada tecnologia utilizada.

4.1 CONCEITOS BÁSICOS DE LUMINOTÉCNICA

Para podermos saber um padrão recomendado de IP para cada ambiente, em conformidade com o perfil de uso, faz-se necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos de luminotécnica para as análises subsequentes.

4.1.1 Fluxo luminoso

Trata-se da potência luminosa emitida ou que é possível de ser observada. Ainda pode ser descrita como a energia emitida ou refletida em um segundo em todas direções, sob a forma de espectro luminoso. A unidade que o representa é o Lúmen (lm).

4.1.2 Iluminância

É a razão entre o fluxo luminoso (lm) que incide numa superfície, em unidade de área (m²). A unidade que a representa é o lux.

$$E = \varphi/A \tag{1}$$

Onde φ é o fluxo luminoso em lúmens (lm);

A é a área da superfície (m^2);

E é a iluminância (lux).

4.1.3 Temperatura de Cor Correlata (TCC)

Representa a aparência de cor da luz e sua unidade é o Kelvin (K). Quanto mais alta esta Temperatura de Cor Correlata, mais branca é sua aparência, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Temperatura de cor correlata



Fonte: LED SOLUTIONS, 2017-2018.

4.1.4 Índice de Reprodução de Cor (IRC ou CRI)

Correlação entre a real cor do objeto e a aparência desse, levando-se em conta uma determinada fonte de luz. A iluminação artificial permite ao olho humano perceber cores de forma correta ou o mais próximo disso com relação à luz do sol, que é a luz natural. Quanto mais perto de 100% , mais fidedignas as cores aparecerão. Ressalta-se que essa medida não apresenta relação direta com temperatura de cor correlata, uma vez que a capacidade de reprodução de cores das lâmpadas independe da temperatura de cor.

4.1.5 Eficiência luminosa

Trata-se do quociente entre o fluxo luminoso em lúmens e a potência consumida em Watts. Assim, a relação é diretamente proporcional: quanto maior o valor de lúmens/Watts, maior a eficiência luminosa. Como citado no Guia para efficientização energética nas edificações públicas Versão 1.0 (2014 p. 79 “no conjunto das lâmpadas comercialmente disponíveis no mercado nacional, podem ser classificadas de acordo com a sua eficiência luminosa”. Podemos observar a eficiência luminosa das lâmpadas utilizadas em IP na Figura 3.

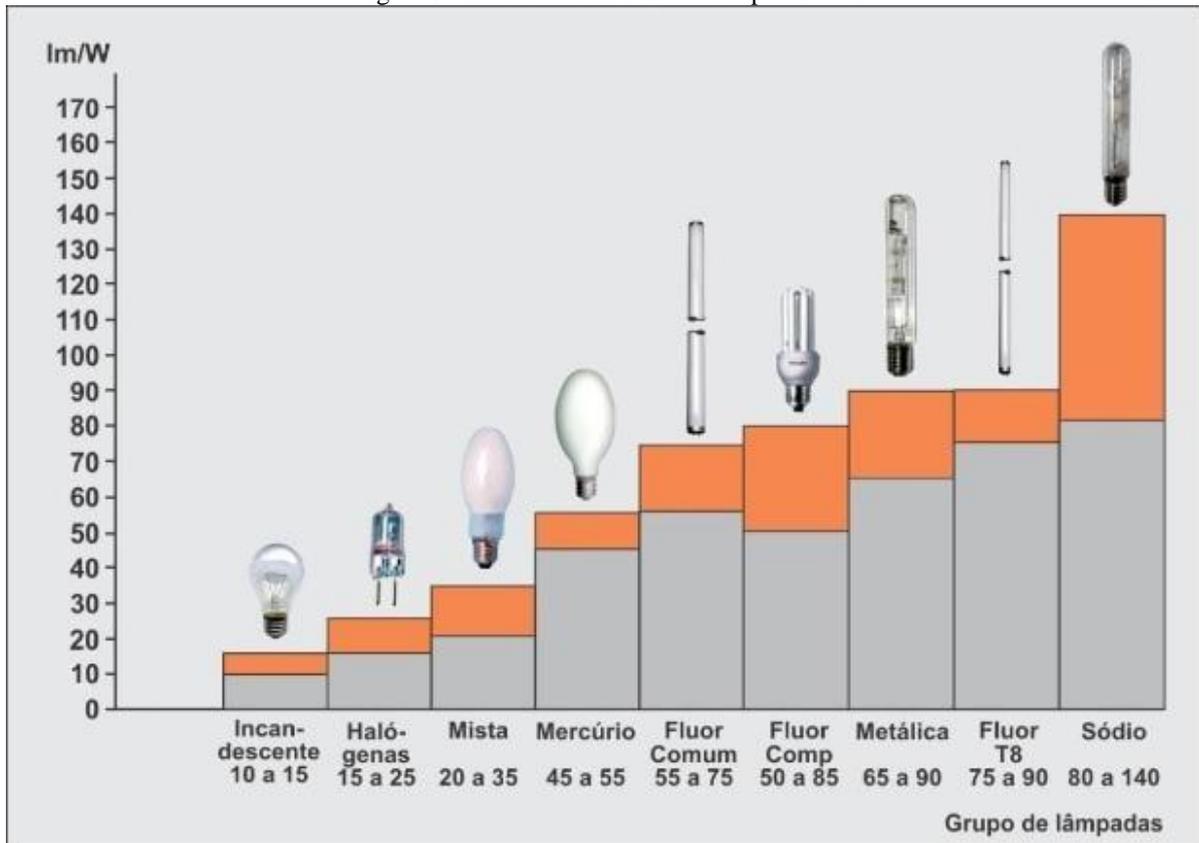
$$\eta = \varphi/P \quad (2)$$

Onde φ é o fluxo luminoso (lm);

P é a potência ativa (W);

η é a eficiência luminosa (lm/W).

Figura 3- Eficiência luminosa de lâmpadas de IP

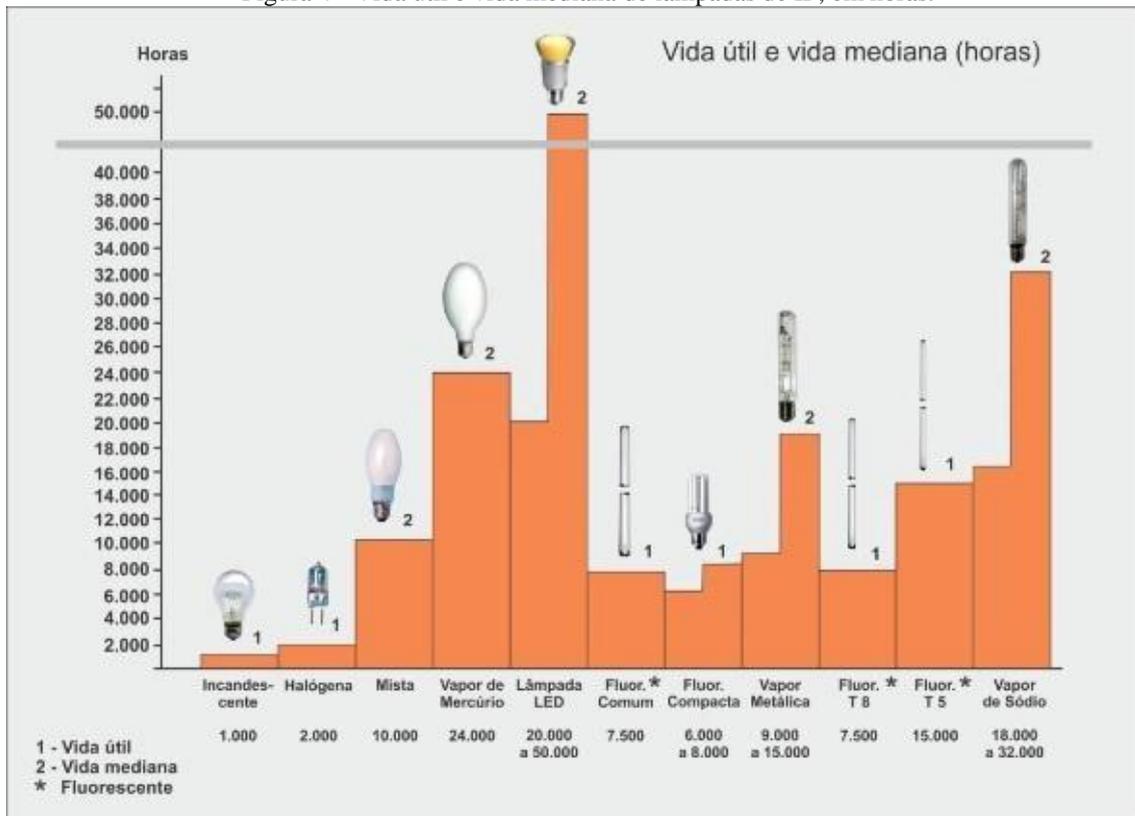


Fonte: PROCEL, 2014.

4.1.6 A vida útil e vida mediana

O conceito de vida útil está ligado ao número de horas decorridas até que seja atingido 30% de redução na quantidade inicial de luz emitida, obtida por meio de ensaios de lâmpadas. Já a vida mediana refere-se ao número de horas decorridas até que 50% das lâmpadas ensaiadas ainda permaneçam acesas. Pode-se observar estas informações na Figura 4.

Figura 4 - Vida útil e vida mediana de lâmpadas de IP, em horas.



Fonte: PROCEL, 2014.

4.2 POSTES E LUMINÁRIAS

As luminárias, não somente as públicas, servem de abrigo para as lâmpadas contra fatores ambientais e também para direcionar os feixes luminosos para o ponto de iluminação desejado. A luminária abriga a lâmpada e pode também abrigar alguns componentes auxiliares, tais como os reatores e ignitores, dentre outros. É usualmente afixada a um braço metálico e este ao poste, com os devidos dispositivos de fixação.

Embora a função principal dos postes seja a de sustentação para as luminárias, a tendência atual é utilizá-los como elementos multifuncionais no espaço público. Dentre essas funções acessórias, podem ser mencionadas:

- Sinalização de tráfego, para veículos e pedestres;
- Painéis luminosos informativos e de propaganda;
- Caixas de som para ambientação sonora e avisos de interesse público;
- Câmeras de vigilância para controle de tráfego e segurança pública;

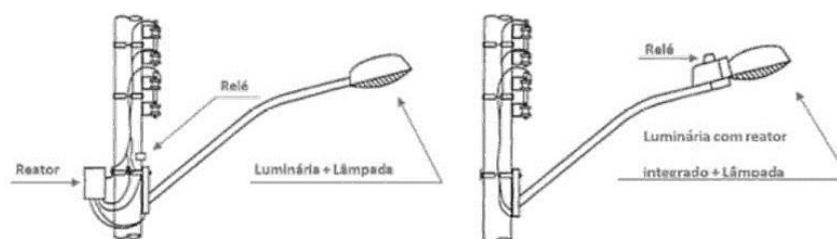
- Suportes para decorações de eventos ou para harmonização arquitetônica de espaços;
- Suporte para coletores de lixo de pequeno porte para atendimento a pedestres;
- Integração com itens de mobiliário urbano, adequados ao local que atendem.

Para atender a esses propósitos e visando projetos eficientes, todas as funções desejadas devem ser cuidadosamente analisadas antecipadamente, para que não haja uso improvisado dos postes fora de um planejamento de mais largo prazo.

É importante, também, que o material e design escolhidos para o posteamento respeitem o efeito desejado ao espaço público a ser iluminado, seja ele de resgate histórico, seja voltado para a criação de espaços públicos para o lazer ou turismo.

Em muitas situações, principalmente quando as pessoas estão preocupadas com a segurança, há uma tendência de iluminar demais um parque, praça, rua ou outro espaço público. Mas, na verdade, muita iluminação pode ser tão ruim quanto pouca iluminação. A chave para desenvolver um bom plano é relacionar a iluminação com as funções noturnas de um determinado espaço, porque, em uma visão mais ampla, a iluminação pública é mais do que apenas um requisito técnico, uma necessidade de segurança ou um elemento de design. Pode ser pensada e utilizada em termos de como o tipo, a localização e a potência afetam como um espaço público é percebido e usado. A Figura 5 mostra as configurações típicas de instalação de um ponto de iluminação pública em dois cenários, um com reator externo e um com reator integrado à luminária.

Figura 5 - Configurações típicas de instalação de um ponto de iluminação pública: (a) reator externo e (b) reator integrado a luminária.



Fonte: CASAGRANDE, 2020.

Embora as alturas de montagem das luminárias tenham normalmente aumentado nas últimas décadas, na medida em que a tecnologia da lâmpada permitiu luzes de estrada mais altas e brilhantes, o resultado é que, muitas vezes, a iluminação fique direcionada para o

trânsito ou o estacionamento e não para o pedestre que anda na calçada. Reduzir a altura das luminárias e ajustá-las à escala da pessoa na calçada exige mais luminárias, o que, por sua vez, significa que as luminárias, os postes e sua colocação podem ter um impacto na paisagem urbana.

No entanto, à medida que a altura de uma luminária é reduzida, o brilho da lâmpada deve ser ajustado para que não crie brilho excessivo para os pedestres. Ao mesmo tempo, a potência também deve ser capaz de iluminar adequadamente a via.

Além da altura da fonte de luz, o espaçamento adequado das luminárias é fundamental para alcançar uma iluminação consistente das ruas e calçadas e para evitar que o pedestre encontre intervalos de escuridão. A cobertura de luz consistente é importante, particularmente ao longo da calçada, porque a percepção da luz é relativa ao seu entorno. Portanto, uma área mal iluminada parecerá muito mais escura em contraste com uma área bem iluminada nas proximidades.

Além do critério técnico das próprias luzes, a distribuição de postes de luz ao longo da rua pode ter um efeito dramático sobre a natureza da rua e seus usos secundários. Assim certos critérios podem e devem ser considerados:

- Arranjo escalonado: alternando postes de luz em ambos os lados de uma via permite um arranjo que é menos formal e pode potencialmente usar menos luzes, uma vez que haverá alguma iluminação sobreposta;
- Arranjo oposto: luminárias que estão alinhadas diretamente umas com as outras nos lados opostos de uma via estabelecem uma condição mais formal. O arranjo oposto permite atravessar a rua com banners ou luzes de festividades;
- Sensibilidade às condições existentes: embora uma distância padrão entre as luminárias de uma rua possa ser especificada (por exemplo, a cada 15 ou 20 metros), é preciso fazer concessões para responder a circunstâncias existentes ou recomendadas, como um café de rua, compatibilidade ou conflito com sinais de trânsito, bancos, paradas de ônibus e telefones públicos existentes;
- Postes de luz mais espaçados criam uma borda mais forte ao longo da calçada, reforçando a própria calçada como um espaço externo habitável;
- Usar luminárias mais numerosas e colocadas mais próximas é uma maneira de reduzir a potência e, portanto, o brilho potencial de cada luminária.

Em uma rodovia ou artéria principal, o nível de luz recomendado difere do de uma rua residencial de baixo tráfego – que, por sua vez, deve diferir de uma rua do centro da

cidade orientada para pedestres. A iluminação pública deve ser considerada como parte de um projeto geral da distribuição das ruas em conjunto com outros elementos, como bancos, paradas de ônibus e coletores de lixo. Isso se reflete na qualidade da rua orientada para pedestres e poderá, potencialmente, permitir que a área fora da rua (calçadas, praças, pequenos parques) seja mais propícia às atividades de pedestres e de comerciantes.

Por sua vez, luzes inteligentes (*Smart Lights*) são arquitetadas de tal forma que economizam energia, coletam dados sobre o tráfego, sobre a condição climática etc. Essas luzes inteligentes também podem ser acopladas a uma câmera CFTV, que contribui para o aumento do nível de segurança local, bem como permite outras aplicações quando conjugadas com diferentes tecnologias (captura de vídeo e veiculação na internet, por exemplo).

4.2.1 Conceitos obsoletos

Existem conceitos de luminárias que estão obsoletos por características que prejudicam a performance das lâmpadas. São estes (ROSITO, 2009):

- Luminária fechada de corpo-refletor com equipamento incorporado ou aberta com equipamento externo;
- Padronização feita de acordo com as dimensões;
- Rendimento luminotécnico entre 40% e 55%;
- Vidro de boro-silicato, causador de dispersão da luz e, por consequência, gera poluição luminosa;
- Luminárias de depreciação rápida;
- Luminárias abertas e sem proteção;
- Em desacordo com as normas vigentes atualmente (NBR 5102-2018).

4.2.2 Conceitos eficientes

As luminárias que apresentam conceitos eficientes possuem as seguintes características (ROSITO, 2009):

- Padronização feita de acordo com a segurança, eficiência energética e durabilidade;
- Luminária fechada com corpo em liga de alumínio;

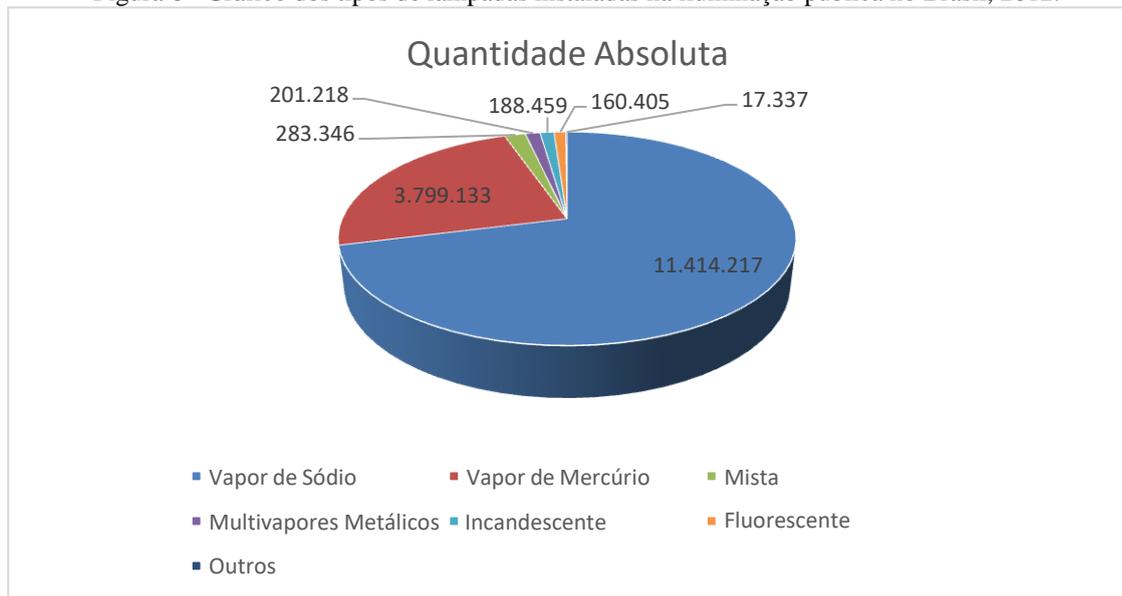
- Refletor em alumínio de alta pureza e com equipamento auxiliar incorporado;
- Rendimento luminotécnico entre 75% a 80%;
- Possuir distribuição fotométrica eficiente, com direcionamento de luz voltada para o hemisfério inferior;
- Vidros plano/curvo/poli curvo temperado ou de poli-carbonato que seja resistente a vandalismos;
- Ter vedação com grau de proteção IP 65 ou superior e mantido ao longo da vida útil;
- Ter resistência mecânica adequada e serem construídas de modo a suportar manuseio severo, esperado em uso normal. Precisam passar por ensaios de impacto;
- Ter resistência à intempéries. Deve-se passar por ensaios de força do vento, fragmentação de vidro, entre outros;
- Possuir segurança elétrica. As partes vivas não podem possuir acesso em uso normal. Devem ser realizados testes considerando um “dedo padrão” para verificação de segurança;
- Estar em conformidade com as: (ABNT NBR IEC 60598, 2018) e (ABNT NBR 15129, 2012).

4.3 LÂMPADAS

As lâmpadas comercialmente disponíveis atualmente no mercado podem ser categorizadas de forma básica pela sua forma de produção de luz ou método de funcionamento. Existem lâmpadas que possuem filamento ou que são halógenas e geram luz através de incandescência, processo similar que acontece com o Sol, em que a emissão de radiação eletromagnética ocorre por conta da alta temperatura do corpo. Já as lâmpadas de descarga produzem luz através de um processo similar ao de relâmpagos e descargas atmosféricas, a luminescência, que é uma emissão de fótons causada por um estímulo, que pode ser ou uma reação química, ou ionizante.

Por fim, os diodos emissores de luz (LED) utilizam um processo similar ao de um vagalume, chamado de fotoluminescência, que nada mais é que a capacidade de emissão de fótons após exposição a estímulo eletromagnético, natural ou artificial. Existem também as lâmpadas mistas, que combinam os fenômenos de incandescência e luminescência, e as fluorescentes, que combinam luminescência e fotoluminescência. A Figura 6 mostra o gráfico de distribuição dos tipos de lâmpadas utilizadas na IP do Brasil.

Figura 6 - Gráfico dos tipos de lâmpadas instaladas na iluminação pública no Brasil, 2012.



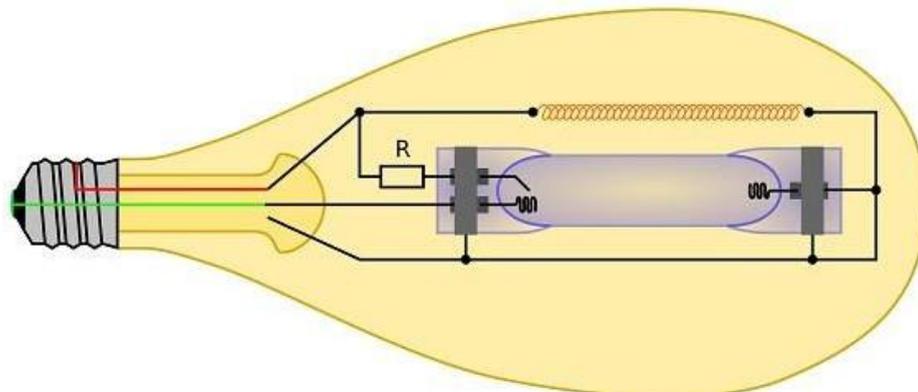
Fonte: adaptado de ELETROBRÁS; CEPEL, 2012.

Finalmente, as lâmpadas de indução seguem o mesmo processo das lâmpadas de descarga, porém não possuem eletrodos, recebendo uma descarga de corrente gerada por um campo magnético externo.

4.3.1 Lâmpadas mistas

As lâmpadas mistas correspondem às lâmpadas de mercúrio e incandescentes e estão em desuso atualmente. Funcionam com ligação direta à rede, sem necessidade de uso de reator, e são dotadas de um filamento e um tubo de descarga, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Diagrama de uma lâmpada mista.



Fonte: CODLUX, 2020.

Desde janeiro de 2021, através do Decreto Nº 9.470 de 14 de agosto de 2018 da Presidência da República, quando foi promulgada a Convenção de Minamata, essas lâmpadas pararam de ser importadas, produzidas e exportadas no Brasil. Dada sua concepção, são disponíveis apenas para tensão de 220V. Apresentam baixa eficiência, haja vista que “uma lâmpada mista de 500W pode ser substituída por uma a vapor de sódio de 150W” (ROSITO, 2009). Além disso, são tóxicas ao meio ambiente por conta do mercúrio e possuem baixa vida útil, girando em torno de 1000 horas. Seu IRC é de 100% e temperatura de cor de 2.400K, que proporciona uma sensação de conforto visual, por ser considerada de “temperatura quente”.

4.3.2 Lâmpadas a vapor de mercúrio

Essas lâmpadas também podem ser consideradas pouco eficientes e também deverão ser paradas suas importações, tal como as mistas e pelo mesmo decreto citado anteriormente. Como se trata de uma lâmpada de descarga, seu funcionamento se dá através de uma descarga elétrica, que provoca emissão de fótons nos gases e conseqüente emissão de luz. Esse tipo de lâmpada precisa de reator para funcionar, por apresentar característica de impedância após sua partida de alta condutância, sendo necessária a limitação da corrente elétrica de alimentação. São mais eficientes e têm maior vida mediana que as incandescentes, ainda estando em amplo uso atualmente na IP. Logo, pode-se observar uma lâmpada a vapor de mercúrio na Figura 8.

Figura 8 - Lâmpada a vapor de mercúrio



Fonte: COPEL, 2012.

Sua eficiência fica entre 45 lm/W e 55 lm/W, de cor branca e IRC em torno de 55%. Possui alta taxa de depreciação, fazendo com que o seu fluxo luminoso decaia vertiginosamente em comparação ao fluxo inicial. Ainda possuem vida mediana em torno de 15.000 horas.

4.3.3 Lâmpada a vapor de sódio a alta pressão

As lâmpadas a vapor de sódio são amplamente utilizadas em IP e vêm substituindo as lâmpadas mistas e a vapor de mercúrio. Trata-se de uma lâmpada de descarga de alta intensidade, comumente associada a um reator e um ignitor, esse último para dar partida à lâmpada, pois, devido às características dos gases do seu interior, sua tensão de partida chega a 4500V, valendo-se, assim, deste ignitor para gerar pulsos de alta tensão no momento da partida, que depois são inativados. Pode-se observar um conjunto de lâmpadas a vapor de sódio utilizadas em IP na Figura 9 e nos arredores de uma praça de João Pessoa-PB na Figura10.

Figura 9 - Lâmpada a vapor de sódio.



Fonte: G-LIGHT, 2022.

Sua eficiência luminosa fica entre 70 lm/W a 140 lm/W, com temperatura de cor variando entre 2000K e 3300K, índice de reprodução de cor entre 20% a 40% (luz amarelada) e duração de vida média de 16.000 horas. Com essas características, torna-se uma alternativa “própria para a iluminação de vias públicas, túneis, fachadas e estacionamentos” (ROSITO, 2009).

Figura 10 - Iluminação Pública em Lâmpadas Vapor de Sódio nas imediações do Parque Parahyba I.



Fonte: autoria própria.

4.3.4 Lâmpadas a vapor metálico

Nestas lâmpadas, a luz é produzida a partir da descarga elétrica em uma mistura de iodetos metálicos confinados em uma atmosfera. Essa tecnologia possui índice de reprodução de cores superior ao de lâmpadas de vapor de sódio. Também apresentam tanto IRC quanto eficiência luminosa melhores que as lâmpadas de vapor de mercúrio, porém como apresentam tempo de vida menor que essas últimas, precisam de ignitor e possuem o maior tempo de acendimento entre todas as tecnologias, acarretando em sua menor comercialização relativamente às anteriores. Pode-se observar uma lâmpada a vapor metálico na Figura 11.

Figura 11 - Lâmpadas a vapor metálico.



Fonte: MATTEDE, 2022.

Assim como as lâmpadas a vapor de sódio necessitam de ignitor para seu funcionamento, essas apresentam eficiência luminosa entre 65 lm/W e 110 lm/W, temperatura de cor entre 3300K a 5500K, índice de reprodução de cor entre 80% a 90% e duração de vida média entre 12.000 e 16.000 horas.

4.3.5 Diodos emissores de luz (LED)

Os LEDs são a mais recente evolução de tecnologia no que tange à iluminação artificial. Sendo mais moderna, sua aplicação traz inúmeras vantagens. A tecnologia empregada é totalmente diferente das anteriores, uma vez que os LEDs funcionam em tensão contínua. Com isso, faz-se necessário um conversor de tensão alternada para contínua, chamado de *driver*. Uma lâmpada de tecnologia LED contempla uma gama de LEDs posicionados lado a lado e apontados em uma direção, contribuindo positivamente para o fluxo luminoso e sendo uma enorme vantagem com relação às demais tecnologias, que emitem seus fluxos luminosos em todas direções.

Rosito (2009) acreditava que o uso da tecnologia LED para IP não era viável por conta de, na época, os LEDs não apresentarem os níveis de iluminância para competirem com as lâmpadas de vapor de sódio, entretanto, atualmente, essa limitação já foi superada. De início, os LEDs também apresentavam custos de produção elevados, porém com as novas tecnologias de fabricação, escalabilidade e diferentes materiais, os custos caíram muito e os LEDs vêm sendo utilizados em maior número de aplicações, tais como sinalização, iluminação de interiores e na iluminação pública. Um exemplo de lâmpada LED utilizada em IP pode ser observado na Figura 12, e pode-se observar um local em João Pessoa-PB utilizando LEDs na IP na Figura 13.

Figura 12 - Luminária LED para iluminação pública.



Fonte: NOVVALIGHT, 2022.

A eficiência luminosa dos LEDs fica em torno de 120 lm/W a 160 lm/W, temperatura de entre 2700K a 5000K, com índice de reprodução de cor entre 60% até 98% e vida média ficando entre 30.000 até 100.000 horas.

Figura 13- Iluminação Pública em LED no Parque Parahyba I, em João Pessoa - PB



Fonte: autoria própria.

O uso de LED na iluminação pública permite aos municípios aliar tecnologia, economia, sustentabilidade e mais segurança em um único projeto. A substituição das antigas lâmpadas de vapor metálico tóxico pode garantir economia de até 50% com os gastos de energia elétrica, manter ruas e praças mais seguras e ainda contribuir com o meio ambiente (CSC, 2022)

No Brasil, muitos municípios apostam nessa tecnologia e estão modernizando seus sistemas. E um bom exemplo disso vem de Santa Catarina, com as cidades de Palhoça, Florianópolis, Indaial e São Francisco. Atualmente, Palhoça está com 100% do seu parque de IP em LED, modernização feita pela concessionária responsável pela execução dos serviços no município desde maio de 2020, a QLuz. Na capital catarinense, dos 61.261 pontos de IP quase 11 mil lâmpadas antigas foram substituídas por LED, em um trabalho realizado pela

Quantum Engenharia.

Em Indaial e São Francisco, que também aderiram a essa aposta, pontos estratégicos das cidades receberam nova iluminação em LED. Em Indaial, 1.892 dos 8.248 pontos de iluminação já foram modernizados. Em São Francisco, que está no início desta atualização de sistema, 964 pontos já estão em LED. Os projetos das duas cidades são assinados pela SQE Luz, concessionária formada pelas empresas QUANTUM e ENGIE.

Outro estado que também está investindo na modernização é Minas Gerais. Pode ser citada Ribeirão das Neves, com ruas já implantadas com sistema de IP mais eficiente. Ao todo já foram trocadas mais de 18.300 mil lâmpadas por luminárias com lâmpadas de LED, a partir de projetos do Consórcio IP Minas, formado pelas empresas Quantum e Fortnort Desenvolvimento Ambiental e Urbano, beneficiando os municípios, a população e o meio ambiente.

As vantagens do uso de LED na iluminação pública não se limitam às econômicas. A tecnologia também traz benefícios ambientais, por ser livre de metais pesados; ser composta por materiais recicláveis e ter vida útil prolongada, diminuindo a necessidade de descarte. O trabalho de implantação segue protocolos rígidos conforme as normas ambientais vigentes, com o descarte enviado a empresas especializadas, que emitem certificado de descontaminação.

A lâmpada tradicional, embora tenha uma concentração relativamente baixa de compostos tóxicos, quando acumulada para descarte em grandes volumes pode causar danos sérios à população e ao meio ambiente.

Outro ponto positivo para o LED é no que diz respeito ao conforto visual e à maior nitidez para os usuários. A tecnologia promove um fecho de luz mais direcionado e apresenta maior índice de reprodução de cores, de até 90% para o LED – em contraponto aos pouco mais de 20% para a de vapor de sódio.

Apesar disso, o Brasil ainda tem um longo percurso a seguir. Conforme dados da Associação Brasileira das Concessionárias de Iluminação Pública (ABCIP, 2020), o país tem cerca de 16 milhões pontos de IP e a maior parte ainda conta com lâmpadas poluentes e de baixa eficiência.

A prefeitura de Campina Grande também investe na modernização de sua IP. A cidade promoveu um teste de iluminação pública com antena 5G, a partir de outubro de 2022. A prova teve início com uma transmissão em 4K de uma banda de forró tradicional com câmera em 360 graus no *YouTube*. A luminária foi instalada na sede da prefeitura (CHAVES, 2022).

Essa primeira iniciativa teve apoio da ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial) e Anatel por meio do programa Conecta 5G, além de participação de oito empresas que proveram equipamentos e conectividade. (MEDEIROS, 2022).

A proposta dessa inovação para a IP visa transformar meras luminárias em um hub de serviços. Com a chegada do 5G, que necessita de cinco a dez vezes mais antenas para sua infraestrutura do que as disponibilizadas atualmente para o 4G, conjugar o 5G com a IP pode transformar as luminárias públicas para servirem de suporte para essas antenas.

Além disso, a prefeitura já tomou iniciativas visando a melhoria da IP – a começar pelo Parque do Povo. O projeto de efficientização energética do epicentro do Maior São João do Mundo foi executado em parceria conjunta com a Energisa. O valor total investido foi de cerca de R\$ 500 mil, sendo quase R\$ 295 mil aplicados pela concessionária de energia, na instalação de 90 refletores de LED e substituição de 8 lâmpadas antigas por luminárias mais modernas (MEDEIROS, 2022).

Além disso, a prefeitura já tomou iniciativas visando a melhoria da IP – a começar pelo Parque do Povo. O projeto de efficientização energética do epicentro do Maior São João do Mundo foi executado em parceria conjunta com a Energisa. O valor total do investimento foi de cerca de R\$ 500 mil, sendo que R\$ 295 mil aplicados pela concessionária de energia, na instalação de 90 refletores de LED e substituição de 8 lâmpadas antigas por luminárias mais modernas (CARDOSO, 2022)

Assim, a prefeitura de Campina Grande terá uma redução de cerca de R\$ 63 mil ao ano na iluminação do Parque do Povo. Em energia, a economia será de 146,67 MWh por ano, suficiente para abastecer cerca de 61 residências com consumo mensal de 200 kWh por mês (MEDEIROS, 2022).

Realizada por meio do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), a iniciativa tem o objetivo de promover o uso eficiente da energia elétrica por meio de projetos inovadores, como a substituição das luminárias convencionais por outras de LED, mais eficientes e com vida útil maior.

A seguir, há cinco benefícios que podem ser considerados do LED para a IP:

- Gera economia aos cofres públicos

Estima-se que as lâmpadas LED são “80% mais econômicas do que as incandescentes e 30% mais econômicas do que as fluorescentes”. Isso acontece por diversos

motivos. Um deles é porque o consumo de energia proporcionado por meio da tecnologia LED passa a ser menor, o que ajuda a evitar o desperdício (CELPE, 2016)

- Menos manutenção

A tecnologia LED é conhecida por ser bastante resistente e com uma taxa de falha muito baixa, devido à própria estrutura que apresenta: suas cúpulas são produzidas com mecanismos que evitam danos à pintura e impedem que as peças se soltem.

- Tem maior durabilidade e vida útil

A LED tem durabilidade mínima de 60 mil horas – o que pode durar pelo menos 5 anos, dependendo da frequência de utilização diária. As lâmpadas incandescentes, por exemplo, duram 1 mil horas em média, período no qual produzem pouca luminosidade e geram muito calor. Já as fluorescentes têm uma capacidade luminosa até cinco vezes maior, durando de 10 mil a 15 mil horas.

- Mais segurança à população

As lâmpadas LED possuem um brilho menor e mais uniforme que as lâmpadas convencionais, que emitem radiação ultravioleta e podem causar uma sensação de cansaço visual aos motoristas e aos pedestres. Além disso, possui também um fluxo luminoso mais amplificado e potente e uma luminosidade mais clara, oferecendo mais segurança à população.

- É sustentável

As lâmpadas LED não são nocivas ao meio ambiente. Cerca de 98% dos materiais que as compõem são recicláveis e, por isso, podem ser descartados sem causar danos à natureza, ao contrário das lâmpadas tradicionais, que possuem mercúrio em sua composição, um dos metais mais tóxicos do planeta, tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana.

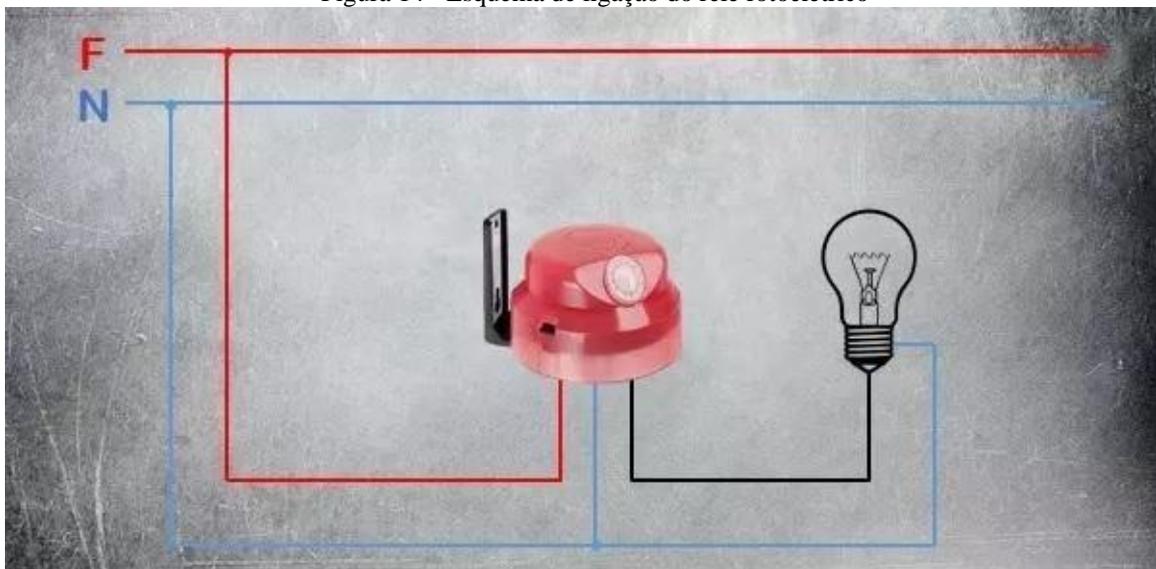
4.4 RELÉS FOTOELÉTRICOS

O relé fotoelétrico é um equipamento que serve como circuito de comando. Seu funcionamento é proveniente da sensibilização de células fotoelétricas, o que é processado

por um circuito eletrônico. A melhoria trazida por sua melhor relação custo-benefício fez com que esse se tornasse comum nas instalações de IP. Anteriormente, o acionamento das lâmpadas se dava de forma comandada. Atualmente esta função é muito comum que seja automatizada com o uso de relés fotoelétricos.

Seu comando pode ser em grupo ou individualizado, porém, atualmente, a preferência é ser individualizado, em que cada poste com IP possui o seu relé fotoelétrico para acendimento automático da lâmpada. Como o equipamento barateou muito nos últimos anos, essa preferência se deu de forma natural e este tipo de comando traz eficiência energética para o sistema, pois ajusta os níveis de luminosidade para cada poste ao nível natural, que pode ser maior ou menor a depender da localização geográfica do poste, acendendo a lâmpada somente se necessário e não em blocos como anteriormente, como pode ser visto no esquema de ligação da Figura 14.

Figura 14 - Esquema de ligação do relé fotoelétrico



Fonte: MATTED, Henrique, 2022.

O LDR monitora a intensidade de iluminação de um ambiente, variando sua resistência conforme muda a luminosidade. Quando a luminosidade chega a um nível de intensidade pré-estabelecido, a bobina ligada ao relé faz com que circule uma corrente, acionando o circuito.

5. PROJETOS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM IP

Como se pode observar, a evolução em projetos de IP dá-se através dos avanços em materiais e equipamentos de uma forma inicialmente mais disruptiva. Porém, os avanços da ciência em áreas como Internet das Coisas chegaram para revolucionar contextos antes tidos como estagnados. Novas formas de arranjos construtivos também nos levam a combinar estratégias a fim de trazer, não somente evolução de tecnologias, mas também eficiência energética e de processos. Esses englobam formas inovadoras de controle, automação e manutenção, além de softwares cada vez mais modernos, que nos trazem informações valiosas enquanto projetistas.

5.1 IP E EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA

O grupo composto por Krueger e Ramos (2016) fez uma averiguação de quatro modelos de lâmpadas usadas normalmente na IP. A verificação de dados de eficiência foi coletada do *datasheet* de cada lâmpada, fornecido pelo fabricante. Foi realizado um estudo das variáveis: vida útil, fluxo luminoso, eficiência luminosa, temperatura de cor, bem como um estudo comparativo acerca do custo de aquisição de cada uma das lâmpadas utilizadas na IP nacional.

Na avaliação do grupo, observou-se uma vantagem para o LED, na comparação do gasto mensal para cada tipo de lâmpada, em média. Estes números foram aproximados, haja vista o número de horas de utilização, que pode variar de acordo com as estações do ano, além do número de 1000 lâmpadas de cada modelo (LED, Multivapores Metálicos, Vapor de Sódio e Vapor de Mercúrio) para alcançar esses valores. Foi utilizada uma tarifa da tabela de março de 2016 da distribuidora RGE Sul, que atende a região Centro-Oeste do Rio Grande do Sul.

O estudo foi realizado sem levar em conta a análise dos demais componentes, tais como postes, suportes e reatores. Também não foram levados em conta métodos alternativos de geração de energia, tais como a solar e a eólica.

Com relação à vida útil, concluiu-se que, devido a essa ser diretamente proporcional, quanto maior a vida útil, melhor é o equipamento, pois “implica em menor gasto com aquisição de novas lâmpadas e menor necessidade de manutenção” (KRUEGER *et al*, 2016). Nesse quesito, a lâmpada LED ficou em primeiro lugar com margem de mais do que o dobro

da segunda colocada (50.000 horas x 24.000 horas), a lâmpada a vapor de sódio. Com relação à temperatura de cor, verificou-se que a LED possui a cor mais fria (5600K), em oposição à lâmpada a vapor de sódio, que possui a cor mais quente dentre as lâmpadas comparadas.

No que tange à eficiência luminosa, auferiu-se que LED e lâmpada a vapor de sódio (entre 120-125 lm/W) foram as duas melhores e com rendimentos próximos, com pequena vantagem para o LED (entre 125-130 lm/W). Já para o fluxo luminoso, o estudo não levou em conta o efeito do suporte ou luminária nas respectivas lâmpadas. O resultado observado foi similar ao anterior, com um valor aproximadamente de 50.000 lúmens para LED e lâmpada a vapor de sódio, com pequena vantagem para a lâmpada LED novamente.

Para o custo-benefício, foi analisada a razão entre o valor de aquisição pelo tempo de vida útil da lâmpada, em que se demonstrou que o LED possui maior vida útil e maior custo, e a vapor de sódio possui segunda maior vida útil e custo mais que três vezes menor que o LED. No tocante ao consumo de energia, foi feita uma equiparação de eficiência luminosa, em que foi observado que uma lâmpada LED de 150W produziria a quantidade de lúmens semelhantes às demais, mesmo com menor potência nominal, enquanto as de vapor de sódio e multivapores metálicos apresentam potência de 250W e as de vapor de mercúrio apresentam potência de 400W. Verificou-se que a lâmpada LED possui o menor consumo dentre todas. Com isso, calculou-se o gasto mensal para cada modelo de lâmpada, como segue na Tabela 5, em que foi comprovado uma diminuição no consumo mensal num cenário de lâmpadas LED.

Tabela 5- Tabela comparativa entre lâmpadas de IP

Lâmpada	Potência (W)	Horas	Dias	kW.h/m	Gasto Mensal (R\$)
LED	150	10	30	23,4	R\$ 23.400,00
Multivapores Metálicos	250	10	30	39	R\$ 39.000,00
Vapor de Sódio	250	10	30	39	R\$ 39.000,00
Vapor de Mercúrio	400	10	30	62,4	R\$ 62.400,00

Fonte: Adaptado de KRUEGER e RAMOS, 2016.

Nessas condições, o LED apresentou-se como a melhor alternativa para o grupo, pois mesmo tendo um investimento inicial maior, seus custos de manutenção e de operação são menores que os das demais lâmpadas, além de oferecer maior vida útil dentre as lâmpadas comparadas.

5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE IP NO BRASIL

Nesta seção, são apresentados dados acerca da pesquisa de SOUSA *et al.*, denominada Análise da eficiência energética da iluminação pública no Brasil e, com isso, são sugeridas melhorias para efficientização do sistema IP brasileiro. A pesquisa é caracterizada pela classificação quantitativa descritiva, com a criação de um indicador de eficiência para o sistema de iluminação pública do Brasil.

Esse indicador é dependente exclusivamente de “parâmetros de desempenho quantitativos específicos de cada tecnologia de lâmpada, que são analisados através de recursos matemáticos e estatísticos” (SOUSA, 2021). Foi feito um levantamento de pontos de IP no Brasil divulgado pela Eletrobrás, através do Programa PROCEL. Houve uma dificuldade no tratamento dos dados por conta de eles não serem atualizados anualmente. Foram feitas pesquisas esparsas no tempo, sendo uma em 1995, outra em 1999, a seguinte em 2004, a penúltima em 2008 e a última em 2018, dez anos após a anterior, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Levantamento dos pontos de IP no Brasil.

Lâmpada	1995	1999	2004	2008	2018
Vapor de Sódio	7,25%	15,83%	40,31%	62,93%	70,51%
Vapor de Mercúrio	80,68%	71,50%	51,97%	31,84%	10,63%
Vapor Metálico	-	-	0,49%	0,73%	5,40%
LED	-	-	-	-	3,28%
Mista	6,99%	7,60%	3,98%	2,22%	2,27%
Fluorescente	1,22%	1,17%	0,77%	0,81%	1,92%
Incandescente	3,84%	3,89%	2,10%	1,42%	0,32%
Outras	0,01%	0,01%	0,38%	0,03%	5,68%
Total de Pontos	8.781.800	12.954.121	13.041.455	14.769.309	16.133.095

Fonte: adaptado de ELETROBRÁS, 2021.

Nessas pesquisas, foram atribuídos pesos a cada tipo de tecnologia de lâmpadas para serem compreendidos como um indicador da evolução da eficiência do sistema de IP ao longo do tempo. A partir disto, foi feito um estudo em cima de uma projeção de atualização do sistema de IP no Brasil baseada em trabalho de ARAÚJO (2020), com maior inserção da tecnologia LED, que auferia (em 2018) apenas 3,28% de participação desta tecnologia no levantamento de pontos de IP brasileiros.

Essa projeção consolidou-se através de uma tabela que “mostra perspectivas de mudança na distribuição das lâmpadas ao longo dos próximos anos” (SOUSA, 2021) e serviu

de base para a análise das perspectivas de crescimento de indicadores de eficiência da IP brasileira, podendo ser analisado pela Tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de projeção de atualização do sistema de IP no Brasil

Lâmpada	2022	2024	2026
Vapor de Sódio	38,63%	23,54%	10,34%
Vapor de Mercúrio	18,05%	11,00%	4,83%
LED	43,32%	65,47%	84,83%
Total de Pontos	15.633.216	17.106.558	19.467.665

Fonte: SOUSA (2021) *apud* ARAÚJO (2020) p. 44.

A partir desse cenário, o autor fez um levantamento de tipos de lâmpadas e padrões de desempenho das luzes para cada fabricante para, então, criar um indicador de desempenho das lâmpadas, normalizado em uma escala de 0 a 5 e atribuindo pesos a cada um dos seguintes parâmetros analisados: “eficiência luminosa, vida mediana, IRC, temperatura de cor, perda nos reatores, manutenção do fluxo luminoso e THD”. Após a análise de todos indicadores, foi estabelecido um indicador geral de eficiência do sistema IP.

O indicador geral de desempenho das lâmpadas foi composto por uma média ponderada, que leva em conta indicadores econômicos com maior peso (70%), que incluem vida média e eficiência luminosa, e indicadores de qualidade da luz (IRC, temperatura de cor e manutenção do fluxo luminoso) e de equipamentos auxiliares (perda nos reatores e THD), em que esses dois últimos indicadores somados representam 30% da média ponderada.

O autor justifica os pesos para cada um dos parâmetros supracitados, como se segue:

- Eficiência luminosa (40 %): considerando que duas lâmpadas emitam o mesmo fluxo luminoso, mas que a lâmpada 1 tem o dobro da eficiência da lâmpada 2, isso significa que, ao substituir a lâmpada 2 pela 1, o consumo passa a ser metade do inicial, diminuindo bastante o faturamento. Além do retorno econômico, a troca de lâmpadas por outras mais eficientes reduz a demanda por energia na ponta. Dessa forma, esse é o indicador que apresenta o maior peso.
- Vida mediana (30 %): a utilização de lâmpadas com maior vida mediana reduz tanto os custos de aquisição de novas lâmpadas como os custos de manutenção do sistema de IP, sendo essencial para o cálculo de viabilidade econômica dos projetos de modernização.
- IRC (10 %): Não possui relação direta com os aspectos econômicos, mas é um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade de uma fonte luminosa, já que revela sua capacidade de reproduzir em um objeto uma cor fiel à sua cor real, permitindo uma visualização mais nítida do ambiente.

- THD (10 %): apesar de não estar diretamente relacionada às lâmpadas e sim aos equipamentos auxiliares, também é um parâmetro relevante sob o aspecto da qualidade de iluminação, já que tem efeito sobre as formas de onda da tensão e da corrente e podem causar efeitos negativos como sobrecargas.
- Perdas nos reatores (5 %): está relacionada a aspectos econômicos, uma vez que quanto menores as perdas nos reatores, menor será o consumo. Contudo, elas representam, em média, menos de 15% da potência total (lâmpada e reator). Dessa forma, o peso das perdas nos reatores deve ser inferior a 15% do peso da eficiência luminosa. Com isso, o peso definido foi de 5%, que representa 12,5% do peso do parâmetro da eficiência luminosa.
- Fluxo luminoso residual (3 %): apesar de proporcionar uma diminuição da eficiência luminosa, a redução do fluxo luminoso só passa a ser percebida à medida em que a lâmpada se aproxima de sua vida útil. Dessa forma, como essa característica não tem uma relevância uniforme durante todo o período de operação da lâmpada, foi dado a ela um peso de apenas 3 %.
- Temperatura de cor (2 %): “como já exposto anteriormente, não existe uma relação direta entre a temperatura de cor e o desempenho da lâmpada. Essa característica é muito mais voltada à sensação que aluz passa, seja a de transmitir um maior conforto ou uma maioratenção. Apesar de esse parâmetro não ser tão relevante, há uma recomendação de que a temperatura de cor para projetos de modernização de sistemas IP esteja dentro de uma faixa específica.” (ARAÚJO, 2021)

Já o indicador geral de eficiência de sistemas de IP foi composto valendo-se de uma coleta de dados quantitativos do sistema IP brasileiro por tipo de tecnologia, juntamente a esse indicador geral de desempenho de cada lâmpada, para então chegar a um valor de indicador geral de desempenho do sistema e poder adotar as mudanças necessárias para atualização de forma eficiente, utilizando as melhores tecnologias disponíveis.

O indicador geral de desempenho de lâmpadas foi estabelecido com exclusão e inclusão da tecnologia LED, em que foi verificado que, em se excluindo o LED, a mais eficiente seria a lâmpada de vapor de sódio. Assim sendo, a alternativa de atualização mais indicada seria a troca das lâmpadas de vapor de mercúrio pelas de vapor de sódio. Porém, quando é incluída a tecnologia LED, a qualidade de energia modifica o status da lâmpada de vapor de sódio e evidencia a LED como a melhor alternativa, como visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Indicador Geral de Lâmpadas.

Tipo de Lâmpada	Indicador Geral (excluindo LED)	Indicador Geral (incluindo LED)
Vapor de Sódio	4,2932	3,3959
Vapor de Mercúrio	2,907	2,4125
Vapor Metálico	3,4696	2,9679
LED	-	4,4573
Mista	1,9587	1,7173
Fluorescente	2,4078	2,1088
Incandescente	1,742	1,6880

Fonte: SOUSA, 2021.

Conclui-se, dessa forma, que, para a evolução do sistema de IP do Brasil continuar progredindo com níveis satisfatórios, seria necessária a substituição de quase metade dos pontos de iluminação pública por lâmpadas LED.

O cenário de mudança supracitado exige grandes investimentos, porém observa-se que a cada dia que passa ele se torna cada vez mais inevitável, haja vista o aumento dos custos com energia elétrica e com a manutenção de lâmpadas com tecnologias anteriores à LED. A tecnologia LED além de consumir menos, traz vida mediana maior, justificando economicamente a escolha, apesar de seu custo inicial mais elevado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A perspectiva apresentada neste trabalho foi de evolução de tecnologias que concernem a iluminação pública, demonstrando a necessidade vital de desenvolvimento em materiais, processos, manutenção, desenvolvimento das lâmpadas, com uma abrangência histórica de antecessoras até chegar à tecnologia LED.

Atualmente, a maioria das tecnologias empregadas para iluminação pública utilizam são baseadas em energia elétrica. Assim sendo, vem ocorrendo uma evolução continuada dessas tecnologias para que níveis de consumo possam ser reduzidos em busca da sua otimização, automatizações e controle possam ser implementados de forma eficiente, preocupações ambientais e demandas de intensidade luminosa possam ser supridas.

A tecnologia LED vem se estabelecendo como realidade por oferecer enormes vantagens no que tange à economia no consumo de energia, apesar de seu custo inicial elevado. Vale ressaltar a existência de inúmeros estudos comprovando que o investimento inicial se paga com o passar do tempo, uma vez que tanto a economia no consumo quanto de manutenção justificam a investidura. Não se pode negar, também, que as lâmpadas de descarga apresentam relevante papel nos sistemas de IP do Brasil, até porque existem claras dificuldades em se fazer *retrofit* em locais mais afastados dos centros urbanos.

A iluminação pública é, inegavelmente, um instrumento dos governos na direção de uma sociedade civil organizada e segura. Como se trata de um bem público, o interesse em se obterem evoluções dos sistemas passa por mais questões do que apenas ser uma melhor tecnologia. Passa também por sua viabilidade econômica e impactos ambientais. Dessa forma, nos moldes relativos a tecnologias existentes atualmente, e através de estudos de viabilidade, conclui-se que o futuro da IP é evoluir para o emprego da tecnologia LED dentro dos próximos anos.

É importante também citar os programas de eficiência tecnológica governamentais para que esta evolução se torne realidade, assim como a evolução nas leis e normativas para a área, que vêm a corroborar com os aspectos supracitados.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Assim como já existem estudos e trabalhos na área envolvendo a aplicação da tecnologia LED, trabalhos futuros podem considerar métodos alternativos de geração

de energia para alimentação do sistema de IP. Neste mesmo sentido, o gerenciamento remoto das redes de IP têm aumentado com inovações no controle e na automação.

Usar a IP como forma de comunicação seria um desdobramento prático de seu uso. Em épocas de conscientização, tais como outubro rosa e novembro azul, valer-se da habilidade dos LEDs de mudarem suas cores para auxiliar estas campanhas, bem como em épocas festivas, como a Copa do Mundo, iluminar as vias de verde e amarelo seria sugestivo.

REFERÊNCIAS

ABCIP. **Você sabia? Parque brasileiro de iluminação pública é estimado em 16 milhões de pontos, sendo responsável por cerca de 4% do consumo total de energia no país.**

Associação Brasileira de Concessionárias de Iluminação Pública, 2020. Disponível em: < <http://associacaoabcip1.hospedagemdesites.ws/>>. Acesso em: 28 nov. 2022.

ABNT NBR 15129. **Luminárias para iluminação pública – Requisitos Particulares.** 2ª. ed, 2012. Disponível em: < <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/23786/abnt-nbr15129-luminarias-para-iluminacao-publica-requisitos-particulares>> Disponível em: 17 dez. 2022.

ABNT NBR IEC 60598-1. **Luminárias.** Primeira edição, 2018. Disponível em: < <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/12392/abnt-nbriec60598-2-22-luminarias-parte-2-22-requisitos-particulares-luminarias-para-iluminacao-de-emergencia>> Disponível em: 17 dez. 2022.

ABNT. **Iluminação pública NBR 5101.** Rio de Janeiro, 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021.** Agência Nacional de Energia Elétrica/Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-normativa-aneel-n-1.000-de-7-de-dezembro-de-2021-368359651>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

ANEEL. **Resolução Normativa ANEEL nº 414 de 2010.** Agência Nacional de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=112868>> Disponível em: 06 nov. 2022.

BORBA, Aroldo José Viana; JUNIOR, Ary Vaz Pinto; JUNIOR, Fernando Rodrigues da Silva; AGUIAR, João Carlos Rorigues *et al.* **Guia para eficiência energética nas edificações públicas Versão 1.0.** Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Coordenador Ministério de Minas e Energia - MME - Rio de Janeiro, 2014.

BRASIL. **Decreto nº 9. 470** promulga a Convenção Minamata sobre Mercúrio, firmada pela República Federativa do Brasil, em Kumamoto, em 10 de outubro de 2018. 2019. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9470.htm> Acesso em: 11 set. 2022.

Brasil prepara-se para boom da iluminação a LED. *In: Inovação tecnológica.* 22 nov. 2011. Disponível em: <https://www.ipminas.com.br/planejamento-de-iluminacao/#:~:text=No%20Brasil%2C%20conforme%20a%20Associa%C3%A7%C3%A3o,de%20merc%C3%BArio%2C%20qu%C3%ADmicos%20considerados%20poluentes>> Acesso em: 02 out. 2022.

BRASIL. **Resolução N° 414/2010**. Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. ANEEL. Brasília, 2010, 195p.

CARDOSO, Fábio. Prefeitura de Campina Grande e Energisa inauguram nova iluminação do Parque do Povo. *In: Turismo em Foco*. 2022. Disponível em: <<https://turismoemfoco.com.br/v1/2022/05/25/prefeitura-de-campina-grande-e-energisa-inauguram-nova-iluminacao-do-parque-do-povo/>>. Acesso em: 07 nov. 2022.

CASAGRANDE, Cristiano Gomes. **Iluminação Pública**: panorama, tecnologias atuais e novos paradigmas. Editora Visu, 2020. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=eNI7EAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false> Acesso em: 24 de set. 2022.

CELP. **Escolha a lâmpada correta e economize na conta de energia**. *In: G1*, 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/pe/pe-geral/pe-especial-publicitario/celpe/desligue-o-desperdicio/noticia/2016/05/escolha-lampada-correta-e-economize-na-conta-de-energia.html#:~:text=As%20%C3%A2mpadas%20LED%20s%C3%A3o%2080,revisar%20alguns%20h%C3%A1bitos%20de%20consumo.>> Acesso em: 02 dez. 2022.

CHAVES, Vladimir. **Prefeitura de Campina Grande firma parceria com Energisa e inicia modernização da iluminação do Parque do Povo**. *In: Política na Paraíba*, 2022. Disponível em: <<https://politicanaparaiba.com.br/prefeitura-de-campina-grande-firma-parceria-com-energisa-e-inicia-modernizacao-da-iluminacao-do-parque-do-povo/>>. Acesso em: 28 out. 2022.

CODLUX. **Por que as Lâmpadas de Mercúrio deixarão o mercado?**. *Codlux blogspot*, 2020. Disponível em: <<https://codlux.blogspot.com/2020/05/por-que-as-lampadas-de-mercuro.html>> Acesso em: 05 dez. 2022.

COPEL. **Manual de iluminação pública**. Paraná, 2012. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Arquitetural/Ilumina%20E3o%20P%20FAblica/Manuais/manual_de_iluminacao_publica_copel_companhia_paranaense_de_energia.pdf>. Acesso em: 06 out. 2022.

ELETROBRAS; CEPEL. **Relatório de Gestão do Exercício de 2012**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<chrome-extension://gphandlahdpffmccakmbngmbjnjiiahp/https://q.eletrabras.com/pt/AcessoInformacao/Relatorio-de-Gestao-Exercicio-2012.pdf>> Acesso em: 05 dez. 2022.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2022**. Empresa de Pesquisa Energética/ Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>> Disponível em: 16 dez. 2022.

FIDALGO, João Emanuel Lós Reis. **Maximização de receita de concessionária de transmissão de energia elétrica através da otimização da manutenção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo: Escola Politécnica. São Paulo, 2007, p. 109.

FRÓES DA SILVA, Lourenço Lustosa. **Iluminação Pública no Brasil: Aspectos Energéticos e Institucionais** [Rio de Janeiro] 2006 XI, 161 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M. Sc., Programa de Planejamento Energético, 2006). Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Louren%C3%A7o_Lustosa_Fr%C3%B3es_da_Silva.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

GIRO, Robson. **Por que as lâmpadas de mercúrio deixarão o mercado?**. 2020. Disponível em; <<https://codlux.blogspot.com/2020/05/por-que-as-lampadas-de-mercurio.html>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

Iluminação pública de Led: saiba os seus benefícios para a gestão de cidades. *In: SX LIGHTING*. Disponível em: <<https://sxlighting.com.br/blog/o-que-voce-precisa-saber-sobre-iluminacao-publica-de-led-confira/>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

KRUGER, Cristiane; RAMOS, Lucas Feksa. **Iluminação Pública e eficiência energética**. Revista Espaço Acadêmico, 2016, nº 185. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/31530/17597>>. Acesso em: 28 set. 2022.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª Ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/at_download/file> Acesso em: 05 set. 2022.

Lâmpadas a vapor de mercúrio e de luz mista deixarão de ser importadas. *In: ABILUX*. Disponível em: <<https://abilux.com.br/noticia/lampadas-a-vapor-de-mercurio-e-de-luz-mista-deixarao-de-ser-importadas/>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

LED INDUSTRIES. **Led Solutions: Outdoor**. Houston: North Eldridge Pkwy, 2017-2018.

LED na iluminação pública: confira as vantagens dessa tecnologia. *In: Connected Smart Cities (CSC)*. 27 abr. 2022. Disponível em: <<https://portal.connectedsmartcities.com.br/2022/04/27/led-na-iluminacao-publica-confira-as-vantagens-dessa-tecnologia/>>. Acesso em: 07 set. 2022.

LIMA, Leandro Campos; GOUVEIA, Lucas de Souza. *In: Iluminação pública: história, tecnologias e aplicações*. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2019.

Luminária pública LED CITYLED. *In: NOVVALIGHT*. Disponível em: <<http://novvalight.com.br/catalogo/luminaria-publica-led-cityled/#>>. Acesso em: 02 nov. 2022.

Luminária Pública LED. *In: COMBINADO*. Disponível em: <<https://combinado.com.br/luminaria-publica-led>>. Acesso em: 16 out. 2022.

MAGALHÃES, Fábio. Iluminação de piscinas com fibras ópticas. *In: revista techne*. 2010. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/17255238-Iluminacao-de-piscinas-com-fibras-opticas-fabio-magalhaes.html>>. Acesso em: 03 set. 2022.

MATTEDE, Henrique. **O que é lâmpada de vapor metálico e suas aplicações!**. *In: Conceitos de Eletricidade: Mundo da Elétrica*, 2022. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-lampada-de-vapor-metalico-e-suas-aplicacoes/>> Acesso em 03 nov. 2022.

MÁXIMO, Wellton. Caixa e BNDES anunciam parceria para projetos de concessões e PPP. *In: Agência Brasil*. 2022. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2022-09/caixa-e-bndes-anunciam-parceria-para-projetos-de-concessoes-e-ppp>>. Acesso em: 20 set. 2022.

MEDEIROS, Henrique. Campina Grande testa iluminação pública com antena 5G. 14 out. 2022. Disponível em: <<https://www.mobiletime.com.br/noticias/14/10/2022/campina-grande-testa-iluminacao-publica-com-antena-5g/>>. Acesso em: 05 nov. 2022.

O planejamento de iluminação pública é essencial: veja o porquê. *In: Ip Minas Iluminando Ribeirão das Neves*. 2022. Disponível em: Panorama do setor de iluminação pública no Brasil. *In: QLUZ PALHOÇA*. 15 ago. 2022. Disponível em: <<https://www.qluzpalhoca.com.br/setor-de-iluminacao-publica-no-brasil/>>. Acesso em: 19 nov. 2022.

Por que é preciso modernizar a iluminação pública?. *In: IP MINAS*, [S. l.], p. 1-3, 25 maio 2021. Disponível em: <<https://www.ipminas.com.br/por-que-e-preciso-modernizar-a-iluminacao-publica/>>. Acesso em: 11 dez. 2022.

PPS - **Lighting Use & Design**. 2008. Disponível em: <<https://www.pps.org/article/streetlights>>. Acesso em: 01 de nov. 2022.

ROSITO, Luciano Hass. As origens da iluminação pública no Brasil. *In: Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil*. 2009. Disponível em: <https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/11/Ed36_fasc_IP_cap1.pdf>. Acesso em: 29 set. 2022.

SOUSA, Ramon Lopes de . **Análise da deficiência do sistema de iluminação pública no Brasil.** Monografia (graduação em engenharia elétrica). Universidade Federal do Ceará, Centro de tecnologia, Departamento de engenharia elétrica. Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/62186/3/2021_tcc_riusousa.pdf Lindinho>. Acesso em: 18 set. 2022.

VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro; DAVID, Rafael Meirelles; SANTOS, Marcelo José dos; GIOVANELI, Luciano de Barros *et al.* **Resultados PROCEL 2015 ano base 2014.**ELETROBRAS, 2015. Disponível em: <https://procelinfo.com.br/resultadosprocel2015/docs/rel_procel2015_web.pdf?1>. Acesso em: 13 ago. 2022.