



Universidade Federal
do Rio de Janeiro
Escola Politécnica

ILUMINAÇÃO PÚBLICA

HISTÓRIA, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES

Leandro Campos Lima e Lucas de Souza Gouveia

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Rio de Janeiro,
Dezembro de 2019

ILUMINAÇÃO PÚBLICA: HISTÓRIA, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES

Leandro Campos Lima e Lucas de Souza Gouveia

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinado por:

Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Antonio Carlos Siqueira Lima, D. Sc

José Luiz da Silva Neto, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
DEZEMBRO DE 2019

Lima, Leandro Campos. Gouveia, Lucas de Souza

ILUMINAÇÃO PÚBLICA: HISTÓRIA,
TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES / Leandro Campos Lima
e Lucas Gouveia de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola
Politécnica, 2019.

XVII, 96 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Luiz Nascimento Dr. Eng.

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso
de Engenharia Elétrica, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 76-79.

1. Introdução. 2. Panorama histórico da iluminação. 3.
Lâmpadas e luminárias aplicadas a IP. 4. A Iluminação
Pública no Brasil e panorama quanto a legislação vigente. 5.
Projeto de iluminação pública. 6. Conclusão 7. Referência
bibliográfica. I. do Nascimento, Jorge Luiz. II. Universidade
Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de
Engenharia Elétrica. III. Título

Dedico este trabalho aos meus pais, Mario e Nanci, meus irmãos Daniel e Thais e minha esposa Juciane.

Leandro

Dedico este trabalho aos meus pais
Miguel e Lucia Helena Gouveia
pelo amor incondicional e pelo
tempo e esforços dedicados a mim.

Lucas

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pois em todo caminho da vida precisamos ter fé, nos melhores e piores momentos. Sem fé a vida fica sem sentido.

Agradeço aos meus pais, Mario e Nanci por toda sabedoria repassada ao longo dos anos, pelos seus cuidados e carinhos. Sempre incentivando alcançar meus objetivos. Ao meu irmão Daniel, por sempre estar ao meu lado. E minha irmã Thais, a qual dedico minha atenção e amor.

Agradeço a minha esposa Juciane por todo amor, paciência, cumplicidade e compreensão nos momentos mais difíceis. Obrigado por abrir mão de diversas coisas para me fazer feliz.

À secretária do DEE, Kátia. Sem seus conselhos, ajuda e puxões de orelha, a caminhada teria sido bem mais difícil. Obrigada por sua disponibilidade e carinho a todos os alunos da Engenharia Elétrica.

Aos professores do DEE deixo toda minha gratidão, com vocês aprendi mais do que engenharia. Em especial, agradeço meu orientador, Jorge Luiz do Nascimento, por toda dedicação, disponibilidade e empenho para a realização deste trabalho. Pela sua compreensão das dificuldades que tive em poder entregar este projeto de graduação.

Leandro Campos Lima

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de todas as coisas, ao seu filho Jesus Cristo que me livrou da minha justa condenação e ao seu Santo Espírito que me sustenta até que Ele volte.

Aos meus pais que muito me auxiliaram nesta conquista.

Aos meus tios Ana e Ademir Teixeira assim como Valéria e Jaildo Araújo que me adotaram nesta longa e difícil caminhada.

Aos caros professores desta instituição pelo tempo dedicado a instrução, em especial ao Professor Jorge Luiz do Nascimento pela paciência e por não desistir de mim

Lucas de Souza Gouveia

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

ILUMINAÇÃO PÚBLICA: HISTÓRIA, TECNOLOGIAS E APLICAÇÕES

Leandro Campos Lima e Lucas de Souza Gouveia.

Dezembro de 2019

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

O presente trabalho apresenta os resultados de uma pesquisa sobre a iluminação pública, abordando aspectos da regulamentação, da tecnologia de lâmpadas e dos equipamentos acessórios ou auxiliares, como luminárias, reatores e relés de comando. É mostrado como a evolução para as lâmpadas de LED trouxe benefícios para a redução dos custos do consumo de energia.

O trabalho inicia pela contextualização histórica da iluminação, passa pela descrição das tecnologias e regulamentações, prosseguindo pela abordagem sobre aspectos de rendimentos dos equipamentos, dos aspectos legais, da aplicação de tarifas e de dados sobre programas governamentais de eficiência energética relacionada à iluminação pública. Em seguida, são abordados aspectos de projeto, como parâmetros de base, resultados esperados e configurações de sistemas de iluminação. Por fim, são apresentados vários exemplos de projetos executados para avaliação dos aspectos abordados.

Palavras-Chave: História da iluminação pública, Legislação da iluminação pública, Projetos de iluminação pública, Análise econômica de projetos de iluminação pública.

Abstract of Undergraduate Project presented to Department of Electrical Engineering of POLI/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

PUBLIC LIGHTING: HISTORY, TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS

Leandro Campos Lima and Lucas de Souza Gouveia

December/2019

Tutor: Jorge Luiz do Nascimento

Course: Electrical Engineering

The work aims to show the results of a research on public lighting, addressing regulatory aspects, lamp technology and accessory or auxiliary equipment such as luminaires, reactors and control relays. It is shown how the evolution to LED lamps has brought benefits for reducing energy consumption costs.

The work starts with the historical contextualization of lighting, goes through the description of technologies and regulations, proceeding with the approach on aspects of equipment performance, legal aspects, tariffs and data on government energy efficiency programs related to public lighting. Then, design aspects such as baseline parameters, expected results, and lighting system configurations are covered. Finally, several examples of projects executed to evaluate the aspects addressed are presented.

Key-Words: History of street lighting, Public lighting legislation, Street lighting projects, Economic analysis of street lighting projects.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABELAS.....	XVII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJETIVOS	4
1.2. MOTIVAÇÃO	5
1.3. METODOLOGIA	5
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2. PANORAMA HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO	7
2.1. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	7
2.1.1. Fogos e Tochas	7
2.1.2. Lucernas	8
2.1.3. A lâmpada flutuante	9
2.1.4. Os castiçais	10
2.1.5. Os candelabros	10
2.1.6. As velas	11
2.1.7. As lanternas	11
2.1.8. O gás.....	12
2.1.9. A eletricidade	12
2.2. ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	13
2.3. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL.....	14
3. LÂMPADAS E LUMINÁRIAS APLICADAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	16
3.1. LÂMPADAS	17
3.1.1. Lâmpadas incandescentes	17
3.1.2. Lâmpadas de descarga	18
3.1.2.1. Lâmpada a vapor de mercúrio em alta pressão.....	19

3.1.2.2.	Lâmpadas a vapor de sódio	21
3.1.2.3.	Lâmpada de multivapores metálicos	24
3.1.2.4.	Lâmpada fluorescente de indução magnética	27
3.1.2.5.	LED	29
3.2.	REATORES	32
3.2.1.	Os reatores eletrônicos	32
3.2.2.	Os reatores magnéticos	33
3.3.	CIRCUITOS DE COMANDO.	34
3.3.1.	Relé térmico	34
3.3.2.	Relé magnético.	35
3.3.3.	Relé eletrônico	35
3.3.4.	Conversores eletrônicos para LEDs.	36
3.4.	LUMINÁRIAS	37
3.4.1.	Componentes das luminárias	37
3.4.1.1.	Refletor.....	38
3.4.1.2.	Difusor.....	38
3.4.1.3.	Soquete	38
3.4.1.4.	Braço para suporte e fixação	39
3.4.2.	Tipos e rendimento das luminárias	40
3.5.	Conclusão	40
4.	A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL E PANORAMA QUANTO A LEGISLAÇÃO VIGENTE	42
4.1.	REGULAMENTAÇÃO DA IP NO BRASIL	42
4.1.1.	DNAEE, ANEEL e suas resoluções	42
4.1.2.	Contrato	43
4.1.3.	Aplicação de Tarifas.	44
4.1.4.	Medição e faturamento	45
4.2.	PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS	48
4.2.1.	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)	49

4.2.2.	Programa Nacional de iluminação pública eficiente - RELUZ.....	49
5.	PROJETO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	51
5.1.	CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS.....	52
5.1.1.	Via urbana.....	52
5.1.2.	Via de transito rápido.....	52
5.1.3.	Via arterial	52
5.1.4.	Via coletora.....	53
5.1.5.	Via local	53
5.1.6.	Via rural	53
5.1.7.	Rodovias	54
5.1.8.	Estradas	54
5.2.	NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA E FATORES DE UNIFORMIDADE ..	56
5.3.	TOPOLOGIA DE ILUMINAÇÃO VIÁRIA	57
5.4.	ARBORIZAÇÃO – DESOBSTRUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	60
5.5.	CONFIGURAÇÕES DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA .	61
5.5.1.	Iluminação pública de comando individual.....	62
5.5.2.	Iluminação pública de comando em grupo.....	62
5.6.	TELEGESTÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	63
5.7.	EXEMPLOS DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO.....	65
5.7.1.	Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ.....	65
5.7.2.	Ciclovias Beira-mar Norte.....	66
5.7.3.	Arco Metropolitano	67
5.7.4.	Cidade de Santander, Espanha.....	69
5.7.5.	Cidade de Los Angeles, EUA	70
5.7.6.	Cidade de Vrbovec, Croácia	71
5.8.	RESULTADOS	72
6.	CONCLUSÃO	74

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE A - CONCEITOS DE TÉCNICA DE ILUMINAÇÃO	80

Lista de Figuras

Figura 1.1 – Consumo por classe no Brasil (GWh) [4].....	3
Figura 1.2 - Mudança de qualidade e desempenho da iluminação pública de Porto Alegre [5].....	4
Figura 3.1 - Sistema de um circuito completo de iluminação básico. [8]	16
Figura 3.2 - Modelo tradicional de lâmpada incandescente [9]	17
Figura 3.3- Esquema de funcionamento simplificado de lâmpada de descarga. [10]	18
Figura 3.4- Lâmpada de vapor de mercúrio [9].....	20
Figura 3.5 - Distribuição espectral típica de uma lâmpada de mercúrio em alta pressão. [10]	21
Figura 3.6 - Modelos tubular e ovóide de lâmpadas a vapor de sódio, comumente utilizadas em iluminação pública [9].....	22
Figura 3.7 - Distribuição espectral típica de uma lâmpada de vapor de sódio [10]	23
Figura 3.8 - Lâmpada multivapor metálico [12].....	25
Figura 3.9 - Distribuição espectral de uma lâmpada de multivapores metálicos.[10]....	26
Figura 3.10 - Distribuição espectral de uma lâmpada multivapor metálico de cerâmica. [10]	26
Figura 3.11 - Lâmpada de indução magnética, com indutor externo [9].....	28
Figura 3.12 - Espectral de uma lâmpada de indução Osram Endura colour 830 [10]....	28
Figura 3.13 - Distribuição espectral da lampada de LED 6500K [10]	31
Figura 3.14 - Luminária LED para iluminação pública [9].....	31
Figura 3.15 - Reator eletrônico [12]	33
Figura 3.16 - Esquema de ligação de um reator magnético [13].....	33
Figura 3.17 - Modelos diversos de relés fotoelétricos. [8]	35
Figura 3.18 - Luminárias RoadStar™ da Philips	36
Figura 3.19 - Soquete da luminária	39

Figura 3.20 - Braço da luminária, com o ponto de fixação ao poste [8]	39
Figura 3.21 - Da esquerda para a direita está exemplificado o aumento na eficiência luminosa das luminárias. Conjunto óptico eficiente. [8]	40
Figura 3.22 - Comparativo entre índice de reprodução de cores (IRC), eficiência luminosa e vida média	41
Figura 5.1 - Classificação das vias urbanas [3]	55
Figura 5.2 - Arranjo unilateral das luminárias. [8]	57
Figura 5.3 - Arranjo bilateral alternado das luminárias. [8]	58
Figura 5.4 - Arranjo bilateral oposto das luminárias. [8]	58
Figura 5.5 - Arranjo empregado em vias com canteiro central. [8]	59
Figura 5.6 - projeção da desobstrução longitudinal [11]	61
Figura 5.7 - projeção de desobstrução lateral [11]	61
Figura 5.8 - Parque de Iluminação [16]	64
Figura 5.9 – Falta de segurança na lagoa com a iluminação a vapor de sódio	66
Figura 5.10 - Iluminação da lagoa Rodrigo de Freitas, Com vapor de sódio(esquerda) e a troca por LED (direita)	66
Figura 5.11 - Trecho da Ciclovia Beira-Mar Norte antes/depois do sistema LED [17].	67
Figura 5.12 - Arco Metropolitano, um péssimo exemplo para iluminação pública eficiente.[18]	68
Figura 5.13 - Antes e depois da troca da iluminação por lâmpadas de LED [19]	70
Figura 5.14 - Troca da iluminação por LED na cidade de Los Angeles [20]	71
Figura A - 1 Comprimento de onda. [21]	80
Figura A - 2 Sensibilidade visível ao olho humano [21]	81
Figura A - 3 Curva de sensibilidade ao olho humano [21]	81
Figura A - 4 visualização do fluxo luminoso. [24]	82
Figura A - 5 Esfera Integradora de Ulbricht. [24]	83

Figura A - 6 Visão do ângulo sólido. Extraído [22]	83
Figura A - 7 Visualização da intensidade Luminosa. [24]	84
Figura A - 8 Curva fotométrica de distribuição de luz de uma lâmpada incandescente. [25]	84
Figura A - 9 Curva fotométrica de distribuição de luz de uma lâmpada incandescente. [25]	85
Figura A - 10 Cálculo da iluminância. [24].....	86
Figura A - 11 Luminância (percepção de brilho). [24].....	88
Figura A - 12 luminancímetro konica minolta. [24].....	89
Figura A - 13 Temperatura de cor de diferentes fontes. [25]	90
Figura A - 14 Índice de reprodução de cor e exemplos de aplicação. [26]	91
Figura A - 15 Representação do pé direito útil [26]	93

Lista de Tabelas

Tabela 3.1- Grupos de lâmpadas	18
Tabela 4.1 - Tarifa de Energia elétrica A – de 2,3 a 230KV [8]	46
Tabela 4.2 - Tarifa de Energia elétrica B Inferior 2,3KV [8]	47
Tabela 4.3 - Estrutura Tarifária [8].....	47
Tabela 4.4 - Tarifa B4a para faturamento de iluminação pública praticada pela empresa Copel [8].....	47
Tabela 4.5 - Tarifa B4b para faturamento de iluminação pública praticada pela empresa Copel[12].....	48
Tabela 5.1 – Níveis de Iluminância para vias públicas. [3].....	56
Tabela 5.2 - Dados do projeto na cidade de Santander [19].....	69
Tabela 5.3 - Valores comparativos da economia com a troca de lâmpadas e luminárias[19].....	72

1. INTRODUÇÃO

No começo dos tempos da humanidade, o período de Sol era necessário para o desenvolvimento das atividades humanas, inclusive a de conseguir alimentos. Durante a noite tinha o frio, animais selvagens e outros perigos, que impossibilitavam qualquer prática destas. O domínio do fogo foi um importante aliado, para sobrevivência da humanidade, que passou a enxergar em lugares fechados, como nas cavernas, e ter maior proteção durante a noite. Além disso, estendeu suas atividades também para o período noturno.

Ao dominar o fogo, acendendo fogueiras, deu-se início a história da iluminação artificial [1]. O homem primitivo deixou suas marcas nas cavernas escuras com o auxílio de tochas e, através de seus rituais e lendas, a luz funcionou como elemento teatral. O fogo acompanhou a magia dos sacerdotes no início da história, dando-lhes mistério e teatralidade dramática. A luz natural foi usada no teatro pelos gregos. Basta examinar a estrutura da dramaturgia da Grécia para perceber como o drama acompanha o caminho do sol, do Leste para o Oeste. As peças foram escritas em harmonia com o ritmo da luz e seus anfiteatros projetados com o mesmo objetivo.

O fogo foi a primeira e principal fonte de energia dominada pela raça humana, houve evolução das formas de conter e manter o fogo, por volta de 200.000 a.C. as tochas utilizadas eram mais difíceis de manter o fogo aceso. No século I surgiu a vela à cera. Somente por volta de 1780 que houve a evolução da vela para vela de espermacete (óleo de baleia). Por volta de 1800, criaram-se os lampiões, que permitiu o avanço da revolução industrial, já que o homem passou a poder trabalhar mais horas em fábricas. Esta nova tecnologia provocou uma grande mudança na sociedade, pois as indústrias se multiplicaram criando a necessidade de se utilizar novos combustíveis. O avanço da eletricidade proporcionou a evolução para as lâmpadas de tungstênio no início do século 20 até as lâmpadas de LED atualmente.

A evolução da iluminação transformou as cidades, pois desempenhou um papel importante para que as pessoas usufríssem mais da noite, embelezou as cidades e deixou-as mais seguras. Além de estar ligada à segurança no tráfego, destaca e valoriza

monumentos, prédios e paisagens, orienta percursos e tem-se o melhor proveito das áreas de lazer. A melhoria da iluminação pública favorece o turismo, comércio e o lazer noturno, ampliando as opções de lazer para a população.

Para o convívio social, a iluminação tem grande relevância, pois, desde o fogo o homem desafiou a escuridão. Mas, infelizmente, a evolução de lâmpadas não proporcionou logo iluminação com acesso para todos, pois por alguns anos, próximo a 1900, o monopólio das empresas no Brasil (Light e The São Paulo Gás Company), que detinham os direitos da geração e da distribuição de energia elétrica, privou muitas famílias de usufruírem os benefícios de uma rede de energia para oferecer mais qualidade de vida [2]. Somente em 1910, com a evolução do filamento de tungstênio, foi que a iluminação começou a se popularizar e ter mais concorrência no Brasil. Atualmente ainda há famílias isoladas, que por motivos diversos, inclusive falta de ação dos gestores públicos, que não podem aproveitar do uso da iluminação.

No Brasil, a iluminação pública segue os critérios da norma NBR 5101:2012 – iluminação pública [3]. A norma define índices mínimos para a iluminância de vias e áreas para tráfego de pedestres. Tendo em vista que o objetivo da Iluminação Pública, entre outros, é proporcionar segurança ao tráfego de veículos e pedestres, além de auxiliar na segurança pessoal e na proteção policial, é necessária a inclusão destes critérios para os novos projetos de iluminação pública. Estas vias e áreas estão classificadas de acordo com sua utilização e volume de tráfego de pedestres, em que são estabelecidas a iluminância média mínima e uniformidade mínima requerida.

Desde que a responsabilidade da iluminação pública (IP) passou a ser gerida pelos municípios, há a cobrança de taxa de IP nas contas de energia das concessionárias de distribuição. Então cada vez mais é necessária uma gestão pública com foco na eficiência energética da IP. A IP corresponde à 3,3 % do gasto geral em energia elétrica no Brasil, de acordo com o anuário da EPE [4], tal como é mostrado na Figura 1.1.

	2012	2013	2014	2015	2016	$\Delta\%$ (2016/2015)	Part. % (2016)	
Brasil	448.176	463.134	474.823	464.976	460.829	-0,9	100	Brazil
Residencial	117.646	124.908	132.302	131.190	132.872	1,3	28,8	Residential
Industrial	183.475	184.685	179.106	168.856	164.557	-2,5	35,7	Industrial
Comercial	79.226	83.704	89.840	90.768	87.873	-3,2	19,1	Commercial
Rural	22.952	23.455	25.671	25.899	27.266	5,3	5,9	Rural
Poder público	14.077	14.653	15.354	15.189	15.092	-0,6	3,3	Public Sector
Iluminação pública	12.916	13.512	14.043	15.333	15.035	-1,9	3,3	Public lighting
Serviço público	14.525	14.847	15.242	14.730	14.969	1,6	3,2	Public service
Próprio	3.359	3.371	3.265	3.011	3.164	5,1	0,7	Own use

Figura 1.1 – Consumo por classe no Brasil (GWh) [4]

Há necessidade de diminuir esse consumo, mas sem deixar de atender à população. O uso eficiente da energia faz-se necessário, tal como equipamentos mais eficientes, como lâmpadas e luminárias. Se em casa é possível economizar tanto com a troca pelas lâmpadas eficientes, como foi feito durante o racionamento em 2001 no Brasil (Conhecido como o “Apagão”), o qual a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas chegou a 80% de economia, conforme Santos (2015). É possível imaginar o impacto positivo dessa economia no País como um todo. Em tempos de crise econômica e escassez de recursos, é preciso pensar, em longo prazo, em alternativas eficientes que auxiliem os governos na tarefa de gastar menos e que sejam benéficas ao meio ambiente. Neste sentido, uma alternativa, que surge como solução, são as Parcerias Público-Privadas – PPPs. Recentemente houve a abertura de edital para a PPP da iluminação pública da cidade de porto alegre, de acordo com [5] serão investidos quase 1 Bilhão de reais em 20 anos, que contará com a substituição por lâmpadas de LED e telegestão do sistema. Com a substituição das lâmpadas e luminárias por LED é projetado uma redução de consumo dos atuais 70,45 GWh (atual/ano) para 37,9 GWh (projetado a partir do terceiro ano), além de outras melhorias, como mostrado na Figura 1.2.

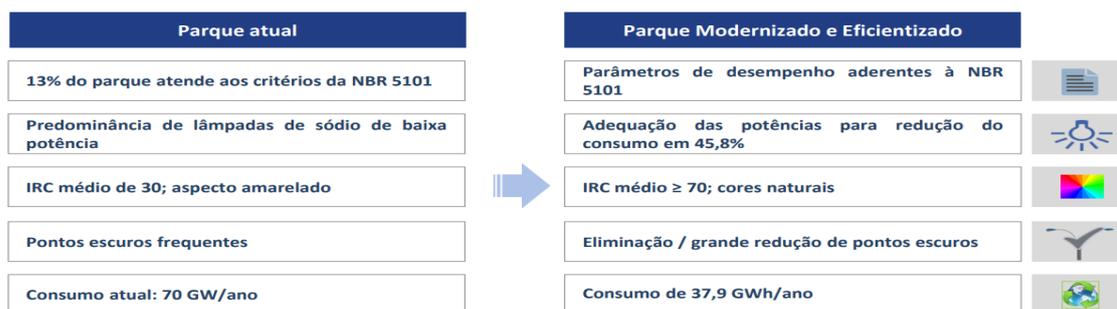


Figura 1.2 - Mudança de qualidade e desempenho da iluminação pública de Porto Alegre [5]

De acordo com informações do Observatório das Parcerias Público-Privadas, somente com iluminação pública, os principais municípios do Brasil consomem mensalmente o equivalente a uma turbina da Usina de Itaipu. Além disso, o mesmo observatório defende que o modelo de iluminação pública atual é defasado. De um modo geral, as lâmpadas funcionam à base de vapor de sódio e mercúrio, combinação altamente nociva para o meio ambiente. A troca pelas lâmpadas de LED é benéfica porque representa ganho em vida útil em relação às de mercúrio e vapor de sódio, além da economia de energia.

1.1.OBJETIVOS

O objetivo é mostrar a importância da iluminação pública para a segurança das pessoas durante o trânsito nos espaços urbanos, bem como destacar os aspectos tecnológicos, de projetos e da regulamentação, que conduzem ao sucesso de tais empreendimentos.

É objetivo também detalhar os aspectos que devem estar obrigatoriamente envolvidos nos estudos para o desenvolvimento dos projetos de iluminação pública, como a evolução tecnológica dos equipamentos de iluminação, as técnicas e orientações legais para processos eficientes, além da contextualização histórica.

1.2.MOTIVAÇÃO

O aspecto que motivou o trabalho é o atual problema da segurança pública no Estado do Rio de Janeiro, o qual atingiu um alto índice de violência, que assombra a população. A iluminação não é o principal fator, mas em lugares com pouca iluminação a insegurança é ainda maior, trazendo medo a população em andar nos lugares poucos iluminados. Na cidade de São Luiz (MA, Brasil), houve investimento em iluminação e trouxe resultados no combate à criminalidade, conforme [6]: “as políticas públicas de enfrentamento a violência têm como aliados ações simples como a iluminação de ruas e a limpeza de terrenos abandonados”.

Não só para melhoria da segurança, como para as atividades que dependem da iluminação artificial pública, é motivador também mostrar soluções com foco na eficiência energética, dada a crise financeira que atravessa o país.

1.3.METODOLOGIA

O trabalho foi realizado a partir de uma revisão bibliográfica sobre a história da iluminação e de outros aspectos históricos da iluminação pública no mundo e no Brasil. Em seguida, uma pesquisa de informações técnicas sobre as lâmpadas, luminárias e outros equipamentos acessórios usados na iluminação pública. Após, a legislação e as normas, além dos programas governamentais de conservação de energia vigentes no Brasil são passadas em revista. Em seguida, são analisados os aspectos de projetos de iluminação pública, principal objeto de investigação do presente trabalho, concluindo com exemplos de aplicação das análises resultantes. O trabalho é finalizado com a apresentação dos resultados e propostas de melhoria para a iluminação nos aspectos de segurança.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em 6 capítulos. Sendo o primeiro a introdução.

No Capítulo 2 serão demonstrados os conceitos de iluminação pública, com a evolução da iluminação artificial.

Capítulo 3 serão demonstradas as lâmpadas e luminária, para mostrar a importância do avanço tecnológico no conceito da eficiência energética.

No Capítulo 4 será apresentado a legislação Brasileira vigente para a iluminação Pública.

O Capítulo 5 é destinado a mostrar os projetos da iluminação pública, de acordo com a NBR 5101, demonstrando projetos com utilização de sistema informatizado e projetos elaborados de acordo com as novas tecnologias.

O Capítulo 6 será destinado a conclusão do trabalho.

2. PANORAMA HISTÓRICO DA ILUMINAÇÃO

As fontes de luz podem ser naturais ou artificiais. O sol é uma fonte primária de luz natural enquanto as lâmpadas são fontes de luz artificiais. A luz é uma onda eletromagnética que, no caso do natural, tem o sol como fonte e, no caso da artificial, é uma energia gerada a partir de fontes alternativas.

2.1. ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

O primeiro objetivo da iluminação é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente.

2.1.1. Fogos e Tochas

A utilização do fogo pela sociedade humana, é destacada na literatura histórica, com fins de proteção, aquecimento do ambiente, auxílio para o consumo de alimentos (cozidos e assados) e para iluminação, ainda que precária. Para gerá-lo, eram utilizados os métodos de friccionar duas madeiras ou rotacionar uma vareta sobre algum combustível, principalmente lenha. Para manter a chama acesa o fogo era mantido em cavernas naturais ou enterrado no chão protegido por pedras.

Os métodos mais primitivos foram substituídos por madeiras amarradas e unguidas com resinas ou piches que deram origem às tochas. Amplamente utilizada para iluminação, eram predominantemente móveis carregadas pelo portador num eventual deslocamento noturno. Dentre os povos que as utilizavam, encontram-se referências aos egípcios, babilônios e fenícios.

As tochas, no decorrer do tempo, passaram a ser predominantemente fixas. Eram utilizadas, por exemplo, nos foros públicos e anfiteatros de Roma. As “taedas” ou “fax”

como eram conhecidas, tiveram seu uso móvel restrito as festas, como observado na Grécia, ou para acompanhamento em casamentos e enterros. Na própria Grécia já se observava o seu uso para Iluminação Pública.

Já no renascimento, período de grande afirmação religiosa, a utilização das tochas passou a fazer parte dos eventos eclesiásticos. A noite elas eram acesas e carregadas pelos tocheiros profissionais, para guiar cristãos, por exemplo, em cerimônias propiciatórias fúnebres.

2.1.2. Lucernas

Primeiramente de barro, eram objetos inicialmente com forma irregulares, mas já apresentavam bordas levantadas e bicos salientes onde eram colocadas mechas que podiam ser de miolo de junco, fibras de papiro ou linho enroladas a ser usado como pavios e se valiam de combustível líquido. Na sua evolução imediata passaram a ser confeccionadas em pedras.

Entre os séculos IV e V as lucernas de barro cederam espaço às de cerâmica. O processo para obtenção deste material constituía na utilização de argilas selecionadas e tratadas com aditivos, e posterior submissão ao cozimento em fornalhas. Estas lucernas apresentavam formatos mais definidos, bordas completas com furo para entrada de oxigênio e combustível. Possuía alça ou dente lateral para serem carregadas podia ter mais de uma mecha. Posteriormente receberam adornos e ornamentos referentes as mitologias de seus povos [7].

Com o advento do torno de oleiro, as lucernas passaram a ter um acabamento melhor. Continuaram a fornecer luz pela queima de combustível líquido e houve um aumento na intensidade luminosa com o acréscimo de mechas [7].

Assim como as tochas, as lucernas eram utilizadas nas atividades religiosas e por isso recebiam ornamentações que as integrasse a este fim. No Egito havia representação dos faraós e na Grécia dos deuses do Olimpo. As de Roma mostravam deuses como Júpiter e Minerva e após o édito de Milão, promulgado pelos imperadores Constantino e

Licínio no século IV, passaram a apresentar símbolos relacionados ao cristianismo como a imagem do próprio Cristo e seus discípulos.

A partir de um domínio maior na manipulação dos metais, as lucernas ganharam novas formas e durabilidade. Inicialmente, as primeiras lucernas metálicas, eram feitas de bronze e foram utilizadas no antigo Egito.

Após a descoberta da liga formada por cobre e estanho, originando o bronze, as lucernas constituídas por este material, apresentavam maior definição em sua forma e opções de ornamentos. Pode-se afirmar que os primeiros equipamentos para iluminação pública aparecerem nessa era, pois nela começaram a surgir aparelhos suportados por pênseis.

A expansão da igreja cristã, na chamada alta idade média, provoca uma demanda específica para iluminação. Esse acontecimento parte desde a simples necessidade de aumento de claridade no interior dos templos durante as atividades religiosas, até a necessidade de criar intencionalmente um ambiente para se elucidar uma explicação como o contraste de luz e trevas, bem e mal.

Acrescenta-se a esta necessidade a do trabalho dos copistas que manualmente reproduziam livros necessários às bibliotecas eclesiásticas. As lucernas metálicas penduradas por pênseis e ornamentadas com motivos religiosos passaram a ser amplamente difundidas.

2.1.3. A lâmpada flutuante

Sabe-se que essas lâmpadas tiveram origem no Egito. Eram compostas de metal e no interior de seu compartimento havia água e óleo, onde flutuavam pequenos pedaços de madeira com as mechas [1].

Posteriormente para melhorar a “eficiência da iluminação” a parte metálica foi substituída pelo vidro, material este, que por apresentar outras características como leveza e ductilidade, teve papel importante para o desenvolvimento da iluminação. As lâmpadas eram manuais.

2.1.4. Os castiçais

Por observação chegou-se a conclusão de que quanto mais alta a fonte luminosa maior seria a área de sua influência. A partir desta conclusão as lucernas manuais e portáteis foram adaptadas e passavam a serem sustentadas por uma coluna sobre uma base. Da fusão entre estes dois elementos e a posterior substituição da lucerna pela vela, surgiu o conceito consagrado de castiçal.

Os castiçais de bronze tiveram grande aceitação e difusão, pois apresentava boa portabilidade e possibilidade de ornamentação, a qual demonstrava a sofisticação de seus donos. Na Grécia, apresentavam formas de deuses do Olimpo, e em Roma, apresentavam suas figuras mitológicas ou feitas gloriosos do império. Na idade média iluminava o interior de templos religiosos e eram de tamanhos relativamente menores que os castiçais.

Os castiçais passaram a ser considerados objetos de luxo e ornamentação produzidos então com pedras preciosas ouro e formas cada vez mais rebuscadas.

2.1.5. Os candelabros

Foram um avanço em relação aos castiçais pois podiam suportar mais pontos luminosos, estes que inicialmente, podiam ser pequenos copos com cera ou lucernas, que logo foram substituídos pelas velas. Além da vantagem luminosa apresentavam maior altura o que proporcionava uma maior área de iluminação.

Os primeiros castiçais foram encontrados com os povos Etruscos e futuramente adotada pelos Romanos. Servindo como objeto de decoração eram ornamentados e produzidos com materiais nobres como prata ouro e até de mármore de Carrara. Iluminando espaços públicos como o circo Máximo em Roma. Também era utilizado pela civilização Judia onde podemos mencionar o Menorah usado em rituais cúlticos.

Os candelabros passaram a apresentar um cachimbo para suportar as velas e não mais espigão anteriormente apresentado fora isto não tiveram grande evolução quanto a

tecnologia de iluminação. OS candelabros chegaram a apresentar grandes alturas de 4 a 5 metros destes destaca-se o arbóreo, representado uma árvore suportava sete velas.

Nas casas dos mais ricos, foram adaptados para serem pendurados nos tetos com uma grande quantidade de velas eram chamados de candelabros pênisis destacando-se os encontrados na região de Flandres. Um tipo interessante a se destacar é o de chifres, produzidos com os cornos de um alce ou veado. Os do mundo islâmico apresentavam-se apenas em formas geométricas de poliedros de metal sem ornamentação, isto deve-se provavelmente por este povo não fazer representações de sua divindade.

2.1.6. As velas

Provavelmente, inspiradas nas mechas das lucernas, cordões de cânhamos revestidos com piche, deram origem às primeiras velas. Inicialmente com forma pouco definida, a produção da vela, passou de um modo manual de confecção para um, de imersão dos cordões em compartimentos com determinados materiais, que poderiam ser, por exemplo, sebo líquido ou cera de abelhas derretida. Este novo processo concedeu a este utensílio formatos regulares e lisos.

Desde então as velas substituíram as lucernas nos castiçais. Passaram também a iluminar os esconderijos dos cristãos perseguidos, rituais, altares e imagens, promovendo um ambiente para meditação e reflexão.

2.1.7. As lanternas

As lanternas surgiram como aparelhos de argila em formato cilíndrico, alça para transporte e lateralmente eram feitos cortes na direção vertical para fruição da luz. Há registros de sua utilização no século I a.C., quando eram portados pelos Romanos.

Na era de César Augustus, primeiro imperador de Roma, as lanternas passam a ser confeccionadas em metal. As alças começam a ser dobráveis e as aberturas para saída da luz possuíam uma cobertura que podia ser de mica ou de bexiga animal. Nesta é poça

aparece a figura do “lanternarius”, criados responsáveis por carregar as lanternas durante os passeios noturnos de seus senhores [1].

As lanternas de metal por algum tempo coexistiam com as de argila. Estas eram empregadas de maneira fixa, principalmente em quartos de dormir. Sua abertura lateral proporcionava a possibilidade de direcionamento da luz. Exibiam como ornamentações típicas, temas florais, de aves ou cenas do campo.

As lanternas se modernizaram e passaram a possuir uma proteção de vidro para evitar que a chama da vela se apagasse facilmente. Passaram a ser usada nos cortejos procissionais e também em embarcações.

2.1.8. O gás

A utilização do gás obtido pelo inglês J.J. Becker propiciou um novo caminho para iluminação. Este gás era obtido pela destilação de carvão mineral, porém sua utilização em iluminação pública só foi possível com a invenção do gasômetro por William Murdoch, quem primeiramente iluminou sua casa e sua fábrica em Redruth. A primeira rua a ser iluminada por este sistema foi PallMall em Londres em 1807 [1].

Nas calçadas eram colocadas pilastras que suportavam os lampiões, estes em geral, de formas simples em ferro-gusa ou em chapas de ferro. Uma importante evolução neste sistema de iluminação foi a utilização do bico Auer que permitia virar para baixo a fonte de luz, pois não se consumia como os pavios. Para que este sistema funcionasse diariamente os lampiões tinham que ser acesos manualmente uma a um, os responsáveis pelo acendimento dos lampiões eram os gasistas ou profetas como foram conhecidos na cidade do Rio de Janeiro.

2.1.9. A eletricidade

Associada a grande descoberta da eletricidade a lâmpada incandescente deu o grande salto para que a IP tivesse seu rumo alterado. A industrialização desta lâmpada

provocou uma ótima solução para os sistemas anteriores embora no início da utilização enfrentassem o problema de ter que utilizar os equipamentos do sistema a gás, substituindo os queimadores e adaptando a localização dos fios elétricos até que fossem utilizados equipamentos próprios, como os postes ocos, para que pudessem passar os fios.

2.2.ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Observa-se que, ainda no século XV, a iluminação pública era de responsabilidade dos moradores das cidades e ordenada pelo poder público. Como esse processo era de difícil fiscalização, a claridade nas vias continuava insuficiente e esta era provida, muitas vezes, apenas pelas poucas lâmpadas votivas de oratórios.

Para amenizar essa situação utilizavam-se lâmpadas portáteis. Elas possuíam alças, eram feitas de chapa de ferro, apresentavam forma de poliedros ou cilindro. A luz emanava através de perfurações e as chamadas lanternas cegas, possuíam materiais como a mica ou papel oleoso em um terço da área externa da vela, impedindo assim, a iluminação do seu portador.

As grandes construções, que até então não contribuía para a iluminação, passaram, a partir do século XVI, a participarem com maior efetividade deste aspecto. Observa-se que, no período, grandes edifícios públicos e palácios senhoriais contribuíram, ainda que não intencionalmente, para melhoria da visibilidade urbana. Ao contrário dos castelos que utilizavam poucas tochas para iluminar locais específicos como suas entradas, esses novos prédios utilizavam lanternas rebuscadas de ferro forjado colocados nas esquinas o que provia uma parcial iluminação das vias.

O poder público começou a intervir um pouco mais no processo de melhoria da iluminação das cidades, porém sua atuação continuava restrita a determinar os locais de instalação das lanternas. Neste período, a instalação mantinha-se como responsabilidade dos cidadãos, que eram obrigados a fazê-la principalmente nas esquinas das principais cidades.

A administração pública passou a se preocupar e atuar na iluminação pública, a partir dos primeiros setecentos anos. O número de lanternas nas ruas foi aumentado gradativamente, estas apresentavam formatos sóbrios e eram feitas de ferro ou chapa soldada. Utilizavam como combustível o óleo vegetal, que apesar de possuir um bom rendimento quanto ao consumo, eram insuficientes quanto a intensidade luminosa.

As lanternas eram penduradas nos beirais das casas através de braços ou cabos estendidos sobre a rua. Afirma-se que um grande avanço, quanto a iluminação, foi conseguido em 1760, quando a elas, foi acrescentado um espelho côncavo de metal polido que refletia melhor a luz das chamas.

A função de abastecimento de óleo e manutenção das lanternas era de responsabilidade de profissionais conhecidos como lanterneiros, estes, porém não atuavam quando a iluminação, em algumas cidades, provida pela lua, era boa.

Pela definição da legislação vigente podemos dizer que [44]:

“Iluminação pública é o serviço que tem o objetivo de prover luz ou claridade artificial aos logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, incluindo locais que demandem iluminação permanente no período diurno”.

Ampliando a definição citada acima a iluminação tem papel preponderante na qualidade de vida dos habitantes, no aproveitamento dos espaços públicos, na melhoria da imagem da cidade e no incremento do comércio e do turismo.

2.3.A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL.

Um marco importante para esta modalidade foi a instalação de 100 luminárias à óleo de azeite nas ruas do Rio de Janeiro no ano de 1794. Para a operação destas, havia a figura dos “acendedores de lampião” pessoas responsáveis pelo acendimento de tais equipamentos.

Já em Porto Alegre (RS) no ano de 1874, na praça da Matriz, foram instaladas luminárias a gás alimentadas pela usina do gasômetro. Em 1887 com a inauguração da usina elétrica em Porto Alegre.

Nota-se que a evolução da iluminação pública no Brasil está intimamente ligada a evolução da energia elétrica. No Rio de Janeiro por exemplo, na primeira metade do século XX havia um acréscimo em média de dez mil pontos de iluminação por década, processo intensificado a partir da década de 1960 na qual começou a utilização das lâmpadas de descarga. Este processo de ampliação e melhoria da qualidade na iluminação pública, influência e acompanha o desenvolvimento da sociedade [45].

Para manter e gerir as novas instalações de iluminação pública advindas do crescimento da população e das cidades, em meados do século XX, foram criados diversos departamentos ligados as prefeituras ou as concessionárias responsáveis pelo setor, visando a implantação de técnicas e aplicações das tecnologias disponíveis.

No Brasil a partir da constituição de 1988 a responsabilidade pela iluminação pública passou a ser de atribuição local cabendo as prefeituras gerir o setor ou delegar tal tarefa a terceiros. No modelo atual de gestão leva-se em consideração a integração total do sistema valendo-se de processos informatizados seguindo critérios de qualidade. Neste processo estão associados desde a instalação de equipamentos e compra de materiais até a manutenção do sistema.

Dada a diferença histórica e cultural, a realidade quanto a gestão do sistema em cada estado brasileiro é diferente. Em alguns estados é gerida pela prefeitura diretamente em outros pela concessionária de energia e em alguns casos por empresas especializadas

3. LÂMPADAS E LUMINÁRIAS APLICADAS NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

As tecnologias empregáveis para iluminação pública, que vivem em constantes transformações, são amplamente usadas sem padronização. A divergência de maior atenção é a eficiência oferecida para a mesma aplicação.

A partir do manual de iluminação pública da Companhia Paraense de Energia - (COPEL), junto com o guia técnico de gestão energética municipal do Programa Nacional de Conservação de Energia - PROCEL, para um conhecimento das tecnologias aplicadas, listam-se as lâmpadas usadas, suas concepções e as características técnica de cada.

A análise técnica terá como marco inicial a análise dos dados cadastrais do sistema de iluminação pública existente e das especificações contidas nos catálogos dos fabricantes, onde se obtém as principais características técnicas dos componentes a serem substituídos.

Serão descritos os componentes da iluminação pública (IP), conforme a Figura 3.1

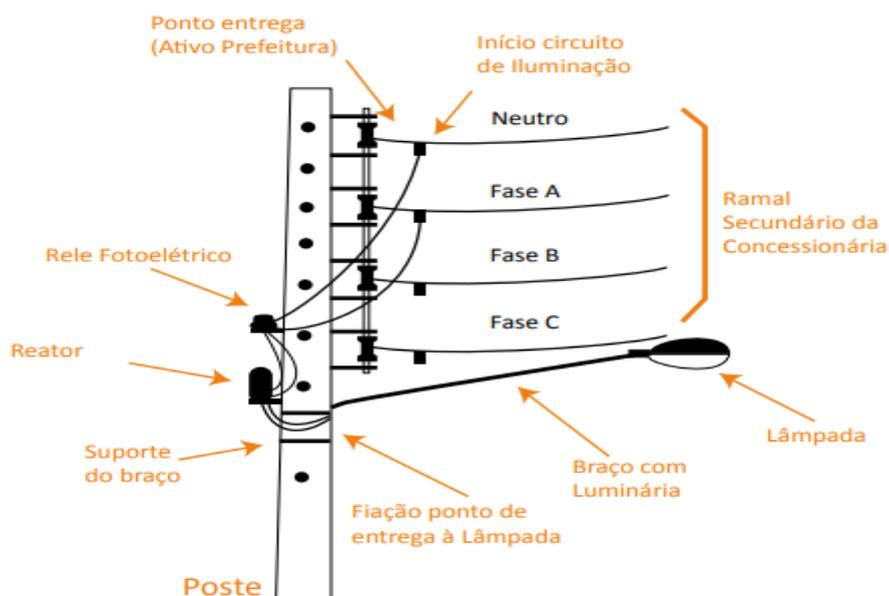


Figura 3.1 - Sistema de um circuito completo de iluminação básico. [8]

3.1.LÂMPADAS

Para as lâmpadas, levar-se-á em conta os: tipo, potência, quantidade, vida útil, fluxo luminoso, índice de reprodução de cor (IRC), temperatura (cor).

3.1.1. Lâmpadas incandescentes

Comercializadas desde 1907, a lâmpada incandescente é a mais popular dentre todas as tecnologias de fontes luminosas disponíveis. A produção da luz ocorre pelo aquecimento de um filamento, normalmente fabricado em tungstênio, por corrente elétrica. A Figura 3.2 representa a lâmpada incandescente. Para que não haja a queima precoce do filamento, ele é montado dentro de um bulbo com gases inertes, como o argônio e o nitrogênio.



Figura 3.2 - Modelo tradicional de lâmpada incandescente [9]

Para os sistemas de iluminação pública esta lâmpada não é indicada devido à sua baixa eficiência luminosa, em torno de 20 lm/W, e baixa vida mediana, que é cerca de 1000 h. No entanto ainda são aplicadas em grande escala em residências, devido principalmente ao baixo custo de aquisição, em comparação com as demais fontes luminosas. Além disso, o índice de reprodução de cor é de 100 % e a temperatura de cor

é 2400 K, considerada quente, o que proporciona ao ambiente uma maior sensação de conforto.

3.1.2. Lâmpadas de descarga

Nesta subsecção serão apresentadas as chamadas lâmpadas de descargas. São lâmpadas cuja produção de luz é obtida pela excitação de gases através da descarga elétrica entre eletrodos, conforme Figura 3.3.

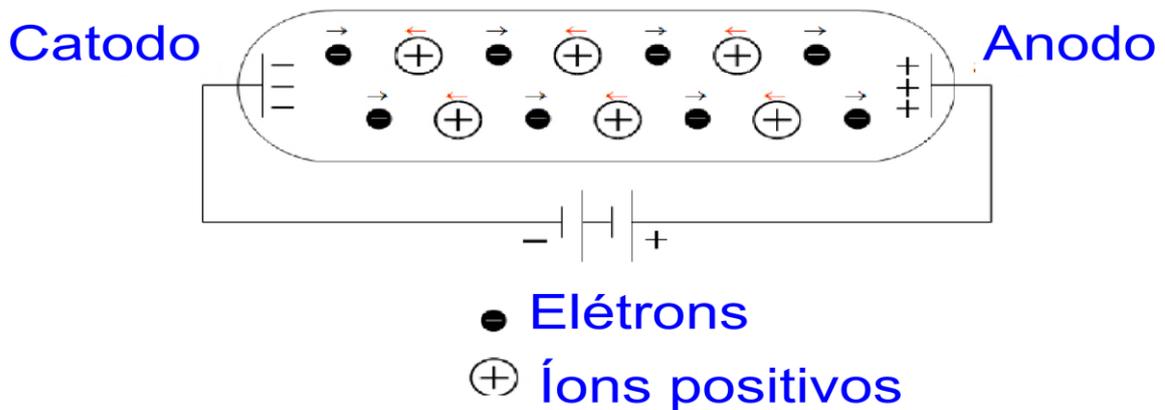


Figura 3.3- Esquema de funcionamento simplificado de lâmpada de descarga. [10]

São divididas em vapor metálico a alta pressão e vapor metálico a baixa pressão. A seguir uma Tabela 3-1 mostra estes grupos com os respectivos tipos de lâmpadas.

Tabela 3.1- Grupos de lâmpadas

Alta Pressão	Lâmpadas a vapor de mercúrio
	Luz mista
	Vapor de sódio
Baixa Pressão	Vapor de mercúrio de Iodetos metálicos
	Vapor de sódio
	Vapor de mercúrio (fluorescente)

Dentre os tipos mencionados serão apresentados apenas aquelas comumente utilizadas em Iluminação Pública no Brasil. Durante a ignição aplica-se uma alta tensão, da ordem de alguns quilovolts, por um curto período, da ordem de alguns microssegundos. De acordo com o professor Roberto Sales em 2012 a quantidade de luminárias em iluminação pública era de 62,93 % de VSAP e 31,84 % de VM

3.1.2.1. Lâmpada a vapor de mercúrio em alta pressão.

A lâmpada a vapor de mercúrio, comercializada a partir de 1908, tem sua produção de luz através da excitação de gases provocada por corrente elétrica.

3.1.2.1.1. Aspectos Construtivos

É constituída de um tubo de descarga transparente, conforme Figura 3.4, de dimensões reduzidas inserido em um bulbo de vidro, revestido internamente com uma camada de "fósforo" para correção do índice de reprodução de cor. O tubo de descarga contém vapor de mercúrio à pressão de 2 a 4 atmosferas e argônio a 0.03 atmosferas. O argônio atua como gás de partida, reduzindo a tensão de ignição e gerando calor para vaporizar o mercúrio. O tubo de descarga é de quartzo para suportar temperaturas superiores a 340 °C e evitar absorção da radiação ultravioleta emitida pela descarga. O bulbo de vidro transparente, com formato ovoide, contém nitrogênio, formando uma atmosfera protetora para: reduzir a oxidação de partes metálicas, limitar a intensidade da radiação ultravioleta que atinge o revestimento de "fósforo" e melhorar as características de isolamento térmica.

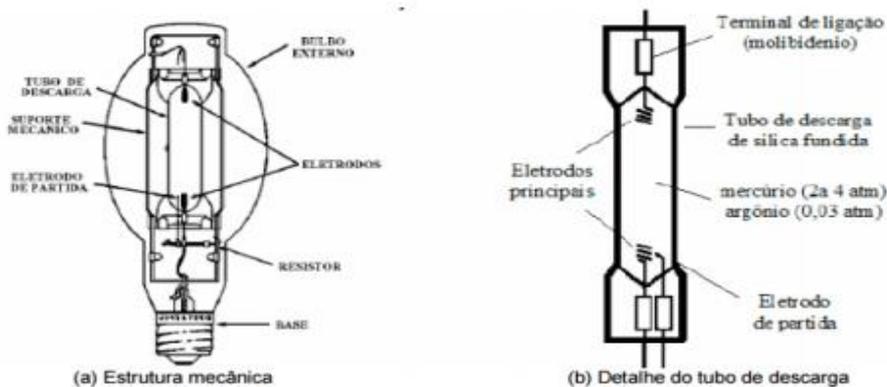


Figura 3.4- Lâmpada de vapor de mercúrio [9]

3.1.2.1.2. Princípio de funcionamento

Nos instantes iniciais da descarga, a lâmpada emite uma luz verde clara. A intensidade luminosa aumenta gradativamente até estabilizar-se após 6 a 7 minutos, quando a luz se torna branca com uma tonalidade levemente esverdeada. A descarga de mercúrio no tubo de arco produz uma energia visível na região do azul e do ultravioleta. O fósforo, que reveste o bulbo, converte o ultravioleta em luz visível na região do vermelho [11]

3.1.2.1.3. Espectro de radiação

A radiação é fruto da composição final da luz azulada do argônio e da luz amarelada do mercúrio. Apresenta-se em uma luz branco-azulada, com emissões na região do amarelo, verde e azul sem a radiação vermelha. No quadro abaixo analisa-se o caso de uma lâmpada de 400 W onde aproximadamente metade deste valor é transformado em radiação:

Para melhorar o aspecto da luz emitida utiliza-se uma composição fluorescente para transformar parte da luz ultravioleta, cerca de 10 % desta, em radiação visível.

A Figura 3.5 demonstra a distribuição espectral de uma lâmpada típica:

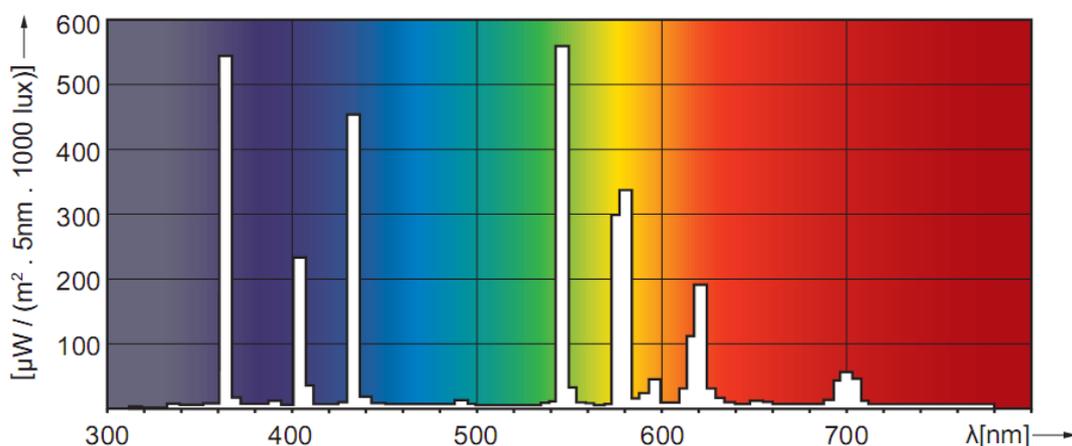


Figura 3.5 - Distribuição espectral típica de uma lâmpada de mercúrio em alta pressão. [10]

3.1.2.1.4. Principais características

A característica da impedância desta lâmpada após a partida é de alta condutância, sendo necessária a utilização de reatores para limitar a corrente elétrica de alimentação. Estes equipamentos são mais eficientes que as incandescentes e possuem maior vida mediana (de 11000 a 12000 horas), sendo muito empregadas em sistemas de iluminação públicas até os dias de hoje.

O Índice de reprodução de cor (IRC) é pouco expressivo, de 40 a 57. O rendimento luminoso varia desde os 36 lm/W aos 60 lm/W. É uma lâmpada pouco eficiente, pois a maior parte da potência é transformada em radiação (uma lâmpada de 400 W, cerca de 60 W é transformada em luz visível).

3.1.2.2. Lâmpadas a vapor de sódio

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

3.1.2.2.1. Aspectos construtivos

Atualmente é a tecnologia mais eficiente para aplicação em sistemas de iluminação pública, sendo largamente empregadas. Inclusive, uma das principais ações do Programa Reluz foi a substituição de várias lâmpadas incandescentes e a vapor de mercúrio pela lâmpada de vapor de sódio. Algumas lâmpadas de vapor de sódio estão representadas na Figura 3.6.



Figura 3.6 - Modelos tubular e ovoide de lâmpadas a vapor de sódio, comumente utilizadas em iluminação pública [9]

3.1.2.2.2. Princípio de funcionamento

O funcionamento de uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão assenta na ionização de uma mistura de vapores de sódio e de mercúrio metálicos obtidos a partir da evaporação de uma pequena quantidade de amálgama de sódio mantida na parte mais arrefecida da lâmpada. Após o arranque promovido pela ionização do xénon, a temperatura da amálgama sobe rapidamente em função da potência dissipada pelo plasma formado pelo xénon. À medida que a temperatura da amálgama aumenta, aumentam as pressões parciais dos vapores metálicos no interior da lâmpada, o que por sua vez leva à diminuição da sua resistência elétrica, com o conseqüente aumento da corrente e da dissipação de energia, até ser atingida a Espectro de radiação.

Seu espectro de cor é superior ao de vapor de mercúrio, pois as condições de pressão e temperatura a qual o sódio é submetido nesta lâmpada, fazem com que às linhas do espectro monocromático sejam, por interferência construtiva e destrutiva, acrescidas outras linhas espectrais.

Apresenta uma cor amarela alaranjada característica que em geral provoca uma sensação mais agradável se comparada a de vapor de mercúrio. Esta característica pode ser observada na Figura 3.7.

3.1.2.2.3. Principais características

É largamente empregada em IP devido as características de eficiência e longa durabilidade, porém com baixo índice de reprodução de cores. É mais barata se comparada a de vapor de mercúrio.

Possui índice de reprodução de cor (IRC) de 30, com a cor amarelada da luz emitida. Rendimento luminoso de até 120 lm/W e vida útil mediana de 16000 h. A eficiência da lâmpada é o dobro se comparada ao vapor de mercúrio, ou seja, de 400 W, 120 W são convertidos em luz visível.

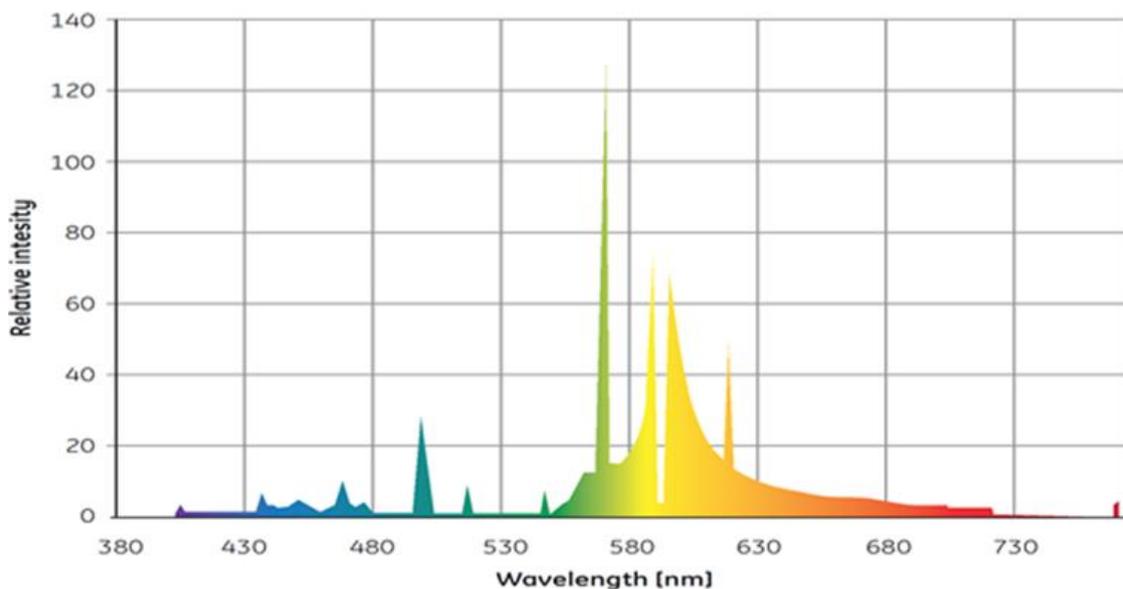


Figura 3.7 - Distribuição espectral típica de uma lâmpada de vapor de sódio [10]

3.1.2.3. Lâmpada de multivapores metálicos

Esta lâmpada, comercializada a partir de 1964, é uma evolução da tecnologia a vapor de mercúrio, sendo fisicamente semelhante a vapor de sódio.

3.1.2.3.1. Aspectos construtivos

Possuem formatos tubulares elipsoidais e refletoras. As tubulares são de arco curto ou longo, as primeiras são para luminárias compactas ou dirigidas e as últimas usadas para iluminação difusa.

As elipsoidais são assim chamadas por apresentar bulbo em forma ovoide, conforme Figura 3.8. As de potência maior que 250 W apresentam bulbo recoberto por material fluorescente, são usadas para iluminação difusa e utilizadas em luminárias fechadas apenas.

As refletoras não necessitam de luminárias e são utilizadas para iluminação direcionada. O direcionamento é conseguido quando os eletrodos de ignição estão a uma pequena distância criando uma fonte luminosa de característica semelhante a uma fonte puntiforme.

O vidro de proteção é normalizado para aguentar as altas pressões e temperaturas internas e filtrar as radiações de ultravioleta.

3.1.2.3.2. Princípio de funcionamento

O princípio é semelhante ao vapor de mercúrio, porém a adição de iodetos metálicos, conferiu à fonte luminosa maior eficiência luminosa.

A Figura 3.8 demonstra a lâmpada de multivapores metálicos, que de acordo com o fabricante possui uma vida útil de 12000 h e um IRC de 69.

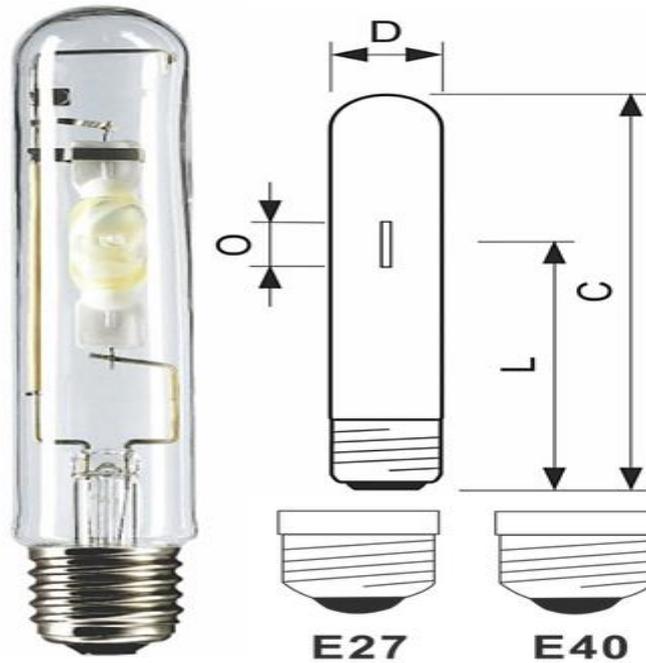


Figura 3.8 - Lâmpada multivapor metálico [12]

3.1.2.3.3. Espectros de radiação

A Figura 3.9 exemplifica a distribuição espectral para lâmpadas de multivapores metálicos para duas temperaturas de cor diferentes respectivamente 3000 K e 4000 K. É possível notar que a luz emitida ocupa praticamente todo espectro aproximando-se do espectro da “luz do dia”.

Comparando o espectro representado na Figura 3.9 com o da Figura 3.10 podemos afirmar que as lâmpadas de cerâmica apresentam uma maior intensidade para os comprimentos de onda ao longo do espectro.

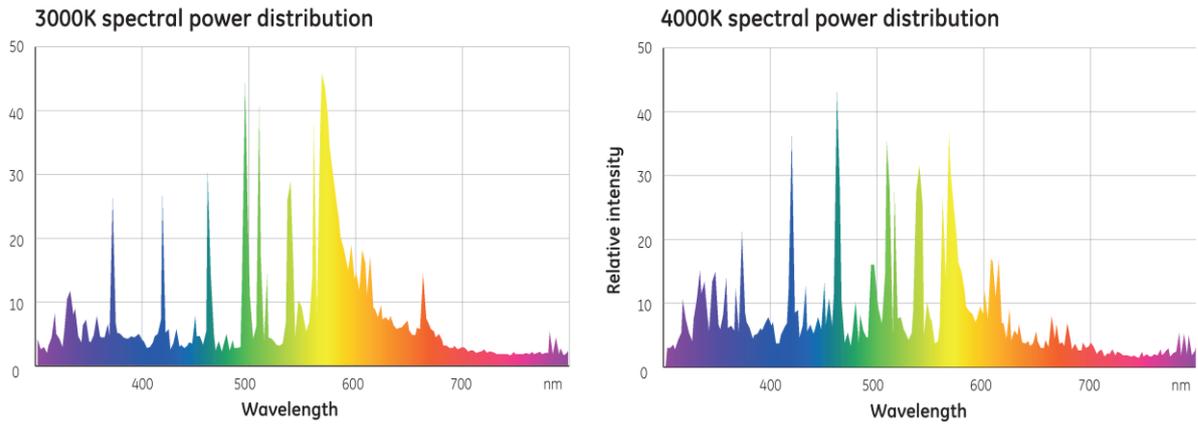


Figura 3.9 - Distribuição espectral de uma lâmpada de multivapores metálicos.[10]

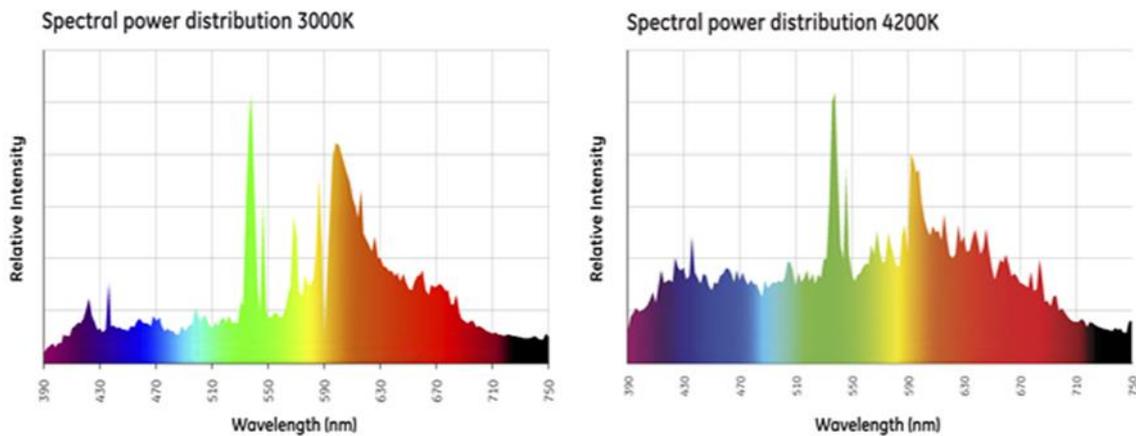


Figura 3.10 - Distribuição espectral de uma lâmpada multivapor metálico de cerâmica. [10]

3.1.2.3.4. Principais características

Apresenta alto IRC e alta eficiência luminosa, 95 lm/W, IRC de 65 a 96 e vida útil chega a 20000 h. A temperatura de cor vai de 3000 a 6000 K. A luz produzida é extremamente brilhante, realçando e valorizando espaços; por estes motivos esta lâmpada é empregada em sistemas de iluminação pública em locais em que se busca também o embelezamento urbano. São muito utilizadas em estádios de futebol e vitrines de shopping. São lâmpadas indicadas para locais onde a qualidade da luz é primordial.

3.1.2.4. Lâmpada fluorescente de indução magnética

Esta tecnologia foi desenvolvida recentemente e o princípio básico de funcionamento é a excitação do mercúrio e dos gases nobres em seu interior através da aplicação de um campo magnético externo oscilante de altíssima frequência, da ordem de 250 kHz.

3.1.2.4.1. Aspectos construtivos

Possui três componentes principais: reator, Tubo de descarga e bobinas. O reator é composto de um filtro redutor de harmônicos, uma ponte retificadora CA/CC, um circuito corretor de fator de potência que estabiliza a tensão em 400 VCC e aumenta o FP para um valor maior que 0.95, e um inversor CC/CA.

O tubo de descarga é um tubo de vidro onde internamente se encontra mercúrio a alta pressão e gases inertes que podem ser Argônio (Ar) ou Criptônio (Kr). Este tubo ainda é revestido por fósforo. As bobinas, em formato de anel, compostas de metal envolvem o tubo de descarga. Não possui eletrodos como as lâmpadas de descarga.

3.1.2.4.2. Princípio de funcionamento

As lâmpadas de indução são fontes de luz que combinam o princípio da indução eletromagnética com o da descarga de gás. Seu funcionamento é simples: o gás argônio presente no interior da ampola, ao ser excitado por uma corrente elétrica produz luz ultravioleta não visível que, ao atingir a camada interna de fósforo depositada nas paredes internas do bulbo, se transforma na luz clara que enxergamos, conforme mostrado na Figura 3.11.

3.1.2.4.3. Espectro de radiação

Possui aspecto de cor branca, e maior intensidade nos comprimentos de onda entre 500 e 650 nm como observado na Figura 3.12.

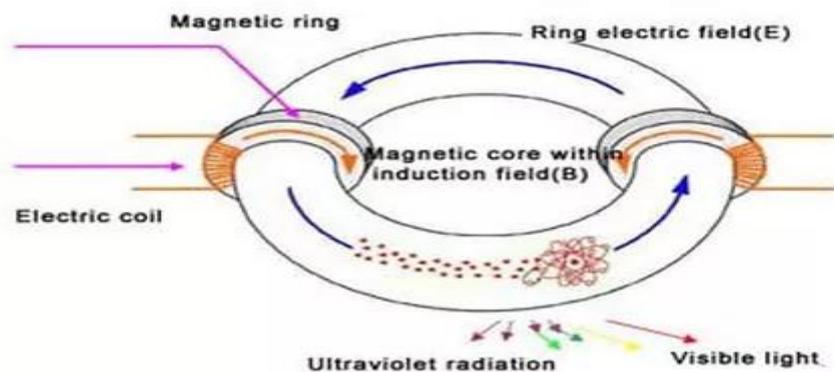


Figura 3.11 - Lâmpada de indução magnética, com indutor externo [9]

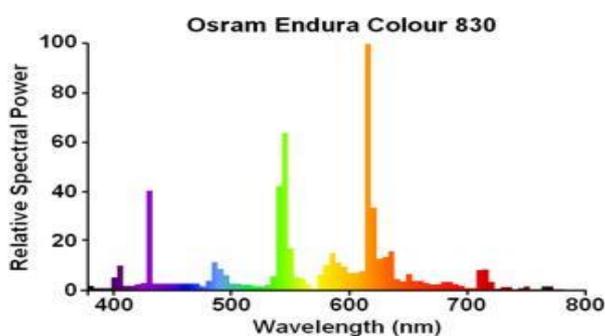


Figura 3.12 - Espectral de uma lâmpada de indução Osram Endura colour 830 [10]

3.1.2.4.4. Principais características

As vantagens da lâmpada de indução estão: a longa vida sem manutenção (acima de 50.000 horas), alta eficácia luminosa (75 - 85 lm/W), alta reprodução de cor ($R_a > 80$), opções de temperatura de cor (2700 K - 6500 K), partida rápida e reacendimento instantâneo, alto fator de potência, sem flicker, pode operar em temperaturas de até 40°C, e baixas distorções harmônicas. As lâmpadas de indução podem ser boas opções para aplicações cuja manutenção é bastante complicada e cara, como áreas industriais de pé-direito muito elevado e iluminação pública de tuneis.

Dentre as desvantagens, podem-se apontar o custo elevado do equipamento, sobretudo do reator, que muitas vezes é o ponto problemático do sistema em função das características técnicas necessárias para controlar a lâmpada e a qualidade do produto. A geração de radiações eletromagnéticas, que em equipamentos sensíveis, tais como equipamentos médicos e computadores podem sofrer interferências.

3.1.2.5. LED

Tem-se observado a crescente evolução da tecnologia das luminárias para iluminação pública utilizando como fonte luminosa o LED. Diferentemente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que emitem luz através da queima de um filamento ou pela ionização de alguns gases específicos, o LED produz sua luminosidade, basicamente, através da liberação de fótons provocada quando uma corrente elétrica flui através deste componente [28].

3.1.2.5.1. Aspectos construtivos

São diodos constituídos de materiais semicondutores como o germânio, o silício de baixa iluminância, ou ainda de arseneto de gálio ou fosforeto de gálio que fornecem maior intensidade de fluxo luminoso.

Os componentes principais de um LED são as lentes, chip, terminais, fio de ligação, dissipador, encapsulante, capsula. As lentes são uma peça ótica de precisão que direciona a luz do chip formando um fluxo direto. O chip é o semicondutor, produz a luz e é um componente pequeno comparado aos outros componentes do LED. Terminais são os contatos elétricos, anodo e catodo, onde a corrente é aplicada. Fio de ligação é um fio bem fino que conecta eletricamente o chip aos terminais. O dissipador é um condutor térmico necessário para transportar o calor do chip para o exterior evitando a degradação ótica do semicondutor. Encapsulante une a lente ao chip e a capsula protege o LED fisicamente.

3.1.2.5.2. Princípio de funcionamento

Dentre os materiais semicondutores menciona-se o Silício que possui 4 elétrons na camada de valência, seguindo o modelo de Bohr, ou seja, é tetravalente. Para se tornar estável, ele se agrupa a outro átomo de Silício para desfrutar de oito elétrons em sua órbita de valência formando assim um cristal.

Estes materiais quando *excitado* por uma energia externa, pode ter um de seus elétrons elevado a uma órbita de nível de energia maior. A vaga deixada por este elétron é conhecida por lacuna. Quando este átomo retorna a sua posição devolve a energia adquirida em forma de radiação (calor, luz ou outra).

Para que haja uma corrente elétrica útil em um semiconductor, adiciona - se, por exemplo, um elemento pentavalente como o Arsênio, Fósforo e o Antimônio, que resultará em um elétron a mais, denominado de elétron livre, já que na órbita de valência só são possíveis estar 8 elétrons ao mesmo tempo. Adiciona-se também ao elemento tetravalente um trivalente, como o Boro e o Gálio, neste acaso a órbita de valência apresentará apenas 7 elétrons. À ausência deste elétron é chamada de lacuna. A este procedimento de acréscimo de elementos aos cristais é denominado dopagem.

Os cristais com excesso de elétrons são denominados cristais do “tipo-N” e os com falta de elétrons na órbita de valência são do “Tipo-P”. Esses dois cristais associados formam um cristal PN. Quando polarizado diretamente, Tipo-P positivamente, Tipo N negativamente dá - se a condução de corrente pela movimentação de lacunas e elétrons livres.

A emissão de luz se dá através da liberação de fótons provocada pela recombinação entre elétrons livres de um lado do cristal PN e o outro lado com excesso de lacunas forçada pelo potencial elétrico externo.

3.1.2.5.3. Espectro de radiação

Não apresenta emissão de raios UV ou IV pois é adicionado um composto a base de fósforo para converter essa radiação em luz visível para se obter a luz branca, conforme mostrado na Figura 3.13.

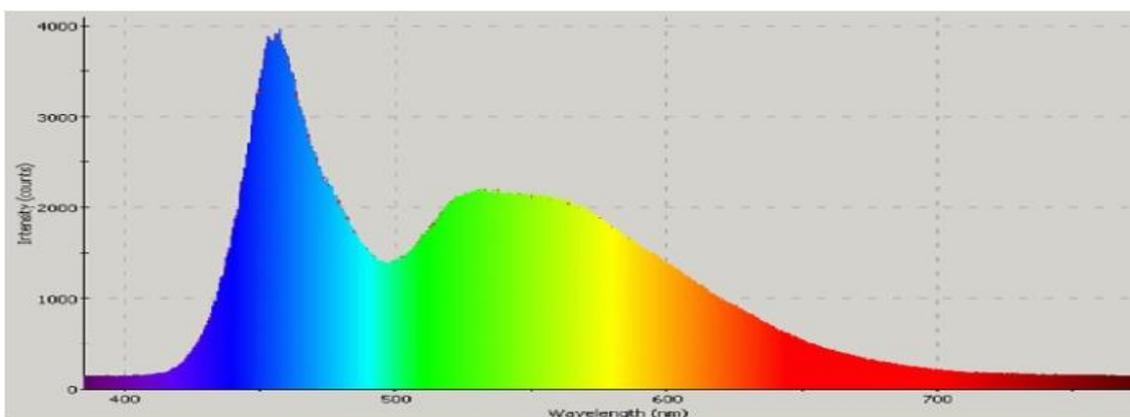


Figura 3.13 - Distribuição espectral da lâmpada de LED 6500K [10]

3.1.2.5.4. Principais características

Por se tratarem de fontes luminosas com fecho de luz bem direcionado, livres de metais pesados, com alta vida mediana, cerca de 50.000 h, alta eficiência – cerca de 150 lm/W, resistentes a vibrações, elevado IRC de 60 à 94 e com flexibilidade na escolha da temperatura de cor, há a expectativa de que os equipamentos empregando estes componentes sejam no futuro a alternativa mais viável para sistemas de iluminação. O LED não precisa de ignitor para acender, que faz com que tenha menor distorção harmônica na rede durante o acendimento. Na Figura 3.14 tem-se a representação de luminária de LED para iluminação Pública, o qual nota-se ser mais compacta que as luminárias de ignição.



Figura 3.14 - Luminária LED para iluminação pública [9]

3.2.REATORES

As lâmpadas, cujos princípios de funcionamento se baseiam na produção de luz pela excitação de gases, têm uma característica de acionamento elétrico mais elaborado que as incandescentes, por exemplo, que se comportam como resistências puras e funcionam conectadas diretamente a rede elétrica. Em geral, antes de entrarem em funcionamento, a carga das lâmpadas de descarga é enxergada pela alimentação como um circuito aberto, com altíssima impedância, no entanto depois de ionizado os gases, a impedância atinge valores muito baixos, fazendo com que a lâmpada se comporte como um curto circuito. Para vencer a alta impedância inicial da partida, algumas lâmpadas são dotadas internamente de eletrodos auxiliares, que é o caso, por exemplo, da lâmpada a vapor de mercúrio. Em outros casos, como por exemplo a lâmpada a vapor de sódio, é necessário aplicar por um curto período, da ordem de microssegundos, uma elevada tensão, que pode chegar a alguns kV. Para isto, é comumente utilizado um componente chamado ignitor. Após o acendimento da lâmpada de descarga, sua impedância cai a valores muito baixos. Então, para que limitar a corrente de alimentação, é utilizado um reator. Basicamente existem duas tecnologias disponíveis para reatores, os magnéticos e os eletrônicos.

3.2.1. Os reatores eletrônicos

São fontes chaveadas em alta frequência, da ordem de quilo Hertz, que controlam a corrente de alimentação da lâmpada. Estes equipamentos, diferentemente dos reatores magnéticos, dispensam o uso de ignitores e de grandes capacitores externos para a correção do fator de potência, como exemplo os reatores da GHID, mostrado na Figura 3.15, que apresentam um fator de potência maior que 0,97 e tempo de ignição de 1 minuto. Possibilitam também o controle de outros parâmetros elétricos da lâmpada, conferindo maior vida útil para a mesma e maior rendimento em todo o conjunto. Contudo, devido ao alto custo e a menor robustez, se comparado ao magnético, ainda não foram amplamente empregados.



Figura 3.15 - Reator eletrônico [12]

3.2.2. Os reatores magnéticos

São indutores dimensionados para operarem na frequência da rede elétrica. Podem ser subdivididos em externos e internos, dependendo da aplicação. Os externos são geralmente fixados na estrutura de sustentação e se necessário possibilitam a conexão com os relés fotoelétricos. Junto com o indutor, no interior do reator são instalados o ignitor e um capacitor para correção do fator de potência, conforme Figura 3.16 Um fator muito importante na especificação dos reatores magnéticos é o seu rendimento, pois depende diretamente da qualidade da matéria-prima utilizada nos fios de cobre e chapas de ferro silício, do processo produtivo e da otimização do projeto do indutor.

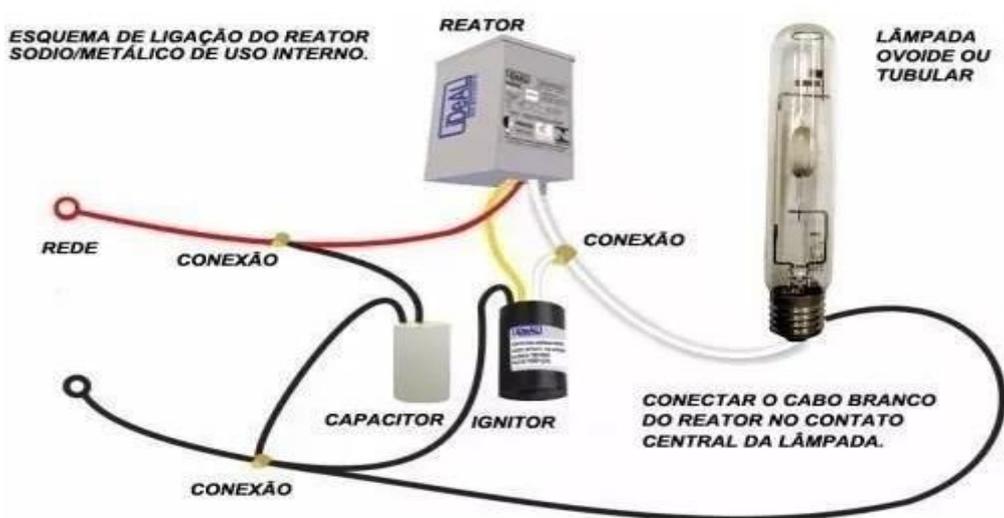


Figura 3.16 - Esquema de ligação de um reator magnético [13]

3.3.CIRCUITOS DE COMANDO.

Como destacado no Capítulo 2, o acionamento dos equipamentos de Iluminação Pública inicialmente era realizado de forma individual por funcionários. Atualmente este processo é totalmente inviável dada quantidade de pontos de iluminação existente. Para realizar esta função os sistemas são dotados de acionamentos automáticos.

Dentre os diversos acionamentos existentes aquele que ficou consagrado para a Iluminação Pública foi o relé fotoelétrico. Este tem sido amplamente utilizado, pois atende aos requisitos para este tipo de acionamento, ou seja, horário específico para acionamento relacionado aquele em que a iluminação natural já não é suficiente, noite ou céu com nuvens carregadas, por exemplo- além de construção simplificada, robustez e baixo custo.

Os relés fotoelétricos são acionados para um nível baixo de iluminância que sensibiliza o sensor fotoelétrico e apresenta algumas tecnologias construtivas que podem ser térmicos, magnéticos e eletrônicos. As três tecnologias serão sucintamente apresentadas nesta subseção, alguns relés são indicados na Figura 3.17.

A norma Brasileira, que rege a utilização de tais equipamentos, é a NBR 5123:1998 - Relé fotoelétrico e tomada para iluminação - Especificação e método de ensaio.

3.3.1. Relé térmico.

Neste tipo de tecnologia quando o nível de luminância reduzido aciona o sensor fotoelétrico, uma corrente elétrica passa por um conjunto bimetálico que se deforma pelo calor, esta deformação é responsável pelo acionamento dos contatos do circuito de força.

3.3.2. Relé magnético.

Este relé funciona como uma chave eletromecânica. Neste caso a corrente que circula após a sensibilização da célula fotoelétrica induz um campo magnético em uma bobina. A força eletromagnética gerada então, aciona e muda a posição dos contatos o que permite a alimentação do circuito de potência do ponto de iluminação.

3.3.3. Relé eletrônico.

O princípio de funcionamento deste tipo de tecnologia é similar ao do magnético, difere deste porquê a corrente provinda da sensibilização da célula fotoelétrica é tratada por um circuito eletrônico. Esta especificidade promove uma maior durabilidade ao equipamento, pois permite proteções para sobrecorrente, sobretensões e estresse da chave, além de promover maior precisão quanto a temporização dos acionamentos.

Concluindo esta subseção podemos mencionar que dos relés apresentados os mais utilizados são os magnéticos e os eletrônicos utilizados para acionar comandos individuais ou comandos em grupo de circuitos. Nota-se uma preferência na utilização dos modelos eletrônicos como relatado [8]:

“A expectativa é em breve utilizar apenas os relés com acionamento eletrônico, caso se confirme melhora na relação custo e benefício”.



Figura 3.17 - Modelos diversos de relés fotoelétricos. [8]

3.3.4. Conversores eletrônicos para LEDs.

OS LEDs são acionados por conversores chaveados conhecidos como drivers. Eles têm a principal função de manter a corrente nominal constante do ponto de operação em aplicações de alta potência, já que nestes casos os LEDs são ligados em serie formando uma matriz de LEDs. A Figura 3.18 demonstra como os LEDs estão ajustados de formando uma matriz.

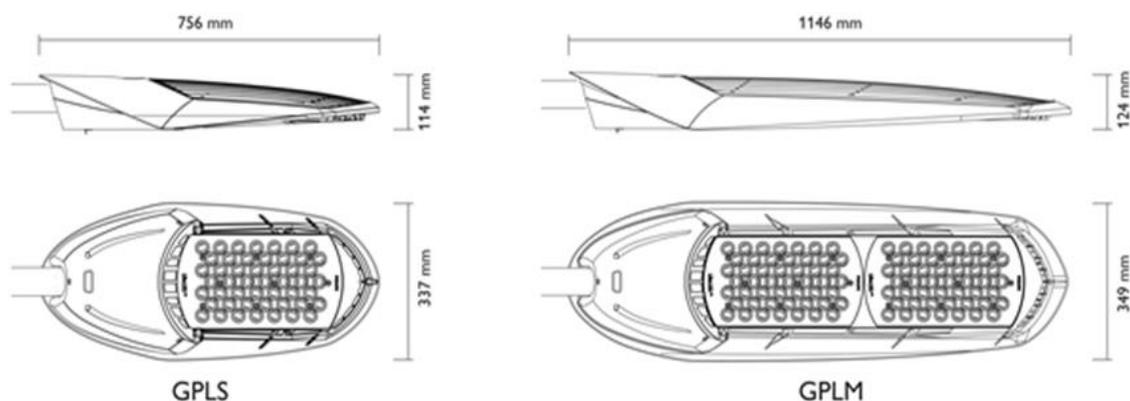


Figura 3.18 - Luminárias RoadStar™ da Philips

Podemos citar dois tipos de configurações a primeira usa uma portadora constante com uma componente alternada de características específicas e o segundo um modulador PWM do inglês Pulse Width Modulation, modulador por largura de pulso.

Estes conversores podem ser classificados como isolados ou não isolados. Os primeiros utilizam baterias, mas são para pequenas aplicações como os módulos de luz de emergência. Para IP geralmente são empregados os modelos não isolados, neste caso a alimentação é via rede elétrica.

Os do tipo isolado utilizam um transformador entre o LED e a rede para fornecer isolamento galvânica entre estes componentes, além de trabalharem em alta frequência para ter os transformadores de tamanho reduzido. Eles ainda precisam apresentar filtros de harmônicos e correção de fator de potência.

Existem duas normas brasileiras que regulam os equipamentos para o acionamento de tais lâmpadas, os denominados *drivers* são regidos pela NBR 16026:2012 - Dispositivo de controle eletrônico c.c. ou c.a. para módulos de LED —

Requisitos de desempenho, e a NBR IEC 61347-2-13:2012 - Requisitos particulares para dispositivos de controle eletrônicos alimentados em CC ou CA para os módulos de LED.

3.4.LUMINÁRIAS

Inicialmente as luminárias foram utilizadas somente para proteger as lâmpadas contra chuva e direcionar o fluxo luminoso da lâmpada para o chão. Atualmente são essenciais ao conjunto de iluminação, sendo as responsáveis pela distribuição eficiente e harmoniosa da luz e, proteção da lâmpada. As luminárias podem utilizar diversos modelos de lâmpadas, no entanto cada lâmpada tem associada com seus equipamentos auxiliares, um rendimento diferente com cada luminária que deve ser considerado para máxima utilização do fluxo luminoso da lâmpada.

As luminárias podem ser abertas, sem proteção, ou fechadas, utilizando para proteção das lâmpadas: vidro temperado, plástico ou lente de policarbonato. Também podem ter alojamento para os equipamentos auxiliares ou estes ficarem expostos. Estas características estão relacionadas com o grau de proteção utilizado nas luminárias denominado Índice de Proteção. Este índice é descrito pelas letras IP seguidas por dois algarismos. Exemplo: IP45, que indica a classificação da proteção dos equipamentos elétricos contra penetração, em seu interior, de corpos sólidos maiores que 1 mm e líquidos respectivamente.

3.4.1. Componentes das luminárias

As luminárias são compostas por diversas partes, cada uma exercendo uma função desde sustentação da própria luminária até o direcionamento do fluxo luminoso. Suas principais partes são: refletor, difusor, soquete, braço para suporte e fixação.

3.4.1.1. Refletor

Responsável pelo direcionamento do fluxo luminoso para o plano a ser iluminado. Diversos materiais como vidro espelhado, plástico espelhado pode ser utilizado para confecção do refletor sendo a chapa de alumínio polida a mais utilizada por ser leve, ter alta refletância, boa resistência mecânica e baixo custo. Para ter máxima eficiência, os refletores são projetados conforme a forma geométrica da lâmpada que será utilizada na luminária. Algumas luminárias possuem o refletor regulável para ajustar sua posição conforme o tipo da lâmpada utilizada, permitindo melhorar o rendimento da luminária.

3.4.1.2. Difusor

Anteparo de vidro temperado, plástico, acrílico ou policarbonato de alta transmitância, que possuem a característica de permitir a passagem da luz, além de possuírem a função de proteger a lâmpada e o refletor, bem como de modificar a distribuição da luz oriunda do refletor e da própria lâmpada. Pode ter desenho geométrico de forma a direcionar os raios de luz para a área a ser iluminada ou, conforme a tendência atual, serem simplesmente com superfície plana ou curva, ficando com o refletor a função de direcionar o fluxo luminoso.

3.4.1.3. Soquete

O importante para a confecção do projeto de iluminação pública que nas luminárias existem dois tipos de soquete, o E-27, de tamanho menor, e o E-40, de tamanho maior. A simbologia “E” é uma homenagem a Thomas Alva Edison (1847-1931), inventor da lâmpada elétrica. Num projeto Reluz no qual se deseja instalar novas lâmpadas e aproveitar as luminárias existentes, deve-se certificar que a rosca das novas lâmpadas é adequada ao soquete das luminárias já instaladas, conforme Figura 3.19. Quando não se tem a informação de qual é o soquete da luminária existente, padronizações usadas por fabricantes, que escolhem os tipos de soquete de acordo com

a potência das lâmpadas, têm facilitado o trabalho dos projetistas. Neste caso basta saber qual é o tipo e potência da lâmpada existente. Por exemplo, lâmpadas Vapor de Mercúrio 80 W possuem sempre rosca do tipo E-27.



Figura 3.19 - Soquete da luminária

3.4.1.4. Braço para suporte e fixação

Responsável pela sustentação e posicionamento do ponto focal da luminária sobre a área a ser iluminada, além do direcionamento angular, conforme mostrado na Figura 3.20.

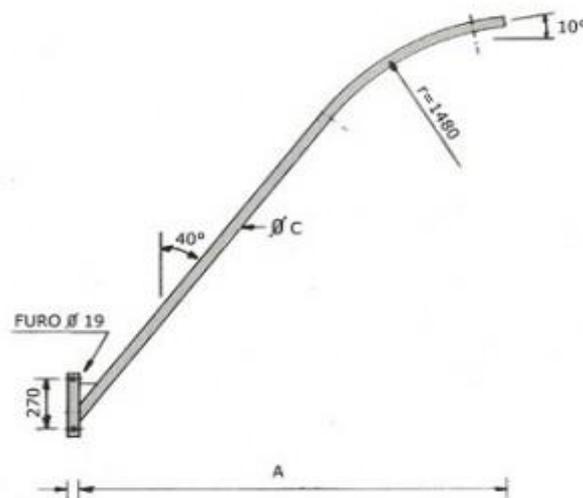


Figura 3.20 - Braço da luminária, com o ponto de fixação ao poste [8]

3.4.2. Tipos e rendimento das luminárias

É importante, para se ter um projeto de Iluminação Pública (IP) eficiente, que seja considerado o rendimento da luminária. O rendimento de uma luminária é a razão entre o fluxo luminoso utilizado para iluminar a área pretendida e o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. Por exemplo, para uma lâmpada do tipo Vapor de Sódio que emita um fluxo luminoso de 26.000 lm utilizada em uma luminária cujo fator de utilização é de 0,85 somente 22.100 lm será entregue a área iluminada, correspondendo a uma perda de 25 %.

Objetivando aumentar a eficiência luminosa da luminária, foram desenvolvidos diversos tipos de conjuntos ópticos, com a função de direcionar a maior parte do fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas para iluminar apenas as áreas de interesse, reduzindo conseqüentemente a poluição luminosa causada pela dispersão de luminosidade, como exemplificadas na Figura 3.21.

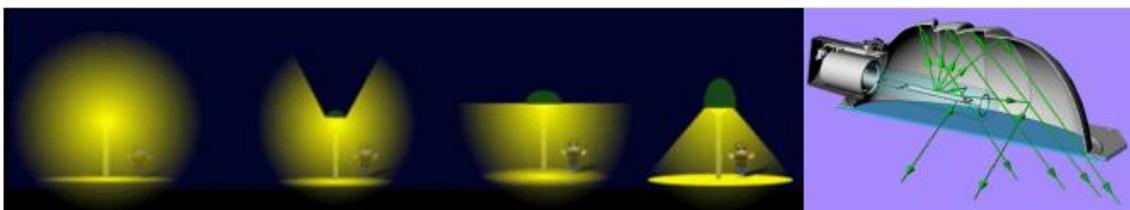


Figura 3.21 - Da esquerda para a direita está exemplificado o aumento na eficiência luminosa das luminárias. Conjunto óptico eficiente. [8]

3.5. CONCLUSÃO

Neste capítulo foram abordadas as características básicas das lâmpadas, sendo as principais a aparência da cor, índice de reprodução de cor, fluxo luminoso, eficiência luminosa e vida útil.

Sales (2011) em seu estudo comparou entre os catálogos de 2010 dos fabricantes Sylvania, Osram, Ledmax, LLUM e Philips, encontrados nos sites dos fabricantes, as informações de IRC (Índice de reprodução de cores), eficiência luminosa, vida média e temperatura de cor. Como os dados variam de fabricante para fabricante, foram

considerados os valores máximos e mínimos fornecidos nos catálogos. A Figura 3.22 resume a comparação entre as lâmpadas.

FONTE LUMINOSA	IRC (%)	EFICIÊNCIA LUMINOSA (LM/W)	VIDA MÉDIA (HORAS)
Incandescente	100	10-15	750 - 1.000
Halógena	100	15-35	1.500 - 2.000
Fluorescente tubular	80-85	40-100	6.000 - 24.000
Fluorescente compacta	80	40-80	6.000 - 24.000
Vapor de mercúrio	40-55	45-58	9.000 - 15.000
Vapor de sódio	22	80 - 150	18.000 - 32.000
Vapor metálico	65 - 85	65 - 90	8.000 - 12.000
Indução	80 - 90	80 - 110	60.000
LED	70-95	35-130	25.000 - 100.000
LED tubular	85	33-97	50.000

Figura 3.22 - Comparativo entre índice de reprodução de cores (IRC), eficiência luminosa e vida média

4. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL E PANORAMA QUANTO A LEGISLAÇÃO VIGENTE

A Constituição Federal de 1988 pode ser vista como o início da regulamentação da iluminação pública (IP). Atribuindo aos municípios a competência de organizar e prestar os serviços públicos de interesse local, no qual a Iluminação Pública está inserida.

“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;” (Constituição Federal de 1988).

4.1. REGULAMENTAÇÃO DA IP NO BRASIL

4.1.1. DNAEE, ANEEL e suas resoluções

Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) foi o órgão responsável por regular e fiscalizar os serviços de energia elétrica até a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

A ANEEL é o órgão que no Brasil regula e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição comercialização de energia elétrica seguindo as diretrizes e políticas do governo federal. É uma autarquia e responde ao Ministério de Minas e Energia. Foi criada pela Lei 9.427 de 26 de dezembro de 1996, e regulamentada pelo Decreto 2.335, de 6 de outubro de 1997.

A publicação 456 da ANEEL substituiu as Portarias do DNAEE 158/1989 e 466/1997 referentes a iluminação pública. As resoluções atuais para o serviço encontram-se na RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE

2010 substituindo a RESOLUÇÃO NORMATIVA 456/2000 da ANEEL. Essa possui importantes correções publicadas nas RESOLUÇÃO NORMATIVA 418/2010, RESOLUÇÃO NORMATIVA 449/2011 e na RESOLUÇÃO NORMATIVA 479/2012 [30].

4.1.2. Contrato.

Com o fim de estabelecer cláusulas específicas para o caso da iluminação pública, são acrescentadas às contidas no Art. 63, que estabelece parâmetros gerais para celebração de contratos, as seguintes:

I - Especificação da propriedade dos ativos das instalações;

II - Forma e condições para prestação dos serviços de operação e manutenção, conforme o caso;

III - Procedimentos para alteração de carga e atualização do cadastro;

IV - Procedimentos para revisão do consumo de energia elétrica ativa, vinculado à utilização de equipamentos de controle automático de carga;

V - Tarifas e tributos aplicáveis;

VI - Condições de faturamento, incluindo critérios para contemplar falhas no funcionamento do sistema;

VII - Condições de faturamento das perdas referidas no Art. 94;

VIII - Condições e procedimentos para o uso de postes e da rede de distribuição; e

IX - Condições para inclusão da cobrança de contribuição social para o custeio do serviço de iluminação pública na fatura de energia elétrica, quando cabível, em conformidade com o estabelecido por lei municipal.

Diz a resolução ainda que cabe a distribuidora informar ao Poder Público os parâmetros acordados para o acesso do sistema elétrico de distribuição das instalações elétricas de iluminação pública. Este acesso visa promover operação ou manutenção do sistema elétrico a ela associado.

4.1.3. Aplicação de Tarifas.

A resolução define classes e subclasses para aplicação de tarifas para as diversas unidades consumidoras. Esta afirma também, que a correta caracterização da unidade, é de responsabilidade da distribuidora.

A iluminação pública está descrita como a 6ª (sexta) classe. Sua administração é de responsabilidade do poder público ou da concessionária. Inclui-se a essa classe os seguintes logradouros:

- I. Ruas
- II. Praças
- III. Avenidas
- IV. Túneis
- V. Passagens subterrâneas
- VI. Jardins
- VII. Vias
- VIII. Estradas
- IX. Passarelas
- X. Abrigos de usuários de transportes coletivos

Incluem-se a estas outras aplicações localizadas em áreas públicas:

- a) Monumentos
- b) Fachadas
- c) Fontes Luminosas
- d) Obras de arte de valor histórico
- e) Cultural ou ambiental

Excluem-se a iluminação destinada a propaganda ou publicidade ou para realização de atividades que visem interesses econômicos.

São de responsabilidade do poder público ou concessionária responsável pela administração dos ativos de iluminação pública a elaboração de projeto, implantação, expansão operação e manutenção das instalações. São responsáveis também pelos custos para ampliação de capacidade e reformas de subestações, alimentadores e linhas já existentes que atendam as instalações de iluminação pública.

Nota-se que o setor de iluminação pública compreende uma ampla área de atuação tanto em quantidade quanto em diversidade e tem se tornado atrativa para exploração de investidores particulares. Essa diversidade promove a aplicação de diversos tipos de projetos o que promove a atuação de especialistas nesta área.

A resolução demonstra também a necessidade de um gerenciamento organizado que defina claramente as responsabilidades dos envolvidos, consumidores e fornecedores.

4.1.4. Medição e faturamento.

Como qualquer outro serviço de fornecimento de energia elétrica, o sistema de iluminação pública deve possuir forma coerente para que ambos, fornecedor e consumidor, possam avaliar o consumo. Em especial, destacado neste tópico, para o faturamento da distribuidora e para o controle de gastos do consumidor.

Segundo a resolução estabelecida a concessionária não é obrigada a instalar medidores para iluminação pública exceto para o caso em que o circuito possua alimentação exclusiva havendo alguma conveniência técnica ou se solicitado pelo poder público.

No caso geral, quando não há medidores instalados, para fins de faturamento é definido um tempo de consumo padrão que é de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos por dia para iluminação pública e de logradouros em condomínios, exceto para os locais onde não há interrupção de funcionamento onde o faturamento é dado por 24h por dia de fornecimento.

Como há ausência de medidores, este tipo de faturamento não apresenta o consumo real. Não é possível então realizar uma avaliação do consumo, avaliação esta que poderia beneficiar tanto o fornecedor quanto o consumidor, por exemplo, em um cenário onde haja necessidade de economia de energia elétrica.

Porém a resolução permite alteração dos valores básicos de horas estabelecidos para o consumo diário. Podem ser avaliados, por exemplo, o nível de arborização do local, nível climático, desde que a partir de dados climáticos e geográficos obtidos junto ao Observatório Nacional para que ambos, cliente e operador possam ser beneficiados. Estes acordos devem ser aprovados pela ANEEL.

Ao serviço de IP é aplicada a tarifa do grande grupo “B” destinada a consumidores com fornecimento em tensão inferior a 2,3KV. Este serviço atende, dentro da estrutura tarifária, a Tarifa Monômnia, definida como aquela aplicada somente ao consumo de energia elétrica ativa em baixa tensão [14]. As Tabelas 4.1 e 4.2 exemplificam os grupos existentes e suas subdivisões.

Tabela 4.1 - Tarifa de Energia elétrica A – de 2,3 a 230 KV [8]

<p style="text-align: center;">A 2,3 a 230 kV Ou Inferior a 2,3 kV Subterrâneo</p>	A1 230 kV ou mais
	A-2 88 a 138 kV
	A-3 69 kV
	A-3a 30 a 44 kV
	A-4 2,3 a 3,8 kV
	AS Inferior a 2,3 kV (Subterrâneo)

Tabela 4.2 - Tarifa de Energia elétrica B Inferior 2,3KV [8]

B Inferior a 2,3 kV	B-1 Residencial
	B-1 Residencial Baixa Renda
	B-2 Rural
	B-2 Cooperativa de utilização rural
	B-2 Serviço público de irrigação
	B-3 Demais classes
	B-4 Iluminação pública

Segundo o Parágrafo 2 da mesma seção a tarifa aplicável ao serviço de iluminação pública é a B4a, conforme Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Estrutura Tarifária [8]

Tarifa Monômia	Tarifa Binômia
Grupo B	Grupo A

Abaixo apresenta-se para fins de exemplificação os valores atuais desta tarifa aplicados pela Copel, conforme Tabelas 4.4 e 4.5.

Tabela 4.4 - Tarifa B4a para faturamento de iluminação pública praticada pela empresa Copel [8]

CONVENCIONAL (R\$/kWh) B4a - Rede De Distribuição Vigência em 24/06/2019	Resolução ANEEL N°. 2559, de 18 de junho de 2019	
	Resolução ANEEL*	Com impostos: ICMS PIS/COFINS
	0,28468	0,43932

Segundo o Artigo 25 os equipamentos auxiliares devem ser considerados para fim de faturamento. O seu consumo deve ser estabelecido a partir das especificações de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas a ABNT, por dados do fabricante ou comprovados por ensaio de laboratórios credenciados por órgãos oficiais.

A resolução prevê ainda a possibilidade de instalação de equipamentos para redução de consumo. Quando isto ocorrer a distribuidora deve revisar a estimativa de consumo. Só podem ser instalados controles certificados por órgão oficial e sua implementação deve ser precedida por projeto.

Tabela 4.5 - Tarifa B4b para faturamento de iluminação pública praticada pela empresa Copel [12]

CONVENCIONAL Tarifa em R\$/kWh B4b - Bulbo da Lâmpada Vigência em 24/06/2019	Resolução ANEEL N°. 2559, de 18 de junho de 2019	
	Resolução ANEEL*	Com impostos: ICMS PIS/COFINS
	0,31057	0,47927

4.2. PROGRAMAS GOVERNAMENTAIS

De acordo com dados do EPE (2016), o Brasil consome cerca de 15.000 GWh/ano em iluminação pública, ou 3,3 % do consumo total. Diante de tais números, é de se pensar que os sistemas de iluminação pública devem ser gerenciados de maneira a atender as necessidades das pessoas e ao mesmo tempo serem eficientes do ponto de vista energético, evitando também prejuízos financeiros aos administradores.

Desde a década de 80, surgiram várias iniciativas por parte das concessionárias de energia elétrica, prefeituras, CREAs (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia), entre outros, com o objetivo de se efficientizar os sistemas de iluminação pública e equalizar a qualidade dos serviços prestados. Dentre estas se destaca o Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente, o RELUZ, implantado no ano 2000 e finalizado em 2010, desenvolvido pela Eletrobrás - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

4.2.1. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)

Em 1985 o Ministério de Minas e Energia e o Ministério da Indústria e Comércio, através da Portaria Interministerial no 1.877, de 30/12/1985, criaram o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, PROCEL, visando promover o uso racional de energia elétrica no Brasil [15]. Dentro do escopo de ações previstas pelo PROCEL, destaca-se a modernização e a eficiência dos sistemas de iluminação pública que abrangem um grande conjunto de projetos que propõem grandes benefícios como resultado. O objetivo principal é promover a racionalização da produção e uso da energia elétrica eliminando desperdícios e assegurando a redução global de custos e investimentos para o país. Em 1996, o PROCEL elaborou um novo plano de ação para iluminação pública, abrangendo o período 1998-1999, prevendo a substituição de 3 milhões de pontos de iluminação pública, com a utilização das lâmpadas de vapor de sódio alta pressão. A meta equivale à redução na demanda da ordem de 350 MW e de consumo correspondente a 1.533 GWh/ano [15].

4.2.2. Programa Nacional de iluminação pública eficiente - RELUZ

O RELUZ consistia basicamente em financiar os projetos de eficiência energética às concessionárias que, em concordância com as Prefeituras Municipais, executavam os serviços, colaborando com as especificações técnicas dos materiais a serem adquiridos e avaliando os projetos dos sistemas de iluminação, agregando assim melhor qualidade de vida à população.

Até o ano de 2009, o PROCEL RELUZ já havia modernizado cerca de 2,2 milhões de pontos, o que resultou numa economia de 789,6 GWh/ano de consumo. Neste período, concluíram que a modernização total das lâmpadas presentes no sistema de iluminação pública, possuindo uma tecnologia inferior às lâmpadas de vapor de sódio, resultaria numa redução de energia de 911 GWh/ano.

Entretanto, a partir de 2016, suportado pela 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.

Desde 2000, o PROCEL RELUZ já efetuou a substituição de 2,78 milhões pontos de iluminação publicam.

5. PROJETO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Um projeto de iluminação pública, para garantir a funcionalidade do sistema, deve atender as diretrizes especificadas pela norma vigente ABNT NBR 5101/2012, Iluminação Pública – Procedimento. Conforme esta norma:

A distribuição apropriada das intensidades luminosas das luminárias é um dos fatores essenciais de iluminação eficiente em vias. As intensidades emitidas pelas luminárias são controladas direcionalmente e distribuídas de acordo com a necessidade para visibilidade adequada (rápida, precisa e confortável). Distribuições de intensidades são, geralmente, projetadas para uma faixa típica de condições, as quais incluem altura de montagem de luminárias, posição transversal de luminárias (avanço), espaçamento, posicionamento, largura das vias a serem efetivamente iluminadas, porcentagem do fluxo luminoso na pista e áreas adjacentes, mantida a eficiência do sistema.

(ABNT NBR 5101, 2012, p. 07)

A NBR 5101 (ABNT, 2012) além de revisar itens como os níveis mínimos de iluminância exigidos dispõem de novidades como: a classificação das vias de acordo com o Código de Trânsito Brasileiro; passou a contemplar também as calçadas; passou a fixar fatores da instalação para os vários tipos de vias em função do tráfego; as malhas para projetos, o recebimento da instalação e a verificação periódica passaram a coincidir com as trajetórias definidas pelo tráfego motorizado e deve ser definida a toda área relevante; os critérios de projeto, antes abrangendo apenas os níveis iluminância, passam a avaliar também os níveis de luminância.

5.1. CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS

O ponto de partida do projeto de um sistema de iluminação pública é a classificação da via que se pretende iluminar. Conforme o Código de Trânsito Brasileiro, publicado em 1997, as vias podem ser classificadas em: urbana, de trânsito rápido, arterial, coletora, local, rurais, rodovias e estradas.

5.1.1. Via urbana

Aquela caracterizada pela existência de construções às suas margens, com presença de tráfego motorizado e de pedestres em maior ou menor escala. Ruas, avenidas, vielas ou caminhos e similares abertos à circulação pública, situados na área urbana, caracterizados principalmente por possuírem imóveis edificadas ao longo de sua extensão.

5.1.2. Via de transito rápido

Avenidas e ruas asfaltadas, exclusivas para tráfego motorizado, onde não há predominância de construções. Baixo trânsito de pedestres, e alto trânsito de veículos. Aquela caracterizada por acessos especiais com trânsito livre, sem interseções em nível, sem acessibilidade direta aos lotes lindeiros¹ e em travessia de pedestres em nível, com velocidade máxima de 80 Km/h.

5.1.3. Via arterial

¹ O termo *lote lindeiro*, surge citado no CTB em alguns artigos, por exemplo: Art. 36. O condutor que for ingressar numa via, procedente de um *lote lindeiro* (terreno, prédio, casa, sítio, garagem) a essa via, deverá dar preferência aos veículos e pedestres que por ela estejam transitando.

Via exclusiva para tráfego motorizado, que se caracteriza por grande volume e pouco acesso de tráfego, várias pistas, cruzamentos em dois planos, escoamento contínuo, elevada velocidade de operação e estacionamento proibido na pista. Geralmente, não existe o ofuscamento pelo tráfego oposto nem construções ao longo da via. O sistema arterial serve mais especificamente a grandes geradores de tráfego e viagens de longas distâncias, mas, ocasionalmente, pode servir de tráfego local. Aquela caracterizada por interseções em nível, geralmente controlada por semáforo, com acessibilidade aos lotes lindeiros e às vias secundárias e locais, possibilitando o trânsito entre as regiões da cidade, com velocidade máxima de 60 km/h.

5.1.4. Via coletora

Via exclusivamente para tráfego motorizado, que se caracteriza por um volume de tráfego inferior e por um acesso de tráfego superior àqueles das vias arteriais. Aquela destinada a coletar e distribuir o trânsito que tenha necessidade de entrar ou sair das vias de trânsito rápido ou arteriais, possibilitando o trânsito dentro das regiões da cidade, com velocidade máxima de 40 km/h.

5.1.5. Via local

Via que permite acesso às edificações e a outras vias urbanas, com grande acesso e pequeno volume de tráfego. Aquela caracterizada por interseções em nível não semaforizadas, destinada apenas ao acesso local ou a áreas restritas, com velocidade máxima de 30 km/h.

5.1.6. Via rural

Via mais conhecida como estradas de rodagem, que nem sempre apresenta, exclusivamente, tráfego motorizado.

5.1.7. Rodovias

Via para tráfego motorizado, pavimentada, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos com as seguintes velocidades máximas: 110 km/h para automóveis, camionetas e motocicletas; 90 km/h para ônibus e micro-ônibus; 80 km/h para os demais veículos.

5.1.8. Estradas

Vias para tráfego motorizado, com ou sem acostamento, com tráfego de pedestres. Este tipo de via pode ter trechos classificados como urbanos. Trata-se de via rural não pavimentada, com velocidade máxima de 60 km/h. Vias de áreas de pedestres são vias ou conjunto de vias destinadas à circulação prioritária de pedestres.

Na Figura 5.1 é apresentado um esquema geral ilustrando a classificação das vias.

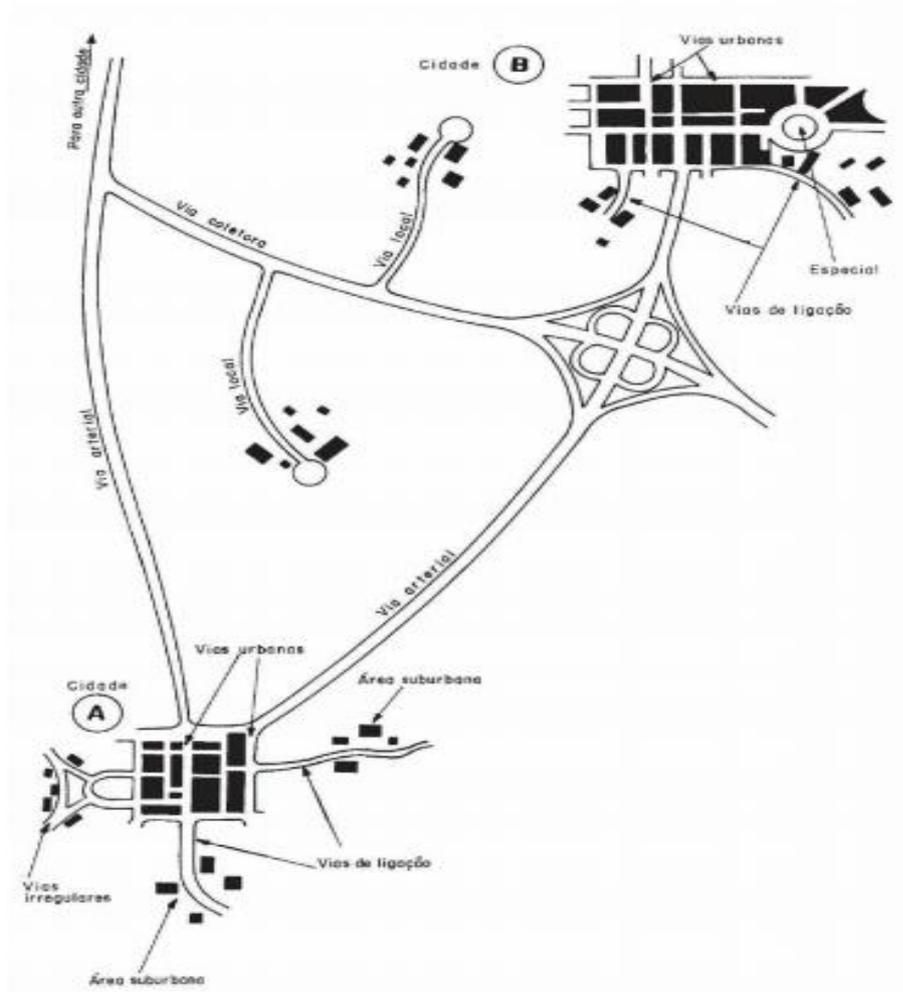


Figura 5.1 - Classificação das vias urbanas [3]

5.2. NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA E FATORES DE UNIFORMIDADE

O nível de iluminância e fator de uniformidade para cada via é obtido na ABNT NBR 5101 e apresentado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Níveis de Iluminância para vias públicas. [3]

Descrição da via	Volume de tráfego	E_{\min} (Lx)	U_{\min}
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.	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
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.	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	Intenso	20	0,3
	Médio	15	0,2
	Leve	10	0,2
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Médio	10	0,2
	Leve	5	0,2
Vias de uso noturno intenso por pedestres (calçadões, passeios de zonas comerciais)		20	0,3
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)		10	0,25
Vias de uso noturno moderado por pedestres (passeios, acostamentos)		5	0,2
Vias de pouco uso por pedestres (passeios de bairros residenciais)		3	0,2

5.3. TOPOLOGIA DE ILUMINAÇÃO VIÁRIA

Definidos os níveis luminotécnicos, devem-se especificar os materiais a serem utilizados e a topologia de distribuição dos pontos de iluminação, de maneira a atingir os valores mínimos exigidos para cada situação sem perder de vista os custos envolvidos e principalmente diversidade construtiva do local, como por exemplo: as estruturas das redes elétricas existentes, postes, prédios, marquises, arborização ou quaisquer componentes que possam interferir na montagem do sistema de iluminação.

Na sequência são apresentados os arranjos comumente encontrados na montagem de pontos de iluminação em vias. Outras configurações podem ser obtidas com o auxílio de programas específicos para cálculos luminotécnicos, ou a aplicação direta de métodos disponíveis nas literaturas, como por exemplo: método das curvas isolux, método ponto-por-ponto, método do fator de utilização ou do fluxo luminoso, método das iluminâncias. Entretanto, como em vários casos as estruturas das redes elétricas já existem, estas são aproveitadas para montagem dos componentes.

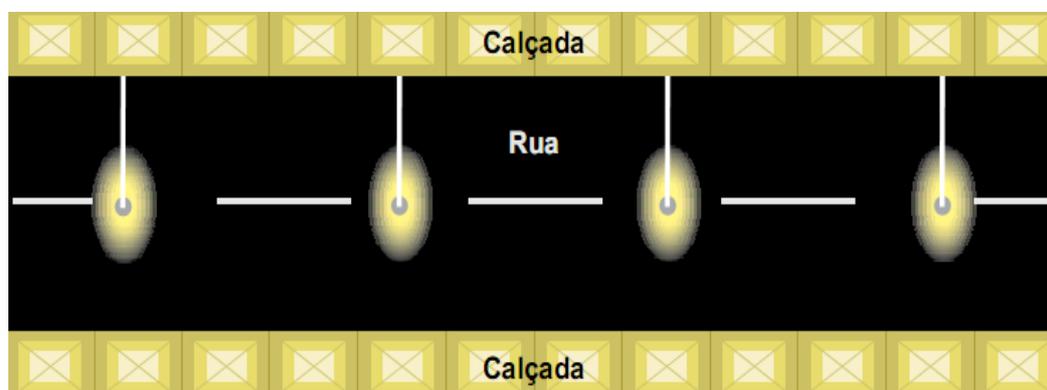


Figura 5.2 - Arranjo unilateral das luminárias. [8]

O arranjo unilateral das luminárias, apresentado na Figura 5.2, é o mais comumente utilizado, atendendo geralmente a vias coletoras e locais, com largura máxima da pista de rolamento igual ou menor que 9 m, com tráfego motorizado leve ou médio.

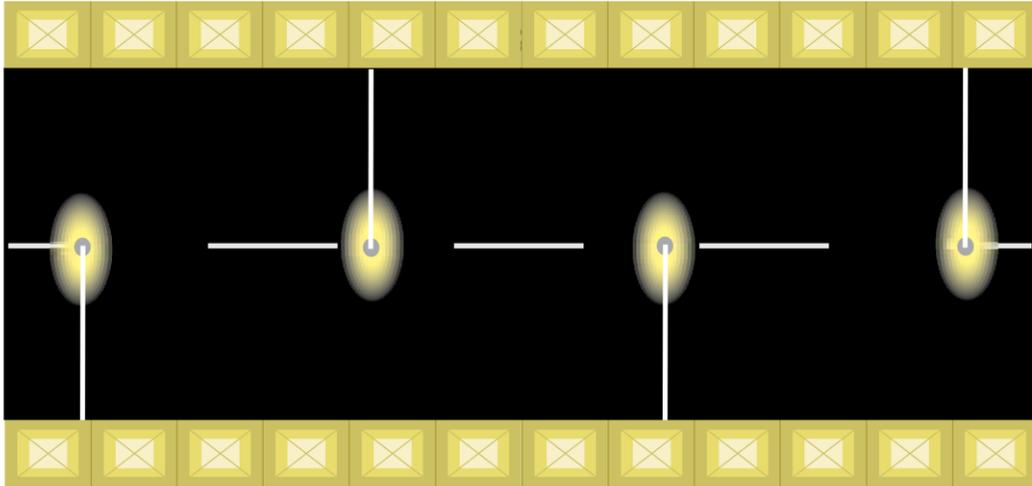


Figura 5.3 - Arranjo bilateral alternado das luminárias. [8]

Na Figura 5.3 é apresentado o arranjo bilateral alternado das luminárias. Este sistema é utilizado geralmente em vias com tráfego motorizado intenso e largura de pista de rolamento de até 16 m. Para vias com tráfego motorizado intenso e largura de pista de rolamento de até 18 m, pode-se empregar o arranjo bilateral oposto, alternativa apresentada na Figura 5.4. E por fim na Figura 5.5 é apresentada uma opção para vias em que há um canteiro central.

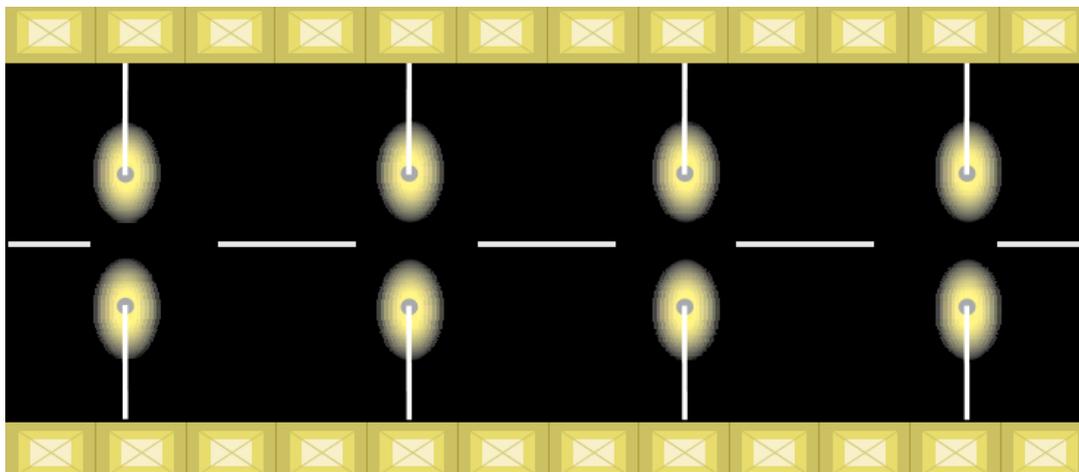


Figura 5.4 - Arranjo bilateral oposto das luminárias. [8]

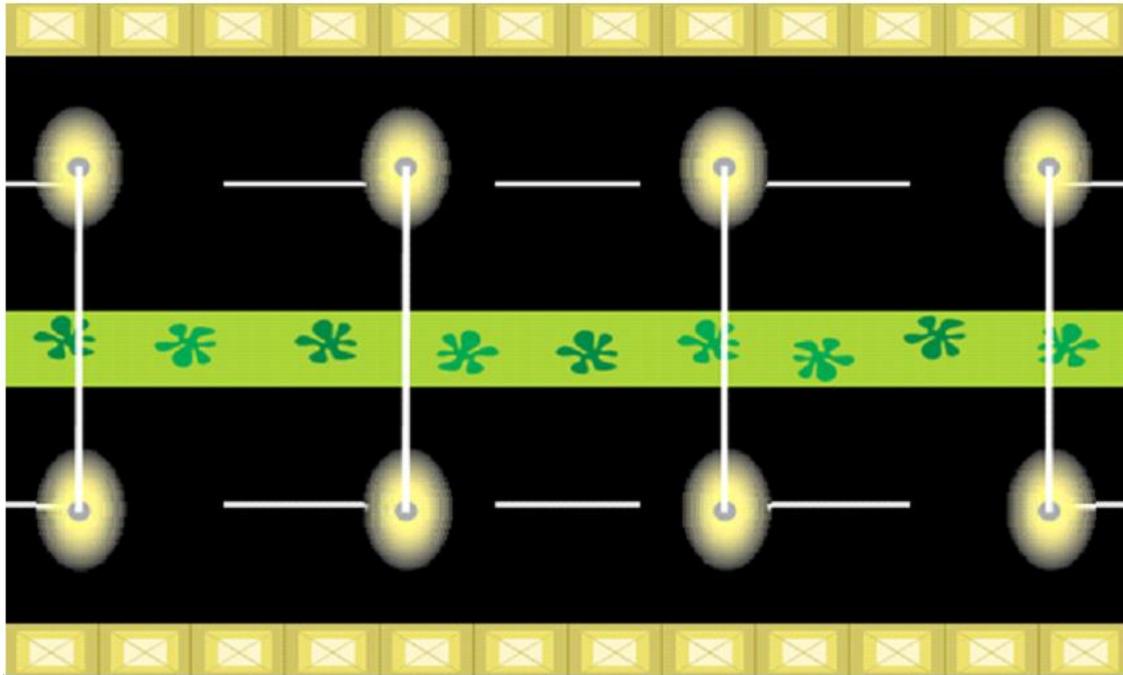


Figura 5.5 - Arranjo empregado em vias com canteiro central. [8]

Além da topologia empregada na configuração do sistema de iluminação, o fluxo luminoso da fonte luminosa e a distribuição fotométrica da luminária são as variáveis restantes e necessárias para concluir o projeto luminotécnico com o intuito de verificar se os níveis de iluminância e fator de uniformidade definidos pelo critério estabelecido na NBR 5101:2012 foram atendidos. Estas variáveis serão tratadas na Seção 5.7 – Exemplos de projetos de iluminação Pública, em que serão discutidas as tecnologias aplicáveis em sistemas de iluminação pública.

Para o projeto de iluminação de espaços públicos com predominância de pedestres, tais como praças, parques, calçadões, não é possível indicar um critério genérico que atenda a todas as situações. Para tanto, cada caso deve ser analisado individualmente. O sistema de iluminação deverá ser projetado com base nas características específicas do espaço público, como por exemplo, a arquitetura local, diferenças de níveis, necessidade de iluminação decorativa para itens como monumentos, jardins, quadras e tipo de uso do local, seja lazer ou comercial.

5.4. ARBORIZAÇÃO – DESOBSTRUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Para melhorar a convivência da iluminação pública com a arborização, é apresentada uma equação para o cálculo de variáveis que contribuem para a desobstrução da iluminação pública. A equação considera os ângulos de máxima incidência de luz nos sentidos longitudinal e transversal à via, a sua altura de montagem e a distância da árvore.

A equação deve ser utilizada nas seguintes situações:

- a) Na adequação dos sistemas existentes onde a posteação e as árvores já existem, permitindo definir a linha de poda dos ramos que comprometem a iluminação;
- b) Na implantação de novos sistemas de iluminação em praças, vias e calçadas, auxiliando na definição da posição dos postes e sua distância às árvores existentes;
- c) Na implantação de novas árvores em praças, vias e calçadas, auxiliando na definição das árvores em relação aos postes existentes.

$$Z = H - (A \times D),$$

sendo:

Z = Altura mínima de um galho

H = Altura de montagem da luminária

$A_L = \cot 75^\circ = 0,26$ (ângulo de máxima incidência de luz para o sentido longitudinal)

$A_T = \cot 60^\circ = 0,57$ (ângulo de máxima incidência de luz para o sentido transversal)

D = Distância mínima do galho de menor altura



Figura 5.6 - projeção da desobstrução longitudinal [11]



Figura 5.7 - projeção de desobstrução lateral [11]

5.5. CONFIGURAÇÕES DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Há duas configurações no sistema de IP a se destacar: Iluminação Pública de comando individual e Iluminação Pública de comando em grupo.

5.5.1. Iluminação pública de comando individual

O Ponto de Entrega é a conexão entre o sistema de IP e a rede secundária. Nesse caso, o comando individual é feito por meio de conexão do relé fotoelétrico com a rede secundária de distribuição.

No comando individual das luminárias, o ponto de luz e todos os seus equipamentos são ligados diretamente à rede elétrica secundária de 4 cabos, 3 fases e um neutro, que alimentam as residências e o relé fotoelétrico que fica energizado todo o tempo. A função do relé fotoelétrico é de cortar automaticamente a alimentação do ponto de luz ao amanhecer, em presença de luz em níveis predeterminados, e restabelecer a alimentação, ao anoitecer, ligando a iluminação pública, também em níveis predeterminados, que são estabelecidos pela Norma NBR5123 da ABNT.

Assim, no caso de comando individual, a responsabilidade sobre os ativos de energia elétrica é instituída com base nos seguintes parâmetros:

- Da rede secundária até a subestação, os ativos são responsabilidade da distribuidora de energia elétrica
- Da conexão até a lâmpada de iluminação, os ativos são responsabilidade do Município, incluindo a conexão.

O comando individual da iluminação pública, realizado por meio de relé fotoelétrico ou foto eletrônico, é o mais utilizado nos atuais projetos de extensão deste tipo de serviço, pela economia, pois a instalação requer apenas um relé, e no caso de defeito desse relé, apenas uma lâmpada ficará apagada.

5.5.2. Iluminação pública de comando em grupo

O Ponto de Entrega é a conexão entre o sistema de IP e a rede secundária. Nesse caso, o comando em grupo é feito por meio de conexão da chave magnética de acionamento em grupo com a rede secundária de distribuição.

No comando em grupo de luminárias, utilizando-se também a rede elétrica de baixa tensão, o procedimento é idêntico ao utilizado no comando individual, apresentando como diferença à existência de um quinto cabo para comando das luminárias, denominado cabo controle.

Além dos quatro condutores, três fases e neutro, o comando em grupo necessita, também, de um quinto cabo para comando das luminárias, que é desenergizado ao amanhecer e energizado ao anoitecer: esse comando é efetuado por um relé fotoelétrico acoplado a uma chave magnética, que incrementa a potência de comutação e, por conseguinte, o número de lâmpadas a serem comandadas.

Assim, no caso de comando individual, a responsabilidade sobre os ativos de energia elétrica é instituída com base nos seguintes parâmetros:

- Da rede secundária até a subestação, os ativos são responsabilidade da distribuidora de energia elétrica;
- Da conexão até a lâmpada de iluminação, os ativos são responsabilidade do Município, incluindo a conexão, a chave magnética de acionamento em grupo e o condutor controle.

Portanto, cabe à administração pública municipal os serviços de manutenção a partir do ponto de entrega.

5.6. TELEGESTÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Uma boa gestão é necessária a qualquer empreendimento e com a IP não pode ser diferente. Nos dias atuais, grandes empresas buscam o desenvolvimento de sistemas eficientes de gestão e monitoramento. As universidades também dispõem de estudos relacionados à gestão, buscando desenvolver ferramentas que possam fazer com que projetos sejam aplicáveis na grande parte dos Municípios.

O sistema de telegestão busca a substituição total ou parcial de sistemas de “Call Center”, a realização do controle remoto das lâmpadas. Além de permitir uma análise profunda dos acontecimentos na rede elétrica.

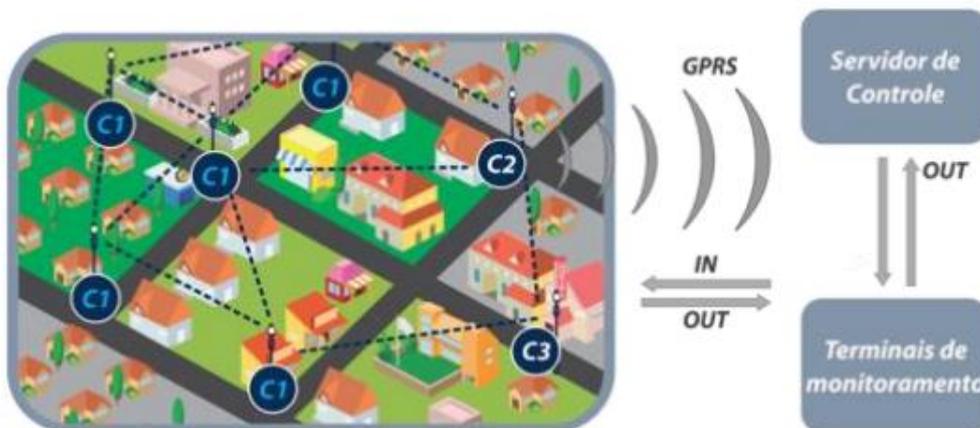


Figura 5.8 - Parque de Iluminação [16]

Por meio dessa tecnologia, esse tipo de sistema de telegestão pode obter todas as informações pertinentes e observar os acontecimentos de campo em tempo em real, ajudando no planejamento e uso racional da energia elétrica, além de medir precisamente o tempo de uso das lâmpadas, e identificar falhas na rede.

A precisão desse tipo de sistema ao identificar falhas é um grande trunfo no que se refere a logística de manutenção. Os pontos de luz são georreferenciados e individuais, logo, o setor de manutenção consegue rapidamente descobrir onde é o ponto com defeito, e com as informações de falhas obtidas, estimar quais os possíveis defeitos pode estar interferindo no funcionamento das lâmpadas. Essa rapidez e precisão são capazes de gerar uma redução considerável nos custos de manutenção

Os benefícios da telegestão são:

- Detecção de furtos de cabos em tempo real;
- Programação do tempo de lâmpadas acesas por rua, bairro, cidade ou pontos de iluminação desejados;
- Possibilidade de implantação de programas da eficiência energética;
- Possibilidade de conexão e controle de equipamentos de outros fabricantes.

5.7. EXEMPLOS DE PROJETOS DE ILUMINAÇÃO.

O objetivo é analisar os sistemas de iluminação pública para mostrar como o uso de tecnologias e métodos adequados podem melhorar a segurança das áreas públicas (praças, ruas de pedestres, laterais de estradas e similares). Também, mostrar como a evolução para as lâmpadas de LED trouxe benefícios para a redução dos custos com gasto de energia.

Avaliar os equipamentos de iluminação pública em foco nas questões econômicas, estéticas e de funcionalidade (vias de trânsito e para pedestres).

Será demonstrada a importância da eficiência energética associado ao uso de fontes de energia alternativa de energia.

A substituição por lâmpadas mais eficientes proporciona mais segurança e embelezamento urbano.

5.7.1. Lagoa Rodrigo de Freitas, RJ

No Rio de Janeiro, é um de aplicação dessa tecnologia de LED aqui no Brasil. A população é enfática ao dizer que se sentem mais seguros ao frequentar o local, com seus 7,5 Km de ciclovia, além de valorizarem a beleza proporcionada pela nova iluminação. Foram 567 pontos de luz de vapor de sódio substituídos por luminárias a LED (Figura 5.10) em 2011, com uma previsão de 50% de economia quando comparado ao sistema anterior, além de uma expressiva redução de gastos em manutenção, e uma maior iluminância.



Figura 5.9 – Falta de segurança na lagoa com a iluminação a vapor de sódio

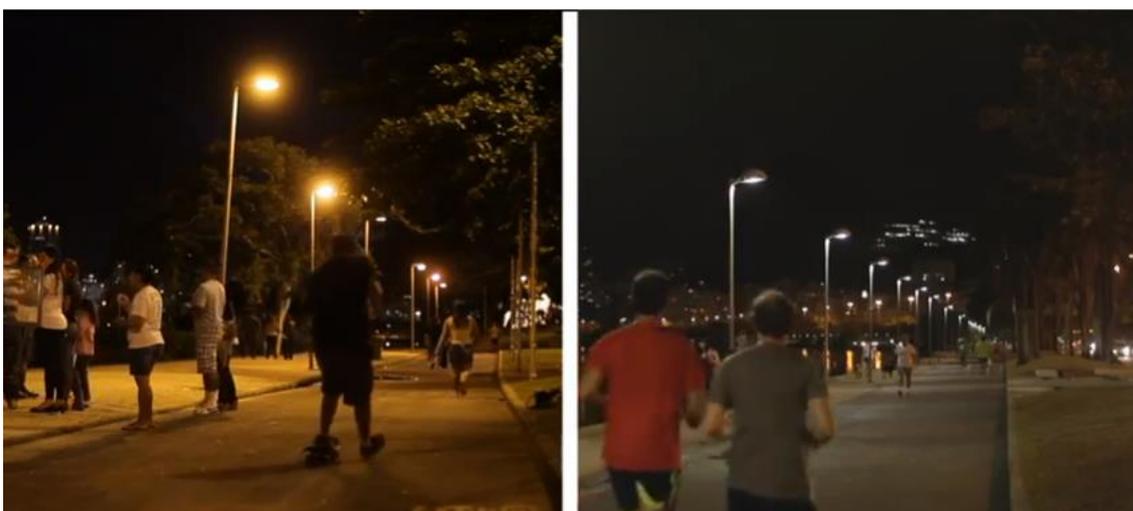


Figura 5.10 - Iluminação da lagoa Rodrigo de Freitas, Com vapor de sódio(esquerda) e a troca por LED (direita)

5.7.2. Ciclovia Beira-mar Norte

A ciclovia Beira-Mar Norte, principal avenida da capital catarinense, ganhou nova iluminação LED com o auxílio da Prefeitura de Florianópolis. O projeto de iluminação, que fez parte do programa de comemoração do 286º aniversário da cidade foi executado pela SQE LUZ em parceria com a GE.

A quarta cidade brasileira com a melhor qualidade de vida recebeu 366 luminárias LED Cobrahead, da GE, que trouxeram economia no consumo de energia de 50 %, quando comparada à tecnologia de lâmpadas a vapor metálico, anteriormente utilizada. Outro ganho direto foi a durabilidade. As novas luminárias LED contam com vida útil

de 50 mil horas, em torno de cinco a seis vezes mais alta que a tecnologia antes instalada, reduzindo a necessidade de manutenção para a troca de lâmpadas.

Além da grande economia, as 366 luminárias LED Cobrahead, da marca GE, oferecem resistência a intempéries, característica ideal para áreas de alta salinidade e efeitos de corrosão, proporcionado pelo alto grau de proteção da luminária, reflexo do encapsulamento exclusivo da GE. O modelo escolhido ainda oferece menor área de contato e impede que o vento interfira na iluminação.



Figura 5.11 - Trecho da Ciclovía Beira-Mar Norte antes/depois do sistema LED [17]

5.7.3. Arco Metropolitano

Após sua inauguração, em 2014, o Arco Metropolitano começou a receber iluminação especial. Ao longo dos 72 quilômetros da via, já foram colocados 4,3 mil postes com placas de energia solar acopladas e lâmpadas de LED. Com isso, a rodovia passará a ser uma das maiores estradas do mundo iluminadas com o uso de fonte energética renovável.

A economia gerada equivale ao consumo de energia convencional de cerca de 5 mil famílias de baixa renda. A luz solar é captada pelas placas e convertida em energia

elétrica que, armazenada em baterias, alimenta as luminárias à noite. Equipadas com um sensor, as lâmpadas se apagam com a luz do dia, projeto é mostrado na Figura 5.12.

Apesar de ser um projeto sustentável, não é um projeto correto de eficiência energética para iluminação pública.

Para instalar os 4.310 postes com placas de energia solar ao longo dos 72 quilômetros do Arco Metropolitano, o governo do estado desembolsou R\$ 96,7 milhões, mais de R\$ 22 mil por unidade. Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), porém, as rodovias federais, como é o caso do Arco, não precisam de iluminação. Esses postes têm sido alvos constantes de roubos da placa solar, o qual gera um prejuízo maior, pois devido à falta de reposição muitos trechos acabam ficando sem iluminação a noite, o que gera um maior risco para quem passa no local.



Figura 5.12 - Arco Metropolitano, um péssimo exemplo para iluminação pública eficiente.[18]

5.7.4. Cidade de Santander, Espanha

A cidade portuária de Santander está localizada na costa do Norte da Espanha. Nos últimos anos, a cidade de Santander entrou na vanguarda das cidades inteligentes, melhorando os serviços públicos, desenvolvendo políticas orientadas para seus cidadãos, estimulando um novo modelo de negócios de produtividade para a cidade. A gestão integrada permite uma melhoria na eficiência e coordenação de todos os serviços municipais, bem como a redução de custos através do uso da tecnologia.

Houve a troca de quase 23000 pontos de iluminação para a tecnologia de LED juntamente com a telegestão que permitem, por exemplo, reduzir a iluminação ou reduzir o horário de funcionamento.

Tabela 5.2 - Dados do projeto na cidade de Santander [19]

	Antes	Depois
Capacidade instalada	4.509 kW	2.166 kW
Total de lâmpadas	22.915	22.842
Total de luminárias	22.700	22.700
Consumo anual	21.400.000 kWh	4.300.000 kWh
Custo anual de eletricidade	2.100.000 Euro	600.000 Euro
Custo anual de manutenção	1.000.000 Euro	700.000 Euro

O Investimento total foi de aproximadamente 11 milhões de Euro, que representa uma economia anual de 1,5 milhões de Euro por ano no consumo e 300mil por ano com manutenção.

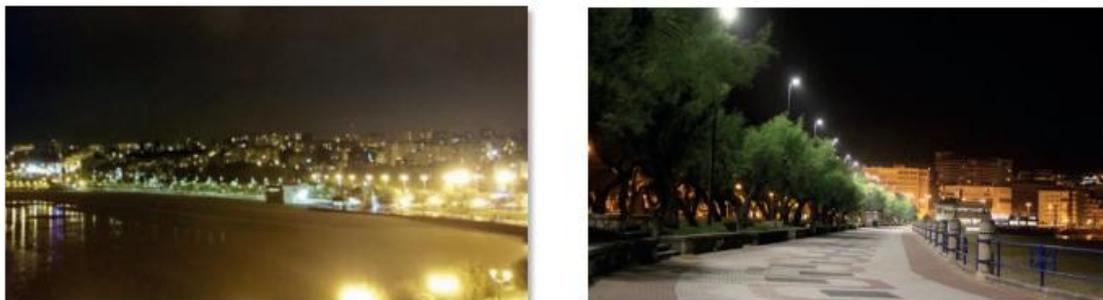


Figura 5.13 - Antes e depois da troca da iluminação por lâmpadas de LED [19]

5.7.5. Cidade de Los Angeles, EUA

A cidade tem investido na troca das lâmpadas por LED. Pois a iluminação é essencial para orientação e, o mais importante, por manter a cidade e seus cidadãos seguros (e se sentirem seguros também). É um facilitador essencial da vitalidade econômica e pode ter um profundo efeito sobre a atratividade da cidade, que por sua vez apoia o investimento e o turismo.

Também oferece a flexibilidade e dinamismo para se tornar parte da expressão da cidade identidade, enfatizando o caráter e a diversidade das áreas. A cidade de Los Angeles observou uma queda de 10,5 % nas taxas de criminalidade (roubo de veículo, roubo, furto e vandalismo) nos primeiros dois anos de seu programa de conversão de LED e redução de 30 % em acidentes de trânsito com vítimas [20].

Além da diminuição da criminalidade, houve um impacto de US\$ 18 milhões na economia local. Maior segurança e percepção de segurança terá um impacto positivo em muitas empresas locais à medida que as pessoas se tornam mais dispostos a sair depois do anoitecer. Mais amplamente, melhorando a atratividade geral da iluminação da cidade melhora o crescimento do turismo.

Desde 2013, Los Angeles instalou 140.000 LED luzes nas ruas. Em 2017, a cidade reportou economia em energia de 63 % e de quase US\$ 9 milhões (Comparando 2013 e 2017).



Figura 5.14 - Troca da iluminação por LED na cidade de Los Angeles [20]

5.7.6. Cidade de Vrbovec, Croácia

A cidade remodelou toda a iluminação pública. O projeto começou com uma auditoria energética detalhada para o sistema de iluminação atual. Esta análise mostrou economia significativa de custos de energia e manutenção. A cidade decidiu lançar um edital para a renovação da iluminação, fazendo uma parceria privada com a empresa vencedora da licitação.

Todo o sistema de iluminação da cidade foi reformado com a tecnologia LED. A infraestrutura de iluminação foi modernizada e a segurança nas estradas melhorada. Um sistema de gerenciamento inteligente também foi instalado e obteve quase 80 % de economia de energia. De acordo com [19] teve Investimento total de € 995.360 e contrato de 10 anos.

Tabela 5.3 - Valores comparativos da economia com a troca de lâmpadas e luminárias [19]

	Antes	Depois
Capacidade instalada	352 KW	712 KW
Total de lâmpadas	2.247	2.211
Total de luminárias	2.247	2.211
Lâmpada principal	Vapor de Sódio	LED
Consumo anual	1.433.400 kWh	218.300 kWh
Custo anual de eletricidade	107.000 Euro	16.300 Euro

5.8. RESULTADOS

Neste capítulo mostrou-se exemplos e resultados de implementações de um modelo eficiente do uso de novas tecnologias para a iluminação pública.

Como principais resultados:

- 1- Melhoria na segurança pública, com redução de crimes não violentos;
- 2- Redução dos gastos com energia elétrica e manutenção das luminárias;
- 3- Redução do nível de CO₂ devido à economia de energia;
- 4- Melhoria na economia local, com atratividade para o turismo.

Não se devem empregar as novas tecnologias de maneira irresponsável. Como um exemplo que não deve ser repetido é o caso do arco metropolitano do Rio de Janeiro. Que teve superfaturamento das obras e era desnecessário o uso de luminárias no local onde foram instaladas, gerando prejuízo ao em vez de economia. Deve-se seguir a legislação vigente para um projeto bem elaborado de iluminação pública, os quais as parcerias públicas privadas (PPP) podem ser uma alternativa interessante para os municípios Brasileiros.

Demonstrou-se que há um investimento inicial alto a ser considerado nos projetos de substituição das fontes luminosas, mas que no decorrer dos anos os investimentos são retornados em forma de diminuição de consumo.

Um local mal iluminado traz insegurança para a população. O qual a melhoria da iluminação pode trazer redução nos índices de violência da localidade, como demonstrado em cidade turísticas dos EUA. A melhoria na iluminação traz melhoria no turismo e embelezamento da cidade.

É extremamente necessário que os governos façam melhorias na iluminação pública, pois a responsabilidade é do município e os benefícios são para a população.

O trabalho mostrou a evolução da tecnologia e a redução de consumo dos equipamentos mais modernos. Os resultados da mudança de tecnologia em algumas cidades e os benefícios para a população e economia local.

Um fator importante dessa redução no consumo está ligado ao meio ambiente, o qual a principal fonte de geração de energia ainda é de natureza do petróleo e carvão, quanto mais energia for economizada, menos poluentes são lançados em nossa atmosfera.

Além da economia, as atuais lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio necessitam de um descarte especial, muitas vezes ignorada. Esta seção de descarte das lâmpadas e o impacto no meio ambiente é recomendada como trabalho futuro.

6. CONCLUSÃO

Pelo panorama histórico apresentado, nota-se a junção profunda entre a iluminação pública e seu aperfeiçoamento, ao avanço dos setores industriais e de serviços de diferenciados grupos sociais. Com este trabalho torna-se possível, por uma boa inferência, demonstrar que este crescimento e avanço da Iluminação Pública seja um padrão mundial e que a Iluminação não só participa como contribui para tais avanços.

Mostrou-se com certa abrangência, o desenvolvimento das lâmpadas. Uma pequena trajetória desde as antecessoras velas às modernas eletrônicas e LED, mostra que limitantes que promoveram a evolução dos sistemas artificiais de iluminação foram a preocupação com problemas de incêndio, economia de energia, demanda específica de intensidade luminosa.

É possível afirmar que nas cidades, as tecnologias para Iluminação Pública, culminaram para a utilização de equipamentos de iluminação com base em energia elétrica. A utilização desta energia atende bons requisitos de controle tanto de acionamento, ligamento e desligamento, quanto de controle das cobranças de taxas pelos governos ou pelos seus agentes quer públicos ou particulares.

Pode se afirmar que um caminho comum é optar pela tecnologia LED. Esta apresenta ótima economia de energia e grande robustez de seus equipamentos. Não se nega, no entanto, que a utilização de outras tecnologias como as lâmpadas de descarga, ainda sejam utilizadas para atender situações específicas, limitadas pelo acesso às tecnologias mais modernas e a dificuldades no retrofit. Para o mercado Brasileiro afirma-se que a tecnologia LED será a majoritária na Iluminação Pública, pelas vantagens apresentadas, neste trabalho, de tal tecnologia, e viabilizada pela abertura e acordos de comércio que este país possui com a China, grande exportador dos produtos de tecnologia LED.

Por fim, mostrou-se que a Iluminação Pública é sistema chave e deve estar presente nas pautas de governos e demais setores da sociedade organizada. Estes atores, ao estabelecerem metas para implementação e ampliação de cidades, devem ter em

mente os fatores históricos para adoção de tais metas, dentre tais tipos de tecnologia para Iluminação Pública, e entender o impacto nos gastos que cada tecnologia trará para os seus interessados bem como sua utilidade e a necessidade de conforto às pessoas daquele ambiente.

Importante notar que as legislações são amplas e detalhadas dificultando o que dificulta o aprimoramento do setor e suas aplicações bem como o atendimento que cada situação exige.

Sugere-se que este trabalho sirva como ponto de partida para pesquisas, por conter boa bibliografia histórica e técnica sobre o assunto. E que sirva de incentivo para outros trabalhos que descrevam as tecnologias atuais e aplicações e o estado da arte das normas e legislação.

Referências Bibliográficas

- [1] BONALI, N. *A História da Iluminação Artificial: Das origens até o século XX*. São Paulo: Abilux, 2001.
- [2] *Os primórdios do setor elétrico no Brasil*. Disponível em <<https://mises.org.br/article/2138/os-primordios-do-setor-eletrico-no-brasil--o-mercado-fornecia-o-governo-atrapalhava>>
- [3] ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5101. *Iluminação Pública - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2012.
- [4] *Anuário estatístico de Energia Elétrica 2017 – EPE* – Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>
- [5] *PPP – Iluminação Pública de Porto Alegre*. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/ppp/usu_doc/apresentacao_do_projeto_ppp_ip.pdf>. Acesso em: 13 set 2019
- [6] Tanaka, Kazumi. *Notícia do município de São Luiz*. Disponível em: <<https://www.ma.gov.br/medidas-de-seguranca-ajudam-a-reduzir-casos-de-estupro-na-grande-sao-luis/>>. Acesso em 02 jul.2018.
- [7] *Agora Cultura*. Disponível em: <<http://www.agoracultura.com/mercado-lucernas.html>>. Acesso em: 15 agosto 2011.
- [8] COPEL. *Manual de Iluminação Pública*. 2012.
- [9] Rodrigues, Fernando. *Eficiência Energética Aplicada em Sistemas de Iluminação Pública*, Novo Hamburgo – RS, 2017.
- [10] *LÂMPADAS de indução magnética: vantagens e desvantagens* disponível em: <<http://www.oseletrico.com.br/web/colunistas/juliana-iwashita/807-lampadas-de-inducao-magnetica-vantagens-e-desvantagens.html>> Acesso em 20 nov. 2014.

- [11] SALES, R. P. **LED, O Novo Paradigma da Iluminação Pública**. Dissertação (Mestrado) Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2011.
- [12] *Catálogo de produtos Lumino*. Disponível em <<http://luminosolutions.com/produtos/>>
- [13] *Catálogo de produto Ideal*. Disponível em <<https://www.iluminacaoideal.com.br/>>
- [14] **ABNT NBR 6023:2002 Informação e documentação - Referências –** Elaboração. [S.l.]: [s.n.].
- [15] COSTA, G. J. C. D. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação** - Procel 503p. Porto Alegre: Edipucrs, 1998.
- [16] AIP TECHNOLOGY. AIP Technology, **Iluminação Pública Inteligente**. Disponível em: < <http://www.aiptechnology.com.br> >. Acesso em 24 ago. 2018.
- [17] *Sadenco – ENGIE*. Disponível em <<https://sadenco.com.br/noticias/inaugurado-a-primeira-rua-com-iluminacao-de-led-em-florianopolis/attachment/florianopolis-sc-led-ciclovia-beira-mar-norte-20123-fot>>. Acesso em 13 set 2019.
- [18] TONON, R. **Energia para criar**. *Revista Galileu*. Editora Globo. Maio, 2014. Disponível em: <<https://revistagalileu.globo.com/Revista/noticia/2014/05/energia-para-criar.html>>. Acesso em 03 fev. 2019.
- [19] *The Streetlight EPC Project*. Disponível em: <http://www.streetlight-epc.eu/fileadmin/redakteure/Streetlight-EPC/Project_outputs/WP7/Streetlight-EPC_Project_Publication.pdf>. Acesso em 23 jul 2019
- [20] **THE CITYWIDE BENEFITS OF SMART & CONNECTED PUBLIC LIGHTING**. Disponível em: <<https://cities-today.com/issue/citywide-benefits-smart-connected-public-lighting/?action=download>>. Acesso em 23 jul 2019.
- [21] Freitas, Paula Campos Fadul de. **Apostila de Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas**. Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Elétrica. 60 p.

- [22] *Características das ondas*. Disponível em <<http://www.explicatorium.com/cfq-8/caracteristicas-das-ondas.html>>. Acesso em 13 jun. 2018
- [23] Moreira, Vinicius de Araújo. *Iluminação Elétrica*. 1a ed 1999. Ed. Edgard Blucher Ltda. SP.
- [24] Conceitos Fundamentais. Grandezas luminosas. Disponível em <[http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0213/Material_de_Apoio/03_-Ia._Conceito_Fundamentais_\(grandezas_Luminosas\).pdf](http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0213/Material_de_Apoio/03_-Ia._Conceito_Fundamentais_(grandezas_Luminosas).pdf)>. Acesso em 02 jul. 2018.
- [25] *Curso de iluminação: Conceitos e projetos* – OSRAM. Material disponível em: <http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf> Acesso em 02 jul.2018.
- [26] COSTA, G. J. C. da, 2006 – *Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação* - Procel - Ed. Edipucrs.
- [27] MASCARÓ, L. A *iluminação do espaço urbano*. São Paulo: Masquatro, 2006.
- [28] Santos, T. S. dos. *Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais*. São Paulo: 2015.
- [29] Dambiski. Leandro Prevedello. *Aplicação do Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente*. Curitiba-PR. 2017.
- [30] ANEEL. *Resolução Normativa nº 414, 9 de setembro de 2010*. ANEEL, 2010. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: julho 2014.
- [31] *BIBLIOTECA do IBGE*. biblioteca.ibge.gov.br. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/normastabular.pdf>>.
- [32] BRASIL. Lei nº 9.503 – Código de Trânsito Brasileiro, 23 de setembro de 1997. Diário Oficial da União de 24 de setembro de 1997. [S.l.]: [s.n.].
- [33] CANDURA, P. *Visão Humana Vapores metálicos x Vapor de sódio*. Revista Lume arquitetura, 2014. Acesso em: 05 set. 2014.

- [34] *GE. Área de Iluminação da empresa GE. GE Light Net.* Disponível em: <https://secure.gelightnet.com/eu/resources/literature_library/prod_tech_pub/downloads/MultiVapor_Data_Sheet_101202.pdf>.
- [35] *GE Lighting. GE - General Electric.* Disponível em: <<http://catalog.gelighting.com/lamp/high-intensity-discharge/constantcolor-cmh-lamps/f=constantcolor-cmh-ar111/p=99992/d=0/?r=emea>>. Acesso em 12 nov. 2014
- [36] <http://issuu.com/leonardopiva/docs/energia_ed_03>. Acesso em 12 nov. 2014
- [37] <http://www.gelighting.com/lightingweb/br_en/resources/document-library/index.jsp#langfilter=all&sortorder=title&pageindex=1&pagesize=15&sorttype=desc&searchstring=null>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- [38] <<http://www.gelighting.com/lightingweb/emea>>. Acesso em 12 nov. 2014.
- [39] <http://www.vivaocentro.org.br/noticias/arquivo/220208_a_click3.htm> . Acesso em 12 nov. 2014.
- [40] *ILLUMINATING Engineering Society.* <http://www.ies.org/>, 2014. Disponível em: <<http://www.ies.org/education/index.cfm>>. Acesso em: 12 nov. 2014.
- [41] *ILLUMINATION fundamentals* Alma E.F. Taylor Lighting research center.
- [42] *INDUCTION Lamps* disponível em: <http://www.edisontechcenter.org/InductionLamps.html>. Acesso em 20 nov. 2014.
- [43] MOREIRA, V. D. A. *Iluminação elétrica*. 1. ed. [S.l.]: Edgard Blucher, 1999. 198 p.
- [44] SCHULZ NETO, Willy. *Iluminação Pública*. Série de cadernos técnicos da agenda parlamentar. CREA-PR.
- [45] SILVA, Lourenço L. F. de. *Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais*. 2006. 172 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

Apêndice A - Conceitos de técnica de iluminação

Serão apresentadas as principais grandezas físicas utilizadas em luminotécnica. O tema de calorimetria é abordado para permitir a introdução dos conceitos de temperatura de cor e índice de reprodução de cor. Serão relacionados ao projeto os principais métodos de iluminação, para obter uma iluminação adequada.

Conceito de luz e cor:

Uma fonte de radiação emite ondas eletromagnéticas, a faixa sensível ao olho humano é [380,720] nm. A velocidade de propagação da onda é calculada por:

$$v = \lambda \times f ,$$

A frequência (f) de uma onda representa o número de oscilações executadas em cada segundo.

O comprimento de onda (λ) representa a distância de dois pontos que se encontram na mesma posição de vibração (Figura A-1).

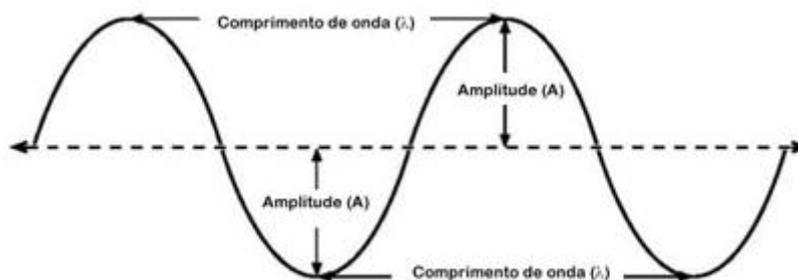


Figura A-1 Comprimento de onda. [21]

A sensibilidade visual para luz varia não só de acordo com o comprimento de onda da radiação, mas também com a luminosidade (Figura A-2). A curva de sensibilidade do olho humano (Figura A-3) demonstra que radiações de menor comprimento de onda geram maior intensidade de sensação luminosa quando há pouca luz.

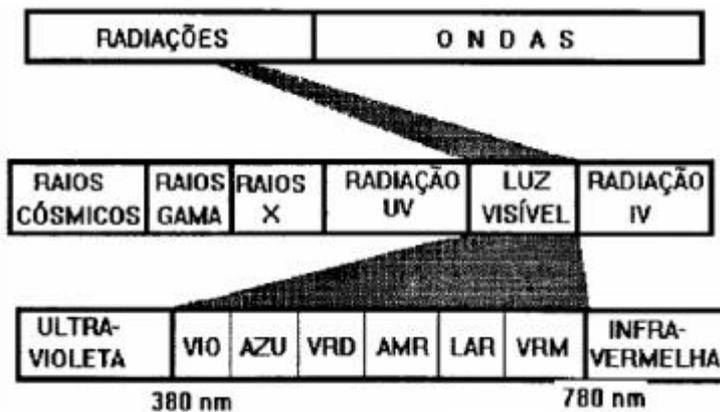


Figura A-2 Sensibilidade visível ao olho humano [21]

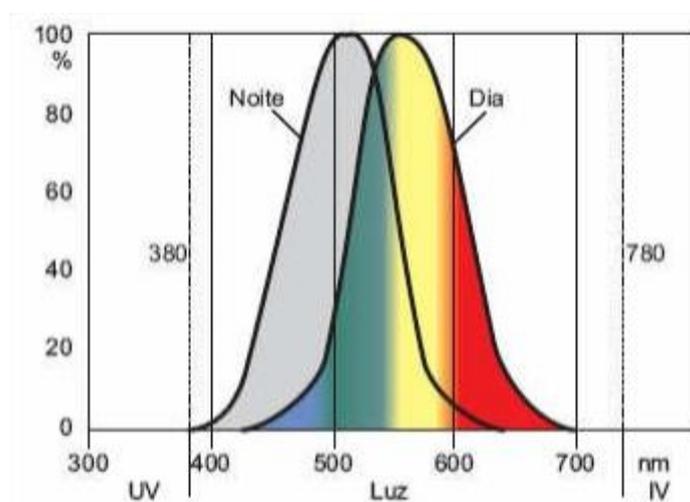


Figura -3 Curva de sensibilidade ao olho humano [21]

As radiações infravermelhas são invisíveis ao olho humano e seu comprimento de onda situa-se entre 760 nm a 10000 nm. Caracterizam-se por forte efeito calorífico e são radiações produzidas por resistores aquecidos ou lâmpadas incandescentes. Já as radiações ultravioletas caracterizam-se por sua elevada ação química e pela excitação da fluorescência.

Grandezas luminosas

Luminotécnica é o estudo de técnicas das fontes de iluminação artificial, através da energia elétrica.

Fluxo Luminoso

É a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço e capaz de produzir uma sensação de luminosidade através do estímulo da retina ocular.

Símbolo: ϕ

Unidade: Lúmen (lm)

Na Figura A-4 está representada a ilustração do fluxo luminoso de uma lâmpada.



Figura A-4 visualização do fluxo luminoso. [24]

O Lumen é a quantidade de energia radiante capaz de sensibilizar os olhos durante um segundo. O fluxo luminoso é medido em laboratório, com um aparelho chamado esfera integradora de Ulbricht. Exemplo do aparelho está na Figura A-5.

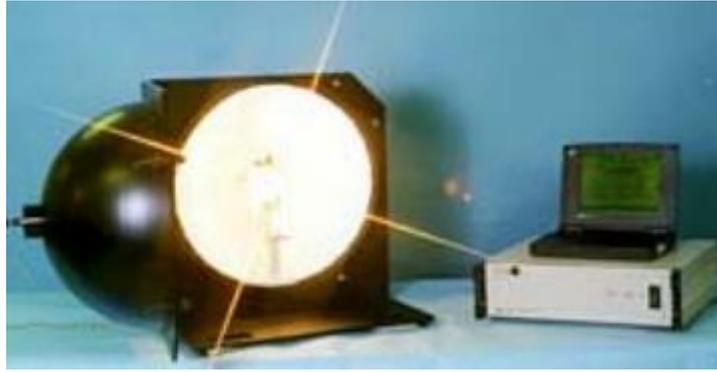


Figura A-5 Esfera Integradora de Ulbricht. [24]

Ângulo sólido

É o ângulo que tendo vértice no centro de uma esfera, subtende na superfície uma área igual ao quadrado do raio da esfera. Sua unidade é o esterradiano (sr). A Figura A-6 ilustra o ângulo sólido. É uma unidade adimensional, dado que a área da superfície da esfera é $4\pi r^2$, a definição implica que a esfera meça 4π esterradianos.

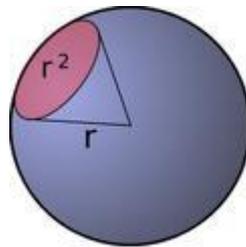


Figura A-6 Visão do angulo sólido. Extraído [22]

Intensidade Luminosa

É a concentração de luz numa dada direção específica, irradiada por segundo. Segundo definição de Moreira, “Intensidade Luminosa é o limite da relação entre fluxo luminoso em um ângulo sólido em torno de uma direção dada e o valor desse ângulo sólido, quando este tende a zero”.

Símbolo: I

Unidade: Candela (cd)

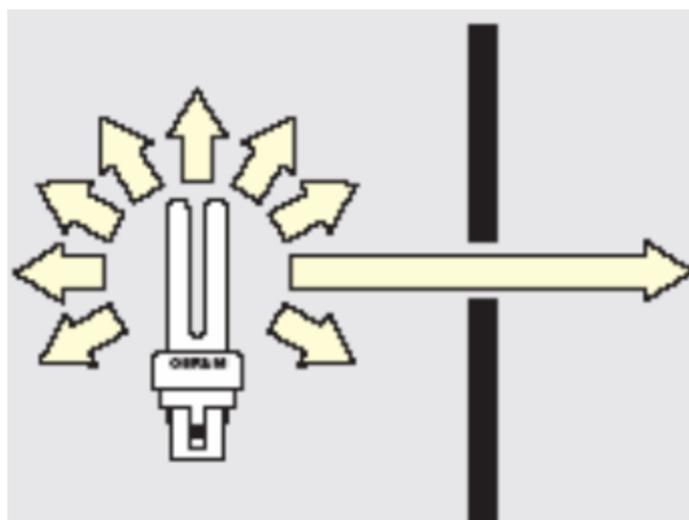


Figura A-7 Visualização da intensidade Luminosa. [24]

A intensidade luminosa é medida em laboratório com aparelhos especiais (GONIOFOTÔMETROS). A maioria das lâmpadas não apresentam uma distribuição uniforme em todas as direções e é comum o uso das curvas de distribuição luminosa, como exemplo da Figura A-8. Os fabricantes disponibilizam a curva fotométrica para cada lâmpada.

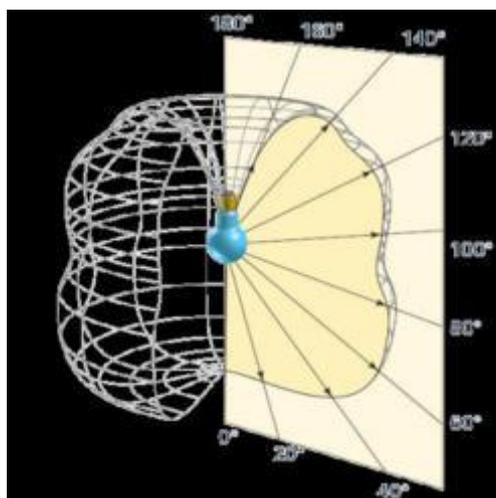


Figura A - 8 Curva fotométrica de distribuição de luz de uma lâmpada incandescente. [25]

Eficiência luminosa

É a relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência consumida. É útil para verificar o tipo de lâmpada mais ou menos eficiente, como é demonstrado na Figura A-9.

Unidade: lúmen / Watt (lm/W)

As lâmpadas de LED possuem uma eficiência muito grande, juntamente com a vida útil, mas esse tipo de iluminação poderá ser realizado em um trabalho a parte, por demonstrar um grande potencial.

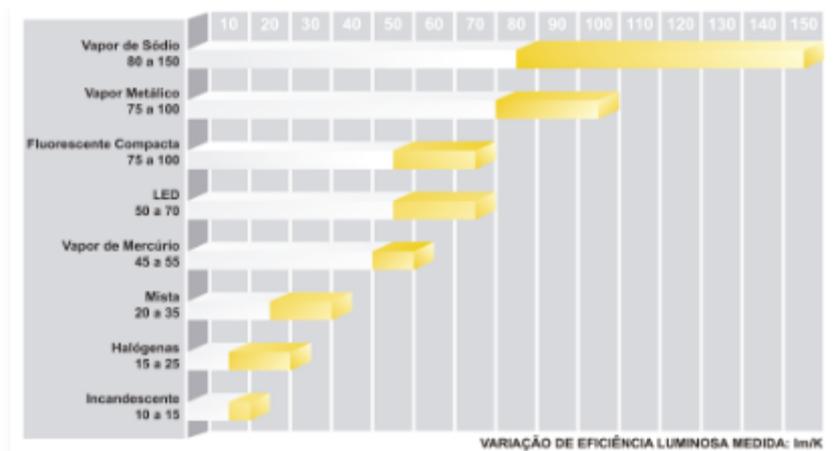


Figura A-9 Curva fotométrica de distribuição de luz de uma lâmpada incandescente. [25]

Iluminância

É a relação entre o fluxo luminoso incidente numa superfície e a superfície sobre a qual este incide, ou seja, é a densidade do fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide, conforme Figura A-10.

Símbolo: E

Unidade: Lux (lx)

A relação é dada entre a intensidade luminosa e o quadrado da distância, ou ainda, entre o fluxo luminoso e a área da superfície:

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

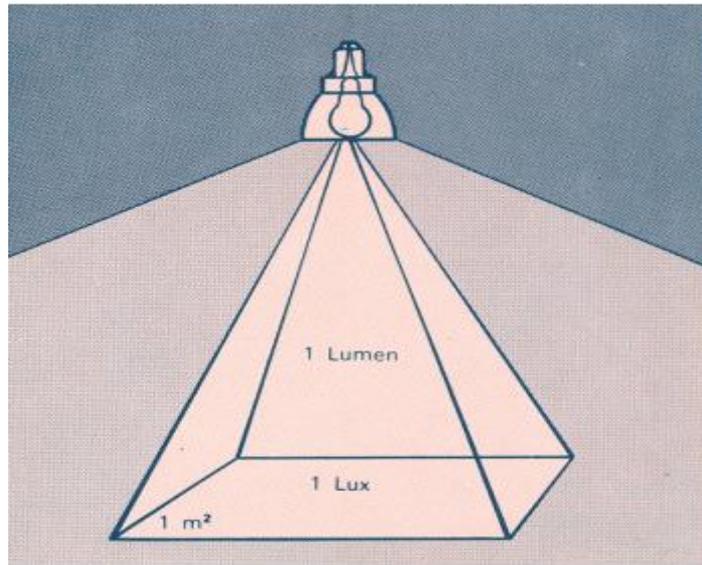


Figura A-10 Cálculo da iluminância. [24]

A iluminância é medida com um aparelho chamado Luxímetro. O Fluxo luminoso não é distribuído uniformemente e a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Em consideração a isso é levado em conta a iluminância média (E_m), o qual as normas especificam o valor mínimo, de acordo com a atividade. Um exemplo é a Tabela A-1 que demonstra a iluminância ideal para os ambientes, de acordo com a NBR5413.

Tabela A-1: iluminância (em Lux) para cada grupo de tarefas visuais, de acordo com a NBR5413.

	Iluminância (Lux)	Tipo de Ambiente/Atividade
Classe A (área de uso contínuo e/ou execução de tarefas simples)	20-30-50	Ruas públicas e estacionamentos
	50-75-100	Ambientes de pouca permanência
	100-150-200	Depósitos
Classe B (áreas de trabalho em geral)	200-300-500	Trabalhos brutos e auditórios
	500-750-1000	Trabalhos normais: Escritórios e Fábricas
	1000-1500-2000	Trabalhos especiais: gravação, inspeção e indústria de tecidos
Classe C (área com tarefas visuais minuciosas)	2000-3000-5000	Trabalho contínuo e exato: Eletrônica
	5000-7500-10000	Trabalho que exige muita exatidão: placas eletroeletrônicas
	10000-15000-20000	Trabalho minucioso especial: Cirurgia

Luminância

No passado denominava-se brilho, querendo significar que a luminância está ligada ao brilho. Trata-se da sensação de claridade que é visualizada pelos olhos e transmitida ao cérebro. Essa sensação de claridade é denominada Luminância.

Símbolo: L

Unidade: cd/m²

As partes sombreadas são aquelas que apresentam a menor Luminância em oposição às outras mais iluminadas. Um exemplo é a leitura de uma página escrita em letras pretas (refletância 10%) sobre um fundo de papel branco (refletância 85%) revela que a luminância das letras é menor do que a luminância do fundo e, assim, a leitura cansa menos aos olhos.

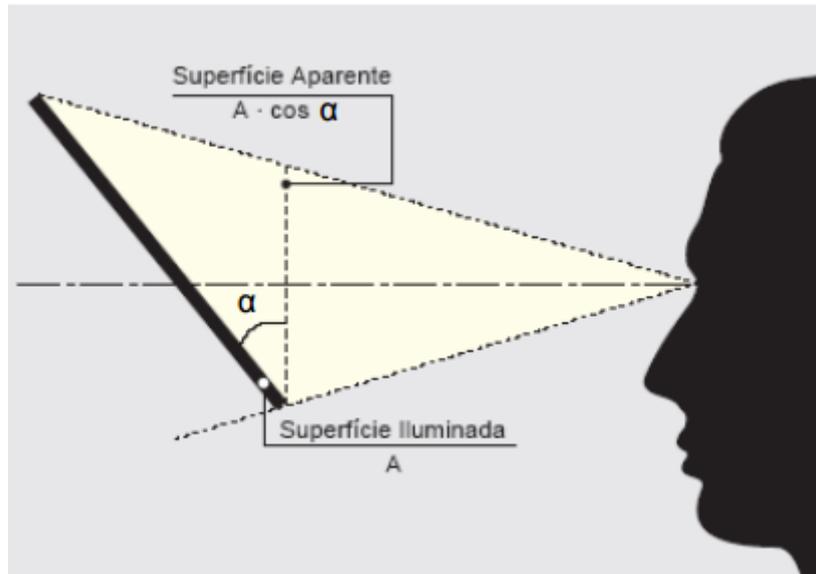


Figura A-11 Luminância (percepção de brilho). [24]

A luminância depende tanto do nível de iluminação ou iluminância, quanto das características de reflexão das superfícies. Matematicamente é definida como:

$$L = \frac{I}{A \times \cos \alpha},$$

onde:

L = Luminância, em cd/m^2

I = Intensidade luminosa, em cd

A = Área projetada, em m^2

α = Ângulo de observação, em graus

Como é difícil medir a intensidade luminosa que provém de um corpo não radiante, pode-se recorrer a fórmula:

$$L = \frac{\rho \times E}{\pi} ,$$

onde:

ρ = Refletância ou coeficiente de reflexão

E = iluminância sobre a superfície.

A luminância pode ser considerada como uma medida do brilho de uma fonte luminosa ou de um objeto iluminado do ponto de vista de um projetista de iluminação. Pode ser medida com um aparelho chamado luminancímetro, como demonstrado na Figura A-12.



Figura A-12 luminancímetro Konica minolta. [24]

Temperatura de cor correlata

É a grandeza que expressa a aparência de cor da fonte de luz. Em aspecto visual é bastante difícil uma avaliação comparativa entre a sensação de tonalidade de cor de diversas lâmpadas. Foi criado o critério de temperatura de cor para classificar a luz.

Símbolo: TCC

Unidade: K (Kelvin)

Assim, quando um ferreiro coloca uma peça de ferro no fogo, esta peça passa a se comportar de acordo com a lei de Planck e vai adquirindo diferentes colorações na medida em que sua temperatura aumenta. Sua cor será cada vez mais clara até atingir o ponto de fusão, indo desde o vermelho até o branco. Quanto maior o branco (semelhante a luz diurna ao meio-dia) maior é a temperatura de cor (aproximadamente 6500 K). Uma lâmpada incandescente opera entre as temperaturas de 2700-3100 K.

Importante destacar que a cor da luz de nada interfere na eficiência da lâmpada, não sendo válida a impressão de quanto mais clara, mais potente é a lâmpada. Do ponto de vista psicológico, quando dizemos que um sistema de iluminação apresenta luz “quente” não significa que a luz apresenta uma maior temperatura de cor, mas sim que a luz apresenta uma tonalidade mais amarelada, como mostra a Figura A-13. Da mesma forma, quanto mais alta for a temperatura de cor, mais “fria” será a luz.

A iluminação artificial, apesar de seus avanços tecnológicos, não pode igualar-se em qualidade à iluminação natural, pois esta apresenta uma temperatura de cor variável de acordo com as horas do dia e estações do ano, não havendo meios de se reproduzir artificialmente essa variação. No inverno há uma predominância das cores frias (mais azuladas) e no verão das cores quentes (mais avermelhadas).

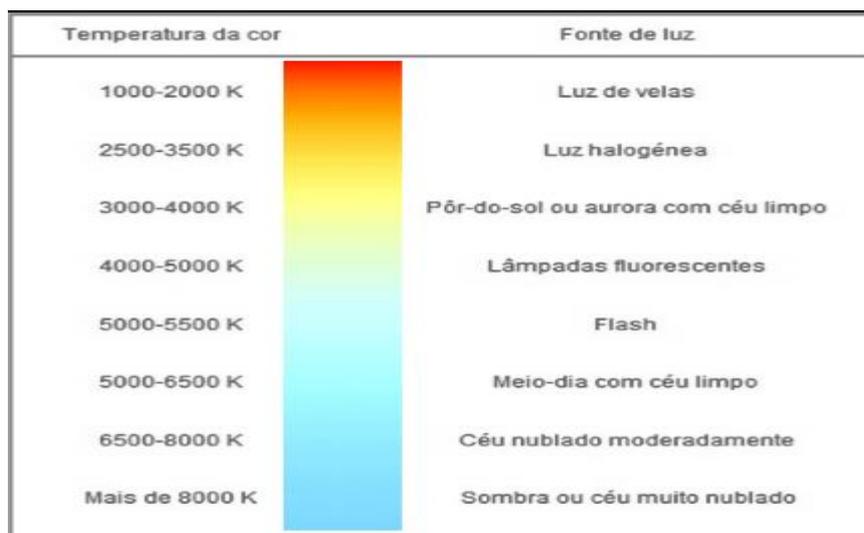


Figura A-13 Temperatura de cor de diferentes fontes. [25]

Índice de reprodução de cor

É a medida de correspondência entre a cor real de um objeto ou superfície e sua aparência diante de uma fonte de luz. O IRC é estabelecido em função da luz natural que tem reprodução fidedigna, ou seja, 100. No caso das lâmpadas, o IRC estabelecido é entre 0 e 100, comparando-se a sua propriedade de reprodução de cor à luz natural (sol).

Símbolo: IRC ou Ra

Unidade: R

Portanto, quanto maior a diferença na aparência de cor do objeto iluminado em relação ao padrão, menor é seu IRC (Figura A-14). Com isso, explica-se o fato de lâmpadas de mesma temperatura de cor possuírem índice de reprodução de cor diferentes.

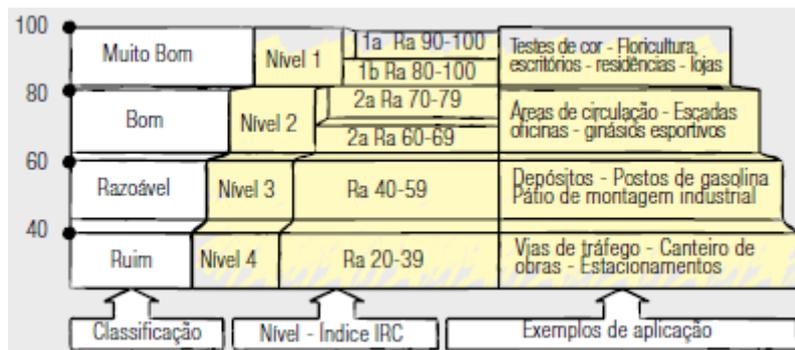


Figura A-14 Índice de reprodução de cor e exemplos de aplicação. [26]

Fator de Fluxo Luminoso

A maioria das lâmpadas de descargas opera em conjunto com reatores. Neste caso, observamos que o fluxo luminoso total obtido depende do desempenho do reator. Este desempenho é chamado de fator de fluxo luminoso (Ballast Factor) e pode ser obtido de acordo com a equação:

$$BF = \frac{\text{Fluxo Luminoso obtido}}{\text{Fluxo luminoso nominal}}$$

Símbolo: BF

Unidade: %

Os reatores normalmente apresentam BF de 0,9; 1,0 ou 1,1.

Vida útil de uma luminária

Vida útil é o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada.

Rendimento da luminária

De acordo com Freitas é a “Razão do Fluxo Luminoso emitido por uma luminária, medido sob condições práticas especificadas, para a soma dos Fluxos individuais das lâmpadas funcionando fora da luminária em condições específicas”. O valor é indicado pelos fabricantes de luminárias

Símbolo: η_L

Eficiência do recinto

O valor da Eficiência do Recinto é dado por tabelas, contidas no catálogo do fabricante onde se relacionam os valores de Coeficiente de Reflexão do teto, paredes e piso, com a Curva de Distribuição Luminosa da luminária utilizada e o Índice do Recinto.

Símbolo: η_R

Índice do Recinto

O Índice do Recinto é a relação entre as dimensões do local, dada por:

$$K = \frac{a \times b}{h(a+b)}, \text{ para iluminação direta e}$$

$$K = \frac{3 \times a \times b}{2 \times h'(a+b)}, \text{ para iluminação indireta,}$$

sendo a = comprimento do recinto, b = largura do recinto, h = pé direito útil, h' = distância do teto ao plano de trabalho, ilustrados na Figura A-15.

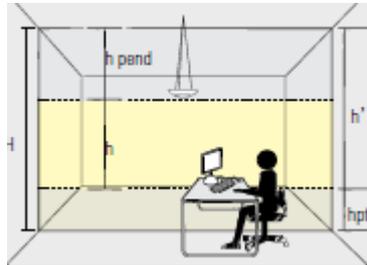


Figura A-15 Representação do pé direito útil [26]

Fator de utilização (Fu)

O Fluxo Luminoso final (útil) que incidirá sobre o plano de trabalho, é avaliado pelo Fator de Utilização. Ele indica, portanto, a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto.

O produto da Eficiência do Recinto, η_R pela Eficiência da Luminária, η_L nos dá o Fator de Utilização.

$$Fu = \eta_L \times \eta_R$$

Determinados catálogos indicam tabelas de Fator de Utilização direto para suas luminárias. Apesar de estas serem semelhantes às tabelas de Eficiência do Recinto, os valores nelas encontrados não precisam ser multiplicados pela Eficiência da Luminária, uma vez que cada tabela é específica para uma luminária e já considera a sua perda na emissão do Fluxo Luminoso.

Fator ou índice de reflexão

É a relação entre o fluxo luminoso refletido e o incidente, ou ainda, é a porcentagem de luz refletida por uma superfície em relação à luz incidente. Devem ser considerados os índices de reflexão do teto, paredes e piso. As Tabelas A-2 e A-3 demonstram exemplos de índices de reflexão.

Tabela A-2: Índices de Reflexão

Refletância das diversas cores	
Branco	75 a 85%
Marfim	63 a 80%
Creme	56 a 72%
Amarelo claro	64 a 75%
Marrom	17 a 41%
Verde claro	50 a 65%
Verde escuro	10 a 22%
Azul claro	50 a 60%
Rosa	50 a 58%
Vermelho	10 a 20%
Cinza	40 a 50%

Tabela A-3: Índice de reflexão de diversos materiais

Materiais	%
Rocha	60
Tijolos	5 a 25
Cimento	15 a 40
Madeira clara	40
Esmalte branco	65 a 75
Vidro transparente	6 a 8
Madeira aglomerada	50 a 60
Azulejos brancos	60 a 75
Madeira escura	15 a 20
Gesso	80

Fator de depreciação (Fd)

Com o tempo, paredes e tetos ficarão empoeirados e sujos e, com isso, os equipamentos de iluminação acumularão poeira, fazendo com que menos quantidade de luz seja fornecida por estes equipamentos. Alguns desses fatores poderão ser eliminados por meio de manutenção. Na prática, para amenizar-se o efeito desses fatores e admitindo-se uma boa manutenção periódica, podem-se adotar os valores de depreciação constantes na Tabela A-4.

Tabela A- 4: Fator de depreciação

Ambiente	Período de manutenção		
	2500 h	5000 h	7500 h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,8
Sujo	0,8	0,66	0,57

Tabelas de conversão de unidades.

Seguem as Tabelas A-5, A-6 e A-7, onde estão listados os valores conversão entre as unidades das seguintes grandezas fotométricas: intensidade luminosa, iluminância e luminância.

Tabela A-5: Conversão para intensidade luminosa

Intensidade Luminosa	[Cd]	[Cp]	[HK]	[IK]
1 candela (Cd)	1	1	1,16	0,98
1 candela power (Cp)	1	1	1,16	0,98
1 vela Hefner (HK)	0,86	0,86	1	0,85
1 vela internacional (IK)	1,02	1,02	1,17	1

Tabela A-6: Conversão para iluminância.

Iluminância	[lx]	[ft-cd]
1 lux	1	0,0919
1 foot candle	10,76	1

Tabela A-7: Conversão para Luminância.

Luminância	[cd/m²]	[cd/cm²]	[Ft-L]
1 cd/m ²	1	10 ⁻⁴	0,2919
1 cd/cm ²	104	1	2929