

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Samuel de Moraes Ribeiro

Iluminação Eficiente e *Funcional* em Espaços de *Lazer*: Um Estudo
Luminotécnico Aplicado

Juiz de Fora
2025

Samuel de Moraes Ribeiro

Iluminação Eficiente e *Funcional* em Espaços de *Lazer*: Um Estudo
Luminotécnico Aplicado

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro Eletri-
cista - Robótica e Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Igor Delgado De Melo

Juiz de Fora

2025

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Morais Ribeiro, Samuel.

Iluminação Eficiente e *Funcional* em Espaços de *Lazer*: Um Estudo
Luminotécnico Aplicado / Samuel de Moraes Ribeiro . – 2025.
65 f. : il.

Orientador: Igor Delgado De Melo

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal
de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia . Graduação em Engenharia
Elétrica, 2025.

1. *Eficiente*. 2. *Funcional*. 3. *Lazer*. 4. Luminotécnico. I. Delgado De
Melo, Igor, orient. II. Título.

Samuel de Moraes Ribeiro

Iluminação Eficiente e *Funcional* em Espaços de *Lazer*: Um Estudo
Luminotécnico Aplicado

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro Eletri-
cista - Robótica e Automação Industrial.

Aprovada em 20 de março de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Igor Delgado De Melo - Orientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Exuperry Barros Costa
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dra. Letícia Lacerda Santos de Sousa
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico esse trabalho aos meus pais, Neuza e José Domingos, aos meus irmãos, Cristiano e Maria Ruth, a minha namorada, Jacqueline e ao meu amigo, Carlos Henrique.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ser minha força e sustento, especialmente nos momentos mais desafiadores da minha vida.

Expresso minha profunda gratidão aos meus pais, José Domingos Ribeiro e Neuza Cruz de Moraes Ribeiro, que, com amor incondicional, fizeram enormes sacrifícios ao longo da minha trajetória para garantir que eu tivesse acesso à melhor educação possível. Este trabalho é também fruto do esforço e da dedicação deles.

À minha namorada, Jacqueline de Paula Campos Motta, sou imensamente grato pelo apoio constante, compreensão e incentivo diário. Sua presença tem sido fundamental para que eu continue firme na busca dos meus objetivos.

Agradeço ao professor Igor Delgado De Melo pela orientação, paciência e contribuições valiosas durante o desenvolvimento deste trabalho. Seu conhecimento e dedicação foram essenciais para o meu crescimento acadêmico.

Por fim, registre meus sinceros agradecimentos ao meu amigo Carlos Henrique Reis, bem como aos meus irmãos, Cristiano de Moraes Ribeiro e Maria Ruth de Moraes Ribeiro, que, de diferentes formas, estiveram ao meu lado e me apoiaram nesta jornada.

Este trabalho não seria possível sem a colaboração e o carinho de todos vocês.

RESUMO

O presente trabalho consiste em um estudo luminotécnico aplicado em uma área de lazer de Lima Duarte – MG, visando melhorias em termos de segurança, conforto visual e eficiência energética. A metodologia utilizada envolve a coleta de dados através de inspeção *in loco*, imagens de drone e satélite, bem como o uso do *software* Dialux EVO 13 para a simulação e verificação de grandezas fotométricas. O projeto segue as diretrizes da norma NBR 5101:2024, que define os requisitos de iluminação para espaços públicos, garantindo a aplicação adequada dos padrões de iluminância, uniformidade e eficiência. Foram identificadas algumas problemáticas no sistema de iluminação como a incompatibilidade com a arborização, distribuição inadequada dos pontos de iluminação e baixa uniformidade da iluminância. A presença de árvores interferindo na iluminação, o espaçamento irregular entre postes dando o efeito de zebraamento são fatores que comprometem a visibilidade e a segurança no local. Para resolver esses problemas, foi proposta uma reestruturação inserindo luminárias em pontos estratégicos onde há fluxo de pedestres, adequando-as à vegetação existente. A implementação das melhorias propostas elevará a qualidade da iluminação da área de lazer, promovendo um ambiente mais seguro e agradável para a população. O estudo reforça a importância da iluminação pública eficiente e planejada, contribuindo para a valorização do espaço urbano e bem-estar social.

Palavras-chave: Luminotécnico. Área de lazer. Iluminação. Dialux.

ABSTRACT

This work consists of a lighting study applied to a leisure area in Lima Duarte – MG, aiming at improvements in terms of safety, visual comfort and energy efficiency. The methodology used involves data collection through on-site inspection, drone and satellite images, as well as the use of Dialux EVO 13 software for lighting simulation. The project follows the guidelines of standard NBR 5101:2024, which defines the lighting requirements for public spaces, ensuring the proper application of illuminance, uniformity and efficiency standards. Some problems were identified in the lighting system, such as incompatibility with the trees, inadequate distribution of lighting points and low uniformity of illuminance. The presence of trees interfering with the lighting, the irregular spacing between posts giving the zebra effect are factors that compromise visibility and safety in the location. To solve these problems, a restructuring was proposed by inserting luminaires in strategic points where there is pedestrian flow and adapting them to the existing vegetation. The implementation of the proposed improvements will improve the quality of lighting in the leisure area, promoting a safer and more pleasant environment for the population. The study reinforces the importance of efficient and planned public lighting, contributing to the enhancement of urban space and social well-being.

Keywords: Lighting. Leisure area. Lighting. Dialux.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -Thomas Edison, 1929.	16
Figura 2 - Iluminação a azeite.	20
Figura 3 - Usina hidrelétrica de Marmelos, Juiz de Fora - MG	22
Figura 4 - Espectro visível	26
Figura 5 - Conceitos Luminotécnico	30
Figura 6 - Representação de Eixos	31
Figura 7 - Depreciação ao longo do tempo de utilização	33
Figura 8 - O espectro eletromagnético	34
Figura 9 - Temperaturas de Cor	36
Figura 10 - Estrutura do olho humano	37
Figura 11 - Lima Duarte - MG	39
Figura 12 - Área e Perímetro - Lago Lima Duarte - MG	40
Figura 13 - Pista do Lago (Diurna) - Lima Duarte - MG	41
Figura 14 - Pista do Lago (Noturna) - Lima Duarte - MG	41
Figura 15 - CDL e Luminária utilizada na simulação do sistema atual.	42
Figura 16 - Especificações técnicas da Luminária	43
Figura 17 - Especificações técnicas do projetor injetado	43
Figura 18 - Curva de distribuição do projetor injetado	44
Figura 19 - Arborização x iluminação (Diurna)	48
Figura 20 - Arborização x iluminação (Noturna)	49
Figura 21 - Compatibilidade com a arborização.	50
Figura 22 - Sobramento devido a distância entre postes.	52
Figura 23 - Representação do Lago Municipal no Dialux	55
Figura 24 - Pontos considerados do Lago Municipal	56
Figura 25 - Primeira solução do Lago Municipal no Dialux - Caso 1	57
Figura 26 - Segunda solução do Lago Municipal no Dialux - Caso 2	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de postes no Lago Municipal	42
Tabela 2 – Parâmetros para a seleção da classe de iluminação P	45
Tabela 3 – Requisitos de iluminação para a classe de iluminação P	46
Tabela 4 – Quadro resumo para a Área 1.	58
Tabela 5 – Quadro resumo para a Área 2.	59
Tabela 6 – Quadro resumo para a Área 3.	59
Tabela 7 – Quadro resumo para a Área 4.	59
Tabela 8 – Quadro resumo para a Área 5.	60
Tabela 9 – Quadro resumo para a Área 6.	60
Tabela 10 – Quadro resumo para a Área 7.	61
Tabela 11 – Quadro comparativo.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CDL	Curva de Distribuição Luminosa
IP	Iluminação Pública
NBR	Norma Brasileira
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12	
1.1	OBJETIVOS	12	
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	14	
2	CONCEITUAÇÃO E CONTEXTO HISTÓRICO	15	
2.1	CONTEXTO HISTÓRICO	15	
2.2	TRAJETÓRIAS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL	16	
2.2.1	LÂMPADAS A ARCO VOLTÁICO	16	
2.2.2	LÂMPADAS INCANDESCENTES	16	
2.2.3	LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS OU A VAPOR	17	
2.2.4	LÂMPADAS FLUORESCENTES	17	
2.2.5	LÂMPADAS DE HALOGÊNIO	18	
2.2.6	LÂMPADAS DE DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)	19	
3	ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL	20	
3.1	EXPANSÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	23	
4	ILUMINAÇÃO PÚBLICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .	25	
4.1	CONCEITOS ENVOLVIDOS	25	
4.1.1	FUNDAMENTOS DE FOTOMETRIA E GRANDEZAS FÍSICAS . . .	25	
4.1.2	INTENSIDADE LUMINOSA (I)	26	
4.1.3	FLUXO LUMINOSO (ϕ)	27	
4.1.4	LUMINÂNCIA (L)	28	
4.1.5	ILUMINÂNCIA (E)	29	
4.1.6	REFLETÂNCIA (ρ)	30	
4.1.7	EFICÁCIA LUMINOSA (η)	30	
4.1.8	CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA	31	
4.1.9	UNIFORMIDADE	32	
4.1.10	FATOR DE DEPRECIAÇÃO	32	
4.1.11	ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)	34	
4.1.12	TEMPERATURA DE COR CORRELATA (TCC)	35	
4.1.13	VISÃO HUMANA	36	
5	O CASO DE ESTUDO	39	
5.1	BREVE HISTÓRICO DA FORMAÇÃO DE LIMA DUARTE - MG . .	39	
5.2	ANÁLISE SOBRE A ÁREA DE APLICAÇÃO DO PROJETO	40	
5.2.1	ANÁLISE DA NBR 5101:2024 APLICADA PARA O LAGO MUNICIPAL	44	
5.2.2	REFLEXÕES ACERCA DA PROBLEMÁTICA DA ILUMINAÇÃO NO	LAGO MUNICIPAL DE LIMA DUARTE - MG	47
5.2.3	AUSÊNCIA DE COMPATIBILIDADE COM A ARBORIZAÇÃO . . .	48	
5.2.4	DEFICIÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO	51	

5.2.5	INADEQUAÇÃO UNIFORMIDADE DA ILUMINÂNCIA	53
5.3	ABORDAGEM DO PROJETO	54
5.3.1	PROPOSTAS DE SOLUÇÕES COM BASE DE SIMULAÇÕES NO DIALUX EVO E ANÁLISES DE RESULTADOS	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6.1	Conclusões	62
6.1.1	Trabalhos Futuros	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Desde que o mundo é mundo, a iluminação tem sido primordial para o ser humano. Quando o homem aprendeu a dominar o fogo, no tempo das cavernas, a luz passou a fazer parte da rotina, iluminando o caminho e dando uma nova forma às sombras. Hoje, não é possível imaginar a vida sem ela. A iluminação pública está por toda parte, e é essencial para o dia a dia nas cidades.

A iluminação pública é fundamental pois, é sinônimo de segurança e qualidade de vida no ambiente urbano. Pense numa praça bem iluminada, onde as pessoas se sentem à vontade pra caminhar ou praticar esportes. Agora, imagine o oposto: ruas escuras, passarão insegurança e medo para os transeuntes do local.

Em espaços de lazer, a iluminação exerce um impacto ainda mais significativo. Ela é responsável por transformar o espaço, fazendo com que as pessoas se sintam seguras e confortáveis ao praticar exercícios físicos, passear com a família, conversar com os amigos, entre outras atividades. Uma boa iluminação pública é aquela que transforma o lugar perigoso, em um lugar seguro, que embeleza o espaço valorizando a paisagem, tornando o ambiente mais agradável.

Entretanto, apesar dos avanços, diversos lugares ainda sofrem com uma iluminação ineficiente. Essa situação traz riscos para a sociedade, podendo contribuir para o aumento da violência e vandalismo e prejudicar a visibilidade do entorno, intensificando os índices de criminalidade e a sensação de insegurança. Diversos fatores precisam ser avaliados, quando se trata de iluminação pública ineficiente, desde projetos luminotécnicos mal elaborados até conflitos com arborizações e falta de manutenção e reparação de lâmpadas, postes e fios.

Diante desse contexto, torna-se necessária a reavaliação e o aprimoramento da forma como a iluminação é projetada e inovadora em espaços públicos, especialmente em áreas de lazer. Nesse sentido, a questão vai além da simples presença de luz, envolvendo a criação de ambientes mais seguros e acolhedores, além da valorização dos espaços compartilhados por todos, por meio de soluções eficientes e funcionais

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em desenvolver um estudo luminotécnico que proporcione soluções eficientes e funcionais para a adequação da iluminação de uma área de lazer em Lima Duarte - MG: o Lago Municipal da cidade. A partir de revisões bibliográficas, este trabalho permite aprofundar sobre os conceitos relacionados com iluminação pública, assim como analisar os critérios que devem ser adequados, conforme a NBR 5101:2024. O projeto busca garantir conforto visual, segurança e eficiência energética, aliando aspectos técnicos e estéticos para criar ambientes que atendam às necessidades da população e

promovam bem-estar. A análise considera critérios de distribuição luminosa, eficácia energética e arborização, oferecendo uma proposta prática e adaptada às características específicas do espaço estudado.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em sete capítulos.

O Capítulo 1 apresenta o contexto do estudo, abordando de maneira ampla a evolução da iluminação pública, sua importância no cotidiano e os objetivos desta pesquisa.

O Capítulo 2 aborda o contexto e a evolução histórica das tecnologias das lâmpadas, explorando de forma específica as transformações e avanços que ocorreram ao longo do tempo.

O Capítulo 3 apresenta a iluminação pública e sua evolução no Brasil, abordando o desenvolvimento das tecnologias utilizadas ao longo do tempo e os principais marcos históricos desse processo.

O Capítulo 4 apresenta algumas definições relacionadas à eficiência energética e às grandezas físicas associadas.

No Capítulo 5, é iniciado o desenvolvimento do projeto, apresentando o estudo do local e detalhando os problemas identificados. São descritas as condições atuais da iluminação pública na área evidenciada, destacando as principais deficiências, além de apresentar as propostas de soluções viáveis para os problemas identificados de maneira atingir os objetivos deste trabalho, proporcionando maior segurança e conforto para população do município.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões obtidas com o estudo e as discussões de trabalhos futuros.

2 CONCEITUAÇÃO E CONTEXTO HISTÓRICO

No contexto atual, torna-se quase impossível imaginar o mundo sem iluminação pública. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), 2010) define, através da Resolução nº. 414/2010, a iluminação pública como o serviço que promove luz no período noturno ou em ocasionais escurecimentos no período diurno. A abrangência do fornecimento de energia elétrica contempla:

Fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, e outros logradouros de domínio público, de uso comum e livre acesso, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, incluído o fornecimento destinado à iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, excluído o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade (ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil), 2010).

A iluminação pública tem um aspecto essencial para o desenvolvimento da sociedade ao longo da história. Além de garantir sua função natural proporcionando maior visibilidade noturna, desempenha um papel significativo na redução da criminalidade e na sensação de segurança (CASAGRANDE, 2021).

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Sabe-se que a iluminação artificial acompanha o ser humano desde os primórdios. Em relação ao contexto histórico, desde que o ser humano aprendeu a dominar o fogo, o homem não consegue viver sem iluminação, a qual desempenhou um papel fundamental para o desenvolvimento da espécie humana. Hoje trata-se de um serviço essencial para a qualidade de vida nos centros urbanos, os quais muitas vezes possuem iluminação inadequada ou insuficiente. É perceptível a relevância que a iluminação pública desempenha na sociedade nos dias atuais, contribuindo não somente para o embelezamento das cidades e valorização dos espaços urbanos, como também para a segurança pública e desenvolvimento social e econômico dos países.

No princípio, a luz era proveniente do fogo, usado em tochas pelo homem primitivo para promover rituais. Com o desenvolvimento da sociedade, as tochas foram substituídas pelas lamparinas à óleo. Surgiu então a preocupação em iluminar as ruas, o que deu origem à iluminação pública. É provável que seu surgimento tenha ocorrido por volta de 1415 na Inglaterra para combater a criminalidade comum contra os comerciantes da época (LOPES, 2014).

O primeiro uso comercial da iluminação à gás foi registrado em 1792, quando William Murdoch, para iluminar sua casa, utilizou gás de carvão. Essas lâmpadas foram utilizadas em larga escala durante o século XIX e início do século XX, quando foram substituídas por uma invenção que mudaria o cenário da iluminação: as lâmpadas elétricas.

2.2 TRAJETÓRIAS DA ILUMINAÇÃO ARTIFICIAL

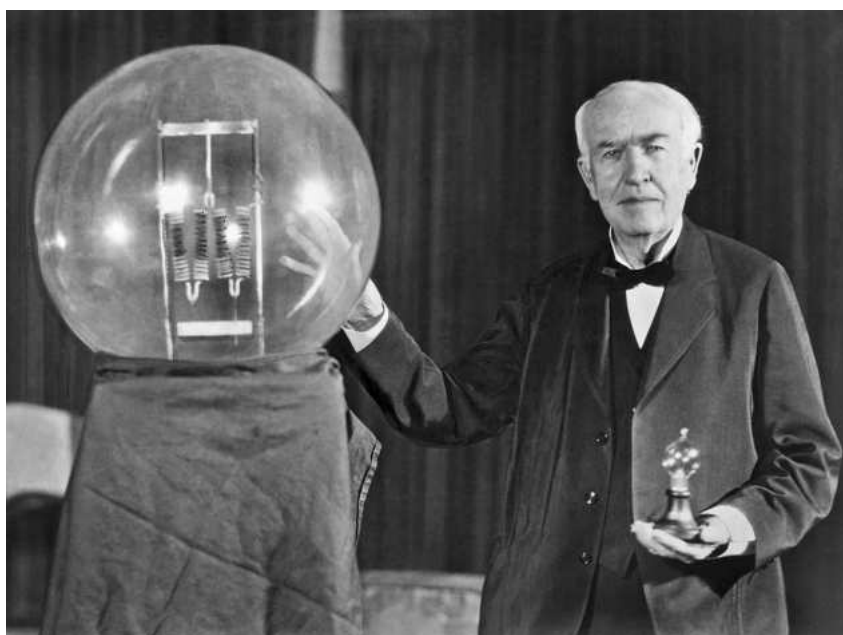
2.2.1 LÂMPADAS A ARCO VOLTÁICO

As primeiras lâmpadas elétricas, conhecidas como lâmpadas a arco voltaico, foram inventadas pelo inglês Humphrey Davy que propôs este tipo de tecnologia em 1800 (SILVA, 2006). Consideradas as primeiras lâmpadas de descarga, elas funcionavam com dois eletrodos de carbono devidamente espaçados, gerando uma luz forte e clara. Este tipo de lâmpada trazia algumas desvantagens: a vida útil das lâmpadas era pequena devido aos desgastes dos eletrodos de carbono, o que ocasionava a necessidade constante de troca; além disso, a separação entre os carbonos tinha que ser exata, caso contrário a lâmpada apagava.

2.2.2 LÂMPADAS INCANDESCENTES

Ganhando destaque na consolidação da iluminação elétrica o empresário e idealizador americano, Thomas Alva Edison (1847-1931), foi o detentor da patente da lâmpada incandescente, sendo mostrado na Figura 1, que supria os sistemas de iluminação através da passagem de corrente contínua por um filamento que emitia luz.

Figura 1 -Thomas Edison, 1929.



Fonte: (WEG, 2019)

Sem dúvida, as lâmpadas de filamento incandescente figuram entre as maiores invenções da história, substituindo os perigosos métodos de iluminação que existiam até então e que tinham uma luminosidade limitada. A invenção da lâmpada não só eliminou esses problemas, como também abriu caminho para o desenvolvimento de outras tecnologias.

Como a evolução das tecnologias aplicadas à iluminação pública é um terreno de contínua inovação e desenvolvimento, percebeu-se que as lâmpadas de filamento incandescentes, apesar de terem representado uma grande inovação em sua época, eram ineficientes quando se tratava de energia transformada em luz. Elas convertiam apenas cerca de 10% da energia consumida em luz, enquanto o restante era dissipado como calor.

2.2.3 LÂMPADAS DE DESCARGA DE GÁS OU A VAPOR

As lâmpadas de descarga de gás ou vapor representam um avanço significativo na tecnologia de iluminação, sendo específicas pela geração de luz por meio da passagem de corrente elétrica através de um gás ou vapor. Esse processo cria uma descarga elétrica que resulta na emissão de luz visível. A introdução desse tipo de lâmpada ocorreu no início do século XX, quando o americano Peter Cooper Hewitt patenteou uma lâmpada de vapor de mercúrio, em 1901 (MAIA, 2018).

Essa tecnologia utilizou vapor de mercúrio confinado em uma ampola de vidro e foi precursora de lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas de vapor de mercúrio foram amplamente aplicadas em iluminação pública devido à sua capacidade de iluminar grandes áreas com eficiência razoável. Com o tempo, esse modelo evoluiu, resultando em três categorias principais:

Lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão: utilizadas principalmente em iluminação pública até a popularização de tecnologias mais modernas.

Lâmpadas de vapor de sódio: conhecidas por suas características de luz amarelada, são amplamente aplicadas em rodovias e vias urbanas por sua alta eficiência.

Lâmpadas de iodetos metálicos: oferecem luz branca de alta intensidade e são frequentemente utilizadas em grandes eventos esportivos e áreas industriais.

Essas inovações transformaram a iluminação pública, tornando-a mais eficiente e adequada para diferentes ambientes urbanos e industriais. Entretanto, as lâmpadas de descarga de gás apresentam limitações, como o uso de mercúrio, e a emissão de calor, que reduziram sua competitividade com o advento de tecnologias mais sustentáveis.

2.2.4 LÂMPADAS FLUORESCENTES

A evolução das lâmpadas fluorescentes marcou um novo paradigma na eficiência energética e na qualidade da iluminação. Essas lâmpadas utilizam um processo em que a

luz é gerada por um arco de mercúrio em baixa pressão, que emite radiação ultravioleta. Essa radiação é convertida em luz visível por meio de um revestimento fluorescente na parte interna do tubo.

Patenteadas em 1927 por Friedrich Meyer, Hans Spanner e Edmund Germer, como lâmpadas fluorescentes foram implementadas comercialmente na década de 1930. A origem da lâmpada fluorescente coincide com a da lâmpada a vapor de mercúrio, já que ambas surgiram na década de 30. A diferença entre esses dois tipos de lâmpadas é que a segunda opera com o vapor do mercúrio em alta pressão, enquanto as lâmpadas fluorescentes possui o meio condutor interno atuando abaixo da pressão atmosférica. Ambas são lâmpadas de descarga, em que o principal condutor de corrente elétrica é o vapor de mercúrio, contido em um ambiente fechado (TRUSTE, 2024).

Diferentemente das lâmpadas de vapor de mercúrio, as lâmpadas fluorescentes cobriam um revestimento interno que aumentava sua eficiência luminosa e reduzia o consumo de energia. Inicialmente, o berílio foi utilizado nesse revestimento, mas devido à sua toxicidade, foi substituído por materiais mais seguros (MAIA, 2018).

Com uma eficiência luminosa superior às incandescentes, alcançando cerca de 70 lúmens por watt, as lâmpadas fluorescentes tornaram-se uma alternativa popular em ambientes comerciais e residenciais. Sua capacidade de oferecer luz uniforme, maior durabilidade e menor consumo de energia contribuiu para sua ampla acessibilidade. Mais tarde, o desenvolvimento das lâmpadas fluorescentes compactas, nos anos 1980, ampliou ainda mais suas aplicações, permitindo o uso em luminárias domésticas comuns.

2.2.5 LÂMPADAS DE HALOGÊNIO

As lâmpadas de halogênio são uma evolução das incandescentes tradicionais, utilizando um filamento de tungstênio inserido em uma atmosfera de gás inerte e uma pequena quantidade de halogênio, como iodo ou bromo. Essa configuração química cria um ciclo regenerativo que evita a deposição de tungstênio nas paredes da lâmpada, permitindo uma operação mais eficiente e prolongando sua vida útil.

Introduzidas em 1959 por Elmer Friedrich e Wiley Emmett, as lâmpadas de halogênio conquistaram o mercado ao oferecer luz de alta qualidade e intensidade, além de uma eficiência energética moderadamente superior às incandescentes comuns. Eles também operam em temperaturas mais elevadas, o que resulta em uma luz mais brilhante e com melhor reprodução de núcleos (MAIA, 2018).

Essas lâmpadas se destacaram em aplicações que desabilitam iluminação direcional ou intensa, como teatros, iluminação automotiva e holofotes para áreas externas. No entanto, a alta temperatura de operação e o maior consumo de energia em comparação com tecnologias mais modernas, como LEDs, reduziram gradualmente seu uso em projetos de iluminação pública e residencial.

2.2.6 LÂMPADAS DE DIODO EMISSOR DE LUZ (LED)

O Diodo Emissor de Luz (LED) é a tecnologia mais revolucionária no setor de iluminação. Sua operação baseia-se não nas especificidades da eletroluminescência, em que um semicondutor emite luz quando atravessado por uma corrente elétrica. A ausência de filamentos ou gases faz com que os LEDs sejam classificados como lâmpadas de estado sólido, diferenciando-se completamente das tecnologias anteriores.

Desde sua introdução, os LEDs demonstraram vantagens significativas, como alta eficiência energética, longa durabilidade e baixa emissão de calor. A eficiência dos LEDs modernos chega a até 300 lúmens por watt, superando em muito as lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Além disso, a flexibilidade de *design* permite a produção de luz em diversos núcleos e intensidades, tornando-os ideais para aplicações residenciais, comerciais e públicas.

Na iluminação pública, os LEDs transformaram o setor, permitindo a implementação de sistemas inteligentes de controle, conhecidos como telegestão, que otimizam o consumo de energia e facilitam a manutenção. Essa tecnologia também é considerada essencial em iniciativas de cidades inteligentes devido à sua integração com sensores e redes automatizadas. Além disso, o uso de LEDs contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental, a redução do consumo de energia e as emissões de carbono associadas à geração elétrica (MAIA, 2018).

Desde os primeiros dias da iluminação artificial até os dias atuais, houve avanços inovadores que revolucionaram a maneira como as cidades e os espaços públicos

3 ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL

A evolução da iluminação pública no Brasil reflete diretamente no desenvolvimento tecnológico e nas mudanças sociais do país, representando uma jornada de progresso e transformação.

Antes do período colonial, as únicas fontes de iluminação utilizadas pelos povos indígenas durante a noite eram o fogo e a luz da lua. Com a chegada dos portugueses em 1500, começaram a ser introduzidas lâmpadas à base de óleo vegetal e animal.

A iluminação pública começou a tomar forma no Brasil apenas no século XVIII. No Rio de Janeiro, em 1794, foram instaladas as primeiras lamparinas de óleo, e algumas décadas depois, em 1830, a iluminação pública chegou a São Paulo (TRUSTE, 2024).

Com a chegada em 1808 da família real ao Brasil, foi criada a Intendência Nacional de Polícia, responsável pelo policiamento e segurança. A Intendência proporcionou a instalação de iluminação em diversas ruas do Rio de Janeiro com o objetivo de inibir a criminalidade (CASAGRANDE, 2021). Durante a segunda metade do século XIX, a iluminação pública se expandiu rapidamente no Brasil com o uso de querosene importado, utilizando lampiões montados em postes de baixa altura. A Figura 2 ilustra esse processo.

Figura 2 - Iluminação a azeite.



(a) Tela “Coleta de esmolas para irmandade”, de Jean Baptista Debret (1820).



(b) Acendedores de lampião em Porto Alegre no início do século XX

Fonte: (CASAGRANDE, 2021).

Esse sistema exigia que vários funcionários acendessem diariamente as luzes das ruas das cidades. Com os óleos derivados de gordura animal, surgiram como velas feitas de gordura e cera de abelha, que não eram acessíveis para a população mais pobre devido ao seu alto custo. Aos poucos, as velas de sebo passaram a ser fabricadas localmente e, a partir do século XVIII, passaram a ser subprodutos da indústria baleeira, sendo produzidos nas benfeitorias de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul.

Ao longo do século, a iluminação a óleo foi gradualmente substituída pela iluminação a gás e, posteriormente, pela elétrica, até o início do século XX (TRUSTE, 2024). Com o avanço tecnológico no final do século XIX, a eletricidade começou a substituir o gás como principal fonte de iluminação pública. Inicialmente, o gás era amplamente utilizado devido à sua eficiência na iluminação de ruas, praças e interiores. No entanto, a chegada da eletricidade trouxe benefícios que rapidamente superaram os do gás.

O primeiro registro de iluminação elétrica no Brasil ocorreu no Rio de Janeiro, em 7 de setembro de 1857, durante um evento pública realizada no prédio da Escola Central (posteriormente ocupada pela Escola Nacional de Engenharia, no Largo de São Francisco). Na ocasião, um baile foi promovido em homenagem aos imperadores.

Outro evento foi registrado em 30 de março de 1862, também no Rio de Janeiro, durante a inauguração da Estátua do Imperador Dom Pedro I, localizada na Praça da Constituição (hoje chamada de Praça Tiradentes). Nessa ocasião, um facho de luz foi projetado de um teatro vizinho, por meio de suas janelas, iluminando o monumento.

Em 1868, a cidade de São Paulo presenciou outra demonstração de iluminação elétrica, dessa vez em celebração à vitória brasileira na “Passagem de Humaitá”, durante a Guerra do Paraguai. A fachada da cadeia pública foi iluminada por meio da tecnologia de arco voltaico, com energia fornecida por uma bateria de acumuladores. Esse feito foi realizado pelo frade francês Frei Germano de Annecy, professor de matemática no Seminário de São Paulo (TRUSTE, 2024).

Em 1879, Dom Pedro II inaugurou a iluminação elétrica da Estação Central da Estrada de Ferro Dom Pedro II (posteriormente chamada de Central do Brasil), localizada no Centro do Rio de Janeiro. O sistema contava com seis lâmpadas de arco voltaico do tipo Jablochkoff, distribuídas da seguinte forma: quatro instaladas nas plataformas, uma na entrada e outra no saguão. A alimentação dessas lâmpadas era feita por dois dínamos Gromme, acionados por um locomóvel a vapor com potência de 70 W. Essas lâmpadas demonstraram eficiência superior, substituindo os 46 bicos de gás anteriormente utilizados (TRUSTE, 2024).

Em dezembro de 1881, o Imperador Dom Pedro II inaugurou uma instalação no prédio do Ministério da Agricultura, localizado no Largo do Poço (atual Praça XV de Novembro, no Rio de Janeiro), durante a “Exposição Industrial”. O sistema contava com 60 lâmpadas incandescentes, alimentadas por um dínamo de 10 cavalos-vapor (CV), acionado por um locomóvel. A instalação foi realizada pela empresa “Edison Electric Co.”. Já em 1883, a cidade de Campos, no Rio de Janeiro, contava com um serviço público de iluminação elétrica, e, em 1887, Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, implementou um serviço municipal semelhante (TRUSTE, 2024).

Chega-se em um grande marco histórico em 1889, na ocasião foi inaugurada em Juiz de Fora, Minas Gerais, a primeira usina hidrelétrica de grande porte destinada à produção

de “força e luz”, uma expressão comum na época. A Usina Hidrelétrica de “Marmelos”, construída pelo industrial Bernardo Mascarenhas, é considerada o marco zero da história da energia elétrica no Brasil e na América Latina. A usina, apresentada na Figura 3, constituía geradores de energia elétrica que utilizavam corrente alternada (monofásica), foi erguida principalmente para atender à Companhia Têxtil Bernardo Mascarenhas, mas o excedente da energia gerada era destinado à iluminação pública (CASAGRANDE, 2021).

Figura 3 - Usina hidrelétrica de Marmelos, Juiz de Fora - MG



Fonte: (CASAGRANDE, 2021).

Quatro anos depois 1893, a segunda usina hidrelétrica do Brasil foi construída, utilizando o Salto Grande do Ribeirão Monjolinho, nas proximidades de São Carlos, no estado de São Paulo. Esta usina foi a primeira do estado, e seu centenário foi celebrado no dia 2 de julho de 1993, com a restauração de sua casa de máquinas (que já não possuía os equipamentos originais), a qual passou a funcionar como um museu histórico. No mesmo ano, também foi inaugurada a usina hidrelétrica de Piracicaba. No final do século XIX, foram criadas várias usinas hidrelétricas, como as de Corumbataí e Cravinhos, em 1895, seguidas pela de Petrópolis, em 1896. Em 1897, surgiram as usinas de Belo Horizonte e São José do Rio Pardo. Já em 1898, foram inauguradas as usinas de Pinhal, Amparo, Santa Rita do Passa Quatro e Poços de Caldas. A última dessa sequência foi a de Ribeirão Preto, em 1899 (TRUSTE, 2024).

O sucesso das usinas hidrelétricas foi tão significativo que se ocasionou o impulso do desenvolvimento regional. Elas se concentraram, sobretudo, na região Sudeste, onde o crescimento da cultura cafeeira gerou grande riqueza e forneceu os recursos essenciais para a formação do capital necessário aos investimentos.

3.1 EXPANSÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A lâmpada incandescente teve sua primeira aplicação na iluminação pública na Rua do Ouvidor, no Rio de Janeiro, entre 1887 e 1888, em um trecho pequeno e por um período curto. O uso da tecnologia se expandiu rapidamente, alcançando cidades como São Paulo (1888), Juiz de Fora (1889) e mais uma dúzia de localidades no final do século XIX. A partir de 1890, houve um constante aprimoramento da eficiência luminosa, potência e durabilidade das lâmpadas, com a evolução dos filamentos de carvão para filamentos metálicos, como tântalo, ósmio e tungstênio. Isso fez com que a lâmpada incandescente substituísse rapidamente a iluminação a gás, desencorajando novas instalações e atualizando gradualmente conforme existentes.

O aumento da potência, com o desenvolvimento de filamentos para operar em atmosferas inertes (1913) e em circuitos de corrente constante (1914), também foi crucial para a expansão do uso dessa tecnologia na iluminação pública. Esses avanços tornaram possível o uso dos sistemas elétricos de distribuição já existentes, alimentados por transformadores especiais, de núcleo móvel, marcando o fim das luminárias ao arco voltaico (TRUSTE, 2024).

Na primeira metade do século XX, cidades como o Rio de Janeiro tiveram um crescimento de aproximadamente 10.000 pontos de iluminação por década. Outras grandes cidades do país apresentaram evolução semelhante à iluminação pública, com o apoio de planos de expansão.

Durante muitos anos, as lâmpadas incandescentes foram as mais utilizadas na iluminação pública brasileira. No entanto, na década de 1950, houve uma substituição progressiva por lâmpadas fluorescentes. A partir da década de 1960, as instruções de descarga em alta pressão passaram a ser obrigações em larga escala.

Durante as décadas de 1980 e 1990, ocorreu uma grande troca de lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão. Em 1985, com a criação do PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica) pelo Governo Federal, diversas iniciativas focadas em eficiência energética focadas a ser reformas, com a colaboração entre os governos e as concessionárias de energia elétrica, incluindo a área de iluminação pública. No início, as lâmpadas incandescentes e mistas foram substituídas por lâmpadas de vapor de mercúrio em alta pressão.

Mais tarde, especialmente com o lançamento do programa PROCEL RELUZ em 2000, apoiado pelo Ministério das Minas e Energia, houve um avanço significativo na modernização de mais de 2 milhões de pontos de iluminação pública em mais de 1.300 municípios brasileiros (ELETROBRAS, 2015).

Entre as principais ações desse programa, destacam-se as substituições em larga escala por lâmpadas de vapor de sódio. Com alta eficiência e longa vida útil, essas lâmpadas

se mostraram uma excelente alternativa ao vapor de mercúrio e continuam sendo as mais usadas na iluminação pública no Brasil.

Atualmente, a iluminação pública no Brasil está em um ponto crucial de transição, com a oportunidade de adotar tecnologias ainda mais avançadas e eficientes, como a iluminação de estado sólido, que inclui os sistemas de LED. Essas tecnologias têm o potencial de fornecer ganhos significativos em termos de eficiência energética, durabilidade e controle da iluminação, contribuindo para a redução do consumo de energia e aumentando a sustentabilidade das cidades. O uso de LEDs, por exemplo, oferece uma alternativa altamente vantajosa em comparação com as tecnologias tradicionais, como as lâmpadas de vapor de sódio, devido à sua capacidade de gerar a mesma quantidade de luz com menor consumo energético e com uma vida útil muito mais longa.

No entanto, esse processo de modernização não ocorre sem desafios. O setor de iluminação pública enfrenta um momento de grandes transformações e dificuldades, especialmente com a introdução de novas regulamentações, como a resolução 414/2010 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Esta resolução estabelece uma série de diretrizes e requisitos técnicos para o adequado e a qualidade dos serviços de energia elétrica, impactando diretamente o funcionamento das infraestruturas de iluminação pública.

4 ILUMINAÇÃO PÚBLICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

4.1 CONCEITOS ENVOLVIDOS

A principal norma vigente que estabelece os requisitos técnicos para projetos de IP no Brasil é a ABNT NBR 5101. Sua última atualização ocorreu em 2012, atualizando a versão de 1992. Na época da norma anterior, predominavam as lâmpadas de vapor de mercúrio em alta pressão nos sistemas de iluminação urbana. No entanto, com o avanço das tecnologias e a popularização dos LEDs, torna-se cada vez mais necessário rever e aprimorar os critérios dessa regulamentação, conforme apontado por especialistas no Portal o Setor Elétrico, em 12 de julho de 2017.

As opções previstas na norma têm como objetivo garantir que os projetos de iluminação pública atendam aos requisitos mínimos de segurança e eficiência, proporcionando visibilidade adequada para pedestres e motoristas. A aplicação correta das diretrizes busca gerar benefícios tanto para os usuários quanto para o ambiente urbano como um todo, incluindo:

- Redução de acidentes noturnos , minimizando perdas humanas e econômicas;
- Melhoria da qualidade de vida em áreas vulneráveis , aumentando a sensação de segurança;
- Apoio às ações de segurança pública , auxiliando no monitoramento e prevenção da criminalidade;
- Facilitação do tráfego urbano , garantindo melhor fluidez e conforto visual;
- Valorização do patrimônio e espaços públicos , realçando edificações e monumentos durante a noite.

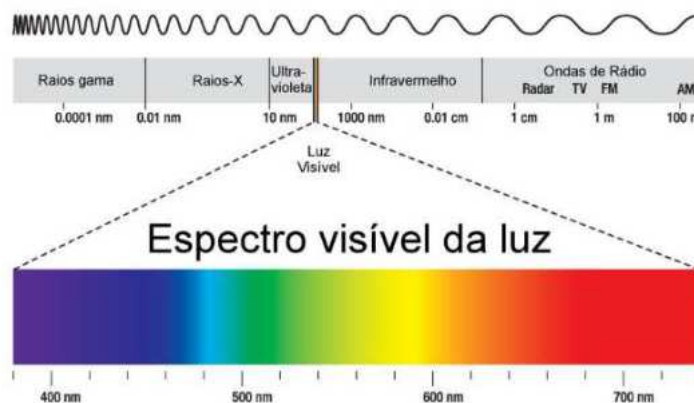
Dessa forma, novos projetos de iluminação devem seguir criteriosamente as recomendações da NBR 5101 e acompanhar suas possíveis revisões futuras, considerando avanços tecnológicos e mudanças nas necessidades urbanas. Um aspecto fundamental é que a previsão dos projetos não pode ser comprovada apenas com base na durabilidade dos equipamentos, visto que novas soluções podem surgir e substituir tecnologias atuais de forma mais eficiente.

4.1.1 FUNDAMENTOS DE FOTOMETRIA E GRANDEZAS FÍSICAS

A fotometria é uma disciplina externa para o estudo e a medição da luz, levando em consideração como o olho humano percebe as radiações eletromagnéticas dentro do espectro visível, que compreende comprimentos de onda entre 380 nm e 780 nm. Diferentemente de

outros ramos da física que tratam as radiações de forma objetiva, a fotometria ajusta seus parâmetros de acordo com a sensibilidade do sistema visual humano.

Figura 4 - Espectro visível



Fonte: (FURIAN, 2020).

No âmbito da iluminação, várias grandezas físicas desempenham um papel crucial na análise e descrição da interação entre a luz, o ambiente e os objetos. Entre os principais estão: fluxo luminoso, intensidade luminosa, iluminância, luminância, eficácia luminosa, refletância, índice de reprodução de cor e temperatura de cor correlata. Essas grandezas são indispensáveis para compreender e elaborar projetos de iluminação, permitindo alcançar padrões de eficiência, conforto visual e funcionalidade adequadas às necessidades do espaço iluminado.

4.1.2 INTENSIDADE LUMINOSA (I)

A intensidade luminosa é a principal grandeza do Sistema Internacional de Unidades (SI) relacionada à iluminação. Trata-se de uma grandeza biofísica, pois envolve tanto um fenômeno físico quanto a resposta biológica do olho humano à luz. Essa característica torna o estudo das grandezas fotométricas mais complexo, uma vez que a percepção visual influencia diretamente as medições.

Em termos conceituais, a intensidade luminosa representa a quantidade de energia luminosa direcionada em uma determinada direção a partir de uma fonte específica. Sendo uma grandeza vetorial, pode-se interpretá-la como um “vetor luminoso” emitido por uma fonte de luz. No SI, sua unidade de medida é a candela (cd).

Para a medição da intensidade luminosa, parte-se do princípio de que a fonte emissora de luz é puntiforme. Embora, na prática, as fontes luminosas possuam dimensões finitas, elas podem ser consideradas como um ponto quando observadas a uma distância suficientemente grande. De acordo com (COSTA, 2006), recomenda-se que essa distância seja pelo menos cinco vezes maior do que a maior dimensão da lâmpada, garantindo maior precisão nos resultados.

Pela Equação (4.1), a intensidade luminosa é definida como o limite da razão entre o fluxo luminoso (ϕ) emitido dentro de um ângulo sólido (ω) e o próprio valor desse ângulo sólido, à medida que ele se aproxima de zero:

$$I = \lim_{\Delta\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta\omega} = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (4.1)$$

- I = intensidade luminosa, dada em candelas (cd);
- (ϕ) = fluxo luminoso, em lumens (lm);
- (ω) = ângulo sólido, medido em esterradiano ou esferorradiano (sr).

O conceito de ângulo sólido em três dimensões é análogo ao conceito de ângulo plano, porém adaptado para a geometria tridimensional. Enquanto o ângulo plano é medido em radianos, sendo definido como a razão entre o comprimento do arco e o raio da circunferência, o ângulo sólido é definido pela razão entre uma área A situada na superfície de uma esfera e o quadrado do raio R dessa esfera conforme Equação (4.2):

$$\omega = \frac{A}{R^2} \quad (4.2)$$

Observa-se que a lâmpada emite um fluxo luminoso ϕ , que se propaga dentro do ângulo sólido ω . Quando esse ângulo se aproxima de zero, o vetor da intensidade luminosa passa a apontar radialmente para fora da fonte de luz.

4.1.3 FLUXO LUMINOSO (ϕ)

O fluxo luminoso é uma grandeza derivada da intensidade luminosa e representa toda a energia emitida por uma fonte de luz em todas as maneiras possíveis, por unidade de tempo. Este fluxo está contido dentro do fluxo radiante, que abrange toda a radiação emitida por uma fonte, incluindo todo o espectro eletromagnético. No entanto, o fluxo luminoso refere-se exclusivamente à energia radiante na faixa do espectro visível, ou seja, à radiação com comprimentos de onda entre 380 nm e 780 nm. No Sistema Internacional (SI), sua unidade de medida é o lúmen (lm), e sua medição pode ser realizada com instrumentos como a esfera integradora de Ulbricht ou o goniofotômetro (CASAGRANDE, 2021).

Como o fluxo luminoso corresponde à energia luminosa emitida por unidade de tempo, ele possui uma dimensão de potência. Pode ser interpretada como a potência luminosa emitida em todas as direções a partir de uma fonte. No entanto, enquanto o fluxo radiante é expresso em watts, o fluxo luminoso é medido em lumens. Essa diferença ocorre porque o fluxo luminoso está relacionado à percepção visual humana, ou seja, ele abrange apenas a radiação que pode estimular as células sensoriais da retina do olho humano, provocando uma resposta visual (CASAGRANDE, 2021)

É definida pela Equação (4.3):

$$\phi = k_m \int_{380} \cdot V(\lambda) \cdot \frac{d\phi(\lambda)}{d\lambda} d\lambda \quad (4.3)$$

- $\frac{d\phi(\lambda)}{d\lambda}$ é a distribuição espectral do fluxo radiante, em W/nm;
- $V(\lambda)$ é a eficácia luminosa espectral para a visão humana;
- k_m é o valor do watt-luminoso, que é 683 lm/W;
- λ é o comprimento de onda da radiação, em nm (variável de integração);
- ϕ é o fluxo luminoso, em lm.

4.1.4 LUMINÂNCIA (L)

A luminância está diretamente relacionada à percepção visual e à distinção entre áreas claras e escuras. Quando uma pessoa observa um objeto ou uma paisagem, ela compara diferentes níveis de luminância, o que permite a percepção de nuances e detalhes. As regiões mais iluminadas apresentam maior luminância, enquanto as áreas sombreadas possuem valores mais baixos.

Por definição, a luminância é a relação entre a intensidade luminosa e a área a partir da qual essa luz é irradiada até alcançar os olhos do observador. No entanto, considera-se não a totalidade da superfície iluminada, mas sim a área aparente, ou seja, aquela projetada em um plano perpendicular à linha de visão. Dessa forma, a luminância representa a quantidade de luz efetivamente percebida pelo observador.

Em termos práticos, pode-se dizer que a luminância expressa a luz que atinge os olhos, sendo influenciada tanto pela intensidade da fonte luminosa quanto pelas propriedades de reflexão da superfície. Sua unidade de medida é o candela por metro quadrado (cd/m²).

É definida pela Equação (4.4):

$$L = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta I}{\Delta A \cdot \cos(\alpha)} = \frac{dI}{dA \cdot \cos(\alpha)} \quad (4.4)$$

- A é a área da superfície iluminada (m²);
- (α) é o ângulo da direção de observação;
- I é a intensidade luminosa (cd);
- L é a luminância (cd/m²).

4.1.5 ILUMINÂNCIA (E)

A iluminância é definida como a relação entre o fluxo luminoso φ e a área A que recebe essa luz a uma determinada distância da fonte emissora. Em outras palavras, representa a quantidade de fluxo luminoso incidente sobre uma superfície por unidade de área.

Pela Equação (4.5), essa relação é expressa da seguinte forma:

$$E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta A} = \frac{d\varphi}{dA} \quad (4.5)$$

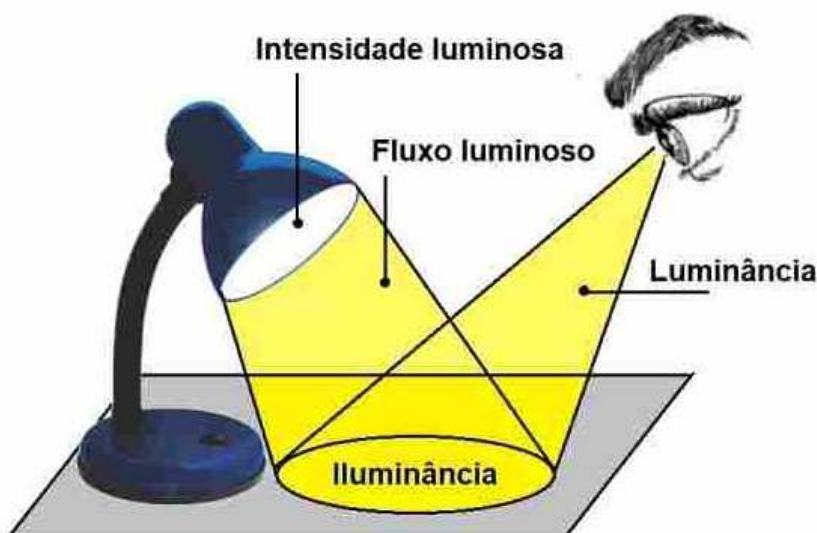
No Sistema Internacional de Unidades (SI), a iluminância é medida em lúmens por metro quadrado (lm/m^2), também conhecidos como lux (lx). Essa grandeza desempenha um papel essencial na luminotécnica, especialmente na elaboração de projetos de iluminação, pois está diretamente relacionada à densidade de luz necessária para a realização de diferentes atividades visuais.

Os níveis adequados de iluminância para distintos ambientes e tarefas são estabelecidos por normas técnicas, como a **NBR 5413 – Iluminância de Interiores** (5413:1992, 1992) e a **NBR 5101 – Iluminação Viária** (5101:2024, 2024). No contexto da iluminação pública, a norma NBR 5101 define os valores médios mínimos de iluminância para vias públicas e estabelece critérios de uniformidade, calculados pela razão entre a iluminância média e a mínima obtidas em uma medição. Além disso, essa norma apresenta um método de verificação baseado em uma malha de inspeção composta por 110 pontos de medição distribuídos uniformemente ao longo da via analisada. A medição da iluminância é realizada de maneira prática com o auxílio de um luxímetro.

Nos projetos luminotécnicos, um elemento fundamental é o **diagrama de isoiluminância** ou **curvas isolux**, que representam um conjunto de pontos sobre uma superfície nos quais a iluminância possui o mesmo valor. Esses diagramas facilitam a visualização da distribuição da luz, permitindo um planejamento mais eficiente da iluminação.

Na Figura 5, exemplifica-se os conceitos acima:

Figura 5 - Conceitos Luminotécnico



Fonte: (CA2, 2015).

4.1.6 REFLETÂNCIA (ρ)

A refletância pode ser definida como a razão entre o fluxo luminoso refletido e o fluxo incidente sobre uma superfície, sendo expressa em porcentagem. Esse valor está diretamente ligado às propriedades da superfície, como cor, textura, etc.

Embora os conceitos de refletância e luminância estejam relacionados à reflexão da luz por uma superfície, eles apresentam diferenças significativas. A luminância refere-se à luz que sai de uma superfície e chega aos olhos do observador conforme visto anteriormente – ou seja, ela só existe se houver luz presente. Por outro lado, a refletância é uma característica intrínseca da superfície, que independe da presença imediata de luz para existir. Essa propriedade está associada a fatores como rugosidade, polimento, textura e cor do material (CASAGRANDE, 2021).

Assim, é possível estabelecer uma relação pela Equação (4.6) entre luminância (L), refletância (ρ) e iluminância (E).

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi} \quad (4.6)$$

4.1.7 EFICÁCIA LUMINOSA (η)

A eficácia luminosa de uma lâmpada é definida como a razão entre o fluxo luminoso emitido e a potência elétrica consumida, sendo expressa em lúmens por watt (lm/W). Essa medida desempenha um papel fundamental na análise da eficiência energética de um

sistema de iluminação. Quanto maior o valor de lm/W de uma lâmpada, maior será sua capacidade de conversor de energia elétrica em luz.

Essa relação é expressa pela Equação (4.7):

$$\text{Eficácia Lumisosa} = \frac{\text{Fluxo Luminoso [lm]}}{\text{Potência elétrica da Lâmpada [W]}} \quad (4.7)$$

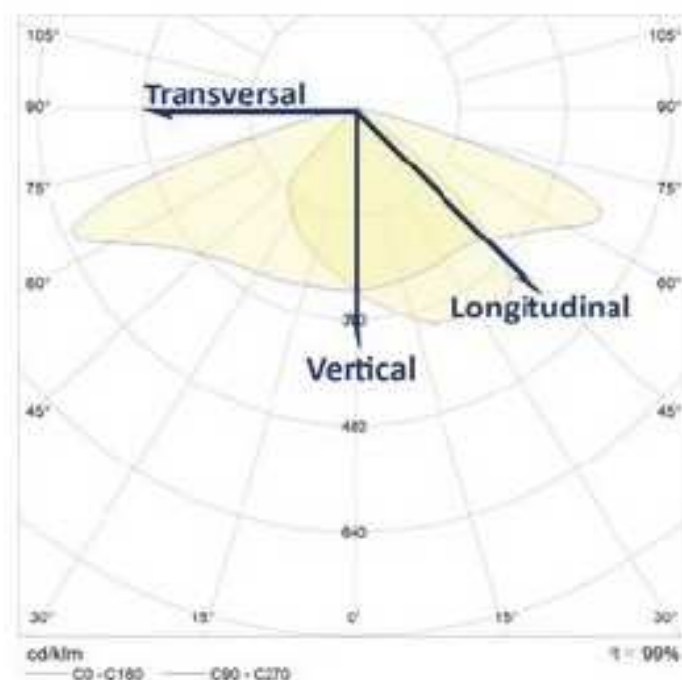
4.1.8 CURVA DE DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA

A Curva de Distribuição Luminosa (CDL) representa graficamente a intensidade luminosa emitida por uma lâmpada em todos os aspectos de um plano conforme Figura 6.

Para padronizar os valores das curvas, elas são normalmente referenciadas a um fluxo luminoso de 1000 lm. Quando se utiliza um CDL, o valor indicado na curva deve ser ajustado para o fluxo luminoso real da lâmpada. Para isso, multiplique-se o valor encontrado na curva pelo fluxo luminoso da lâmpada e divida-se o resultado por 1000 lm (OSRAM, S.D).

Essa abordagem permite uniformizar as informações e facilitar a comparação entre diferentes lâmpadas, auxiliando no planejamento eficiente de sistemas de iluminação.

Figura 6 - Representação de Eixos



Fonte: (PEREIRA, 2023).

4.1.9 UNIFORMIDADE

A uniformidade na iluminação refere-se à relação entre as áreas mais e menos iluminadas dentro de um ambiente, podendo ser medida por meio dos valores mínimo, máximo e médio de iluminação. Na prática, essa uniformidade é essencial para evitar regiões de baixa visibilidade, que poderiam comprometer a percepção visual e a segurança do local (GODOY, 2015).

No contexto da iluminação urbana, a uniformidade desempenha um papel fundamental na criação de efeitos luminosos, na valorização de formas e volumes e na construção de um espaço visualmente equilibrado e agradável (GODOY, 2015).

Conforme a NBR 5101:2024(5101:2024, 2024) - **Uniformidade da iluminância (em determinado plano)**, onde U é razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em uma área de avaliação, conforme a Equação (4.8):

$$U = \frac{Emín.}{Eméd.} \quad (4.8)$$

- $Emín.$ é igual à iluminância mínima, expressa em lúmen por metro quadrado (lm/m^2), ou em lux (lx).
- $Eméd.$ é igual à iluminância média, expressa em lúmen por metro quadrado (lm/m^2), ou em lux (lx).

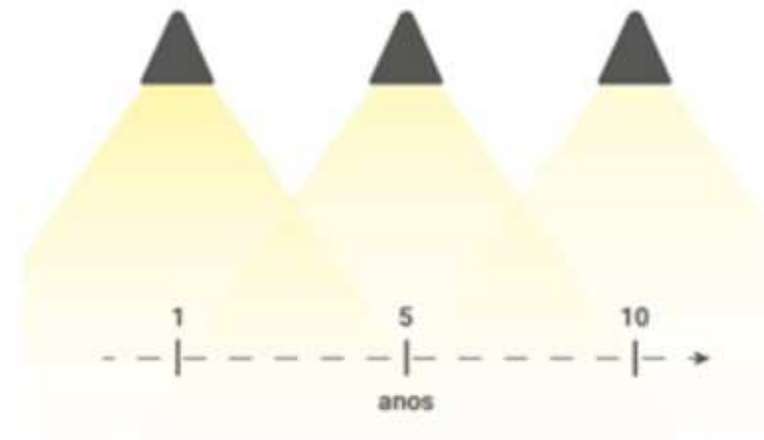
4.1.10 FATOR DE DEPRECIACÃO

O fator de manutenção (ou de depreciação) em projetos de iluminação é uma ferramenta essencial para prever a preservação do fluxo luminoso ao longo do tempo, garantindo que as condições iniciais previstas no projeto luminotécnico sejam mantidas no ambiente.

Utilizado para medir a depreciação das luzes de LED durante sua vida útil, apresenta dois aspectos principais: a depreciação do fluxo luminoso dos próprios LEDs e a redução causada pelo acúmulo de sujeira e detritos na superfície óptica das luminárias. Esses fatores são fundamentais para prever como o desempenho luminoso pode ser impactado ao longo do tempo e garantir que os níveis de iluminação permaneçam dentro dos padrões específicos no projeto inicial.

Desta forma, ao levar em conta tanto a manipulação intrínseca dos LEDs quanto os efeitos externos relacionados à limpeza e manutenção, é possível obter uma estimativa mais precisa da eficiência luminosa ao longo da vida útil do sistema. Isso contribui diretamente para a otimização da manutenção e a preservação da qualidade da iluminação (PINTO *et al.*, 2013).

Figura 7 - Depreciação ao longo do tempo de utilização



Fonte: (AALOK., 2019).

Determinação do fator de manutenção para LED, essa relação é expressada pela Equação (4.9) (NEOENERGIA., 2024) :

$$FM = FMLL \times FSL \times FML \quad (4.9)$$

- FM = Fator de Manutenção
- $FMLL$ = Fator de manutenção dos lumens da lâmpada LED para uma vida útil mínima de 50.000h a 35°C de temperatura ambiente, com um índice de falhas não superior a 10% ($LxB10, 50.000h @ 35^{\circ}C$).
- FSL = Fator de sobrevivência da luminária
- FML = Fator de manutenção da luminária

O fator FMLL representa a porcentagem de lúmens que os LEDs conseguem manter ao longo do tempo. Esse valor deve ser fornecido pelo fabricante com base em testes realizados conforme as normas IESNA LM-80 ou IEC 62717. A estimativa para 50.000 horas de operação a uma temperatura ambiente de 35°C deve seguir o procedimento previsto na IESNA TM-21-11, garantindo que a quantidade de unidades com fluxo luminoso inferior ao nível especificado (Lx) não ultrapasse 10% ($LxB10, 50.000h @ 35^{\circ}C$) Geralmente, o FMLL varia entre 70% e 80% (NEOENERGIA., 2024).

O fator FSL corresponde ao percentual de iluminação que permanece operacional ao longo da vida útil projetada, geralmente de pelo menos 50.000 horas. Quando há suspensão imediata das luminárias defeituosas após uma falha, esse fator deve ser considerado como 1,00 (NEOENERGIA., 2024).

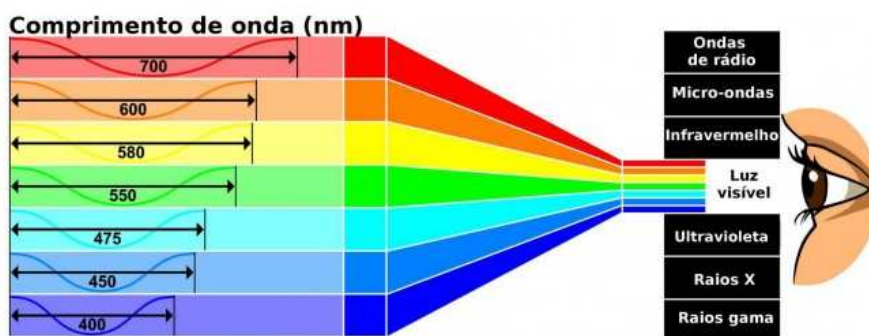
Já o fator FML está relacionado ao nível de poluição do ambiente onde a proteção está instalada e à periodicidade de manutenção, especialmente no que diz respeito à limpeza das superfícies refletoras. Para iluminação pública urbana, onde a manutenção ocorre a cada três anos, o valor máximo recomendado para o FML é de 0,9 (NEOENERGIA., 2024).

Os fatores de manutenção adotados no projeto devem ser técnicos fundamentados com base nesses critérios ou em publicações técnicas relevantes, como quais devem ser apresentados junto ao projeto luminotécnico.

4.1.11 ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR (IRC)

As cores estão intrinsecamente ligados ao comprimento da onda da radiação eletromagnética, especificamente na faixa do espectro visível, que se estende entre 380 e 780 nanômetros. Na Figura 8 representa-se o espectro eletromagnético, destacando especialmente a faixa de radiação que pode ser percebida pelo olho humano.

Figura 8 - O espectro eletromagnético



Fonte: (JUNIOR, 2018).

O Índice de Reprodução de Cor (IRC) é uma medida que avalia o quão fielmente as cores de um objeto são representados sob uma determinada fonte de luz, comparando-os com seu cor real. A cor real de um objeto é aquela percebida quando ele é iluminado pela luz solar, considerado um radiador integral. O IRC é expresso em porcentagem e reflete a capacidade da iluminação artificial de reprodução as cores de maneira próxima ou distante da naturalidade proporcionada pela luz do sol. Quanto mais próximo de 100% para o IRC de uma lâmpada, maior será a fidelidade com que as cores serão percebidas pelo olho humano.

O IRC indica o nível de correspondência entre a aparência das cores de um objeto sob uma fonte de luz artificial e sua aparência sob luz solar. Lâmpadas com IRC elevado, próximas a 100%, permitem uma percepção muito mais precisa e natural das cores, enquanto valores mais baixos podem resultar em distorções visuais significativas. Essa

métrica é essencial para avaliar a qualidade da iluminação em diferentes ambientes e aplicações.

4.1.12 TEMPERATURA DE COR CORRELATA (TCC)

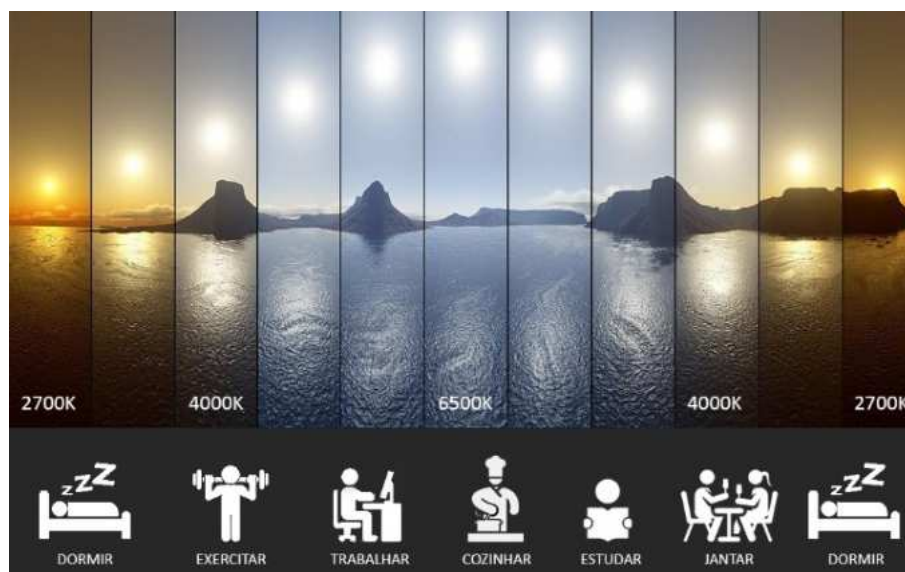
Além do Índice de Reprodução de Cor (IRC) visto anteriormente, há outra medida importante relacionada às cores, conhecida como Temperatura de Cor Correlata (TCC), ilustrada na Figura 9.

Para estabelecer um parâmetro objetivo, foi criado o conceito de Temperatura de Cor, medido em Kelvin (K), que serve para classificar as características da luz emitida. De forma análoga ao comportamento de um corpo metálico que, ao ser aquecido, passa do vermelho para o branco, quanto mais claro para a tonalidade de branco — semelhante à luz natural do meio-dia —, maior será a Temperatura de Cor, geralmente em torno de 6500 K. Por outro lado, uma luz amarelada, como a emitida por lâmpadas incandescentes, apresenta uma Temperatura de Cor mais baixa, aproximadamente 2700 K.

É essencial destacar que a cor da luz não interfere na eficiência energética da lâmpada. Portanto, a ideia de que uma luz mais clara é necessariamente mais potente não é válida.

Do ponto de vista psicológico, a referência a uma luz “quente” em um sistema de iluminação não significa que ela possua uma temperatura de cor elevada. Na verdade, essa expressão está associada a uma tonalidade mais amarelada, que tende a criar ambientes acolhedores e aconchegantes. Esse tipo de iluminação é frequentemente utilizado em espaços como salas de estar, quartos ou outros locais onde se deseja promover relaxamento e conforto. Por outro lado, quanto maior for a temperatura de cor, mais “fria” será a percepção da luz, caracterizada por tons mais azulados ou brancos. Esse tipo de iluminação é comumente aplicado em ambientes como escritórios, cozinhas ou áreas destinadas ao trabalho, onde o objetivo é estimular a concentração e a produtividade (OSRAM, S.D).

Figura 9 - Temperaturas de Cor



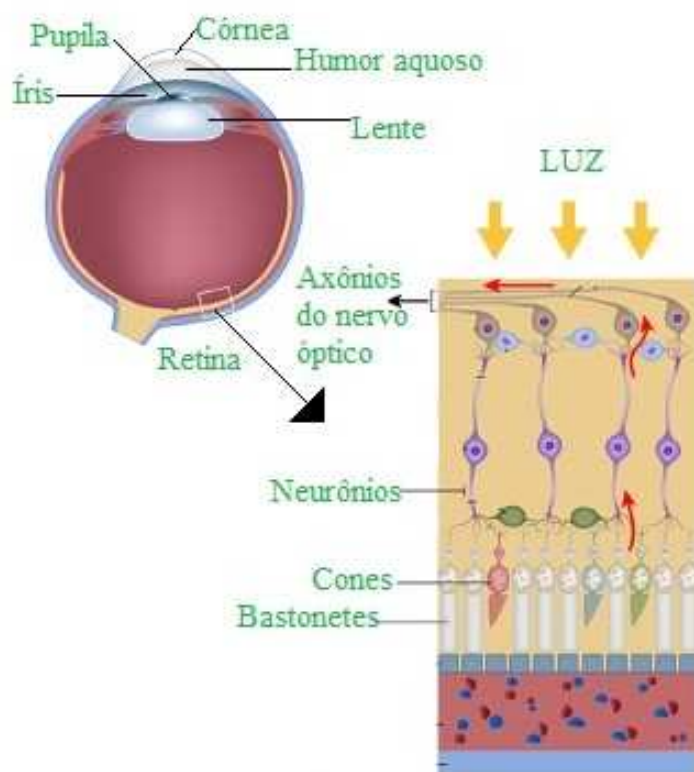
Fonte: (DESIGN, 2019)

4.1.13 VISÃO HUMANA

Os seres vivos possuem órgãos especializados para detectar a luz, que variam desde estruturas simples sensíveis à luminosidade até olhos complexos. A visão, um dos sentidos mais importantes para humanos e diversas outras espécies, é um fascinante e complexo, cujo estudo envolve compreender como os organismos captam e interpretam a energia luminosa. No caso dos humanos, o olho desempenha o papel de capturar a luz refletida pelos objetos e convertê-la em impulsos nervosos, que são processados pelo cérebro para formar imagens. Essa função é realizada principalmente por dois tipos de células fotorreceptoras: os cones e os bastonetes.

A Figura 10 mostra a estrutura do olho humano.

Figura 10 - Estrutura do olho humano



Fonte: (SANTOS, 2025)

Definição de três regimes de operação da visão humana.

- **Visão fotópica** : Ocorre em ambientes bem iluminados, com níveis de luminância acima de 3 cd/m^2 . Nesse regime, a pupila fica mais contraída, e a luz é direcionada para regiões da retina rica em cones. Como resultado, as imagens apresentam cores vibrantes e detalhes bem definidos, já que os cones são os principais responsáveis pela formação da imagem (CASAGRANDE, 2021).
- **Visão escotópica** : Este regime está associado a ambientes com baixa luminosidade, com níveis abaixo de $0,01 \text{ cd/m}^2$. Aqui, a pupila está dilatada, e a luz incide predominantemente nas áreas da retina onde há maior concentração de bastonetes. (CASAGRANDE, 2021).
- **Visão mesópica** : Refere-se a situações emocionantes de iluminação, como aquelas encontradas em sistemas de iluminação pública. Nesse caso, tanto cones quanto bastonetes alinhados para a formação da imagem, resultando em uma percepção visual que combina aspectos das visões fotópica e escotópica (CASAGRANDE, 2021).

Esses diferentes regimes de visão demonstram a capacidade adaptativa do olho humano, permitindo que ele funcione de forma eficiente em uma ampla gama de condições

de luminosidade.

5 O CASO DE ESTUDO

Este capítulo detalha o processo de elaboração do projeto luminotécnico para uma área de lazer localizada na cidade de Lima Duarte - MG, com ênfase nas possíveis melhorias a serem aplicadas.

5.1 BREVE HISTÓRICO DA FORMAÇÃO DE LIMA DUARTE - MG

Lima Duarte localiza-se na região da Zona da Mata Mineira (porção sudeste do estado de Minas Gerais) ilustrada na Figura 11 e é composta por seis distritos: Lima Duarte (sede), Conceição de Ibitipoca, São Domingos da Bocaina, São José dos Lopes, Manejo e Orvalho. Com população estimada em 17.712 habitantes, Lima Duarte possui extensão territorial de aproximadamente 17.712 km² (IBGE, 2024).

Figura 11 - Lima Duarte - MG



Fonte: (FAMILYSEARCH, 2024).

Assim como a maioria das cidades mineiras, Lima Duarte provavelmente teve sua origem com a formação de um pequeno grupo colonial ao redor de uma capela de fé e próximo das beiras das estradas que se conectavam com as mineradoras. Seu primeiro nome foi Nossa Senhora das Dores do Rio do Peixe, devido a relação com a Santa padroeira da capela e a proximidade com o rio. Posteriormente, passou a se chamar Lima Duarte em homenagem à um médico e político que contribuiu para a emancipação da cidade em 1884 e que se chamava José Rodrigues de Lima Duarte.

5.2 ANÁLISE SOBRE A ÁREA DE APLICAÇÃO DO PROJETO

Inaugurado em 2013, o Lago de Lima Duarte - MG é uma área de uso público que se destaca como um importante espaço de lazer. Com aproximadamente 21 mil m² conforme Figura 12, está situado próximo a uma creche e a um bairro predominantemente residencial.

Figura 12 - Área e Perímetro - Lago Lima Duarte - MG



Fonte: (EARTH, 2023)

Sendo o maior espaço de lazer com a melhor infraestrutura da cidade, o Lago Municipal tornou-se a principal área de atividades para os limaduartinos. Os usos mais recorrentes do espaço pela população são : corrida, caminhada, ciclismo, passeios, piqueniques, área de descanso, contemplação da natureza, práticas de brincadeira no playground e entre outras atividades.

A área possui duas pistas distintas conforme Figura 13 , ambas projetadas para proporcionar uma experiência ao redor do lago. A primeira pista possui um comprimento total de 700 metros, enquanto a segunda tem uma extensão de 500 metros. Ambas, permitem que os visitantes e moradores de Lima Duarte - MG desfrutem da beleza natural do local. Além disso, há também uma área específica destinada à prática de exercícios físicos, onde as pessoas podem realizar diferentes tipos de treinos e desfrutando do espaço dedicado ao bem-estar e à saúde.

Figura 13 - Pista do Lago (Diurna) - Lima Duarte - MG



Fonte: Fotografado pelo próprio autor.

O Lago Municipal tem seu uso intensificado no período noturno, já que a maioria da população aproveita o local após o expediente de trabalho. Anos atrás, a iluminação era composta por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão. Em 2023, todas as luminárias foram substituídas por modelos de LED, proporcionando uma melhoria significativa. No entanto, apesar desse avanço, a área ainda enfrenta um grande desafio: a falta de iluminação conforme adequada Figura 14, o que exige tanto a segurança quanto a visibilidade. Essas características tornam o Lago Municipal um espaço propício para a readequação do sistema de iluminação, a fim de melhorar a qualidade de vida da população e proporcionar um ambiente mais seguro e acolhedor.

Figura 14 - Pista do Lago (Noturna) - Lima Duarte - MG



Fonte: Fotografado pelo próprio autor.

No que se refere as características técnicas dessa área , tem-se : No total, há 30

postes instaladas no Lago Municipal, conforme apresentado na Tabela 1. Desses, 21 postes possuem duas luminárias cada, enquanto os outros 9 contam com apenas uma iluminação. Os postes têm uma altura total de 6 metros. Nos postes que possuem duas luminárias, uma delas está posicionada a 6 metros de altura e a outra a 5 metros. Já nos postes com apenas uma iluminação, está instalada a 6 metros de altura.

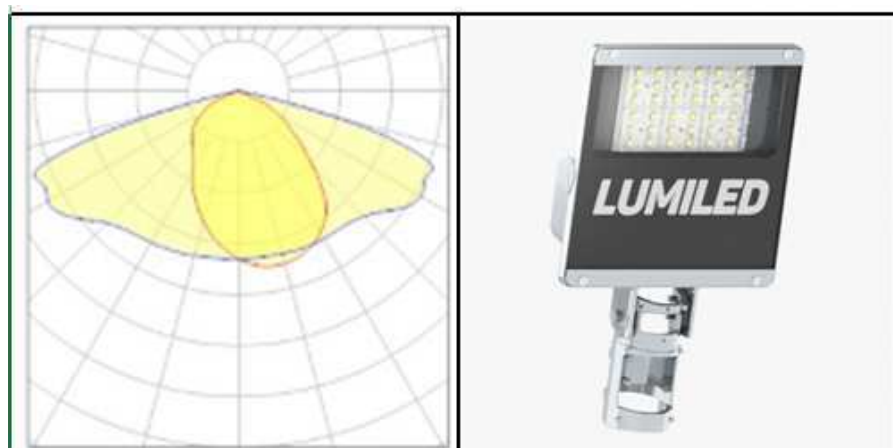
Tabela 1 – Quantidade de postes no Lago Municipal

Postes	Quantidade de Luminárias
21	2
9	1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

No sistema atual, há um total de 51 luminárias de LED, cada uma com potência de 150 W. A Figura 15 apresenta a curva fotométrica da iluminação utilizada no local, a qual foi empregada para realizar simulações no *software* Dialux Evo. Além disso, a Figura 16 traz as características técnicas fornecidas diretamente pela empresa responsável pelo fornecimento das luminárias do sistema de iluminação pública da cidade de Lima Duarte - MG.

Figura 15 - CDL e Luminária utilizada na simulação do sistema atual.



Fonte: (LUMILED, 2023)

Figura 16 - Especificações técnicas da Luminária

Características Técnicas do Produto									
Produto	LM30	LM40	LM50	LM60	LM80	LM100	LM120	LM150	LM180
Potência Nominal (W)	30	40	50	60	80	100	120	150	180
Eficiência da Luminária (lm/w)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
Fluxo Luminoso da Luminária	4.500	6.000	7.500	9.000	12.000	15.000	18.000	22.500	27.000
Tecnologia do Led	SMD High Power								
Temperatura de cor padrão	4.000/ 5.000K								
Tensão de Funcionamento	100-277 Vac ou 198-242 Vac								
Fator de Potência (220Vac)	0.98								
Frequência de Operação	50/ 60 Hz								
THD (distorção harmônica)	<10% - Conforme norma IEC 61000 -3-2								
Classe elétrica	Classe I								
Driver	Driver com sistema para dimerização e em conformidade com NBR 16026:2012 NBR 61347-2-13								
Grau de proteção	IP 66								
Grau de Impacto	IK08								
Condições de operação	Temp. do ar ambiente: -30°C ~ +50°C								
Vida útil	102.000 horas L70								
Índice de reprodução de cor	>70								
Distribuição fotométrica	IESNA Tipo II Média								
Material do corpo	Alumínio Injetado								
Acabamento	Pintura Cinza Munsell 6,5 - Outras cores sob consulta								
Material do difusor	Vidro Temperado Translúcido								
Material da lente	Acrílico PMMA								
Fixação da Luminária	Encaixe em tubos Ø25mm a Ø60.3mm								
Tomada para Fotocélula	Padrão Nema 7 Pinos								
País de Origem	Brasil								
Garantia	5 anos								

Fonte: (LUMILED, 2023)

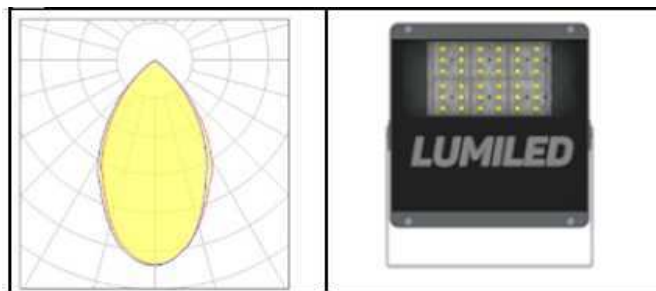
Nos estudos dos projetos luminotécnicos, que são o foco desse trabalho e que serão detalhados nas próximas páginas, foi considerada a luminária mencionada anteriormente. Em uma das simulações, incluiu-se também, para efeito decorativo, 3 luminárias do tipo refletor, conforme Figura 17, para valorizar uma árvore de grande porte.

Figura 17 - Especificações técnicas do projetor injetado

Características Técnicas do Produto											
Produto	PII30	PII40	PII50	PII60	PII80	PII100	PII120	PII150	PII180	PII200	PII250
Potência Nominal (W)	30	40	50	60	80	100	120	150	180	200	250
Eficiência do Projetor (lm/w)	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
Fluxo Luminoso do Projetor	4.200	5.600	7.000	8.400	11.200	14.000	16.800	21.000	25.200	28.000	35.000
Tecnologia do Led	SMD High Power										
Temperatura de cor padrão	4.000/ 5.000K										
Tensão de Funcionamento	100-277 Vac ou 198-242 Vac										
Fator de Potência (220Vac)	0.98										
Frequência de Operação	50/ 60 Hz										
THD (Taxa de distorção harmônica)	<10% - Conforme norma IEC 61000 -3-2										
Classe elétrica	Classe I										
Driver	Driver com sistema para dimerização e em conformidade com NBR 16026:2012/ NBR IEC 61347-2-13										
Grau de proteção	IP 66										
Grau de Impacto	IK08										
Condições de operação	Temp. do ar ambiente: -30°C ~ +50°C										
Vida útil	102.000 horas L70										
Índice de reprodução de cor (IRC)	>70										
Distribuição fotométrica	30°/ 60° ou 90°										
Material do corpo	Alumínio Injetado										
Acabamento	Pintura Cinza Munsell 6,5 - Outras cores sob consulta										
Material do difusor	Vidro Temperado Translúcido										
Material da lente	Acrílico PMMA										
Fixação da Luminária	Alça fabricada em aço carbono										
País de Origem	Brasil										
Garantia	5 anos										
Fabricante	Lumiled Indústria e Comércio de Eletroeletrônicos										
Peso (kg)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,5	3,5	3,9	3,9	4,8	4,8	4,8
Dimensões	390x210x80	390x210x80	390x210x80	390x210x80	390x270x80	390x270x80	431x270x80	431x270x80	483x270x80	483x270x80	483x270x80
Opcional: Protetor contra surto - 10KV/ 10KA ou 10KV/ 12KA											

Fonte: (LUMILED, 2023)

Figura 18 - Curva de distribuição do projetor injetado



Fonte: (LUMILED, 2023)

5.2.1 ANÁLISE DA NBR 5101:2024 APLICADA PARA O LAGO MUNICIPAL

De acordo com a norma NBR 5101:2024, o Lago Municipal é classificado como classe de iluminação P. Essa classe se caracteriza por áreas de uso por pedestres, calçadas, calçadões, passeios, ciclovias, ciclofaixas, praças, parques, pátios, áreas de estacionamento público, acostamentos etc.

As demandas visuais de pedestres e motoristas apresentam diferenças significativas em diversos aspectos. Em áreas projetadas para o tráfego de pedestres, a velocidade é geralmente mais reduzida, e a percepção de objetos próximos ao observador assume maior relevância do que a identificação de elementos distantes. Nesse caso, as características como a textura e as condições da superfície das vias, calçadas ou passeios desempenham um papel importante (5101:2024, 2024).

Uma iluminação viária bem planejada não apenas contribui para o conforto visual, mas também pode atuar como um fator de prevenção contra crimes, tanto contra pessoas quanto contra propriedades. Além disso, ela facilita a detecção de atividades suspeitas e promove uma sensação de segurança durante a noite. (5101:2024, 2024)

Na norma vigente ABNT 5101:2024, as classes de iluminação variam de P1 a P6. Para determinar essa classificação, deve-se avaliar, para cada parâmetro, a opção adequada e o respectivo valor de ponderação (V_p), conforme Tabela 2. Após cada análise individual, realiza-se a adição de cada V_p para encontrar a soma dos valores de ponderação selecionados (V_{ps}). Logo, deve ser utilizada a Equação (5.1):

$$\text{Número de classe de iluminação (P)} = 6 - V_{ps}. \quad (5.1)$$

A partir dessa análise, um dos seguintes cenários são esperados:

- a) se o resultado for inferior que 0, a classe de iluminação é P1;
- b) se o resultado for superior a 6, a classe de iluminação é P6;

- c) se o resultado não for um número inteiro, deve-se considerar o próximo número inteiro inferior.

Tabela 2 – Parâmetros para a seleção da classe de iluminação P

Parâmetros	Opções	Valor de ponderação V_p	V_p selec.
Velocidade	Baixa (< 30 km/h)	1	
	Muito baixa (velocidade de caminhada)	0	
Volume de tráfego	Alto (> 120 h)	1	
	Moderado (60–120 h)	0	
	Baixo (<= 60/h)	-1	
Composição do tráfego	Pedestres, ciclistas e tráfego motorizado	2	
	Pedestres e tráfego motorizado	1	
	Pedestres e ciclistas apenas	1	
	Pedestres apenas	0	
	ciclistas apenas	0	
Veículos estacionados	Presentes	0,5	
	Ausentes	0	
Luminância ambiente ^b	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Reconhecimento facial ^c	Necessário	Necessidades adicionais requeridas ^d	
	Desnecessário	Sem necessidades adicionais	
Soma dos valores de ponderação			V_{ps}
^a É recomendado consultar o órgão de trânsito local para a obtenção deste valor e para orientações quanto aos horários e à metodologia para a realização de medições em campo, caso necessário			
^b Sendo baixa, como as encontradas em áreas rurais, moderada como as encontradas em locais com iluminação de outdoors e em iluminação residencial e alta como nos centros urbanos das grandes cidades, como iluminação decorativa, shoppings, estacionamentos, postos de gasolina, residências etc..			
^c São vias ou locais onde há questões de segurança pública relevantes.			
^d Para escolher os valores de iluminação horizontal, é necessário cumprir os valores de iluminância mínima vertical.			

Fonte: (5101:2024, 2024)

As classes de iluminação, que variam de P1 a P6, são definidas com base nos parâmetros apresentados na Tabela 2. Essas classes possibilitam a escolha dos requisitos de iluminação detalhados naTabela 3 .

Tabela 3 – Requisitos de iluminação para a classe de iluminação P

Classes de iluminação	Iluminância média horizontal <i>E</i> (lx) (mínimo mantido)	Iluminância mínima horizontal <i>E</i> (lx) (mantido)	Se necessidades adicionais para reconhecimento facial forem requeridas Iluminância vertical mínima <i>E</i> (lx) (mantido)
P1	20	4,0	6,0
P2	15	3,0	5,0
P3	10	2,0	3,0
P4	7,5	1,5	2,5
P5	5,0	1,0	1,5
P6	3,0	0,6	1,0
NOTA 1: Fonte de luz com elevado nível de reprodução de cores contribui para um melhor reconhecimento facial.			
NOTA 2: A iluminância vertical é utilizada como fator adicional para projeto em locais onde há necessidade de reconhecimento facial (risco de criminalidade elevado, por exemplo).			

Fonte: (5101:2024, 2024)

Considerações a serem tomadas após a determinação das classes de iluminação **P**, utilizando a Tabela 2 e a Tabela 3, conforme a NBR 5101:2024.

- **Iluminância mínima horizontal:** Os valores de iluminância mínima horizontal especificados para cada classe de iluminação P devem ser garantidos.
- **Iluminância média horizontal:** Recomenda-se que os valores de iluminância média horizontal (mantidos) não ultrapassem o valor indicado para a respectiva classe multiplicado por 1,5. Caso os valores excedam esse limite, a uniformidade deverá ser igual ou superior a 0,20.
- **Uniformidade em vias exclusivas para pedestres:** Em vias de uso exclusivo de pedestres, como calçadões, a uniformidade deve ser igual ou superior a 0,30.
- **Objetivo da iluminação para áreas de pedestres:** A ampliação dos requisitos de iluminação para vias da classe P permite que os pedestres identifiquem obstáculos ou perigos no caminho e reconheçam rostos de outros pedestres à distância. Para

isso, é essencial garantir uma iluminação adequada nas superfícies horizontais e verticais, além de controlar o ofuscamento e garantir uma boa reprodução de cores.

- **Considerações ambientais:** Aspectos ambientais, como a poluição luminosa, devem ser considerados no planejamento da iluminação.
- **Nível de iluminância horizontal:** O nível de iluminância horizontal deve garantir que os pedestres trafeguem com segurança pelas pistas, calçadas ou passeios. Essa iluminância deve ser medida ao nível do solo, incluindo os valores médios e mínimos, e aplicar-se a toda a superfície utilizada das vias, abrangendo geralmente as calçadas, os passeios e a faixa de trânsito, exceto quando esta última for tratada separadamente conforme os regulamentos das áreas de tráfego motorizado.
- **Importância da iluminância vertical:** A iluminância vertical desempenha um papel crucial no reconhecimento facial, permitindo que os pedestres reajam antecipadamente em situações de possível agressão.
- **Reprodução de núcleos:** Fontes de luz com índices de reprodução de cor (IRC) mais elevados melhoram a visualização de contrastes de núcleos, facilitando o reconhecimento facial. Isso é particularmente relevante para idosos ou pessoas com redução da capacidade visual, especialmente em áreas urbanas com tráfego de pedestres e baixa velocidade de deslocamento. Nessas situações, recomenda-se o uso de fontes de luz com IRC mínimo de 70.

Com base nessas análises, identifica-se que o Lago Municipal se caracteriza como P1. Para o requisito dessa classe, a iluminação média E_{LX} deve atender ao mínimo mantido de acordo com a Tabela 3.

5.2.2 REFLEXÕES ACERCA DA PROBLEMÁTICA DA ILUMINAÇÃO NO LAGO MUNICIPAL DE LIMA DUARTE - MG

A partir de um estudo realizado in loco, observa-se que existem algumas problemáticas no Lago Municipal, as quais serão detalhadas a seguir, e que constroem a justificativa da elaboração do projeto luminotécnico para garantir melhorias para a sociedade, principalmente no que se refere à segurança pública, valorização do local e conforto visual.

As problemáticas identificadas são: a) ausência compatibilidade com a arborização; b) deficiência na distribuição dos pontos de iluminação; c) inadequação uniformidade da iluminância;

5.2.3 AUSÊNCIA DE COMPATIBILIDADE COM A ARBORIZAÇÃO

Devido à falta de poda, ao plantio inadequado de novas árvores e à instalação de postes em locais onde as árvores já estavam presentes, conclui-se que a incompatibilidade entre o sistema de iluminação pública e a arborização local resultou na redução da eficiência do sistema e no aumento das áreas sombreadas conforme observado nas Figura 19 e Figura 20.

Figura 19 - Arborização x iluminação (Diurna)



Fonte: Fotografado pelo próprio autor, 2025

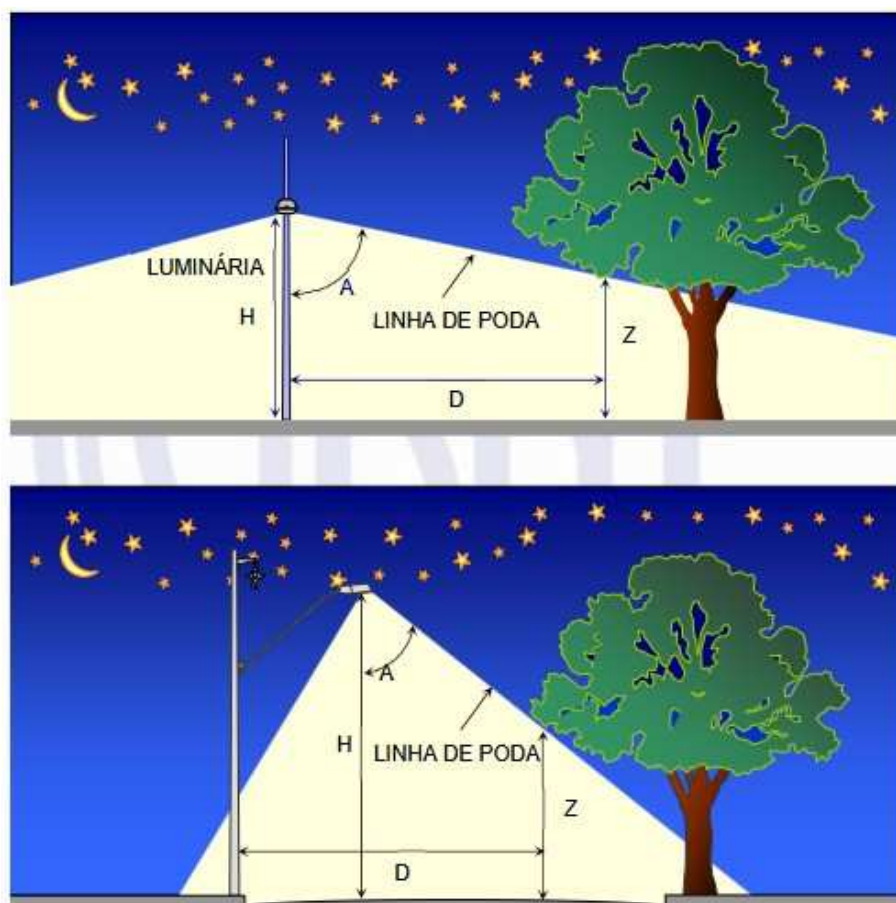
Figura 20 - Arborização x iluminação (Noturna)



Fonte: Fotografado pelo próprio autor, 2025

De acordo com a NBR 5101:2024, para uma melhor convivência com a arborização é orientada a desobstrução da iluminação viária. Na Figura 21, tem-se a equação que considera os ângulos de máxima incidência de luz das luminárias nos sentidos longitudinal e transversal à via, a sua altura de montagem e a distância da arborização .

Figura 21 - Compatibilidade com a arborização.



Fonte: (5101:2024, 2024).

Essa equação deve ser utilizada para auxiliar os planejadores municipais, as empresas de iluminação viária e os órgãos gestores da arborização urbana nas seguintes situações:

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

Para o cálculo das áreas a serem desobstruídas no sentido longitudinal e transversal da via, deve ser utilizada a Equação (5.2):

$$Z = H - (A \times D) \quad (5.2)$$

- Z é a altura mínima de um galho, expressa em metros (m);

- H é a altura de montagem da luminária, expressa em metros (m);
- $A = 0,26$ (cotang 75° – para a incidência da luz no sentido longitudinal);
- $A = 0,57$ (cotang 60° – para a incidência da luz no sentido transversal) ;
- D é a distância mínima do galho de menor altura, expressa em metros (m).

5.2.4 DEFICIÊNCIA NA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO

A distribuição inadequada dos pontos de iluminação pode comprometer significativamente a eficiência e a qualidade da iluminação em um espaço, podendo resultar em áreas com iluminação excessiva ou insuficiente, o que impacta diretamente a visibilidade, a segurança e o conforto visual.

No caso da iluminação no Lago de Lima Duarte - MG, uma distribuição deficiente pode resultar em trechos com baixa visibilidade conforme a Figura 22 , aumentando o risco de acidentes e comprometendo a percepção de obstáculos. Além de gerar sombras indesejadas, comprometer a clareza dos espaços e afetar a harmonia estética do ambiente.

Figura 22 - Sobramento devido a distância entre postes.



Fonte: Fotografado pelo próprio autor.

Os fatores como altura e espaçamento inadequados dos postes, escolha errada do tipo de lâmpada ou luminária e falta de planejamento técnico são algumas das principais causas desse problema. Para evitar tais deficiências, é essencial seguir normas técnicas e utilizar cálculos luminotécnicos que garantam uma distribuição equilibrada da luz, promovendo um ambiente seguro, funcional e visualmente agradável.

A ABNT 5101/2024 define o cálculo do número de pontos para praças e demais áreas abertas da seguinte forma:

Em uma praça, na maioria dos casos, a área de medição ou a superfície de cálculo deve ser coincidente com a área utilizada pelos pedestres para a sua locomoção, excluindo-se as áreas destinadas

apenas a gramados e paisagismo, onde o pedestre não tenha acesso ou necessidade de acessar. Ou seja, a iluminância média a ser obtida deve ser calculada e/ou medida na área destinada aos pedestres, e não em toda a praça.

A exceção a essa regra ocorre quando a praça não possui área específica destinada a pedestres. Nesse caso, a área de medição ou a superfície de cálculo deve ser coincidente com toda a área da praça.

Para o cálculo do número de pontos no eixo longitudinal à superfície de cálculo, devem ser utilizadas as mesmas regras utilizadas para a faixa de trânsito, descritas em 5.1.1 (5101:2024, 2024).

O número de pontos no eixo longitudinal, referenciado pela letra **N**, conforme a Equação (5.3):

$$N = \frac{S}{D} \quad (5.3)$$

- D é a distância entre os pontos de medição no eixo longitudinal, expressa em metros (m), sendo $D \leq 3$;
- a) para espaçamentos S superiores a 30 m, o número de pontos no eixo longitudinal N deve ser igual ao menor valor inteiro, de forma que $D \leq 3$;
- b) se o espaçamento entre os postes S for menor ou igual a 30 m, então $N = 10$ pontos
- c) para o cálculo da distância dos primeiros pontos de medição (no eixo longitudinal) em relação aos postes que delimitam a malha (em metros) (D1), deve ser considerada a Equação (5.4):

$$D1 = \frac{D}{2} \quad (5.4)$$

No Lago Municipal, cuja área é de aproximadamente 22 mil metros quadrados e perímetro de 960 metros, observa-se a presença de 30 postes, sendo 21 com duas luminárias e 9 com 1 luminária. Esses dados serão analisados de maneira mais aprofundada no Capítulo 6.

5.2.5 INADEQUAÇÃO UNIFORMIDADE DA ILUMINÂNCIA

A uniformidade da iluminância refere-se à distribuição equilibrada da luz em um determinado espaço, garantindo que não haja variações bruscas entre áreas mais e menos iluminadas. Quando essa uniformidade é envolvente, formam-se faixas alternadas de

áreas mais iluminadas e menos iluminadas, conhecidas como zebraamento. Conforme a Figura 14 é possível notar este fenômeno em algumas áreas do Lago Municipal, conforme indicado pelas demarcações em vermelho. As principais causas desse problema incluem posicionamento inadequado das luzes, espaçamento incorreto entre os pontos de luz e escolha exclusiva dos equipamentos de iluminação.

5.3 ABORDAGEM DO PROJETO

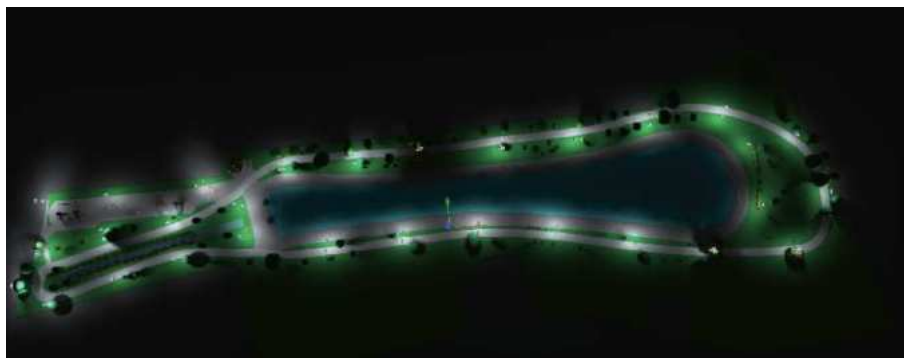
Um projeto luminotécnico consiste no desenvolvimento de soluções baseadas em uma análise funcional dos ambientes, considerando não apenas a iluminação, mas também aspectos como economia, segurança e eficiência. Além de iluminar o espaço, foi incluso soluções inteligentes que agregam valor aos ambientes. Ao criar esse tipo de projeto, é fundamental realizar o projeto adequado da iluminação e da quantidade de luz necessária para o ambiente.

Com o intuito de identificar melhorias e aumentar a segurança na Pista do Lago Municipal, um local de lazer conhecido em Lima Duarte – MG, foi desenvolvido um projeto com base em imagens de drone, imagens de satélite e informações fundamentais levantadas no local.

A partir das informações coletadas, foi possível realizar uma simulação luminotécnica utilizando o *software* Dialux EVO 13 (DIALUX, 2025) conforme, a versão mais recente disponível durante a elaboração deste trabalho. Este *software* é amplamente utilizado por profissionais de área de iluminação para projetar e visualizar sistemas de iluminação em ambientes internos e externos. Uma de suas principais funcionalidades é a simulação da iluminação, permitindo aos usuários avaliar o desempenho do sistema em termos de iluminância, uniformidade e distribuição da luz. Com base nesses resultados, o *design* pode ser otimizado ajustando as configurações da posição e orientação das luminárias, garantindo a obtenção dos resultados esperados.

Dessa forma, foi criada a representação do Lago Municipal conforme a Figura 23 no *software*, para realizar a comparação com os projetos propostos de melhoria.

Figura 23 - Representação do Lago Municipal no Dialux



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

5.3.1 PROPOSTAS DE SOLUÇÕES COM BASE DE SIMULAÇÕES NO DIALUX EVO E ANÁLISES DE RESULTADOS

O principal objetivo deste trabalho é identificar e propor melhorias com base no cenário atual conforme Figura 23, com o intuito de ajustar o nível de iluminação do Lago Municipal de acordo com as normas vigentes. Para isso, serão exploradas diversas possibilidades, como o aumento do número das luminárias, a otimização do posicionamento desses equipamentos e até mesmo a poda de árvores que podem estar obstruindo a propagação da luz.

Foram realizadas simulações no *software* DIALUX (DIALUX, 2025) e a partir delas sugeriram análises, as quais possibilitaram mapear e visualizar os locais com maior deficiência luminosa, permitindo uma avaliação mais detalhada da distribuição da luz ao longo do espaço. Conforme ilustrado na Figura 24, foram consideradas sete áreas distintas, para representar níveis de iluminância do ambiente. Esse mapeamento servirá como base para a formulação de propostas de melhoria, buscando garantir uma iluminação mais uniforme e eficiente em todo o ambiente analisado.

Figura 24 - Pontos considerados do Lago Municipal



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

- Área 1: Pista 700 m
- Área 2: Caminho de entrada e saída do Lago Municipal (Direita)
- Área 3: Espaço para Lazer 1
- Área 4: Espaço para exercício e o *playground*
- Área 5: Pista 500 m
- Área 6: Espaço para Lazer 2
- Área 7: Caminho de entrada e saída do Lago Municipal (Esquerda)

Foram elaborados dois projetos, intitulados como Caso 1 e Caso 2. O primeiro (Caso 1) busca solucionar o problema de iluminação por meio da instalação de luminárias adicionais nas áreas de maior circulação de pedestres. Além disso, contempla a realização de podas em árvores que possam estar obstruindo a propagação da luz, bem como a remoção de árvores de grande porte localizadas diretamente sob os postes, garantindo uma melhor distribuição da iluminação no ambiente conforme na Figura 25 .

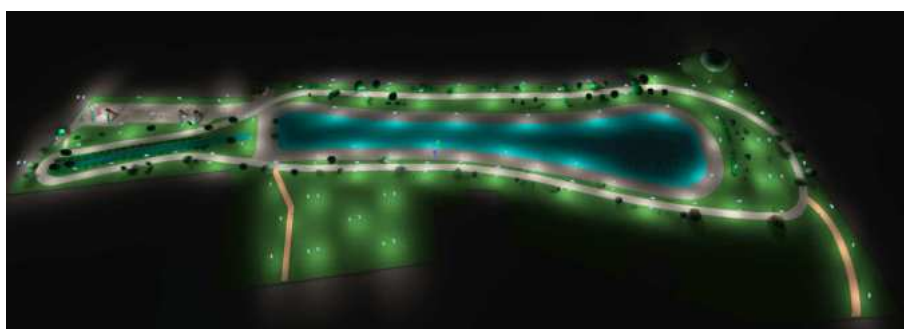
Figura 25 - Primeira solução do Lago Municipal no Dialux - Caso 1



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

O segundo (Caso 2) apresenta um complemento à primeira solução, ampliando as intervenções para abranger toda a área do Lago Municipal. Embora essa alternativa envolva um investimento mais elevado, ela garante a conformidade completa do espaço em relação aos requisitos normativos, incluindo fatores como uniformidade da iluminação, iluminância mínima, média e máxima conforme na Figura 26. Desta forma, essa abordagem garante uma distribuição luminosa mais eficiente e transparente, proporcionando um ambiente ainda mais seguro e adequado para a população. Nesse caso, propõe-se também a inclusão de 3 luminárias do tipo refletor, com o intuito decorativo, para valorizar uma árvore expressiva de grande porte. Por estar situada em uma área de uso inexpressivo, esse árvore não prejudica os cálculos das luminárias existentes e das novas propostas.

Figura 26 - Segunda solução do Lago Municipal no Dialux - Caso 2



Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A fim de traçar uma análise comparativa numérica, foi elaborado um estudo da configuração atual (Base) com os projetos propostos (Caso 1 e Caso 2). Os resultados foram compilados em tabelas. Cada uma delas representa os dados das áreas analisadas, conforme apresentado na Figura 24.

A Tabela 4 refere-se a Área 1: Pista 700m, caracterizada como o principal trecho de tráfego de pedestres do Lago Municipal. O uso se caracteriza por atividades como caminhadas, corridas e passeios ao ar livre. No contexto atual (Base), essa área apresenta

problemas como arborização sobreposta às luminárias e distanciamento inadequado entre postes. Devido ao elevado uso pela população, para garantir segurança e bem-estar, torna-se necessário garantir um nível de luz adequado, o que não acontece no Caso Base, uma vez que é perceptível baixo fator de uniformidade, não condizente com as exigências da norma.

Como proposta de melhoria, a fim de solucionar as problemáticas do distanciamento inadequado entre postes e áreas com sombreamento, no Caso 1 e no Caso 2, foram acrescentados mais pontos de iluminação. Como o distanciamento existente é de aproximadamente 30 metros, a fim de evitar relocação dos postes, os projetos completam a implementação das novas luminárias a cada 15 metros aproximadamente. Além disso, propõe-se a poda e relocação das árvores que entram em conflito com a iluminação pública.

Tabela 4 – Quadro resumitivo para a Área 1.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,00	0,30	230,00	52,10
Caso 1	0,52	80,50	268,00	155,00
Caso 2	0,52	80,50	268,00	155,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na Tabela 5, analisa-se o espaço referente à Área 2: Caminho de entrada e saída do Lago Municipal (Direita). O uso principal se caracteriza pelo tráfego de pedestres, sendo a maior parte residente em um dos bairros próximos, com o intuito de encurtar o deslocamento para acessar o Lago Municipal. Por esse motivo, é um espaço sem pavimentação adequada e com baixa manutenção da vegetação ao redor, necessitando frequentemente de capinas, que não ocorrem com tanta frequência. Logo, torna-se uma área propensa para o surgimento de animais, como insetos e cobras, o que acarreta risco à população e, por isso, necessita de iluminação adequada. No contexto atual (Base), há inexistência de iluminação pública, o que agrava a situação e reforça a necessidade de um projeto luminotécnico para esse espaço.

Como proposta dos projetos, em ambos os casos, 1 e 2, foram implementados 3 postes com distanciamento aproximado de 15 metros, sendo cada um com uma luminária.

Tabela 5 – Quadro resumitivo para a Área 2.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,00	0,01	11,60	1,52
Caso 1	0,41	42,40	175,00	104,00
Caso 2	0,41	42,40	175,00	104,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A Tabela 6, apresenta dados referentes à Área 3: Espaço para lazer 1. O uso dessa área se caracteriza por atividades de recreação de crianças, como brincadeiras, além do uso de permanência da população, uma vez que possui bancos e amplo espaço livre, que é utilizado para picnics e contemplação da natureza. No contexto atual (Base), essa área possui baixa incidência de iluminação, já que não possui postes mas recebe interferência de postes próximos. Diante do uso, justifica-se a implementação de um projeto luminotécnico, a fim de proporcionar maior segurança e bem-estar para a população em geral.

Como proposta de melhoria, nos Casos 1 e 2, foram implementados 2 postes com 2 luminárias.

Tabela 6 – Quadro resumitivo para a Área 3.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,00	0,23	162,00	27,40
Caso 1	0,39	49,00	281,00	125,00
Caso 2	0,39	49,00	281,00	125,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na Tabela 7, observa-se as análises da Área 4: Espaço para exercício e *playground*. Como o próprio nome sugere, esse trecho possui brinquedos, como escorregador, balanço, casinhas, etc. e academia ao ar livre para uso público. Por ser um dos principais espaços utilizados do Lago Municipal, a situação atual (Base) se caracteriza com um índice de iluminação superior quando comparado às demais áreas, entretanto os resultados revelam índices ainda insatisfatórios de acordo com a norma.

Como proposta de melhoria, nos Casos 1 e 2, foram acrescentados 2 postes com 1 luminária e 1 poste com 2 luminárias. Além disso, propõe-se a relocação de árvores que entram em conflito com a iluminação pública.

Tabela 7 – Quadro resumitivo para a Área 4.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,02	1,40	158,00	49,70
Caso 1	0,41	50,80	297,00	124,00
Caso 2	0,41	50,80	297,00	124,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A Tabela 8 referencia-se à Área 5: Pista 500m. Esse espaço caracteriza-se como uma pista secundária, com o uso para caminhadas, corridas, passeios e ciclismo. Pelo fato de não ser a pista principal, o uso é menos intenso, entretanto se caracteriza como o único espaço para ciclismo, já que as demais áreas não permitem esse uso. No contexto atual (base), observa-se uma distribuição inadequada de postes, o que ocasiona em uma iluminação baixa.

Como proposta de melhoria, nos Casos 1 e 2, foram acrescentados 12 postes com 1 luminária e distanciamento aproximado de 15 metros.

Tabela 8 – Quadro resumitivo para a Área 5.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,01	0,13	75,10	8,68
Caso 1	0,30	19,70	175,00	66,00
Caso 2	0,30	19,70	175,00	66,00

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A Tabela 9, apresenta os dados referentes à Área 6: Espaço para lazer 2. Esse trecho se caracteriza pelo uso de atividades de recreação de crianças, como brincadeiras. Pelo fato de não ter iluminação no contexto atual (Base), observa-se esse uso somente no período diurno. À noite, torna-se um espaço perdido, que, no melhor cenário, poderia contemplar iluminação pública para ampliar o usufruto da população.

Como proposta de melhoria, no Caso 1, não foram implementadas luminárias, a fim de simplificar o projeto e viabilizar uma possível execução pela Prefeitura Municipal. Já no Caso 2, com o intuito de contemplar todo o terreno do Lago Municipal, foram incluídos 5 postes com 2 luminárias cada, garantindo maior uniformidade de iluminação.

Tabela 9 – Quadro resumitivo para a Área 6.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,03	0,02	10,80	0,87
Caso 1	0,00	0,08	123,00	20,00
Caso 2	0,3	30,00	203,00	98,90

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na Tabela 10, analisa-se a Área 7: Caminho de entrada e saída do Lago Municipal (Esquerda). O uso predominante é idêntico ao da Área 2 (tráfego da população residente em áreas próximas para facilitar o acesso ao Lago Municipal), assim como os riscos ocasionados pela ausência de iluminação e baixa manutenção (surgimento de animais que comprometem a segurança da população). No contexto atual (Base), observa-se a ausência de iluminação pública, a qual, devido ao uso frequente, é extremamente necessária.

Como proposta dos projetos, em ambos os casos, 1 e 2, foram implementados 3 postes com distanciamento aproximado de 15 metros, sendo cada um com uma luminária.

Tabela 10 – Quadro resumitivo para a Área 7.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)
Base	0,01	0,01	11,00	1,11
Caso 1	0.37	30,50	169,00	82,40
Caso 2	0.37	34,00	169,00	90,70

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A partir dos estudos efetuados nas tabelas anteriores, fez-se necessária uma análise comparativa entre os casos de estudo Base, Caso 1 e Caso 2 aplicado para todo o Lago Municipal. Logo, para os dados apresentados na Tabela 11, realizou-se a média dos índices de fator de uniformidade, E_{min} , E_{max} e E_{med} encontrados nas sete áreas, conforme Figura 24, acrescentando a informação do número de luminárias totais utilizadas. Os resultados encontrados permitem uma melhor compreensão dos impactos das melhorias sugeridas em relação ao cenário existente, assim como uma comparação da quantidade de luminárias utilizada em cada caso. Essa análise fez-se necessária para unificar os índices encontrados, de maneira que seja possível obter valores médios para todo o espaço do projeto, não somente para áreas isoladas.

É perceptível que ambos os casos, 1 e 2, estão em concordância com a norma atingindo os índices exigidos para fator de uniformidade, E_{min} , E_{max} e E_{med} , o que não acontece no cenário atual (Base).

Essa avaliação será conduzida considerando fatores essenciais, como o nível de uniformidade da iluminação, a iluminância mínima (E_{min}) e a iluminância máxima (E_{max}), iluminância média (E_{med}) e o número de luminárias conforme a Tabela 4, permitindo uma melhor compreensão dos impactos das melhorias sugeridas em relação ao cenário existente.

Tabela 11 – Quadro comparativo.

Caso de estudo	f_u (min/médio)	E_{min} (lx)	E_{max} (lx)	E_{med} (lx)	N. Lum
Base	0,01	0,30	94,07	24,19	51
Caso 1	0,34	38,99	212,57	96,62	109
Caso 2	0,38	43,77	224	109,08	122

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Ao longo deste trabalho, buscou-se compreender os aspectos fundamentais para o desenvolvimento de um projeto luminotécnico eficiente e funcional em espaços de lazer, com foco na segurança, no conforto visual e na eficiência energética. Como discutido ao longo do estudo, a iluminação pública desempenha um papel essencial na qualidade de vida da população, sendo um fator determinante para a segurança e valorização dos espaços urbanos.

A partir da análise luminotécnica realizada no Lago Municipal de Lima Duarte – MG, foi possível identificar problemas na iluminação existentes, como distribuição inadequada dos pontos de luz, baixa uniformidade luminosa e interferência da arborização. Para solucionar essas questões, foram propostas duas alternativas de projeto, comparadas com a situação base.

A comparação entre a situação inicial e os Casos 1 e 2 revelou melhorias significativas. No cenário base, observou-se um nível de iluminância abaixo dos padrões recomendados, comprometendo a visibilidade e a segurança dos frequentadores.

O Projeto 1 apresentou uma melhor distribuição das luminárias, reduzindo os efeitos de sombreamento e aumentando a uniformidade da luz, enquanto o Projeto 2, além dessas melhorias, contemplou a iluminação de uma área utilizada por crianças durante o dia, mas que à noite permanecia inutilizada devido à ausência de iluminação. Ambas as propostas demonstraram ganhos expressivos em eficiência luminosa e conforto visual, tornando o ambiente mais seguro e adequado para uso noturno. Dessa forma, com base nos estudos exploratórios, simulações e análises comparativas, foi possível elaborar diretrizes para um sistema de iluminação mais eficiente, contribuindo para a melhoria da infraestrutura urbana e do bem-estar da comunidade.

6.1.1 Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se a incorporação de fontes de energia renováveis, como a implementação de placas solares para alimentação do sistema de iluminação. Essa solução traria benefícios ambientais e econômicos, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional e promovendo maior sustentabilidade ao projeto.

Além disso, o uso de tecnologias de controle inteligente, como sensores de presença e sistemas de telegestão, poderia otimizar ainda mais o desempenho e a manutenção do sistema de iluminação pública.

Assim, espera-se que este estudo contribua para futuras iniciativas de melhoria da iluminação pública em espaços de lazer, servindo como base para projetos que aliem

tecnologia, eficiência energética e sustentabilidade no desenvolvimento urbano com foco em área de Lazer.

REFERÊNCIAS

- 5101:2024, A. N. *Iluminação viária — Procedimentos*. 2024. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>.
- 5413:1992, A. N. *Iluminância de Interiores*. 1992. Disponível em: <<http://www.abnt.org.br>>.
- AALOK. **A importância do fator de manutenção para uma iluminação eficiente**. 2019. Disponível em: <https://aalok.com.br/blog/fator-de-manutencao-iluminacao-eficiente/>.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Resolução Normativa nº 414**. 2010. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>.
- CA2. **Grandezaas Luminotécnicas**. 2015. Disponível em: <https://ca-2.com/grandezas-luminotecnicas/>.
- CASAGRANDE, C. G. **Iluminação Pública: Panorama. Tecnologias Atuais e Novos Paradigmas**. [S.l.]: Editora Viseu Ltda, 2021.
- COSTA, G. J. C. **Iluminação Econômica: Cálculo e Avaliação**. 4. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2006.
- DESIGN, P. **COMO ESCOLHER A TEMPERATURA DE COR IDEAL PARA SUA LUMINÁRIA**. 2019. Disponível em: <https://plugdesign.com.br/temperatura-cor/>.
- DIALUX. **Dialux EVO 13**. 2025. Disponível em: <https://www.dialux.com/en-GB/download>.
- EARTH, G. **Google Earth**. 2023. <https://earth.google.com/web>.
- ELETOBRAS. **Iluminação Pública : Portal da Eletrobras, Centrais Elétricas Brasileiras**. 2015. Disponível em: <http://https://www.eletrobras.com>.
- FAMILYSEARCH. **Lima Duarte, Minas Gerais, Brasil - Genealogia**. 2024. Disponível em: https://www.familysearch.org/pt/wiki/Lima_Duarte,_Minas_Gerais,_Brasil_-_Genealogia.
- FURIAN, P. H. **Espectro eletromagnético**. 2020. <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>.
- GODOY, P. **Capítulo IV – Qualidade na Iluminação Urbana**. 2015. Disponível em: <https://osetoreletrico.com.br/fasciculos/iluminacao-publica-e-urbana/page/2/>.
- IBGE. **IBGE**. 2024. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/lima-duarte/panorama>.
- JUNIOR, P. D. R. **Luminotecnica**. 2018. Disponível em: https://www.eletrica.ufpr.br/s ebastiao/wa_files/te039%20aula%2018%20-%20luminotecnica.pdf.
- LOPES, L. B. **UMA AVALIAÇÃO DA TECNOLOGIA LED NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA**. 2014. Disponível em: <https://maiscursoslivres.com.br/cursos/113dbedf19756629a2a632db03c13e8f.pdf>.

LUMILED. **Características Técnicas do Produto**. 2023. Disponível em: <https://lumiled.ind.br/materiais/>.

MAIA, A. C. **A EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: Gestão, eficiência e modernização**. 2018. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/handle/35400000/1637>.

NEOENERGIA. **EDITAL DA CHAMADA PÚBLICA DE PROJETOS REE-001/2024**. 2024. Disponível em: https://www.neoenergia.com/documents/d/guest/anexo-2-requisitos-para-servicos-materiais-e-equipamentos-cpp-2024_formatado.

OSRAM. **Iluminação: Conceitos e projetos**. S.D. Disponível em: http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0262/Af_Apostila_Conceitos_e_Projetos.pdf.

PEREIRA, G. **O que é Curva Fotométrica**. 2023. Disponível em: <https://naville.com.br/pt/blog/o-que-e-a-curva-fotometrica/>.

PINTO, D. P.; NOGUEIRA, F. J.; SILVA, E. S.; BRAGA, H. A. C.; RODRIGUES, C. R. B. S. **PROJETO APLICADO NA FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS: ILUMINAÇÃO PÚBLICA A LED NO CAMPUS DA UFJF**. 2013. Disponível em: https://turing.pro.br/anais/COBENGE-2013/pdf/116905_1.pdf.

SANTOS, M. V. dos. **Visão**. 2025. Disponível em: <https://escolakids.uol.com.br/ciencias/visao.htm>.

SILVA, L. L. Fróes da. **Iluminação Pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2006.

TRUSTE. **História da Iluminação**. 2024. Disponível em: <https://trustiluminacao.com.br/wp-content/uploads/2024/01/historia-da-iluminacao.pdf>.

WEG, M. **Você passaria na prova para trabalhar com Thomas Edison?** 2019. Disponível em: <https://museuweg.net/blog/voce-passaria-na-prova-para-trabalhar-com-thomas-edison/>.