



UNIFACS
UNIVERSIDADE SALVADOR
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES

MESTRADO EM ENERGIA

ELIAS CAMPOS DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM ESTUDO DE
CASO NO MUNICÍPIO DE CAMAÇARI/BA**

Salvador
2020

ELIAS CAMPOS DOS SANTOS

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM ESTUDO DE
CASO NO MUNICÍPIO DE CAMAÇARI/BA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade Salvador UNIFACS, Laureate International Universities, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Eudemário Souza de Santana.

Salvador
2020

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UNIFACS Universidade Salvador, Laureate International Universities.

Santos, Elias Campos dos

Eficiência energética na iluminação pública com estudo de caso no Município de Camaçari/BA. / Elias Campos dos Santos. – Salvador, 2020.

92 f.: il.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Energia – Mestrado em Energia da Universidade Salvador, Laureate International Universities, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eudemário Souza de Santana.

1. Energia elétrica. 2. Eficiência energética. 3. Estudo luminotécnico. 4. Iluminação Pública. I. Santana, Eudemário Souza de, orient. II. Título.

CDD:621.3

ELIAS CAMPOS DOS SANTOS

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA COM ESTUDO DE CASO
NO MUNICÍPIO DE CAMAÇARI/BA

Dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGE) – Mestrado em Energia da Universidade Salvador - UNIFACS, Laureate International Universities, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre e aprovada pela seguinte banca examinadora:

Eudemário Souza de Santana - Orientador _____
Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas - UNICAMP
Universidade Salvador - UNIFACS, Laureate International Universities

Jailton Weber Gomes _____
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA

Victor Menezes Vieira _____
Doutor em Geologia Ambiental pela Universidade Federal da Bahia - UFBA
Universidade Salvador - UNIFACS, Laureate International Universities

Salvador, 17 de dezembro de 2020.

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio para concretização de mais um passo importante em nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Paulo Alexandre Souza da Silva, grande incentivador que iniciou a construção deste trabalho ao meu lado. Ao meu orientador Prof. Dr. Eudemario Santana, pela cooperação, serenidade e discernimento para mostrar os caminhos objetivos para conclusão deste trabalho. A minha esposa pela compreensão e apoio fundamentais à minha dedicação a este trabalho. Aos meus colegas de cursos que contribuíram com a troca de experiências e enriquecimento do aprendizado. A todos os professores do Mestrado em Energia da UNIFACS que contribuíram para na minha formação para conclusão deste trabalho. Muito obrigado!

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”.

Oliver Wendell Holmes Sr

RESUMO

Esta dissertação apresenta uma proposta de eficiência energética na iluminação pública, baseada em um estudo de caso no município de Camaçari na Bahia, buscando selecionar, com base em critérios técnico-econômicos, os sistemas de iluminação pública mais adequados a locais públicos da cidade. Os sistemas de iluminação pública, compulsoriamente de responsabilidade dos entes municipais no Brasil, representam uma parcela significativa dos gastos públicos, além de terem papel essencial na qualidade de vida dos munícipes, influenciando na valorização e ocupação dos espaços públicos e no fomento do comércio local. Para efficientização é proposta a modernização do sistema de iluminação pública no município com a substituição da tecnologia convencional de lâmpadas de descarga por modelos em LED, com análises de diferentes cenários de aplicações. Realizou-se a investigação técnica em espaços públicos, campo de futebol destinado a prática de atividade recreativa, uma via típica do município e para proposta de substituição de todos os pontos de iluminação do município empregando ferramentas computacionais tipo CAD para elaboração de estudos luminotécnicos que possibilitaram a investigação quanto ao atendimento dos requisitos normativos vigentes e obtenção dos resultados de eficiência energética na ordem de 60% e 70% para os cenários estudados. A análise de viabilidade da proposta é realizada com base em critérios econômicos clássicos: VPL, TIR e *Payback*, para os quais os estudos foram validados. Os resultados e análises são apresentados de forma que possam servir como dados de referência para estudos de outros municípios que desejem melhorias na sua segurança, conforto e qualidade de vida da população via modernização de seu sistema de iluminação pública.

Palavras-chave: Eficiência energética. Estudo luminotécnico. Iluminação Pública.

ABSTRACT

This master thesis presents a proposal for energy efficiency in public lighting, based on a case study in the municipality of Camaçari in Bahia, seeking to select, based on technical-economic criteria, the most appropriate public lighting systems for public places in the city. Public lighting systems, compulsorily the responsibility of municipal entities in Brazil, represent a significant portion of public spending, in addition to having an essential role in the quality of life of residents, influencing the valuation and occupation of public spaces and the promotion of local commerce. For efficiency, it is proposed to modernize the public lighting system in the municipality with the replacement of conventional discharge lamp technology by LED models, with analysis of different application scenarios. Technical research was carried out in public spaces, a soccer field for recreational activities, a typical route in the municipality and for the proposal of replacing all lighting points in the municipality using CAD-type computational tools for the elaboration of luminotechnical studies that enabled the investigation as to the compliance with the current normative requirements and obtaining the results of energy efficiency in the order of 60% and 70% for the studied scenarios. The proposal's feasibility analysis is performed based on classic economic criteria: VPL, TIR and Payback, for which the studies were validated. The results and analyzes are presented so that they can serve as reference data for studies from other municipalities that want improvements in their safety, comfort and quality of life for the population through the modernization of their public lighting system.

Keywords: Energy efficiency. Luminotechnical study. Public lighting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação do conceito de fluxo luminoso	22
Figura 2 - Representação do conceito de iluminância.....	22
Figura 3 - Representação do conceito de intensidade luminosa.....	23
Figura 4 - Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B).....	23
Figura 5 - Representação da superfície aparente e ângulo considerado para cálculo da Luminância.....	24
Figura 6 - Escalas de temperatura de cor.....	25
Figura 7 - Tendência de preço da luminária LED para Iluminação pública em (\$/klm).....	30
Figura 8 - Classificação viária conforme ABNT NBR 5101	44
Figura 9 - Campo de avaliação para estudo – Cenário 1 – Via automotiva	56
Figura 10 - Parâmetros da simulação para o cenário 1	57
Figura 11 - Distribuição de iluminância na Via – Cenário 1.....	57
Figura 12 - Campo de avaliação para estudo – Cenário 2 – Via automotiva	58
Figura 13 - Parâmetros da simulação para o cenário 2.....	59
Figura 14 - Distribuição de iluminância na Via – Cenário 2.....	59
Figura 15 - Lista de coordenada – Cenário 1 – Campos de futebol	62
Figura 16 - Gráfico de valores – Cenário 1 – Campos de futebol.....	63
Figura 17 - Representação de cores falsas – Cenário 1 – Campos de futebol.....	63
Figura 18 - Lista de coordenada – Cenário 2 – Campos de futebol	64
Figura 19 - Gráfico de valores – Cenário 2 – Campos de futebol.....	65
Figura 20 - Representação de cores falsas – Cenário 2 – Campos de futebol.....	65
Figura 21 - Lista de coordenada – Cenário 3 – Campos de futebol	66
Figura 22 - Gráfico de valores – Cenário 3 – Campos de futebol.....	67
Figura 23 - Representação de cores falsas – Cenário 3 – Campos de futebol.....	67
Figura 24 - Distribuição de condutores – Campo de Burisatuba.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação dos tipos de lâmpada	30
Tabela 2 - Classes de iluminação por nível de aplicação conforme EN 12.193.....	32
Tabela 3 - Redução de consumo por meio do controle de luminosidade em ambiente simulado	37
Tabela 4 - Redução de consumo por meio do controle de luminosidade em ambiente real	38
Tabela 5 - Estimativa de retorno de investimento para o controle de fluxo luminoso em luminárias públicas	40
Tabela 6 - Classificação quanto ao tráfego motorizado	45
Tabela 7 - Classificação quanto ao tráfego de pedestres	46
Tabela 8 - Classes de iluminação para cada tipo de via	46
Tabela 9 - Requisitos de luminância e uniformidade	47
Tabela 10 - Requisitos de luminância e uniformidade	47
Tabela 11 - Classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de pedestre	48
Tabela 12 - Requisitos de luminância e uniformidade para tráfego de pedestres	48
Tabela 13 - Requisitos de luminância e uniformidade para campos de futebol	49
Tabela 14 - Requisitos luminotécnico para a Rua Marlim Azul – Vias de tráfego.....	55
Tabela 15 - Resultados para simulação – Cenário 1 - Pista de rodagem.....	56
Tabela 16 - Resultados para simulação – Cenário 1 - Passeio	57
Tabela 17 - Resultados para simulação – Cenário 2 - Pista de rodagem.....	58
Tabela 18 - Resultados para simulação – Cenário 2 – Passeio.....	58
Tabela 19 - Comparativo dos resultados das simulações para rua marlim azul	60
Tabela 20 - Campo de Burisatuba – Informações de cadastro	61
Tabela 21 - Lista de luminária – Cenário 1 – Campos de futebol	62
Tabela 22 - Resumo dos resultados – Cenário 1 – Campos de futebol	64
Tabela 23 - Lista de luminária – Cenário 2 – Campos de futebol	64
Tabela 24 - Resumo dos resultados – Cenário 2 – Campos de futebol	66
Tabela 25 - Lista de luminária – Cenário 3 – Campos de futebol	66

Tabela 26 - Resumo dos resultado – Cenário 3 – Campos de futebol.....	68
Tabela 27 - Resultados das simulações para o campo de Burisatuba.....	68
Tabela 28 - Memória de cálculo de queda de tensão – Campo de Burisatuba	71
Tabela 29 - Custo de investimento cenário 2	71
Tabela 30 - Custo de investimento cenário 3	71
Tabela 31 - Comparativo dos custos de investimento cenários 2 e 3	72
Tabela 32 - Comparativo dos custos de energia cenários 2 e 3.....	73
Tabela 33 - Comparativo dos custos de manutenção cenários 2 e 3	73
Tabela 34 - Custos totais de investimento e manutenção dos cenários 2 e 3	74
Tabela 35 - Indicação da economia total com a modernização	75
Tabela 36 - VPL e TIR para estudo de caso do campo de Burisatuba.	75
Tabela 37 - Quantidade de pontos de iluminação do município de Camaçari por faixa de potência.....	76
Tabela 38 - Resumo de pontos do município por faixa de potência de 70 à 400 W	77
Tabela 39 - Quantitativo de pontos no município de Camaçari para faixa de potência de 70 à 400 W	77
Tabela 40 - Comparativo entre o requisitado e o ofertado no certame.....	78
Tabela 41 - Tipos de vias abrangidas pelo estudo	79
Tabela 42 - Comparativo dos custos de investimento para o sistema de IP.....	80
Tabela 43 - Comparativo dos custos de energia para o sistema de IP.....	81
Tabela 44 - Comparativo dos custos estimados de manutenção para o sistema de IP	82
Tabela 45 - Comparativo dos custos totais envolvidos nos cenários 2 e 3.....	82
Tabela 46 - Indicação da economia total com a modernização	83
Tabela 47 - VPL e TIR para estudo de caso do sistema de IP de Camaçari.....	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EN	<i>European Standard</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
IES	<i>Illuminating Engineering Society</i>
IP	Iluminação Pública
LED	Diodo Emissor de Luz (“ <i>Light Emitter Diode</i> ”)
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	JUSTIFICATIVA.....	18
1.2	OBJETIVO GERAL.....	19
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4	MÉTODOS E MATERIAIS	19
1.5	ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2	LUMINOTÉCNICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	21
2.1	PRINCÍPIOS DE LUMINOTÉCNICA.....	21
2.2	TIPOS DE LÂMPADAS.....	26
2.3	NORMATIZAÇÃO DE SETOR.....	31
2.4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
2.4.1	Importância da luminotécnica.....	35
2.4.2	Eficiência energética.....	36
2.4.3	Benefícios tecnológicos	38
3	SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	41
3.1	SOFTWARE PARA DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS.....	41
3.2	ILUMINAÇÃO EM VIAS AUTOMOTIVAS.....	42
3.3	ILUMINAÇÃO EM ESPAÇOS PARA ESPORTE RECREATIVO	48
3.4	PARÂMETROS PARA ESTUDO DE CASO.....	50
4	RESULTADOS E ANÁLISES	54
4.1	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO EM VIAS AUTOMOTIVAS – ESTUDO DE CASO DA RUA MARLIM AZUL	55
4.1.1	Cenário 1 – Instalações existentes em vapor de metálico	56
4.1.2	Cenário 2 – Proposta para substituição por LED	58
4.1.3	Análise dos cenários	59
4.2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO EM ESPAÇOS PARA ESPORTE RECREATIVO – ESTUDO DE CASO DO CAMPO DE BURISATUBA	61
4.2.1	Cenário 1 – Instalações existentes em vapor de metálico	61
4.2.2	Cenário 2 – Adequação aos requisitos normativos utilizando luminária vapor metálico.....	64
4.2.3	Cenário 3 – Adequação aos requisitos normativos utilizando luminária LED	66
4.2.4	Análise dos cenários	68
4.2.5	Custo de investimento	69
4.2.6	Custo de energia	72

4.2.7	Custos de manutenção	73
4.2.8	Análise econômico-financeira	74
4.3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CAMAÇARI	76
4.3.1	Custo de investimento	80
4.3.2	Custo de energia	80
4.3.3	Custos de manutenção	82
4.3.4	Análise econômico-financeira	82
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
	REFERÊNCIAS	87
	ANEXO A - PONTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CAMAÇARI	92

1 INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio da resolução normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, atualizada 2017, definiu que as distribuidoras deveriam transferir o sistema de iluminação pública (IP) registrado como ativo imobilizado em serviço (AIS) para responsabilidade e gestão pelos municípios, dando como prazo limite para transferência dezembro de 2014 (ANEEL, 2017). Os ativos de iluminação pública compreendem todo o quantitativo de pontos de iluminação pública num município juntamente com todos seus acessórios, braços¹, lâmpadas, relês, reatores e ferragens, excluindo-se os postes que continuam de propriedade das distribuidoras cedidos ao município para instalação dos pontos de iluminação a título de cessão não onerosa. Uma das grandes críticas ao modelo anterior em que as distribuidoras eram responsáveis pelos sistemas iluminação era que, pelo fato de ser responsável pelo todo Estado, não havia uma atenção compatível com particularidade de cada município, já sob responsabilidade do ente municipal espera-se ações de investimento mais associada à realidade de cada local, com foco locais considerados relevantes, além de possibilitar a escolha do melhor sistema em cada o município.

O estudo desenvolvido neste trabalho tem foco no município de Camaçari na Bahia, que possui área de 784,658 km² sendo assim o município com maior extensão territorial na região metropolitana de Salvador com população de 293.723 habitantes é o segundo em população. Camaçari é também o segundo município da região metropolitana em número de pontos de iluminação, e o quarto do Estado com mais de 42.000 pontos de iluminação pública com cerca de 5.300,00 kW de carga instalada (UPB, 2020).

No município de Camaçari até o ano de 2014 predominava a tecnologia de lâmpadas de vapor de sódio, porém, desde essa época estes tipos de lâmpadas estão sendo substituídas por outras do tipo descarga de vapor metálico; este último tipo é a que mais encontrada em sistemas de IP do município atualmente.

Esta ação se deu basicamente pela busca de uma tecnologia que proporcionasse uma melhoria no iluminamento das vias, o que é conseguido devido à melhor capacidade de reprodução de cor das lâmpadas de vapor metálico em comparação às de vapor de sódio. Esta característica é chamada de índice de reprodução de cor (IRC). Ocorre que associada a esta vantagem existem também algumas desvantagens do uso de lâmpadas de vapor metálico, como a menor vida útil e a maior sensibilidade às variações de tensão da rede elétrica, impactando

¹ Braço é a denominação da estrutura de suporte das luminárias, geralmente em aço galvanizado nas dimensões padronizadas de 1m, 2m e 3m de comprimento.

também num maior número de lâmpadas apagadas e conseqüentemente no aumento dos índices de indisponibilidade de pontos e gastos de manutenção. A tecnologia de iluminação por LED (*Light Emitter Diode*), ora proposta, apresenta valores de IRC equivalentes aos da tecnologia de vapor metálico possuindo ainda vida útil muito maior, além de outros atributos que justificam a investigação para investimentos nesta tecnologia.

A iluminação pública é essencial à qualidade de vida nos centros urbanos e à tranquilidade dos cidadãos, pois está diretamente ligada à segurança pública, auxiliando na diminuição da criminalidade, redução de acidentes em vias, embelezamento de áreas urbanas, destaque e valorização de monumentos, prédios e paisagens e permitindo um melhor aproveitamento das áreas de lazer (DEGRA; GOBI, 2013).

Dados atuais do último anuário estatístico de energia elétrica publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que em 2019 o consumo relacionado à iluminação pública correspondeu a aproximadamente 3,3% do consumo total de energia elétrica do país (EPE, 2020), correspondente a 20% da geração de toda usina de Itaipu no mesmo ano (ITAIPU, 2021), demonstrando a relevância deste consumo e como ações de eficiência podem ser importantes para redução da demanda nacional.

O mercado de iluminação conta atualmente com a tecnologia LED² cujas aplicações são feitas de modo a substituir as aplicações convencionais em lâmpadas de descarga, que não se limitam a simples funcionalidade de prover iluminação de qualidade como também podem oferecer ao gestor ferramentas eficientes de monitoramento e controle de diversas grandezas do sistema, além de possuir como principais atributos uma longa vida útil de luminária e alta eficiência energética, estimadas na ordem de 60% em comparação as tecnologias convencionais, conforme mostrado na seção 2.4; isto implicaria uma economia anual de cerca de R\$ 480.000,00 do custo total com iluminação pública no município de Camaçari que hoje está na ordem de R\$ 800.000,00 no município (CAMAÇARI, 2020).

Um dos principais pontos que torna relevante os investimentos em efficientização dos sistemas de iluminação pública é a possibilidade de redução do custo com energia para administração pública, já que a energia elétrica é a segunda maior conta dos municípios, perdendo apenas para os salários (DEGRA; GOBI, 2013).

Com referência aos aspectos sociais uma das primeiras correlações que são feitas na sociedade é com a questão de segurança pública. A ausência ou o não atendimento aos critérios

² Sistemas de iluminação em LED que possuem alta vida útil e inovações tecnológicas agregadas como a possibilidade de monitoramento, acionamento remoto e controle de luminosidade se diferenciando das atuais tecnologias.

normativos em logradouros públicos e privados está diretamente associada com a incidência de delitos diversos:

Inibição do crime: a IP melhora a visibilidade, o sentido de orientação, e, conseqüentemente, a segurança, não somente pela possibilidade de melhor identificar potenciais perigos como por inibir ações criminosas.

Promoção do jovem saudável: com áreas bem iluminadas, pode-se fomentar a prática de atividades saudáveis nas áreas do esporte, lazer e da cultura, que afastam o jovem do crime e qualifica a sua presença nas ruas. A prefeitura pode promover ações esportivas, recreativas, culturais, oficinas para estímulo a talentos, educativas de diversas modalidades, em áreas livres, bem iluminadas e atrativas.

Redução de acidentes de trânsito com pedestres e veículos: a IP também contribui para reduzir as possibilidades de acidentes de trânsito com pedestres, como choques com obstáculos na altura do solo – meios-fios, buracos, irregularidades. Da mesma forma, com ruas mais bem iluminadas, reduz-se o efeito do ofuscamento dos faróis de veículos sobre outros motoristas, evitando acidentes.

Atração de turistas: a IP também promove a sociabilidade, permitindo que as pessoas se vejam e se encontrem; realça certos objetos e valoriza monumentos e sítios históricos, tornando a cidade mais atraente para os turistas.

Aumento da autoestima dos moradores: viver em uma cidade amigável, onde se pode circular com segurança e ter vida noturna agradável, com a presença de amigos e visitantes, eleva a autoestima dos cidadãos residentes nela e melhora a visibilidade da Administração municipal.

Desta forma o serviço de iluminação pública é tido nos municípios como um dos serviços essenciais a população cuja deficiência ou paralização compromete seriamente a rotina comportamental na sociedade, desempenhando um papel importante na vida das cidades, destacando-se como principais (CEPAM, 2013).

1.1 JUSTIFICATIVA

A iluminação em LED apresenta diversos atributos como a redução de consumo energético pelos altos índices de efficientização, redução nos gastos de manutenção proporcionados pela maior vida útil dos equipamentos, múltiplas possibilidades de controle e gestão das luminárias, associados a uma maior qualidade da iluminação, que tornam relevante o estudo para aplicação de tal tecnologia no sistema de iluminação do município de Camaçari

na Bahia, hoje dotado da tecnologia convencional com lâmpadas de descarga, buscando com isso a identificação dos sistemas de iluminação pública mais adequados a locais públicos da cidade.

A proposta de substituição do sistema existente viabiliza a análise do sistema de iluminação existente quanto à adequação aos requisitos normativos, com a correção de eventuais deficiências, o que é grande relevância visto que o bom funcionamento de sistemas de iluminação pública está diretamente associado segurança pública visando a redução de índices de criminalidade, bem como a redução de acidentes, valorização e estímulo ao utilização do espaço público.

1.2 OBJETIVO GERAL

Selecionar, com base em critérios técnico-econômicos e empregando ferramentas computacionais tipo CAD, os sistemas de iluminação pública mais adequados a locais públicos da cidade de Camaçari.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para alcançar o objetivo geral, foram desenvolvidos os objetivos específicos:

a) Descrever os critérios técnicos-normativos mais importantes para projetos de sistemas de iluminação dos locais investigados.

b) Realizar, conforme critérios técnicos e normativos vigentes, o estudo luminotécnico para sistemas típicos de iluminação da cidade de Camaçari para análise de eficiência energética.

c) Validar a aplicação dos estudos desenvolvidos através de critérios economicamente usuais, a citar valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de retorno do investimento (*Payback*).

1.4 MÉTODOS E MATERIAIS

Este trabalho analisa a viabilidade da aplicação do LED em substituição das tecnologias convencionais, lâmpadas de descarga, com proposta de modernização do sistema de iluminação pública do município de Camaçari na Bahia, analisando os aspectos técnicos e econômico-financeiros, para tanto serão desenvolvidos três estudos de casos; o primeiro voltado para aplicação de iluminação em campos de futebol para prática de atividade em caráter recreativo; em seguida a análise de uma via automotiva típica; e por fim a análise para modernização de todo sistema de iluminação do município.

Para propor modernização das aplicações supracitadas foi realizado um levantamento bibliográfico das principais normas nacionais e internacionais relacionadas ao tema com o objetivo de identificar os critérios para dimensionamento de sistemas de iluminação pública a serem aplicados nos estudos.

Para validação sob o aspecto técnico foram realizados estudos luminotécnicos simulando a aplicação das luminárias de bamba as tecnologias, utilizando o *software* para projetos luminotécnicos Dialux que possui todas as funcionalidades dentre os principais existentes no mercado, com o diferencial de possuir licença de utilização gratuita, permitindo a simulação de diferentes luminárias em cenários diversos a fim de verificar sua adequação aos requisitos normativos vigentes.

Em posse das quantidades de pontos e potências, validadas com o suporte do *software* Dialux, primeiramente é feita a análise quanto a eficiência energética proporcionada pela proposta de substituição dos pontos.

Em seguida é realizada a análise econômico-financeira utilizando os critérios de VPL, TIR e *Payback*, onde são estudados os custos de investimentos, economia de energia e manutenção.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Além do presente capítulo, que apresenta e justifica a investigação desenvolvida como projeto de mestrado profissional, este texto possui outros quatro capítulos adicionais.

O capítulo 2 traz os conceitos e fundamentos na área da luminotécnica necessários para o desenvolvimento de estudos e projetos, os princípios e o descritivo acerca das tecnologias utilizada em sistemas de iluminação pública, apresenta as principais normas de referência do setor, além de uma revisão bibliográfica com o estado da arte acerca da utilização da iluminação LED. No capítulo 3 é apresentada a ferramenta de simulação utilizada para o desenvolvimento dos estudos luminotécnicos, a indicação dos parâmetros normativos de referência para as áreas em estudo, bem como o descritivo dos procedimentos adotados para realização dos estudos. No capítulo 4 são mostrados os resultados e suas análises técnico-econômicas. Esta dissertação encerra com o capítulo 5, que faz um arremate, apresentando de forma resumida as principais conclusões que puderam ser tiradas da investigação feita.

2 LUMINOTÉCNICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O presente capítulo inicia com a apresentação dos principais conceitos, tecnologias e normas luminotécnicas. Estes ajudam o leitor a entender a seção de estado da arte que encerra o capítulo.

Na seção 2.1 são apresentados os conceitos luminotécnicos base para elaboração e compreensão dos resultados dos estudos. Na seção 2.2 são descritos os tipos de lâmpadas, suas características e o comparativo entre as tecnologias. Na seção 2.3 são apresentados os principais requisitos normativos que visam a garantia dos resultados de estudo e aplicação dentro dos padrões necessários para prover a segurança e o conforto aos usuários dos sistemas de iluminação pública. Encerrando o capítulo, na seção 2.4 é realizada uma pesquisa bibliográfica acerca do estado da arte dos estudos de eficiência energética relacionadas à iluminação pública, bem como os benefícios tecnológicos que podem ser auferidos com sua aplicação e à importância da luminotécnica para os espaços públicos e seus usuários.

2.1 PRINCÍPIOS DE LUMINOTÉCNICA

Para elaboração de projetos de iluminação é essencial conhecer os fundamentos da luminotécnica que são as bases de dimensionamento e projeto (MAMEDE, 2018).

- **Luz**

É a parte do espectro eletromagnético que é visível ao olho humano: a radiação capaz de nos produzir sensação visual, percebida a partir do estímulo da retina ocular: sua cor depende comprimento de onda da radiação que varia na faixa 380 a 780 nm (CREDER, 2017).

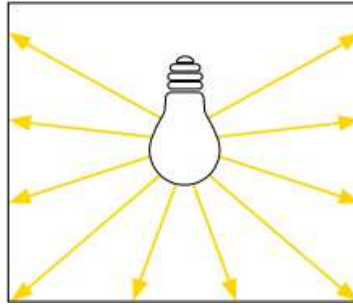
- **Fluxo Luminoso**

É a quantidade de luz emitida por uma fonte em todas as direções, a radiação total da fonte luminosa, percebida pelo olho humano entre os limites de comprimento de onda (380 a 780 nm), conforme representado na figura 1.

Unidade: Lúmen (lm) | Símbolo: φ

É um dos parâmetros utilizados durante o projeto para escolha da luminária dentre as várias opções existentes nos catálogos dos fabricantes, informando o quão eficaz esta luminária pode ser.

Figura 1 - Representação do conceito de fluxo luminoso



Fonte: Zumtobel

- **Iluminância**

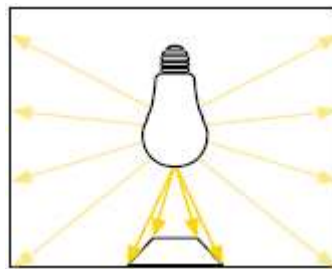
É a luz emitida por uma fonte que incidente sobre uma superfície situada a uma certa distância desta fonte, dada pela relação da razão entre o fluxo luminoso incidente por unidade de área, conforme representado na figura 2.

Unidade: Lux | Símbolo: E

É expressa pela equação $E = \frac{\varphi}{A}$ (1)

É a quantidade de luz dentro de um ambiente e pode ser medida com o auxílio de um equipamento chamado de luxímetro, capaz de medir a iluminância (lux) por meio do efeito fotoelétrico. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão, sendo considerado a iluminância média (E_m). Existem normas especificando o valor mínimo de E_m , para ambientes diferenciados pela atividade exercida relacionados ao conforto visual.

Figura 2 - Representação do conceito de iluminância



Fonte: Zumtobel

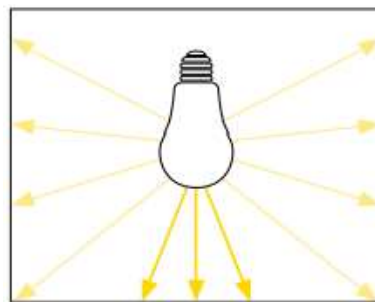
- **Intensidade Luminosa**

É o fluxo luminoso irradiado na direção de um determinado ponto, esta direção é representada por vetores, cujo comprimento indica a intensidade luminosa, conforme mostrado na figura 3.

Unidade: Candelas (Cd) | Símbolo: I

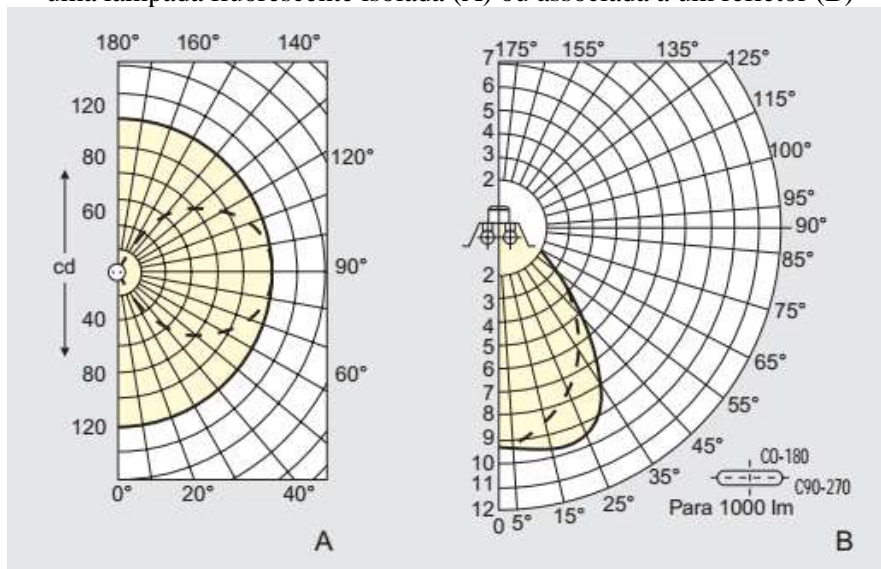
Se num plano transversal à lâmpada todos os vetores que dela se originam tiverem suas extremidades ligadas por um traço, obtém-se a curva de distribuição luminosa (CDL), que é a representação da intensidade luminosa em todos os ângulos em que ela é direcionada num plano, conforme figura 4. Para a uniformização dos valores das curvas, geralmente essas são referidas a 1000 lm. Nesse caso, é necessário multiplicar-se o valor encontrado na CDL pelo Fluxo Luminoso da lâmpada em questão e dividir o resultado por 1000 lm.

Figura 3 - Representação do conceito de intensidade luminosa



Fonte: Zumtobel

Figura 4 - Curva de distribuição de Intensidades Luminosas no plano transversal e longitudinal para uma lâmpada fluorescente isolada (A) ou associada a um refletor (B)



Fonte: Osram

Este diagrama é bastante utilizado para escolha da luminária para escolha da curva de distribuição mais apropriada para o tipo de projeto a ser desenvolvido.

- **Luminância**

É a intensidade luminosa que emana de uma superfície pela sua superfície aparente, é a luz refletida em uma superfície que transmitindo a sensação de claridade aos olhos, conforme apresentado na figura 5.

Unidade: Candela /m² (cd/m²) | Símbolo: L

A equação que permite sua determinação é:

$$L = \frac{I}{A \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

onde

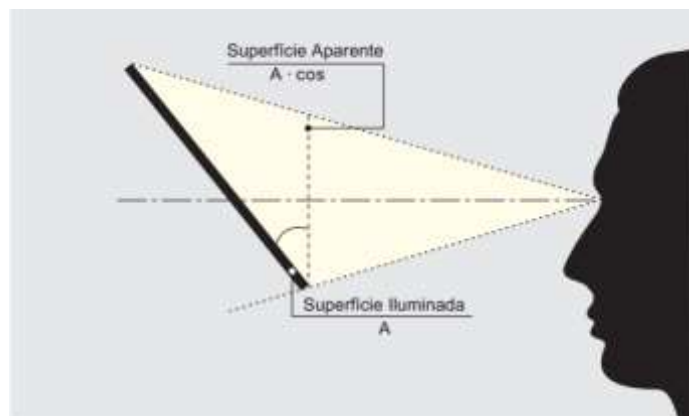
L = Luminância, em cd/m²;

I = Intensidade Luminosa, em cd;

A = área projetada, em m²;

α = ângulo considerado, em graus.

Figura 5 - Representação da superfície aparente e ângulo considerado para cálculo da Luminância



Fonte: Osran

O luminômetro é instrumento apropriado para medir diretamente a luminância (cd/m²) média de uma área ou a luminância de diversas áreas elementares.

- **Eficiência Luminosa**

É a relação entre o fluxo luminoso emitido pela lâmpada e a potência consumida. Unidade: Lúmen/Watt (lm/W) | Símbolo: η

Hoje os esforços da maioria dos fabricantes estão voltados para melhoria dos índices de eficiência das luminárias, buscando cada vez mais emissão de lúmens com o menor consumo de energia, que forma que possibilitem os maiores índices de eficiência energética.

- **Índice de Reprodução de Cor (IRC)**

É a relação entre a cor real de um objeto ou superfície e a aparência percebida diante de uma fonte luminosa. Esse índice varia de 0 a 100%, sendo que, quanto mais próximo de 100%, maior a fidelidade e precisão das cores dos objetos.

- **Temperatura de Cor**

É a aparência cromática da luz emitida por determinada fonte luminosa. Quanto mais alta a temperatura de cor, mais branca é a tonalidade da luz emitida, conforme figura 6.

Unidade: Kelvin | Símbolo: K

Figura 6 - Escalas de temperatura de cor



Fonte: EMPALUX (2018).

A luz amarelada, como de uma lâmpada incandescente, está em torno de 2700 K, quanto mais claro maior é a Temperatura de Cor. Vale destacar que a temperatura de cor não tem qualquer correlação com temperatura da lâmpada, embora seja comum esta associação devido ao fato das lâmpadas incandescentes apresentarem elevada temperatura em sua superfície.

- **Vida útil**

É a expectativa de durabilidade de uma fonte luminosa. A maior parte das normas internacionais atualmente considera que o término da vida útil de uma fonte luminosa ocorre quando ela atinge 70% do fluxo luminoso (LM70).

- **Uniformidade Global (U_0)**

É a razão entre o valor de luminância mínima e média um plano especificado, neste caso a faixa na via onde ocorre o tráfego de veículos. Diz respeito a garantia de equidade na distribuição da fonte de luz nas superfícies iluminadas.

Símbolo: U

A equação que permite sua determinação é:

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{méd}}, \quad (3)$$

Onde:

U = Uniformidade;

$E_{mín}$ = Iluminância mínima;

$E_{méd}$ = Iluminância média.

- **Uniformidade Longitudinal (U_L)**

É a razão entre o valor de luminância mínima e a máxima longitudinal ao longo da via de trânsito. A uniformidade longitudinal proporciona uma medida da evidência do padrão repetido de zonas claras e escuras na estrada (EN 13201, 2004).

- **Incremento linear (TI) (*threshold increment*)**

Refere-se ao aumento percentual do contraste de um objeto que é necessário para fazê-lo permanecer no limiar de visibilidade na presença de reflexo de deficiência gerado por luminárias de uma instalação de iluminação rodoviária (EN 13201, 2004).

- **Índice de razão das áreas adjacentes à via (SR)**

Iluminância horizontal média em uma faixa fora da borda de uma faixa de rodagem em proporção à iluminância horizontal média em uma faixa dentro via, onde as faixas têm a largura igual a de uma das faixas de via. Diz respeito a iluminação dos arredores da pista (EN 13201, 2004).

2.2 TIPOS DE LÂMPADAS

Nesta seção são apresentadas as características e considerações acerca dos principais tipos de lâmpadas utilizados em sistemas de iluminação pública tradicional.

- **Lâmpadas halógenas**

Emitem luz a partir de um filamento que com a passagem da eletricidade aquece e emite luz visível, em seu bulbo contém bromo ou iodo (halogêneos). Com cerca 40% de redução no consumo em relação às incandescentes (em desuso no mercado), ainda permanecem no mercado em grande uso, principalmente por possibilitarem uma ótima reprodução de cores, com IRC acima de 95 (COPEL, 2020).

- **Lâmpadas fluorescentes**

Um gás ionizado emite radiação ultravioleta que, incidindo sobre uma camada fluorescente na superfície dos tubos de vidro, transforma-se em luz visível, necessitam de um reator para seu funcionamento. Possuem uma vida útil mais elevada se comparada com a lâmpada incandescente (cerca de 7.500 h) e sua eficiência luminosa é cinco vezes maior: superam os 70 lm/W, porém com uma reprodução de cores inferior (IRC entre 70 e 85) (COPEL, 2020).

As lâmpadas fluorescentes surgiram como a principal substituta para as incandescentes, principalmente dentro da aplicação residencial, isto devido à alta eficiência quando comparada as incandescentes, proporcionando uma economia no consumo de energia na ordem de 75%.

Este processo de substituição para lâmpadas por outras de maior eficiência é bastante estimulado pelas distribuidoras de energia dentro de seus programas de eficiência energética. Não se trata de uma ação voluntária e sim uma obrigação prevista na Resolução Normativa nº 556 da ANEEL que trata dos Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), combinado com os incentivos promovidos pela lei nº 9.991/2000, que dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, obrigando a aplicação, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% (um por cento) de sua receita operacional líquida em investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética do setor elétrico.

- Luz mista

As lâmpadas de luz mista ganham destaque no mercado pela praticidade de instalação, já que não necessitam de reatores ou ignitores para instalação, além de proporcionar luz na tonalidade branca, diferentemente das incandescentes e de vapor de sódio que possuem luz na cor amarelada, sem reator, com baixa reprodução de cores (IRC 60), possui vida útil de cerca de 6.000 h (CREDER, 2018).

- Vapor de mercúrio

Faz parte do grupos das lâmpadas chamadas de lâmpadas de descarga, que são lâmpadas na qual a luz é gerada direta ou indiretamente pela passagem de corrente elétrica através de um gás, mistura de gases ou vapores (MAMEDE, 2017). É uma lâmpada de reação (processo semelhante ao das fluorescentes). Seu índice de reprodução de cores é baixo (IRC entre 40 e 60) e sua vida útil em torno de 24.000h e emite cerca de 55 lm/W. Utilizada tradicionalmente na iluminação pública, emite luz branca (COPEL, 2020).

No cenário da iluminação pública houve por muito tempo a predominância nos sistemas de iluminação das lâmpadas de vapor de mercúrio por seu alto índice de eficiência quando comparadas as tecnologias que a antecederam e por proporcionar destaque aos ambientes devido à luz de tonalidade na cor branca.

O uso desta tecnologia vem sendo descontinuado devido à forte presença do mercúrio em sua composição. O decreto 9.470/2018 que promulga a convenção de Minamata sobre mercúrio, firmado pelo Brasil, em Kumamoto, em outubro de 2013 prevê o fim de sua fabricação, importação ou exportação até este ano, assim como lâmpadas fluorescentes que

contenham mercúrio em sua composição além de outros materiais que também utilizam mercúrio.

- Vapor de sódio

É uma lâmpada de reação (processo semelhante ao das fluorescentes), atingindo cerca de 130 lm/W. Sua vida útil é de 14.000 a 24.000 h e possui baixa reprodução de cores (IRC 20). Por ser robusta e relativamente barata é largamente empregada na iluminação pública (COPEL, 2020). Surgiu como substituta para lâmpadas de vapor de mercúrio, devido à sua maior eficiência luminosa e pela necessidade de descontinuidade do uso da tecnologia a vapor de mercúrio justamente pela presença de mercúrio em sua composição.

- Vapor metálico

Têm grande fluxo luminoso e alta eficiência, produzindo muita luz para pouco calor. Atingem os 90 lm/W. Sua vida útil varia entre 8.500 e 15.000 h e possuem boa reprodução de cores (IRC entre 70 e 90). Vem sendo adotada como substituta a tecnologia de vapor de sódio principalmente em função ao seu IRC muito superior, embora possuam vida útil e eficiência menores, operam segundo os mesmos princípios de todas as lâmpadas de descarga, sendo a radiação proporcionada por iodeto de índio, tálio e sódio em adição ao mercúrio (CREDER, 2018).

- LED

Trata-se de um diodo semicondutor (junção P-N) que, quando energizado, emite luz visível (*Light Emitter Diode*) através de um processo chamado eletroluminescência (Cotrim, 2009). Além dos menores gastos, as lâmpadas LED têm uma vida útil consideravelmente maior do que outros tipos de lâmpadas e permitem uma série de controles de maneira remota, levando também a uma redução nos custos de operação e manutenção e possibilitando integração usando o conceito de cidades inteligentes (MME, 2018).

Um dos grandes atributos no uso de luminárias LED é a possibilidade da implementação de telegestão que ocorre por meio da substituição do relé fotoelétrico por uma unidade controle pela qual é possível implementar diversos recursos como o monitoramento e controle dos ajustes de fluxo luminoso possibilitam a redução do consumo de energia em períodos de baixa trânsito de veículos ou pedestres, alarmes de *status* da luminária que auxiliam na manutenção reduzindo o tempo do ponto apagado, dentre outras funcionalidades que podem ser incorporadas ao controlador.

Para aplicação de tal tecnologia um ponto fundamental que ainda vem passando para vários estudos e melhorias para consolidação em mercado são os protocolos de comunicação deste sistema de gestão remota. Existem várias empresas no mercado oferecendo o serviço de

telegestão com protocolos diversos como, o BLE (*Bluetooth Low Energy*) utilizado pela empresa Exati, ZigBee utilizado pela Itron, Wi-Fi utilizado pela Smartgreen, bem como diversos outros, alguns de código proprietário fechado (EXATI, 2021; ITRON, 2021; SMARTGREEN, 2021).

Controle é um termo geral para uma ampla gama de métodos, protocolos e dispositivos para operar equipamentos de iluminação LED. As formas mais simples de controle são “ON/OFF” e dimerização. Luminárias LED normalmente aceitam a entrada de controles especialmente concebidos utilizando um protocolo de comunicação que a fonte de luz pode entender (FONSECA, 2014).

Com a dinâmica de sistemas inteligentes as luminárias têm a capacidade de gerir o perfil do fluxo de iluminação relativo à informação do sensor, que permite gerenciamento centralizado em tempo real de todas as ruas luzes, proporcionando iluminação rodoviária adaptativa sem comprometer segurança, conforto e funcionalidade (CARREIRA *et al.*, 2013).

A tabela 1 apresenta uma comparação com as principais características das lâmpadas mais utilizadas em sistemas de iluminação pública.

A tecnologia de vapor de mercúrio antecede as demais, possui um índice de reprodução de cor (IRC) que proporciona uma boa representação dos objetos, apresenta uma luz na tonalidade branca, que proporcionava um bom conforto visual, contudo, teve seu uso descontinuado devido à forte presença do mercúrio em sua composição.

A tecnologia sucessora foi a vapor de sódio que possuía com desvantagem o baixo IRC e uma baixa temperatura de cor que proporciona uma luz de cor amarela, gerando a percepção de pouca luminosidade nos ambientes, em contrapartida, apresenta alta eficiência luminosa e vida útil superior às lâmpadas de vapor de mercúrio.

A próxima tecnologia em uso no município de Camaçari foi das lâmpadas de vapor metálico a qual possui como desvantagem em relação à anterior uma vida útil e eficiência luminosa menor, contudo, apesar destas desvantagens assumiu o espaço como substituta do sódio devido ao seu IRC bem superior e temperatura de cor na tonalidade branca que proporcionam ao cidadão uma sensação de conforto visual muito superior à anterior.

Por fim, o LED que consegue agregar o melhor de todas as características, com um índice de reprodução de cor na mesma faixa das lâmpadas vapor metálico (COPEL, 2016), eficiência luminosa superior às demais, e uma vida útil muito superior.

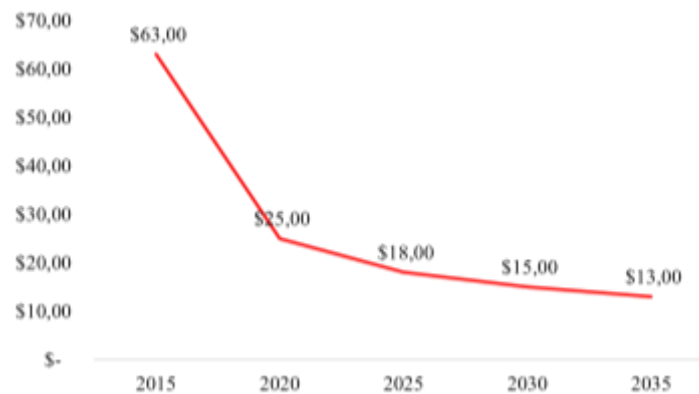
Tabela 1 - Comparação dos tipos de lâmpada

Tipo de Lâmpada	Eficiência Luminosa (lúmens / Watt)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida útil (horas)
Vapor de mercúrio	35 a 65	40	10.000 a 15.0000
Vapor de sódio	80 a 150	24	15.000 a 24.000
Vapor metálico	70 a 130	96	8.000 a 12.000
LED	70 a 160	95	40.000 a 120.000

Fonte: Adaptado de MME (2018).

Com tantos atributos a aplicação do LED em larga escala tem como fator limitante o preço em comparação à tecnologia convencional, contudo, estudos como o desenvolvido pelo departamento de energia norte americano mostrados na figura 7 sinalizam uma tendência de queda ao longo dos próximos anos indicando um cenário de consolidação do LED como tecnologia predominante em sistemas de iluminação. Observa-se que de 2015 a 2020 houve uma redução abrupta do valor do custo da luminária LED na escala de dólar para cada 1000 lumens, o gráfico mostra ainda uma tendência de queda no valor.

Figura 7 - Tendência de preço da luminária LED para Iluminação pública em (\$/klm)



Fonte: U.S Department of Energy

2.3 NORMATIZAÇÃO DE SETOR

O atendimento aos requisitos normativos é premissa para obter-se resultados satisfatórios de desempenho luminotécnicos e validação dos índices de eficiência. Existe um rol de normas relacionadas aos materiais e procedimentos aplicados na execução de sistemas de iluminação públicas, a maioria delas publicadas por entidades nacionais como as Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR) publicadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), contamos também com as portarias do Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro). Na ausência de normas nacionais são utilizados padrões de entidades internacionais, como exemplo das normas *European Standard (EN)* e as normas da *Illuminating Engineering Society (IES)*. Adicionalmente outras ferramentas podem ser utilizadas para o controle da qualidade dos produtos disponibilizados no Brasil como a aplicação da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE).

A seguir serão abordados alguns dos aspectos de maior relevância das principais normas utilizadas na elaboração de projetos de sistemas de iluminação pública.

- ABNT NBR 5101

ABNT NBR 5101 (2018) é a principal norma de referência para o desenvolvimento de projetos de iluminação pública, esta determina os requisitos de desempenho de um sistema de iluminação pública definindo as condições gerais de instalação, os parâmetros para determinação do fluxo luminoso e escolha da luminária mais adequada a partir de informações como: classificação das vias, requisitos técnicos de Iluminância, uniformidade, requisitos de projetos, visando o conforto visual e segurança no trânsito de veículos e pedestres.

A iluminação pública tem como principal objetivo proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres. Os projetos de iluminação pública devem atender aos requisitos normativos, visando efetividade no atendimento das especificações luminotécnicas para cada ambiente, provendo benefícios econômicos e sociais para os cidadãos, incluindo (ABNT NBR 5101, 2018):

- a) Redução de acidentes noturnos;
- b) Melhoria das condições de vida, principalmente nas comunidades carentes;
- c) Auxílio à proteção policial, com ênfase na segurança dos indivíduos e propriedades;
- d) Facilidade do fluxo do tráfego de veículos e pedestres;
- e) Destaque a edifícios e obras públicas durante à noite;
- f) Eficiência energética.

A norma ainda apresenta requisitos específicos para iluminação para áreas de pedestres, trazendo algumas recomendações como para que seja evitado o uso de luzes monocromáticas em áreas onde haja alto risco de ocorrência de crimes e que sejam ambientalmente sensíveis ou onde haja predominância de atividade de pedestres. Em vias urbanas com tráfego intenso, o uso de iluminação adicional em locais onde existirem travessias sinalizadas para pedestres, para garantir o destaque destes locais recomenda o uso de lâmpadas com temperatura de cor diferente das lâmpadas que iluminam a pista de rolamento.

- ABNT NBR 15129

A norma ABNT NBR 15129 estabelece os requisitos para luminárias para vias públicas, iluminação pública e outros tipos de aplicações de iluminação externa, com equipamentos auxiliares integrados ou não integrados, para iluminação pública (ABNT NBR 15129).

- ABNT NBR 8837

Norma brasileira que trata dos requisitos de iluminação para atividades esportivas é ABNT NBR 8837 definindo os níveis de iluminação em função da classificação das atividades como de caráter recreativo, de competição ou profissional, em 100, 300 e 500 lux, respectivamente. Contudo, esta norma encontra-se cancelada e sem substituta, sendo adotado como referência a norma europeia EN 12193, a qual define os níveis de 75, 200 e 500 lux de acordo com a classe de atividade.

A EN 12193 divide os requisitos de iluminação em três classes, I, II, III referentes a atividades com requerimentos de iluminamento de nível alto, média e baixo respectivamente, conforme tabela 2. Os locais de estudo neste trabalho estão na classe III, atividades recreativas.

Tabela 2 - Classes de iluminação por nível de aplicação conforme EN 12.193

Classificação EN 12.193			
Nível de competição	Classe		
	I	II	III
Internacional / Nacional	X		
Regional	X	X	
Local	X	X	X
Treino		X	X
Recreação			X

Fonte: EN 12193

- Portaria N° 20 do INMETRO

A portaria 20 do Inmetro estabelece o regulamento técnico da qualidade para luminárias tipo LED e de descarga para iluminação pública viária, indicando os requisitos de cumprimento obrigatório referentes ao desempenho sob a perspectiva de eficiência energética e à segurança.

A iluminação LED por muito tempo, mesmo com sua aplicação já difundida na maioria dos países do mundo e até mesmo aqui no Brasil, ficou sem uma regulamentação nacional e durante este período foram aplicados os padrões internacionais; após muita discussão em fevereiro de 2017 foi lançada a Portaria n° 20 do Inmetro (INMETRO, 2017).

Sobre o aspecto de segurança a portaria traz os requisitos mínimos de marcações e informações que cada luminária deve ter, neste quesito observa-se uma determinação importante que não é seguida por muitos distribuidores que é necessidade de disponibilizar em folheto as orientações para obtenção do arquivo da fotometria da luminária, na prática até mesmo nos sites de muitos distribuidores não é possível encontrar tais informações. Segue abordando as condições de referente aos materiais, grau de proteção e características elétricas.

Quanto ao aspecto de desempenho apresenta as características fotométricas a serem obedecidas nos ensaios, os requisitos de montagem e parâmetros de reprovação. Traz ainda os conceitos de classificação das distribuições de intensidade luminosa, controle de distribuição luminosa, índice de uniformidade da via e calçada, parâmetros essenciais a serem observados na elaboração de um projeto.

A parte que trata das luminárias LED é abordada no anexo I-B da portaria n° 20, trazendo os requisitos relacionados as especificidades das luminárias LED, com a inserção de atendimentos as especificações das referências internacionais, IES LM-80-08, IES TM21-11 e IES LM-79-08.

A IES LM-80-08 (*Approved Method for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources*) é método para medição da manutenção de fluxo luminoso e das escalas de cor longo do tempo, descreve os procedimentos através do qual as fontes de luz LED podem ser operadas sob condições controladas para obter comparações otimizadas dados sobre mudanças na emissão de luz durante a vida útil da luminária, com esta metodologia padronizada é possível a comparação do desempenho de determinado LED com valores de referência, verificando se a depreciação de fluxo luminoso ou alterações das escalas de cor estão dentro de parâmetros aceitáveis.

A IES TM-21-1 (*Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources*) fornece recomendações para, a partir de dados obtidos com os testes pela LM-80, realizar uma projeção da depreciação do fluxo luminoso para com estes dados estimar a vida útil da

luminária. Trata do tempo de operação decorrido durante o qual a luz do LED manterá a porcentagem, p , de seu valor inicial saída de luz.

A definição da expectativa de vida útil e depreciação do fluxo luminoso é um importante parâmetro para projeto uma vez que, uma das premissas de projetos é a busca pela eficiência energética, visando a utilização de luminárias que atendem especificamente ao requisito de fluxo luminoso do ambiente sem sobre dimensionamentos e consumo desnecessário de energia.

A IES LM-79 (*Electrical and Photometric Measurement of Solid State Lighting Products*) descreve os procedimentos e precauções a serem observadas na realização de medições reprodutíveis do fluxo luminoso total, potência, intensidade luminosa, distribuição e cromaticidade de uma lâmpada e luminária.

Os ensaios pela IES LM-79 apresentam resultados importantes do desempenho da luminária, essenciais ao desenvolvimento dos projetos luminotécnicos:

- a) Fluxo Luminoso (lm);
- b) Eficácia Luminosa (lm/W);
- c) Intensidade Luminosa (cd);
- d) Temperatura de Cor Correlata (escala de cor);
- e) Índice de Reprodução de Cor;
- f) Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa;
- g) Potência (W);
- h) Corrente (A);
- i) Frequência (Hz);
- j) Fator de Potência.

Embora alguns dos requisitos técnicos e de segurança mencionados possam parecer triviais, sua menção em caráter normativo é essencial pois, considerando que os sistemas de iluminação pública são hoje de responsabilidade dos entes municipais, tem-se um cenário onde a maioria dos municípios do Brasil, geralmente excetuando-se as capitais e algumas regiões metropolitanas, não dispõem de profissionais qualificados para a correta especificação dos termos de referência para aquisição das obras e materiais, bem como não dispõem de técnicos para fiscalização do atendimento dos requisitos normativos (TCM, 2019).

2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A modernização dos sistemas de iluminação tem se dado com adoção de novas tecnologias com foco na melhora dos índices de eficiência energética, além disso traz a

possibilidade de agregar diversos benefícios tecnológicos. A seguir é apresentada uma breve revisão bibliográfica que apresenta alguns dos principais avanços ocorridos nos últimos anos.

2.4.1 Importância da luminotécnica

O uso da tecnologia LED possui diversos atributos que incluem, mas não se limitam a eficiência energética, longevidade da manutenção e controle do fluxo para redução do consumo de energia (PERKO, 2016), com o advento desta tecnologia tornou-se imprescindível o uso de ferramentas de cálculos luminotécnicos para especificação das luminárias o melhor ganho nos projetos, isto porquê para cada fabricante existe uma vasta gama de luminárias de com curvas fotométricas e fluxos luminosos variados, onde a escolha do equipamento corretor a ser utilizado é obtido por meio da simulação luminotécnica, isto não ocorria com lâmpadas tradicionais que possuíam basicamente apenas 4 faixas de potência para seleção.

Ciobanu (2017) apresenta em seu artigo a importância de prover a iluminação adequada em calçadas e travessias de pedestres, adotando níveis adequados iluminação e técnicas como a utilização de temperaturas de cor diferentes da utilizada para iluminação das estradas. Traz dados da união europeia onde em alguns países o número de pedestres mortos em acidentes de trânsito ultrapassa mais de 35% do total de acidentes com vítimas. Deste total 46% de acidentes com vítimas ocorreram a noite onde 44% possuíam 65 anos ou mais (faixa etária com tendência de maior comprometimento da acuidade visual), chamando atenção para a relevância do projeto adequado a fim de reduzir estas estatísticas.

Malgorzata (2016) aborda como a iluminação de estradas tem impacto significativo e direto sobre conforto e segurança no tráfego; onde o projeto elaborado e executado corretamente reduz o tempo que um motorista precisa para fazer a tomada decisão em uma situação de perigo, reduzindo assim o número de acidentes rodoviários, melhorando a fluência do tráfego e a capacidade das estradas à noite.

Valdez *et al* (2017) ressaltam a importância da luminotécnica para iluminação em monumentos públicos visando garantir a segurança, visibilidade e conforto de todos os transeuntes; onde os resultados do trabalho indicam tornar os espaços públicos mais atraentes, seguras, agradáveis e convidativo para visitar e passar o tempo.

Kyuchukov (2019) aborda o impacto da poluição luminosa, indicando a possibilidade de influenciar em diversas áreas; no bem-estar de pessoas, animais, plantas, alterando as condições de tráfego em estradas e ruas, nas observações astronômicas, nas condições de trabalho em edifícios e outras áreas.

Um efeito negativo percebido no município de Camaçari ocorre em algumas áreas desova de tartarugas marinhas, devido a ocupação da maior parte da orla marítima por loteamentos e condomínios que acabam por afetar a fauna pelo efeito de poluição luminosa; as tartarugas que instintivamente ao nascer seguem para o oceano orientadas pela luz da lua se veem desorientadas pela poluição da iluminação e seguem para a costa ocasionando a morte de diversos animais.

2.4.2 Eficiência energética

O ganho em eficiência energética proporcionado pela iluminação LED em contrapartida à sua tecnologia anterior de lâmpadas de descarga é o principal fator que justifica sua aplicação nos sistemas de iluminação; trata-se de uma tecnologia que está em pleno desenvolvimento e alcançando índices cada vez melhores de eficiência nas luminárias.

Anthopoulou e Doulos (2019) apresentam o comparativo de dois estudos para efficientização, com substituição de lâmpadas vapor de sódio por LED, ambos desenvolvidos para aplicação na estrada de *Egnatia Odos* na Grécia, os estudos foram elaborados com diferença de dois anos, 2017 e 2019, obtendo uma economia de energia 89,53% para o estudo realizado em 2017 e 90,55% para o realizado em 2019, no caso do uso de sistema adaptativo, que prevê a variação do fluxo em função da variação do tráfego, estes números saltam para 89,99% e 92,76%.

Doulos *et al* (2019) apresentaram um estudo visando demonstrar a importância de indicadores de desempenho energético para balizar a análise de propostas de investimentos no setor público. O artigo apresentou um comparativo dos dados das propostas técnicas de quatro empresas de eficiência energética (ESCO) para a licitação de modernização de uma rodovia na Grécia, com o total de 6.565 pontos, onde o melhor resultado apresentava ganhos de eficiência de 55% com a substituição da luminária e 72% no caso da implantação de sistema adaptativo.

Sobre os percentuais de efficientização apresentados nos dois trabalhos citados, a diferença de ganho do primeiro para o segundo pode ser atribuída ao fato do primeiro tratar-se de um estudo de caso onde as variáveis ideais são utilizadas para definir as metas máximas de efficientização, já o segundo trata de uma proposta técnica para efetiva implantação, onde são exigidos o cumprimento de metas de performance, de forma que os proponentes incluem nos estudos margens de segurança para a metas propostas.

Em um estudo de caso foi realizado por Beccali *et al* (2019) aplicado ao sistema de iluminação das áreas externas do Campus da Universidade de Palermo (Itália), tendo como

resultado a economia de 84% da energia medida, apresentando a ordem de ganho similar aos apresentados pelas ESCO no estudo citado.

Um projeto de iluminação com o propósito de ganho de eficiência energética, quando financiados precisa ser certificado por uma empresa creditada para tal, o recebimento da contribuição financeira fica atrelado a índices de efficientização para os quais deverão ser certificados numa auditoria da economia de energia real e a avaliação do desempenho da iluminação para as instalações antes e depois da modernização. Ação de substituição das luminárias tradicionais por luminárias LED com a implantação de um sistema de controle para a regulação do fluxo luminoso permite garantir uma economia substancial de energia respeitando o desempenho mínimo esperado de iluminação (AGHEMO *et al*, 2018).

Um estudo com controle distribuído com adaptabilidade dos perfis de escurecimento foi implantado de forma demonstrativa em diferentes áreas da cidade de Trento, Itália, em mais de 700 lâmpadas permitindo observar uma economia próxima a 30% após uma medição de dois anos, destacando ainda que a otimização das regras de escurecimento pode oferecer desempenho ainda maior (VIANI *et al*, 2016).

Soha, C. B. *et al* (2018) em apresentam um estudo que utilizou a simulação da variação do tráfego de veículos numa via e propôs três cenários de controle para a redução do fluxo luminoso em função do tráfego:

- a) Cenário econômico;
- b) Cenário econômico intenso;
- c) Cenário de variação balanceada.

Os resultados mostraram a possibilidade de redução de consumo energético com ganhos significativos na ordem de 60%, conforme resultados apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Redução de consumo por meio do controle de luminosidade em ambiente simulado

Cenários	Uso total de energia (kWh) / anual	Redução de consumo
Escurecimento econômico	209,8	62,51%
Escurecimento econômico intenso	256,4	76,40%
Controle balanceado	294,7	87,81%
Sem escurecimento	335,6	

Fonte: Adaptado de Soha et al (2018).

Petritoli *et al* (2018) realizou um estudo, desta vez em ambiente real, foi realizado tomando como base um projeto piloto chamado *Smart Street*, instalado nas vias do instituto de

pesquisa científica em Roma, com sistema de iluminação dotado da possibilidade de comando automático ou manual.

Foram analisados dois cenários: o primeiro, com regulação pré-definida, os horários e valores de fluxo foram definidos em função de dados estatístico de tráfego dos locais estudados; no segundo cenário a regulação foi realizada de forma dinâmica a partir de dados de sensores que identificam o fluxo e tipos de tráfego comparando o quanto pode-se economizar de energia com ajustes das faixas de horários de acionamento das luminárias e controle do fluxo luminoso gerenciados por técnicas de iluminação inteligente, encontrando redução de consumo na ordem de 40% e 60% para os dois cenários de análise respectivamente, conforme tabela 4.

Tabela 4 - Redução de consumo por meio do controle de luminosidade em ambiente real

Cenários	Consumo total (kWh)	Fluxo (lm)
Regulação pré-definida	5061,73	37,17%
Regulação adaptativa (automática)	3284,05	59,23%
Sem regulação	8055,7	0

Fonte: Adaptado de (Petritoli et al, 2018).

Os estudos citados demonstram a capacidade de maior efficientização do sistema de iluminação pública por meio da gestão do fluxo luminoso em função da variação de tráfego de uma determinada via. Os resultados alcançados apresentam ganhos na ordem de 30% a 60%, sendo que os maiores ganhos estão associados às tecnologias de ajustes mais otimizadas além de configurações de vias mais com características mais favoráveis à redução de consumo.

2.4.3 Benefícios tecnológicos

Um dos benefícios tecnológicos na modernização de sistemas de iluminação pública advém do uso da tecnologia de módulos de controle das luminárias, que trazem junto grandes vantagens em relação ao uso de relés convencionais. Por meio destes módulos é possível realizar a medição de diversas grandezas e parâmetros de funcionamento da luminária, além da possibilidade de comunicação em rede com a transmissão de dados diversos entre os módulos e uma central de monitoramento chamada de telegestão (ABREU, 2018).

Esta telegestão permite verificar o comportamento das luminárias em tempo real, visualizar características elétricas e térmicas das luminárias, cadastrar a localização e fazer o mapeamento das luminárias, verificar problemas com luminárias, realizar a programação das luminárias, para que acenda, apague ou varie o fluxo nos horários pré-estabelecidos. Possibilita emissão de relatórios de acompanhamento do desempenho das luminárias em campo, assim

como relatórios de desempenho energético dentre diversas outras funcionalidades que podem ser implementadas (ABREU, 2018).

Esta comunicação viabiliza a inserção do sistema de iluminação pública como um elemento de *smart city*, que é definida como uma integração efetiva de sistemas físicos, digitais e humanos no ambiente construído para fornecer um futuro sustentável, próspero e inclusivo para seus cidadãos (FOKAIDES, 2018). Este é um dos diversos conceitos apresentados para definição de cidade inteligente, isto porque desde de que o conceito de cidades inteligentes foi introduzido, tem havido um número crescente de pesquisas com o objetivo de identificar as dimensões que as caracterizam, não existindo um consenso sobre os principais fatores que devem ser considerados para tornar-se uma cidade mais inteligente e sustentável (GUEDES *et al*, 2018).

Os serviços de cidades inteligentes abrangem um amplo espectro de aplicativos, desde utilitários dedicados ao monitoramento de parâmetros de saúde, dados de transporte, ambiente, dentre outros que utilizam detecção em tempo real. Os dados coletados são processados e apresentados em um formato interpretável para aplicações diversas, utilizando ferramentas tecnológicas para criar uma rede de conectividade entre dispositivos diversos interagindo de forma automatizada para prover serviços diversos, oportunidades de negócios e conforto à população, utilizam-se da conectividade entre dispositivos e do compartilhamento de infraestrutura para prover serviços de forma sustentável (HABIBZADEH *et al*, 2017).

As abordagens sobre *smart city* tem como ponto central na maioria das discussões a preocupação com o crescimento populacional, a urbanização de cidades e com isso a necessidade de planejamento destes novos centros no intuito de prover recursos para melhoria da qualidade de vida, evolução tecnológica e soluções para problemas cotidianos, seja no aumento do consumo de energia, uso de recursos, dentre outros (KUMMITHA, 2019). Segundo Brock (2018) até 2050 quase 70% da população viverá em áreas urbanas e veem a tecnologia como um instrumento para transformação urbana, com mais eficiência no uso dos recursos, melhoria na qualidade de vida dos cidadãos.

Quanto à aplicação prática da telegestão³ apenas para controle do fluxo luminoso, representantes veem o custo de *hardware*⁴ como a maior barreira para implantação; isto porque a economia real estimada, com os modelos utilizado no mercado, está na ordem dos 30%, e o

³ Sistema constituído de uma controladora com antena RF e GPRS integrada, chip de celular para comunicação com uma central, dispositivo de proteção contra surtos, módulo RF que é incorporado na luminária, além do *software* de gestão.

⁴ O hardware citado se refere apenas a um módulo de rádio frequência, que substitui o relé, fazendo a comunicação da luminária com a unidade controladora.

custo do hardware está em torno de R\$ 400,00 (HDA LED, 2020), custo este que varia de acordo com os materiais e funções incorporadas aos módulos.

Com base nos dados da companhia de eletricidade do Estado da Bahia (COELBA), considerando que a tarifa de iluminação possui um grupo tarifário específico e de tarifa mais baixa do que o subgrupo comercial, com valor de R\$ 0,32246999 (tarifa COELBA subgrupo B4A fevereiro de 2020), considerando uma luminária de 96 W, conforme tabela 5, o retorno de investimento, em termos de *payback* simples, se daria em torno de 125 meses, um tempo muito longo que fica muito próximo à vida útil do equipamento, sendo necessário avaliar com cautela a implantação.

Vale ressaltar que a telegestão pode proporcionar uma vasta gama de aplicações e possibilidades de interatividade com outras funcionalidades que não se limitam ao controle de fluxo luminoso, de forma que os valores agregados por tais possibilidades devem ser analisados num estudo de viabilidade de implantação.

Tabela 5 - Estimativa de retorno de investimento para o controle de fluxo luminoso em luminárias públicas

Potência da luminária (W)	Horas	Dias	Valor (R\$/Kwh) B4A - COELBA	Total (R\$/mês)	Economia (R\$)	Valor do módulo (R\$)	Tempo de retorno (meses)
96	11:28	30	0,32246999	10,65			
67,2	11:28	30	0,32246999	7,45	3,19	400,00	125,20

Fonte: Elaboração própria.

3 SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Os sistemas de iluminação pública têm sua relevância estritamente relacionada com o local e aplicação ao qual se destina e este é um dos critérios utilizados nas normas para determinar os valores de referência dos parâmetros de projeto para cada aplicação. Um requisito luminotécnico para aplicação residencial não pode ser o mesmo para uma aplicação hospitalar ou mesmo para um ambiente públicos, para tanto existem normas que especificam os requisitos para cada tipo de aplicação.

Neste trabalho são elaborados projetos luminotécnicos para vias automotivas, incluindo análise para vias de pedestres, e áreas de prática recreativa de futebol no município de Camaçari com o emprego das tecnologias de lâmpadas de descarga e LED, realizando um comparativo entre as duas tecnologias e os ganhos que podem ser obtidos com a troca. Na seção 3.1 é descrito o *software* utilizado na simulação luminotécnica a suas características. Na seção 3.2 é feita uma abordagem sobre os requisitos específicos para projetos em vias automotivas. Na seção 3.3 é dado foco para projetos de iluminação em espaços para esporte recreativo. Na seção 3.4 são apresentados parâmetros para os estudos de casos realizados.

3.1 SOFTWARE PARA DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS

Os projetos foram desenvolvidos no Dialux, que é o principal *software* de projetos luminotécnicos utilizado em vários países; ele é disponibilizado gratuitamente em 25 idiomas, permite a utilização de arquivos de dados fotométricos de diferentes formatos como a extensão IES que é utilizada pela maioria dos fabricantes. O *software* possui ainda diversas potencialidades como a importação de plantas, uma lista extensa de relatórios, simulações, podendo ser utilizado para áreas internas, externas, iluminação pública, áreas de atividades esportivas, dentre outras funcionalidades (DIAL, 2020). Existem no mercado uma variedade de outros *softwares*, contudo, a maioria apresenta como limitação a restrição ao uso de arquivos de dados fotométricos do próprio fabricante do software, ou o custo para uso.

A extensão IES é um dos formatos existentes de arquivos contendo a informação da fotometria e cada luminária, que é o conjunto de dados sobre a forma como uma luminária distribui sua luz no espaço, possibilitando o cálculo da iluminância, luminância e índices de ofuscamento pelos *softwares*.

Os *softwares* de iluminação em geral utilizam-se do método de cálculo de *ray tracing* ou o método da radiosidade (reflexão especular) para calcular a iluminância e luminância em uma determinada superfície, interna ou externa, podem também utilizar-se de ambos os métodos, como é o caso do Dialux (LANCELLE, 2013).

Reflexão especular é o reflexo espelhado da luz (ou de outros tipos de onda) em uma superfície, no qual a luz de uma única direção de entrada (um raio) é refletida em uma única direção de saída, neste processo são observadas as trocas de energia luminosa entre superfícies consideradas perfeitamente difusas (que distribuem a luz refletida igualmente em todas as direções); o *ray tracing* (traçado de raios) é um algoritmo de computação gráfica usado para síntese (renderização) de imagens tridimensionais.

O método utilizado pelo algoritmo chamado *ray tracing*, baseia-se na simulação do trajeto que os raios de luz percorreriam no mundo real, mas, neste caso, de trás para a frente, analisa o percurso de uma partícula luminosa, seja de sua emissão até sua absorção, seja vice-versa, sendo aplicado com particular êxito na análise dos fenômenos especulares das trocas luminosas. O primeiro pode ser genericamente considerado um método de abordagem ampla, que trata o modelo como um todo, trabalhando a partir da definição de suas propriedades geométricas e físicas; o segundo é um método de abordagem localizada, dependente do ponto de observação do modelo, tendo maiores características de abstração espacial (CLARO, 1998).

A utilização de *softwares* é indispensável para elaboração de projetos de forma rápida e eficiente considerando as ferramentas disponíveis para cálculos que permitem simular as condições reais da instalação com possibilidade de teste de diversas luminárias e fabricantes de forma a obter-se os melhores resultados de iluminância, luminância e ofuscamento considerando, inclusive, o comportamento do sistema ao longo do tempo de operação, considerando neste caso os fatores depreciação e manutenção previstos em normas.

O *software* Dialux será utilizado na simulação de dois tipos de aplicações: projeto de rua, para simulação de luminotécnica em vias automotivas e vias de circulação de pedestres; projeto externo, para a simulação aplicada a campos de futebol com finalidade de prática recreativa.

3.2 ILUMINAÇÃO EM VIAS AUTOMOTIVAS

O estudo luminotécnico é essencial para garantia da eficácia do projeto para especificação dos níveis de iluminação e das potências necessárias para atendimentos aos requisitos normativos e obtenção dos melhores índices de efficientização.

Antes da execução do estudo luminotécnico é necessário realizar a coleta das informações do ambiente e uma análise preliminar sobre quais normativos devem ser aplicados, topologia de distribuição mais adequada, eventuais interferências, requisitos quantitativos e qualitativos para o sistema de iluminação.

Como resultado do levantamento inicial deve-se ser capaz de determinar o tipo de via, as características de fluxo e classificação viária, usando estas definições para seleção do tipo de curva fotométrica mais adequada para via e análise dos fornecedores disponíveis.

O resultado de saída das simulações deve prover o atendimento satisfatório aos índices normativos previstos para o local estudado, em particular a iluminância média e uniformidade adequada, evitando um problema chamado de zebração, que é o sombreamento em áreas não cobertas pelo fluxo luminoso da luminária, resultado geralmente de um afastamento demasiado entre os postes.

Cabe ressaltar que norma ABNT NBR 5101 não apresenta exigências de níveis mínimos de ofuscamento, que é caracterizado como o desconforto provocado pelo ofuscamento das luminárias em uma escala de números que vai de 1 (insuportável) até 9 (imperceptível), embora cite em seus termos e definições.

Para iluminação de vias automotivas os projetos devem atender aos requisitos mínimos normativos previstos na ABNT NBR 5101 adequando o iluminamento da via de forma a proporcionar condições seguras de tráfego a fim de evitar principalmente a ocorrências de acidentes. Os projetos em vias automotivas levam em consideração os tipos de vias e volume de tráfego para determinação do fluxo luminoso conforme ABNT NBR 5101.

Um dos principais aspectos a serem observados nos projetos de iluminação pública em vias de circulação de veículos e pedestres é a classe destas vias, pois elas determinam os requisitos de luminância e uniformidade a qual deverá receber para fins de cálculo luminotécnico.

A norma ABNT NBR 5101 adota a seguinte classificação viária, hoje em consonância com código de trânsito brasileiro (CTB), exemplificados na figura 8:

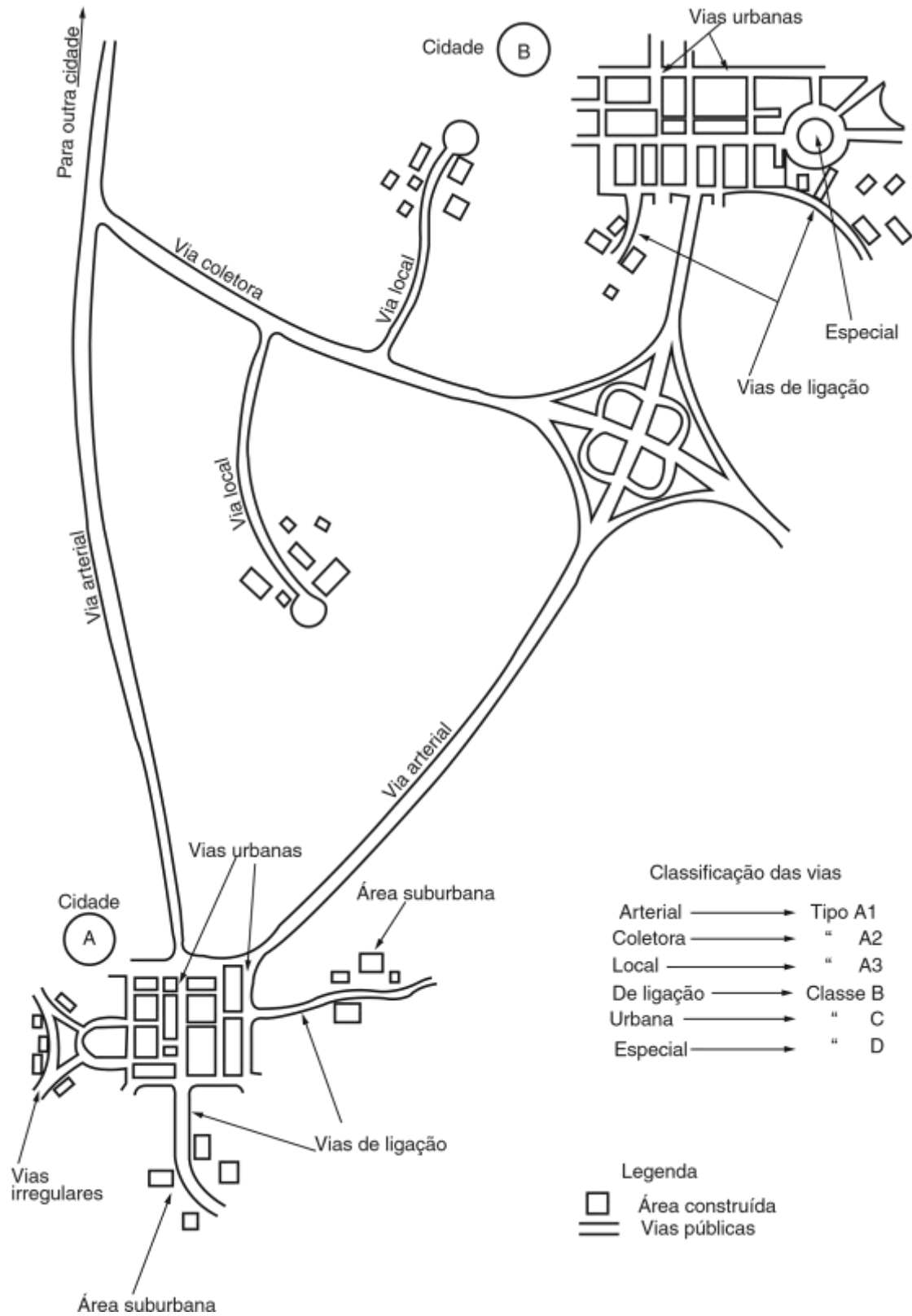
a) Vias urbanas:

- Via de trânsito rápido – Vias com velocidade máxima de 80 km/h;
- Via arterial – vias com velocidade máxima de 60 km/h;
- Via coletora – vias com velocidade máxima de 40 km/h;
- Via local – vias com velocidade máxima de 30 km/h.

b) Vias rurais:

- Rodovias - vias com velocidade máxima que varia de 90 a 110 km/h;
- Estradas - vias com velocidade máxima 60 km/h.

Figura 8 - Classificação viária conforme ABNT NBR 5101



Fonte: ABNT NBR 5101

A classificação viária é um dos fatores principais no estudo econômico para substituição do sistema de iluminação. A partir deste obtém-se a quantidade de vias por classe, V1 a V5, que é o critério utilizado para se realizar uma estimativa da quantidade de luminárias, permitindo realizar uma aproximação do valor necessário do investimento para modernização do sistema, isto porque os requisitos de fluxo luminoso são definidos em função do tipo de via.

A norma ABNT NBR 5101 traz a classificação do volume de tráfego em vias públicas, dividindo os valores de tráfego, tanto para veículos como para pedestres em: sem tráfego, tráfego leve, médio e intenso, conforme apresentado nas tabelas 6 e 7.

Vias com fluxo mais intenso irão requerer níveis de iluminamento maior; esta classificação é utilizada como parâmetro de entrada em *softwares* para definição da classificação da via quanto ao requisito de iluminamento. É utilizada como base para definição do controle de luminosidade de vias a partir da dimerização de luminárias LED, a depender da faixa de horário tem-se a redução do fluxo de veículos e pedestres; desta forma durante estas variações de tráfego de veículos ocorre também a variação da classificação viária podendo assim realiza a variação do fluxo luminoso das luminárias visando a redução no consumo de energia.

Tabela 6 - Classificação quanto ao tráfego motorizado

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

^a Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18 h e 21 h.

^b Valores para velocidades regulamentadas por lei.

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

Fonte: ABNT NBR 5101

Igualmente para o tráfego de pedestres, onde a redução de fluxo de pessoas tende a ocorrer de forma mais brusca do que a de veículos, pode-se aplicar o critério de variação do fluxo luminoso em função do tráfego de pedestres. A tabela 11 mostra a classificação da ABNT NBR 5101 quanto ao tráfego de pedestres.

Tabela 7 - Classificação quanto ao tráfego de pedestres

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

^a O projetista deve levar em conta esta tabela, para fins de elaboração do projeto.

Fonte: ABNT NBR 5101

Definidos os tipos de vias e a classe de tráfego a ABNT NBR 5101 estabelece uma classe de iluminação que varia de V1 a V5 o qual está associada ao volume de tráfego e ao tipo de via, conforme apresentado na tabela 8:

Tabela 8 - Classes de iluminação para cada tipo de via

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

Fonte: ABNT NBR 5101

A norma ABNT NBR 5101 estabelece uma escala de classe de iluminação que varia de V1 a V5 para veículos, contendo os requisitos de luminância e uniformidade que deverão ser seguidos nos estudos luminotécnicos, conforme indicados na tabela 9.

Tabela 9 - Requisitos de luminância e uniformidade

Classe de iluminação	<i>L med</i>	<i>U O</i> ≥	<i>U L</i> ≤	<i>TI</i> (%)	<i>SR</i>
V1*	2	0,4	0,7	10	0,5
V2*	1,5	0,4	0,7	10	0,5
V3*	1	0,4	0,7	10	0,5
V4	0,75	0,4	0,6	15	–
V5	0,5	0,4	0,6	15	–

L med: luminância média;

U O: uniformidade global;

U L: uniformidade longitudinal;

TI: incremento linear.

SR: razão das áreas adjacentes à via

NOTA 1: Os critérios de *TI* e *SR* são orientativos assim como as classe V4 e V5.

NOTA 2: Os critérios de *TI* e *SR* são orientativos, assim como as classe V4 e V5.

* Para as classes V1, V2 e V3 deve-se atender aos requisitos de luminância média, uniformidade global e uniformidade longitudinal.

Fonte: ABNT NBR 5101

Além da correlação da luminância com a classe da via, a norma ABNT NBR 5101 apresenta a tabela 10 que relaciona a iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação, sendo estes os parâmetros principais buscados na elaboração dos projetos luminotécnicos.

Tabela 10 - Requisitos de luminância e uniformidade

Classe de iluminação	Iluminância média mínima <i>E med, mín (lux)</i>	Fator de uniformidade mínimo <i>U = E mín / E med</i>
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101

De forma análoga é feita para classificação das vias para tráfego de pedestres, mostrada na tabela 11, definindo a classe de iluminação correspondente a cada descrição de via, sendo que desta vez a descrição da via obedece ao critério próprio da norma visto que o CTB não trata de classificação de vias para fluxo de pedestres.

Tabela 11 - Classes de iluminação para cada tipo de via para tráfego de pedestre

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

Fonte: ABNT NBR 5101

Finalmente a tabela 12 que relaciona a iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação em vias de pedestres, como parâmetros principais para a validação da conformidade dos projetos luminotécnicos.

Tabela 12 - Requisitos de luminância e uniformidade para tráfego de pedestres

Classe de iluminação	Iluminância média mínima <i>E med,mín (lux)</i>	Fator de uniformidade mínimo <i>U = E mín/ E med</i>
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: ABNT NBR 5101

Conhecido os parâmetros que determinam a classificação viária os requisitos luminotécnicos para cada tipo de via, estes dados serão utilizados com entrada no software Dialux para simulação do comportamento das luminárias em estudo e comparativo dos resultados.

3.3 ILUMINAÇÃO EM ESPAÇOS PARA ESPORTE RECREATIVO

A iluminação em locais de atividades recreativa como campos e quadras futebol merece uma atenção especial por se tratar de local de grande afluência de pessoas e de relevante interesse social; utilizado como uma ferramenta de suporte no combate à violência para muitos jovens que encontram na atividade esportiva uma opção de fuga à marginalização.

Para estes locais os tempos de atuação dos serviços de manutenção devem ser mais rigorosos a fim de garantir que a indisponibilidade dos sistemas de iluminação ocorra pelo menor período possível. Outro aspecto a ser considerar é o uso de luminárias com grande eficiência energética, ainda que isso signifique um investimento maior no início; isto porque,

por tratar-se de grandes áreas que precisam de boa iluminação, são requeridas luminárias com grande fluxo luminoso.

No caso de Camaçari a maioria dos campos e quadras encontram-se em áreas urbanas em proximidade de residências, de forma que deve existir o cuidado do correto direcionamento do fluxo luminoso dos refletores, evitando o espalhamento para áreas fora dos limites do campo e que a poluição luminosa gere incomodo à vizinhança.

Não existe norma vigente no Brasil que regule a iluminação em áreas esportivas, já que a ABNT NBR 8837 foi cancelada pela ABNT e nenhuma norma substituta foi criada. Os projetos elaborados atualmente recorrem às orientações de normativos internacionais, como a BS EN 12193 - *Light and lighting - Sports lighting*.

A abordagem neste trabalho se limita às unidades com requerimentos de atividade recreativa, classe III, onde deve ser assegurada a qualidade da iluminação atendendo a requisitos mínimos de uniformidade e fluxo luminoso proporcionando o conforto visual para prática esportiva; deve-se atentar também para a restrição do fluxo nos limites da área de atividade evitando a dispersão de fluxo e poluição visual, principalmente porque a maioria destes tipos de campos localiza-se em áreas residenciais. Os requisitos de iluminamento, conforme a EN 12193 são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Requisitos de luminância e uniformidade para campos de futebol

	Classe		
	I	II	III
Iluminância	500	200	75
Uniformidade	0.7	75	0.5
Gr	50	50	55
Ra	60	60	20

Fonte: EN 12.193

Onde:

Gr = Taxa de reflexão

Ra = Índice de reprodução de cor (IRC)

Para os cálculos de estudo em foram tomadas como base os seguintes valores de referência com base na EN 12.193.

- Iluminância média: > 75 (Lux)
- Uniformidade: > 0,5

3.4 PARÂMETROS PARA ESTUDO DE CASO

As investigações apresentadas no presente documento são para duas aplicações distintas: vias automotivas e campos de futebol para prática recreativa, os quais que se distinguem pelo tipo de lâmpada utilizados, luminárias para vias pública no primeiro e refletores no segundo caso, estes dois tipos luminárias se distinguem pela faixa de potência, pelo preço e pela periodicidade de utilização, implicando em diferentes cenários de investimentos.

Para as vias automotivas a análise foi desenvolvida em dois cenários, o primeiro considerando a luminária atualmente instalada com a tecnologia de vapor metálico, um segundo cenário foi realizada a simulação luminotécnica para substituição por lâmpadas LED.

No caso do campo de futebol foi realizada a análise em três cenários; o primeiro considerando a luminária atualmente instalada com a tecnologia de vapor metálico de 400 W; um segundo cenário propondo sua adequação aos padrões normatizados utilizando a tecnologia de vapor metálico com a faixa de potência de 1000 W que é faixa disponível imediatamente superior a 400W; em um terceiro cenário foi realizada a simulação para substituição por lâmpadas LED.

Ainda para o campo de futebol, na análise dos custos de investimento, será analisada o impacto do custo do condutor quanto da troca das tecnologias de lâmpadas, para tanto serão calculados os condutores para cada cenário utilizando os critérios de dimensionamento da capacidade de condução de corrente e da queda de tensão em V/A.km. (Volt/Amper*km).

Os cenários propostos visam verificar a qualidade da iluminação atual sob aspectos técnicos, termos de atendimento aos requisitos normativos, eventual necessidade de adequação e as possibilidades de ganho em eficiência energética; sob aspectos financeiros, em termos dos custos envolvidos para investimento e manutenção de cada tecnologia, e ainda verificação quanto a viabilidade econômica para modernização com o uso da tecnologia LED.

As informações utilizadas nos estudos são de domínio público e foram disponibilizadas pela Secretaria de Serviços Públicos da Prefeitura de Camaçari.

Os estudos luminotécnicos foram elaborados no *software* Dialux que oferece uma extensa lista de relatórios para análise dos resultados das simulações, contudo, para o objetivo deste trabalho serão utilizadas apenas a seguintes informações:

- a) Lista de luminárias: Apresenta as especificações e quantitativos das luminárias utilizadas no estudo;
- b) Lista de coordenadas: Apresenta a localização e direcionamento das Luminárias;
- c) Gráfico dos valores: Mostra a distribuição dos valores de iluminância sobre as superfícies em estudo.

d) Representação de cores: Mostra em escalas de cores para os valores de iluminância encontrados permitindo a visualização da distribuição da iluminância e uniformidade encontrados.

e) Resumo: É a síntese do resultado do estudo mostrando os valores de iluminância e uniformidade encontrados.

O Dialux utiliza como referência os parâmetros da norma europeia EN 13201, de forma que para realizar o estudo em consonância com os parâmetros da norma nacional faz a seleção no Dialux de vias com as características equivalentes das quais se deseja simular.

Para análise de viabilidade são comparados todos os custos e ganhos que a mudança pode proporcionar, são considerados os custos de investimento, o custo de manutenção, o custo de consumo de energia e o ganho com eficiência energética. Estes custos são avaliados num horizonte de 12 anos que é o tempo médio de vida útil do sistema em LED.

Com os dados custos e do retorno energético é avaliada a viabilidade econômico-financeira utilizando por meio de um fluxo de benefícios utilizando os critérios de valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), taxa mínima de atratividade (TMA) e tempo de retorno (*payback*), conforme descritos abaixo (RODRIGUES; ROZENFELD, 2015).

- a) Taxa mínima de atratividade (TMA) - serve como parâmetro para a aceitação ou rejeição de um determinado projeto de investimento, o mínimo a ser alcançado pelo investimento para que ele seja economicamente viável.
- b) Valor Presente Líquido (VPL) - O método do VPL consiste em trazer as entradas e saídas de capital para a data zero do investimento, descontada a taxa de juros (“i”), que é a Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

$$VPL = \left[\frac{FC_1}{(1+i)^1} + \frac{FC_2}{(1+i)^2} + \frac{FC_3}{(1+i)^3} + \frac{FC_4}{(1+i)^4} + \dots + \frac{FC_{1n}}{(1+i)^n} \right] - FC_0 \quad (4)$$

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (5)$$

FC_0 = Fluxo de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento;

FC_j = Fluxo de caixa previsto no projeto para cada intervalo de tempo;

i = Taxa de desconto;

n = Períodos no tempo.

O Valor Presente Líquido de um projeto de investimento possui as seguintes possibilidades de resultado:

Maior do que zero: significa que o investimento é economicamente atrativo, pois o valor presente das entradas de caixa é maior do que o valor presente das saídas de caixa.

Igual a zero: o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas de caixa é igual ao valor presente das saídas de caixa.

Menor do que zero: indica que o investimento não é economicamente atrativo porque o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa.

- c) Taxa interna de retorno (TIR) - Pode ser definida como a taxa de desconto que iguala o valor presente líquido (VPL) de uma oportunidade de investimento a R\$ 0,00 porque o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial. É a taxa composta de retorno anual que a empresa obteria se concretizasse o projeto e recebesse as entradas de caixa previstas.

$$0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (6)$$

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} \quad (7)$$

- d) *Payback*

Por meio da avaliação utilizando o método *payback*, a administração da empresa, com base em seus padrões de tempo para recuperação do investimento, no tempo de vida esperado do ativo, nos riscos associados e em sua posição financeira, decide pela aceitação ou rejeição do projeto. Corresponde ao prazo necessário para que o valor atual dos reembolsos (retorno de capital) se iguale ao desembolso com o investimento efetuado, visando à restituição do capital aplicado. Ou seja, quanto tempo um investimento demora a ser ressarcido. O cálculo do *payback* simples ignora a taxa de desconto, ou seja, o valor do dinheiro no tempo, já o método do *payback* descontado, considera a taxa de juros para realizar o cálculo do período gasto.

Payback simples:

$$Payback = \frac{|FC_{j-}|}{(|FC_{j-}| + |FC_{j+}|)} \times (Ano_+ - Ano_-) + Ano_- \quad (8)$$

FC_{-} Fluxo de caixa acumulado;

Payback descontado:

$$Payback = \frac{|FCCD_{j-}|}{(|FCCD_{j-}| + |FCCD_{j+}|)} \times (Ano_{+} - Ano_{-}) + Ano_{-} \quad (9)$$

$FCCD_{-}$ Fluxo de caixa acumulado descontado;

O *Payback* de um projeto de investimento possui as seguintes possibilidades de resultado:

Período de *payback* < período máximo aceitável de recuperação: aceita o projeto;

Período de *payback* > período máximo aceitável de recuperação: rejeita o projeto;

A forma mais fácil de calculá-lo é simplesmente acumulando as entradas e saídas e determinando o período em que houve a transição de um valor positivo para negativo, ou seja, o momento em que tudo o que foi investido é recuperado. No entanto, este método não considera o valor do dinheiro no tempo, por isso no estudo em questão o *payback* será avaliado em cima do fluxo de caixa descontado do VPL, considerando desta forma o valor do dinheiro no tempo.

Muitas vezes, ainda mais se considerando o setor público, a tomada de decisão da paralização de um determinado investimento não se limita ao retorno econômico, devendo ser avaliados os benefícios que projeto pode trazer à população (Sales, 2012), neste contexto muitas vezes a administração pública se demonstra como pioneira e incentivadora de muitos projetos que a princípio não despertariam o interesse de setores privados. Um exemplo é a aplicação da tecnologia de lâmpadas vapor metálico em substituição as lâmpadas de vapor de sódio em que, apesar das lâmpadas vapor metálico possuírem vida útil e rendimento menores que as de sódio, estas por vez apresentam um IRC muito superior que implica diretamente na qualidade iluminação e conforto visual ofertados ao observador.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesse capítulo apresenta-se os projetos luminotécnicos para vias automotivas e espaços para esporte recreativo com estudo de caso de instalações existentes no município de Camaçari, a fim de atestar a viabilidade técnica da substituição da iluminação convencional por luminárias LED e por fim e apresentada a análise de viabilidade econômica para uma proposta de modernização de todo sistema de iluminação do município.

Na seção 4.1 é realizado o estudo de caso para uma via automotiva, com investigação de dois cenários: o primeiro considerando a iluminação existente dotada de iluminação convencional; e um segundo cenário com o sistema de iluminação LED. O estudo mostra um comparativo dos resultados luminotécnicos para os dois cenários e o ganho de eficiência que pode ser obtido com o uso do LED.

Na seção 4.2 são apresentados três cenários para instalações de iluminação em campos de futebol para prática de atividade com fins recreativos; para o estudo foi selecionado o campo localizado no Bairro de Burisatuba em Camaçari.

O primeiro cenário simula no *software* Dialux os resultados luminotécnicos provenientes do sistema de iluminação existente dotada da tecnologia convencional, com o uso de lâmpadas de descarga; o segundo cenário simula a utilização também com a tecnologia convencional, contudo com vista a propor a adequação aos requisitos normativos; o terceiro cenário de simula a utilização de luminárias LED.

A seção segue com a análise dos resultados obtidos em cada cenário bem como da viabilidade econômica para aplicação do LED utilizando as premissas os custos de investimento, de energia e de manutenção para os dois sistemas e pôr fim a análise econômico-financeira para o investimento proposto.

Os estudos apresentados nas seções 4.1 e 4.2 são duas aplicações distintas, uma para vias públicas em geral, ruas, avenidas e praças; e outra para áreas de esportes recreativos, campos e quadras. A especificação luminotécnica para os dois casos se diferencia pelo tipo de luminária utilizada, para o primeiro caso são utilizados refletores e no segundo luminárias fechadas, com faixas de valores também distintas para os dois grupos, esperando-se um comportamento diferenciado para o retorno do investimento nos dois casos.

Encerrando o capítulo, na seção 4.3 é realizada um estudo que aborda todo o sistema de iluminação pública do município e mais uma vez a viabilidade econômico-financeira é avaliada.

4.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO EM VIAS AUTOMOTIVAS – ESTUDO DE CASO DA RUA MARLIM AZUL

Para aplicação em vias automotivas será tomado como exemplo uma via específica com duas faixas de pista rodagem com 3,5 m cada e uma faixa de faixa de passeio, com os seguintes parâmetros de cálculo:

- a) Via de rodagem: via coletora com volume de tráfego médio;
- b) Passeio: vias de uso noturno moderado.

Conforme tabelas 10 e 12 as classificações de via e tráfego encontradas acima remetem para classificação de iluminação como V4 e P4. Ocorre que o *software* Dialux utiliza em sua base os parâmetros da norma europeia EM 13.201, sendo necessário realizar a seleção de vias com características equivalentes às previstas na norma nacional, onde obtém-se a classificação ME5 para pista e rodagem e S6 para o passeio.

Para especificação acima serão requeridos os seguintes valores de iluminância e uniformidade definidos pelo ABNT NBR 5101 apresentados na tabela 14.

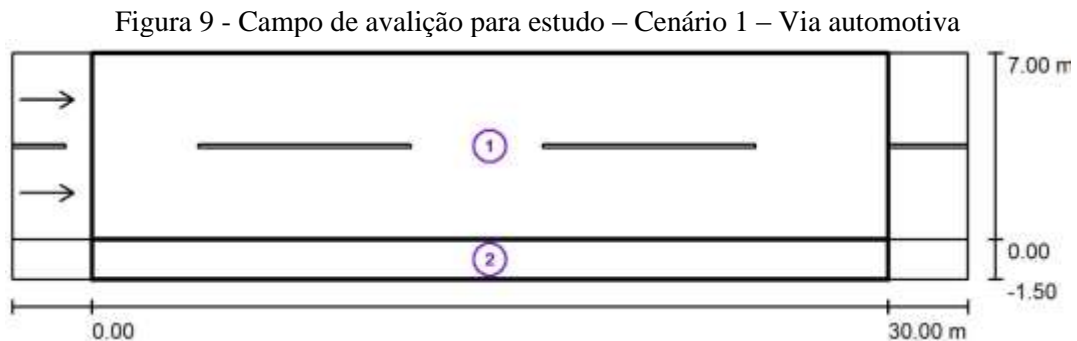
Tabela 14 - Requisitos luminotécnico para a Rua Marlim Azul – Vias de tráfego

Tipo	Classe de iluminação	Iluminância média mínima <i>E med,mín (lux)</i>	Fator de uniformidade mínimo <i>U=E mín/ E med</i>
Vias de tráfego	V4	10	0,2
Vias de pedestre	P4	3	0,2

Fonte: Elaboração própria.

4.1.1 Cenário 1 – Instalações existentes em vapor de metálico

Este cenário considera distribuição existente com lâmpadas vapor metálico de 250 W, numa via com faixas de pista duplas com 3,5 m cada, uma faixa de passeio de 1,5 m e espaçamentos entre postes de 30 m, conforme mostrado na figura 8. O resumo dos resultados luminotécnicos são mostrados nas tabelas 15 e 16.



Fonte: Elaborado no Dialux

Lista de campo de avaliação

- 1 Campo de avaliação Pista de Rodagem
 Comprimento: 30.000 m, Largura: 7.000 m
 Grelha: 10 x 6 Pontos (malha para verificação detalhada)
 Elementos de rua correspondentes: Pista de Rodagem.
 Pavimento: R3, q0: 0.070
 Fator de manutenção: 0.63 (0.9 para manutenção e 0.7 de depreciação)
 Classe de iluminação selecionada: ME5

Tabela 15 - Resultados para simulação – Cenário 1 - Pista de rodagem

	Valor de referência	Valor simulado
Iluminância média	10	20
Uniformidade	0,2	0,125

Fonte: Elaborado no Dialux

- 2 Campo de avaliação Passeio 1 (via para pedestres)
 Comprimento: 30.000 m, Largura: 1.500 m
 Grelha: 10 x 3 Pontos
 Elementos de rua correspondentes: Passeio 1.
 Fator de manutenção: 0.63
 Classe de iluminação selecionada: S6

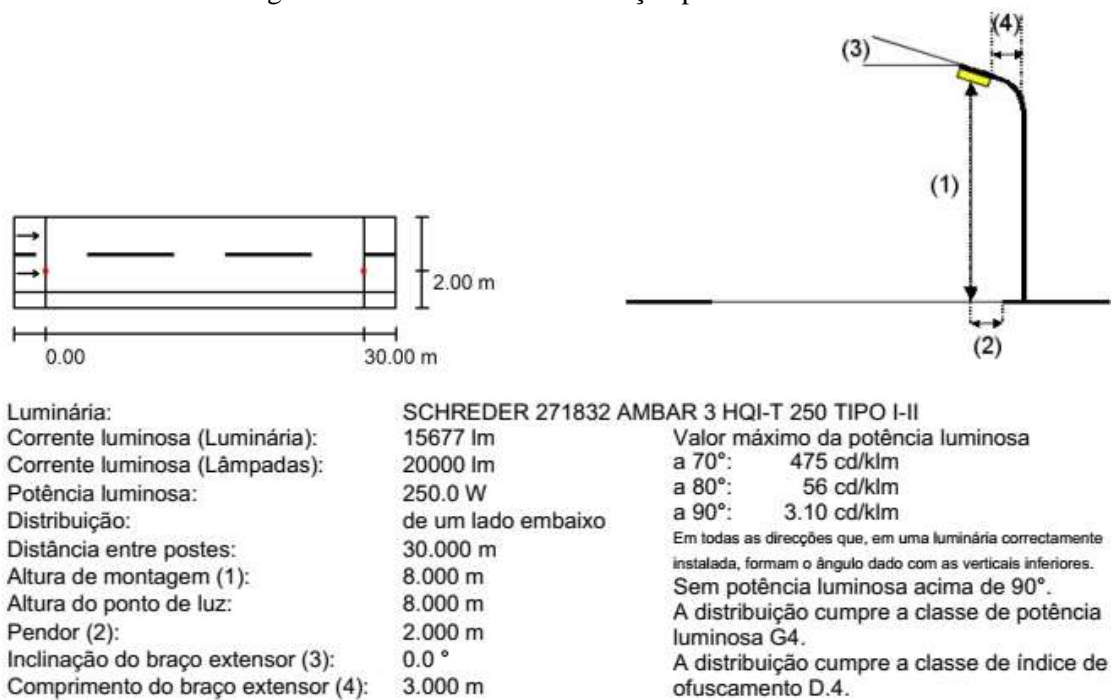
Tabela 16 - Resultados para simulação – Cenário 1 - Passeio

	Valor de referêncnia	Valor simulado
Iuminância média	3	14
Uniformidade	0,2	0,137

Fonte: Elaborado no Dialux

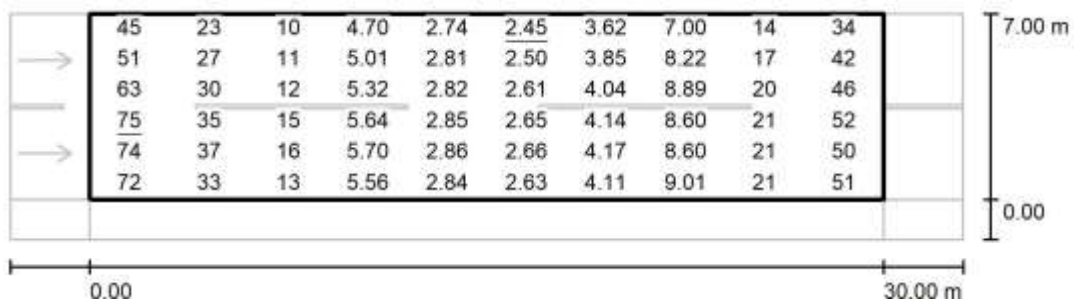
A figura 9 apresenta os dados da luminária e parâmetros utilizados na simulação, já a figura 10 mostra os valores de iluminância distribuídos na via.

Figura 10 - Parâmetros da simulação para o cenário 1



Fonte: Elaborado no Dialux

Figura 11 - Distribuição de iluminância na Via – Cenário 1

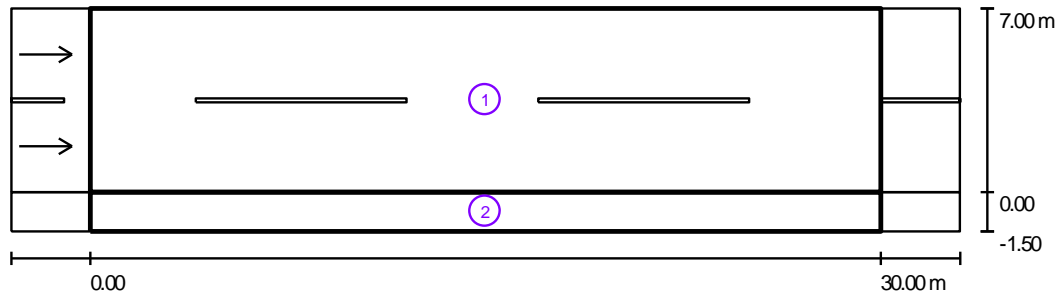


Fonte: Elaborado no Dialux

4.1.2 Cenário 2 – Proposta para substituição por LED

Este cenário considera a mesma via, conforme figura 11, porém com substituindo as lâmpadas existentes de vapor metálico de 250 W para lâmpadas LED 110 W. O resumo dos resultados luminotécnicos são mostrados nas tabelas 17 e 18.

Figura 12 - Campo de avaliação para estudo – Cenário 2 – Via automotiva



Fonte: Elaborado no Dialux

Lista de campo de avaliação

- 1 Campo de avaliação Pista de Rodagem
Comprimento: 30.000 m, Largura: 7.000 m
Grelha: 10 x 6 Pontos (malha para verificação detalhada)
Elementos de rua correspondentes: Pista de Rodagem.
Pavimento: R3, q0: 0.070
Fator de manutenção: 0.63 (0.9 para manutenção e 0.7 de depreciação)
Classe de iluminação selecionada: ME5

Tabela 17 - Resultados para simulação – Cenário 2 - Pista de rodagem

	Valor de referência	Valor simulado
Iluminância média	10	24
Uniformidade	0,2	0,593

Fonte: Elaborado no Dialux

- 2 Campo de avaliação Passeio 1 (via para pedestres)
Comprimento: 30.000 m, Largura: 1.500 m
Grelha: 10 x 3 Pontos
Elementos de rua correspondentes: Passeio 1.
Classe de iluminação selecionada: S6

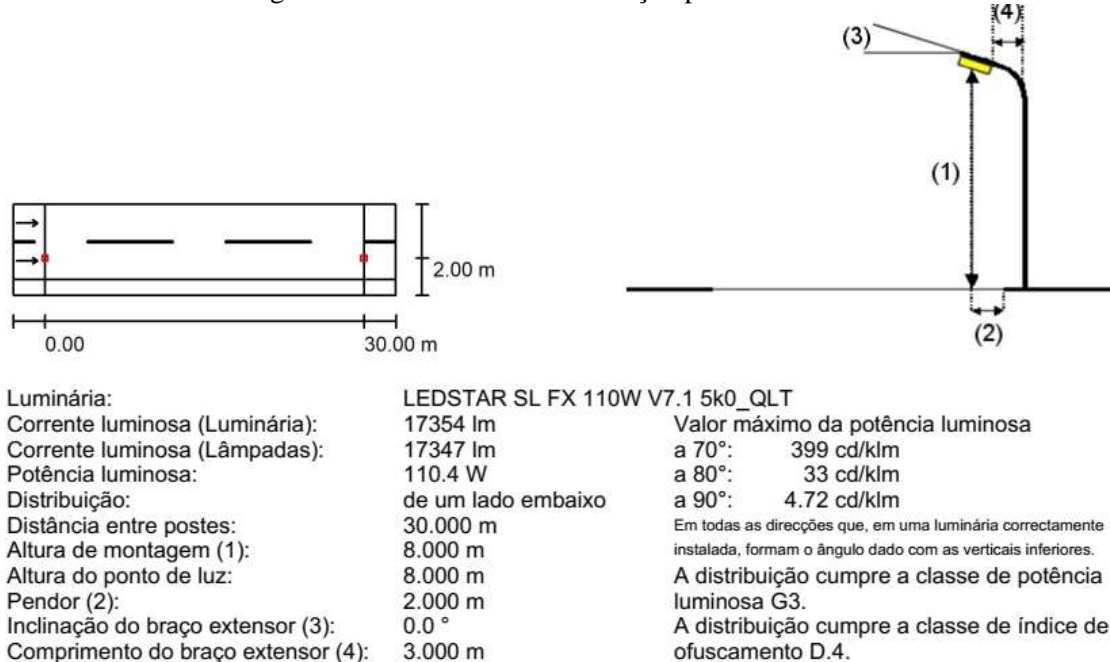
Tabela 18 - Resultados para simulação – Cenário 2 – Passeio

	Valor de referência	Valor simulado
Iluminância média	3	17
Uniformidade	0,2	0,588

Fonte: Elaborado no Dialux

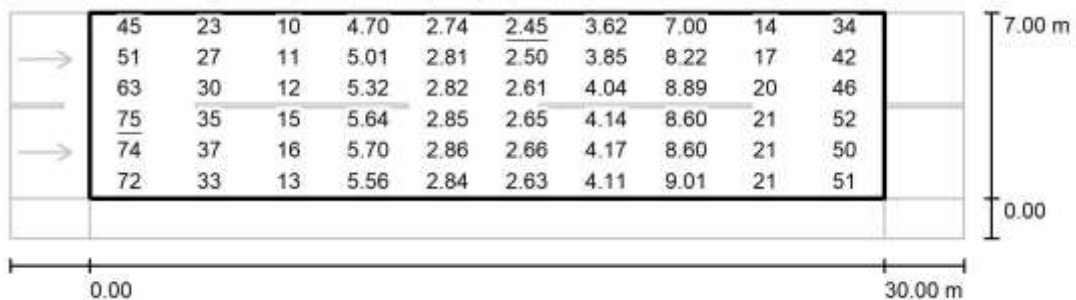
A figura 12 apresenta os dados da luminária e parâmetros utilizados na simulação, já a figura 13 mostra os valores de iluminância distribuídos na via.

Figura 13 - Parâmetros da simulação para o cenário 2



Fonte: Elaborado no Dialux

Figura 14 - Distribuição de iluminância na Via – Cenário 2



Fonte: Elaborado no Dialux

4.1.3 Análise dos cenários

Alguns dos resultados mais importantes das simulações são apresentados na tabela 19, sendo possível realizar algumas observações considerando o enquadramento para uma via V4 com classificação para pedestres P4:

O cenário 1, para pista de rodagem, apresenta valor satisfatório de iluminância acima do limite do referencial normativo que é de 10 lux, apresentado na tabela 10 do capítulo 3. Os valores de uniformidade estão abaixo do referencial normativo sinalizando a necessidade de

melhoria na distribuição de iluminação no local. Para a via de pedestre apresenta igualmente um resultado satisfatório para iluminância e insatisfatório para uniformidade.

O cenário 2, que trata da adequação normativa com o uso de tecnologias LED, apresenta resultados poucos melhores em termos de iluminância, com valores superiores ao referencial normativo e superiores à tecnologia convencional. Diferentemente do cenário 1, apresenta valores satisfatórios de uniformidade para pista e via de pedestre, superiores inclusive ao requisitado pela classificação máxima V1 que seria de 0,4. Apresenta grande redução do consumo de energia com 60,57% de efficientização se comparado a utilização de lâmpadas de vapor metálico, conforme apresentado na tabela 19.

Tabela 19 - Comparativo dos resultados das simulações para rua marlim azul

Cenário	Potência (W)	Consumo Total (W)	Local	Iluminância Em (lux)		Uniformidade para iluminância		Redução de consumo com o uso do LED
				Valor de referência	Valor simulado	Valor de referência	Valor simulado	
1	250	280	pista	10	20	0,2	0.125	-
			passageio	3	18.20	0,2	0.137	
2	110	110,4	pista	10	24	0,2	0.593	60,57%
			passageio	3	17	0,2	0.588	

Fonte: Elaboração própria.

A análise dos resultados do estudo envolvendo as vias automotivas mostram que os valores de iluminâncias médias são satisfatórios para os dois cenários. Já a análise dos resultados de uniformidade mostra deficiências luminotécnicas nos sistemas existentes que ficaram cerca de 60% baixo do valor de referência normativo. O LED atingiu valores quase três vezes maiores que a referência, apresentando uma capacidade melhor prover a dispersão do fluxo luminoso.

Além de demonstrar se uma melhor opção em termos luminotécnicos o LED proporcionou ótimos resultados de efficientização com uma redução de 60,57% no consumo energético.

4.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ILUMINAÇÃO EM ESPAÇOS PARA ESPORTE RECREATIVO – ESTUDO DE CASO DO CAMPO DE BURISATUBA

O município de Camaçari possui 17 campos e quadras de futebol, todos fazendo uso da tecnologia de iluminação em vapor metálico; estas podem ser substituídas por lâmpadas em LED objetivando uma considerável redução do consumo de energia, isto porque além de serem dotados de lâmpadas de alta potências, geralmente 400 W e 1000 W, costumam ficar com os refletores acesos por longos períodos de horas.

Como estudo de caso para um campo de futebol é tomado o campo do futebol do bairro de Burisatuba para avaliar o nível de iluminância e uniformidade em três cenários; o primeiro referente as instalações existentes que utiliza lâmpadas de vapor metálico de 400 W, onde é avaliado o nível atual de atendimento a norma; um segundo cenário propõe a adequação aos requisitos normativos ainda com a utilização de lâmpadas convencionais em lâmpadas de vapor metálico; e um terceiro cenário para adequação com aplicação de refletores de LED.

Analisemos também os custos em comparação a uma instalação em vapor de sódio e uma instalação em LED. O campo em questão possui as seguintes características mostradas na tabela 20.

Tabela 20 - Campo de Burisatuba – Informações de cadastro

Local	Dimensões (m)	Refletores existentes		
		Quant.	Potência (W)	Total (W)
Campo de futebol de Burisatuba	86x58	16	400	6.400

Fonte: Elaboração própria.

4.2.1 Cenário 1 – Instalações existentes em vapor de metálico

Para este cenário foram realizadas algumas simulações até chegar a uma distribuição com 24 refletores de 400 W de vapor metálico, quatro refletores em seis postes. A tabela 21 apresenta os dados do refletor utilizado na simulação, conforme disposição apresentada na figura 15.

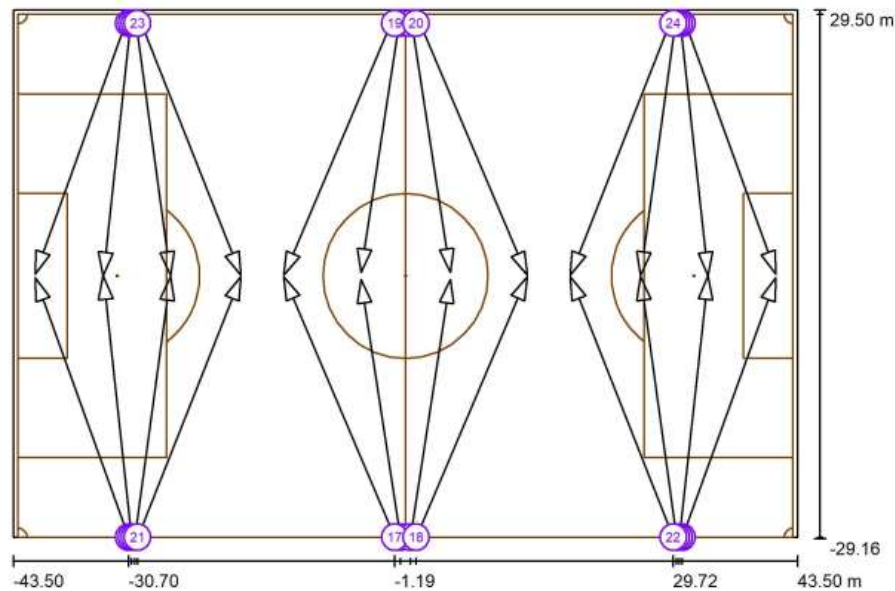
Cabe observar que a tabela 21 apresenta, dentre outras, a informações de fluxo luminoso da lâmpada e de luminária, para efeito de resultado deve ser considerado o fluxo da luminária que já inclui as perdas de provocadas pela óptica do conjunto.

Tabela 21 - Lista de luminária – Cenário 1 – Campos de futebol

Quant.	Descrição
24 Unid.	<p>REPUME ILUMINAÇÃO DI-727MVM400WSIMET. DI-727MVM400W-SIMET. AUTO BRIL</p> <p>Nº do artigo: DI-727MVM400W-SIMET.</p> <p>Corrente luminosa (Luminária): 20803 lm</p> <p>Corrente luminosa (Lâmpadas): 29744 lm</p> <p>Potência luminosa: 400.0 W (Total 9.600 W)</p> <p>Classificação de luminárias conforme CIE: 100</p> <p>Código de Fluxo (CIE): 63 92 99 100 70</p> <p>Lâmpada (s): 1 x OSRAM (Fator de correção 1.000).</p>

Fonte: Elaborado no Dialux

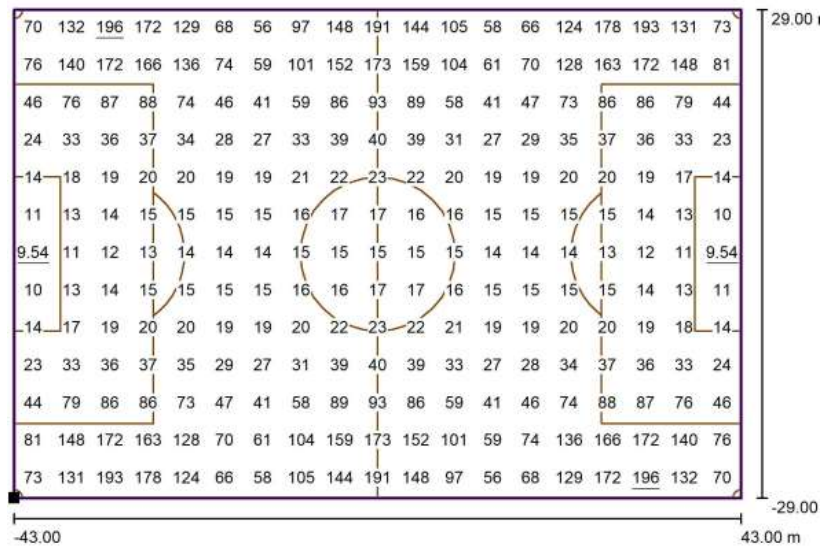
Figura 15 - Lista de coordenada – Cenário 1 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

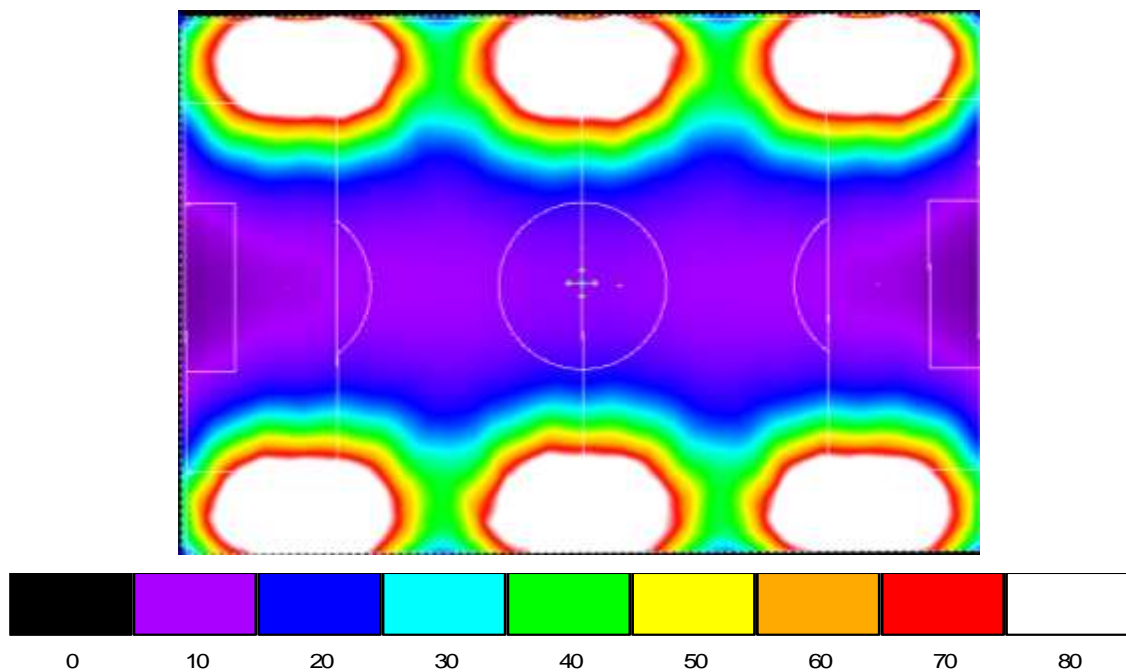
A figura 16 apresenta o gráfico de valores da distribuição do fluxo luminoso em lux, os valores são mais fortes na proximidade das luminárias e decaem enquanto se afastam da fonte de luz. A melhor percepção da distribuição fotométrica pode ser percebida por meio da representação de cores falsas mostradas na figura 17, trata-se da representação do fluxo luminoso em escalas de cores, com uma graduação que varia de 0 a 80 lux, indicadas na legenda logo abaixo da figura 17, onde as zonas mais escuras são representadas pelas cores mais escuras e as zonas mais claras pelas cores mais, contudo, esta configuração de cor não é uma regra e pode ser definida pelo usuário nas configurações do Dialux.

Figura 16 - Gráfico de valores – Cenário 1 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

Figura 17 - Representação de cores falsas – Cenário 1 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

A tabela 22 apresenta o resumo dos resultados luminotécnicos, onde se observa que não são atendidos os requisitos mínimos de iluminância e uniformidade. Cabe ressaltar que a referência de iluminância de 75 lux diz respeito a Norma europeia EN 12.193, os valores conforme a NBR 8837 (cancelada) é de 100 lux.

Tabela 22 - Resumo dos resultados – Cenário 1 – Campos de futebol

	Valor de referência	Valor simulado
Iluminância média (lux)	75	60
Uniformidade	0,5	0,16

Fonte: Elaborado no Dialux

4.2.2 Cenário 2 – Adequação aos requisitos normativos utilizando luminária vapor metálico

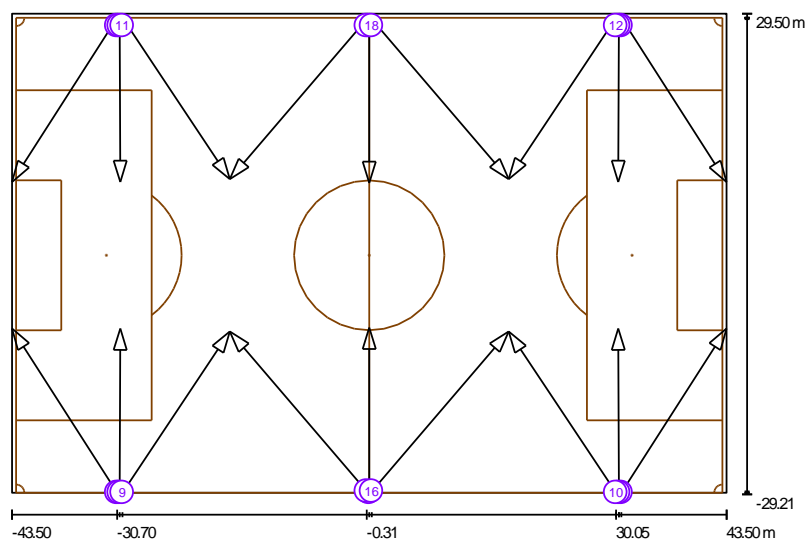
Para este cenário foi utilizada a ainda a tecnologia convencional em vapor metálico com refletores de potência de 1000 W, que é a faixa imediatamente superior à existente de 400 W, a simulação chegou a uma distribuição com 18 refletores, três refletores em seis postes. A tabela 23 apresenta os dados do refletor utilizado na simulação, conforme disposição apresentada na figura 18.

Tabela 23 - Lista de luminária – Cenário 2 – Campos de futebol

Quant.	Descrição
18 Unid.	REPUME REPUXAÇÃO E METALURGICA LTDA DI-300 MVM 1000W N° do artigo: Corrente luminosa (Luminária): 57147 lm Corrente luminosa (Lâmpadas): 85000 lm Potência luminosa: 1000 W (Total 18.000 W) Classificação de luminárias conforme CIE: 100 Código de Fluxo (CIE): 72 96 99 100 67 Lâmpada (s): 1 x MVM 1000W (Fator de correção 1.000).

Fonte: Elaborado no Dialux

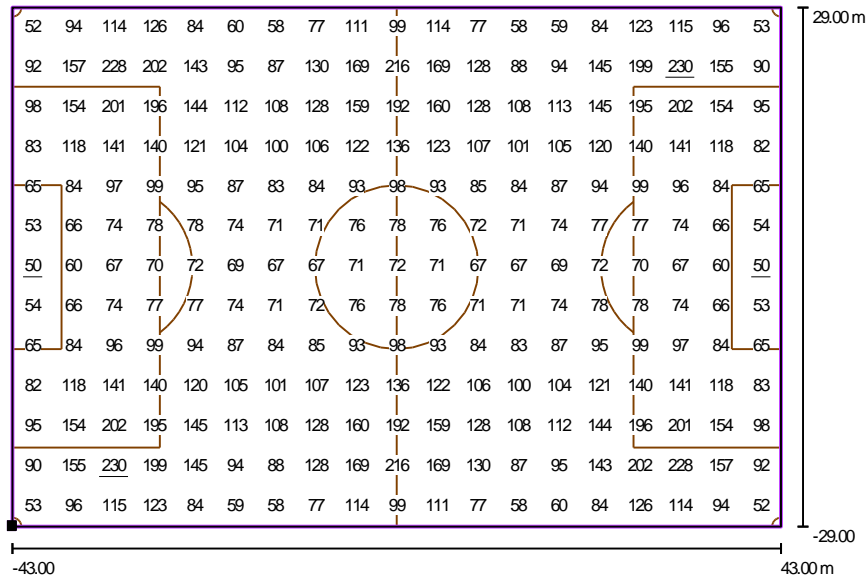
Figura 18 - Lista de coordenada – Cenário 2 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

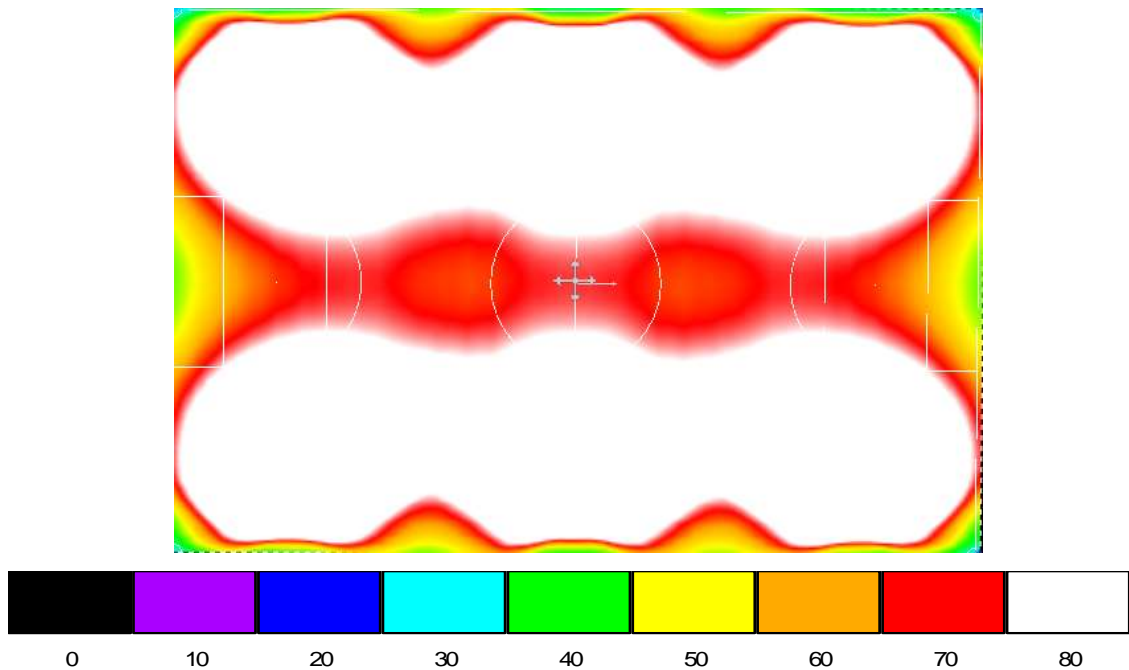
A figura 19 apresenta o gráfico de valores da distribuição do fluxo luminoso em lux e a figura 20 mostra a representação do fluxo luminoso em escalas de cores.

Figura 19 - Gráfico de valores – Cenário 2 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

Figura 20 - Representação de cores falsas – Cenário 2 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

A tabela 24 apresenta o resumo dos resultados luminotécnicos, onde se observa o atendimento do requisito de iluminância e uniformidade um pouco abaixo do valor de referência.

Tabela 24 - Resumo dos resultados – Cenário 2 – Campos de futebol

	Valor de referência	Valor simulado
Iluminância média (lux)	75	106
Uniformidade	0,5	0,47

Fonte: Elaboração própria.

4.2.3 Cenário 3 – Adequação aos requisitos normativos utilizando luminária LED

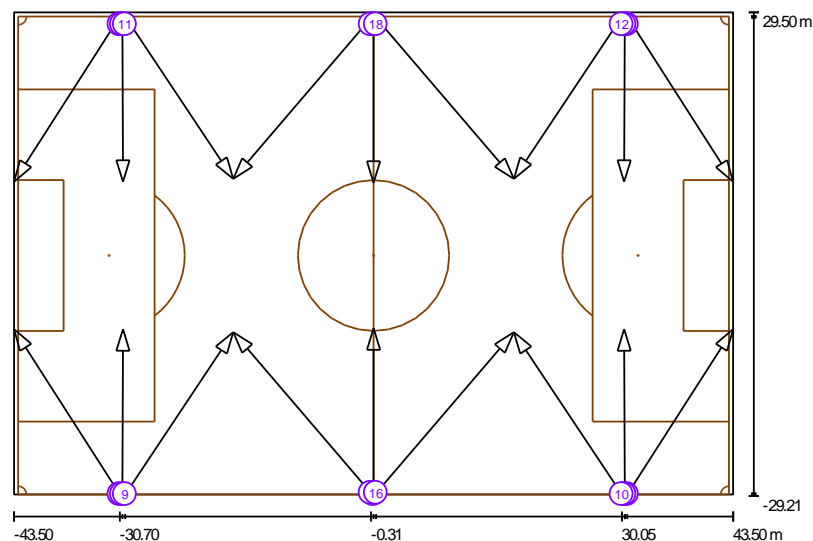
Para este cenário foi utilizada tecnologia de refletores em LED, onde a simulação chegou a uma distribuição com 18 refletores de 300 W, três refletores em seis postes. A tabela 25 apresenta os dados do refletor utilizado na simulação, conforme disposição apresentada na figura 21.

Tabela 25 - Lista de luminária – Cenário 3 – Campos de futebol

Quant.	Descrição
18 Unid.	<p>LEDVANCE Flood HP 300W/5700K 60D N° do artigo: Corrente luminosa (Luminária): 40948 lm Corrente luminosa (Lâmpadas): 40846 lm Potência luminosa: 304.2 W (Total 5.475,6 W) Classificação de luminárias conforme CIE: 100 Código de Fluxo (CIE): 77 97 100 100 100 Lâmpada (s): 1 x LED (Fator de correção 1.000).</p>

Fonte: Elaborado no Dialux

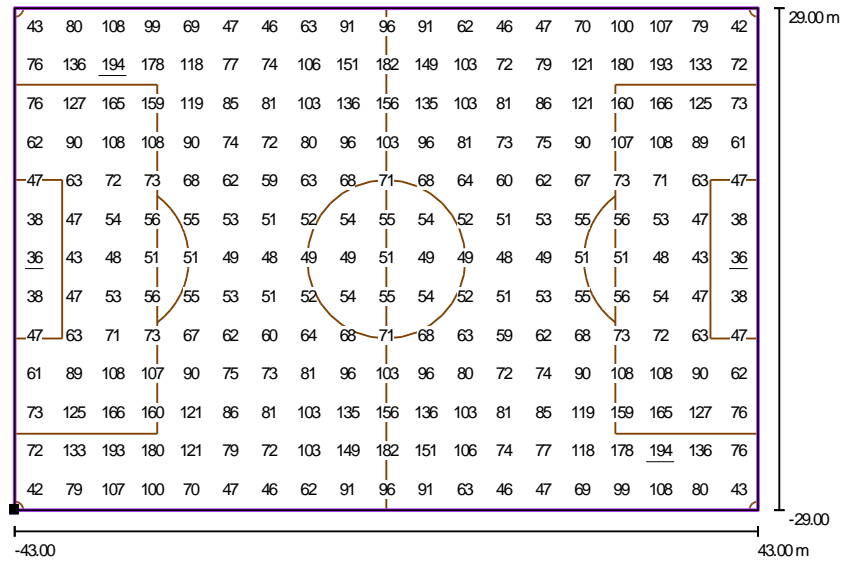
Figura 21 - Lista de coordenada – Cenário 3 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

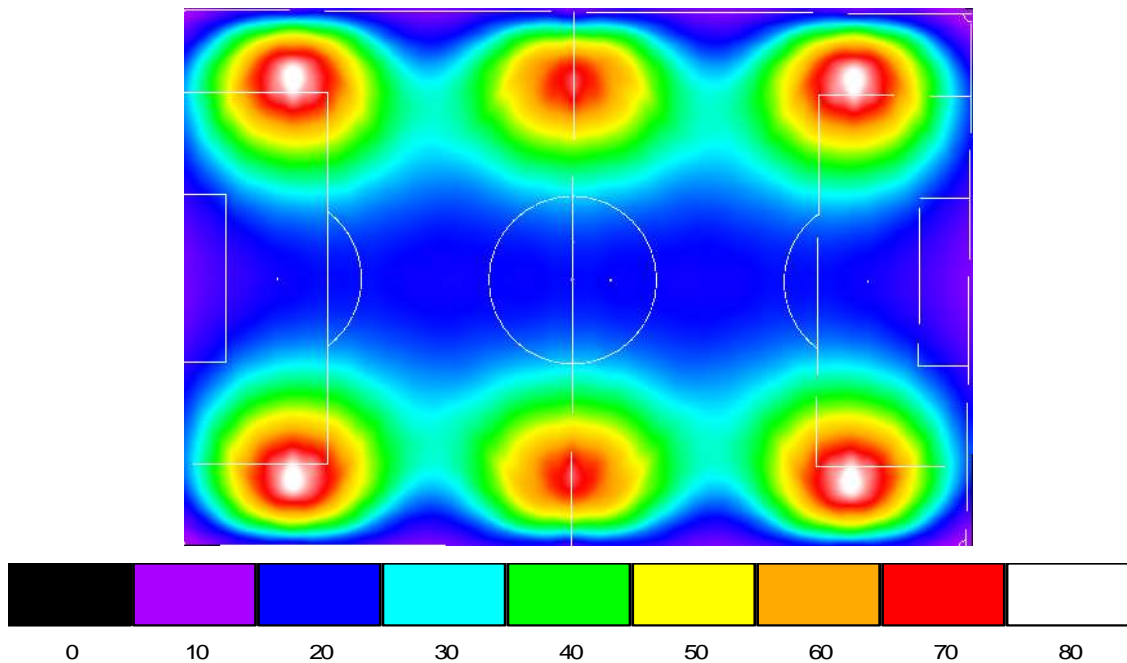
A figura 22 apresenta o gráfico de valores da distribuição do fluxo luminoso em lux e a figura 23 mostra a representação do fluxo luminoso em escalas de cores.

Figura 22 - Gráfico de valores – Cenário 3 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

Figura 23 - Representação de cores falsas – Cenário 3 – Campos de futebol



Fonte: Elaborado no Dialux

A tabela 26 apresenta o resumo dos resultados luminotécnicos, onde se observa o atendimento do requisito de iluminância e uniformidade um pouco abaixo do valor de referência.

Tabela 26 - Resumo dos resultado – Cenário 3 – Campos de futebol

	Valor de referência	Valor simulado
Iluminância média (lux)	75	84
Uniformidade	0,5	0,43

Fonte: Elaborado no Dialux

4.2.4 Análise dos cenários

As simulações apresentam como resumo os seguintes os resultados apresentados na tabela 27 para o qual é possível realizar algumas observações.

Tabela 27 - Resultados das simulações para o campo de Burisatuba

Cenário	Refletores				Redução de consumo com o uso do LED	iluminância média (Lx)	Uniformidade Uo
	Quant.	Potência nominal (W)	Consumo (W)	Consumo total (W)			
1	24	400	440,00	10.560,00	48,15%	60	0,16
2	18	1000	1.070,00	19.260,00	71,57%	106	0,47
3	18	300	304,20	5.475,60	-	84	0,43

Fonte: Elaboração própria.

Nota: A potência de consumo difere da potência nominal pelo acréscimo das perdas dos reatores ou *drivers*.

A análise dos cenários apresentados para o estudo envolvendo campos de futebol mostram a deficiência do sistema existente tanto pelo não atendimento dos requisitos normativos quanto pela oportunidade de melhorias significativas de eficiência energética com uso do LED com ótimos índices de eficiência na ordem de 61,70%.

O cenário 1, que diz respeito as instalações existentes com lâmpadas de vapor metálico 400 W, apresenta os piores resultados de iluminância e uniformidade verificados na simulação luminotécnica, estando fora de parâmetros normativos, além de apresentar um grande consumo luminoso, o que indica a necessidade de revisão do tipo de iluminação utilizado atualmente.

O cenário 2, que se refere a adequação normativa com lâmpada a vapor metálico de 1000 W, apesar de obter valor satisfatório de iluminância e uniformidade se enquadrando nos requisitos normativos, resulta no cenário de maior consumo energético.

O cenário 3, que trata da adequação normativa com o uso de tecnologias LED de 300 W, apresenta o melhor resultado em termos de consumo energético, apresentando também valores satisfatórios para iluminância e uniformidade, e principalmente proporcionando uma grande redução do consumo de energia com 71,57% de efficientização se comparado a utilização de lâmpadas de vapor metálico de 1000 W no cenário 2, e de 48,15% se comparado com o cenário 1.

Observa-se ainda que os valores de uniformidade obtidos tanto no cenário 2 quanto o 3 são superiores ao dobro do cenário 1, evidenciando a deficiência que pode existir num sistema executado sem atenção aos critérios técnicos e normativos.

Quanto aos valores de iluminância observa-se que o valor de 106 lux obtido para as lâmpadas de 1000 W supera e muito o valor de referência de 75 Lux, isto ocorre porque 1000 W é a faixa de potência para lâmpadas convencionais logo acima de 400 W, criando este degrau elevado entre os valores encontrado, isto não ocorre com o LED que possui uma faixa variada de potências que podem ser testadas para verificar a adequação normativa sem excessos.

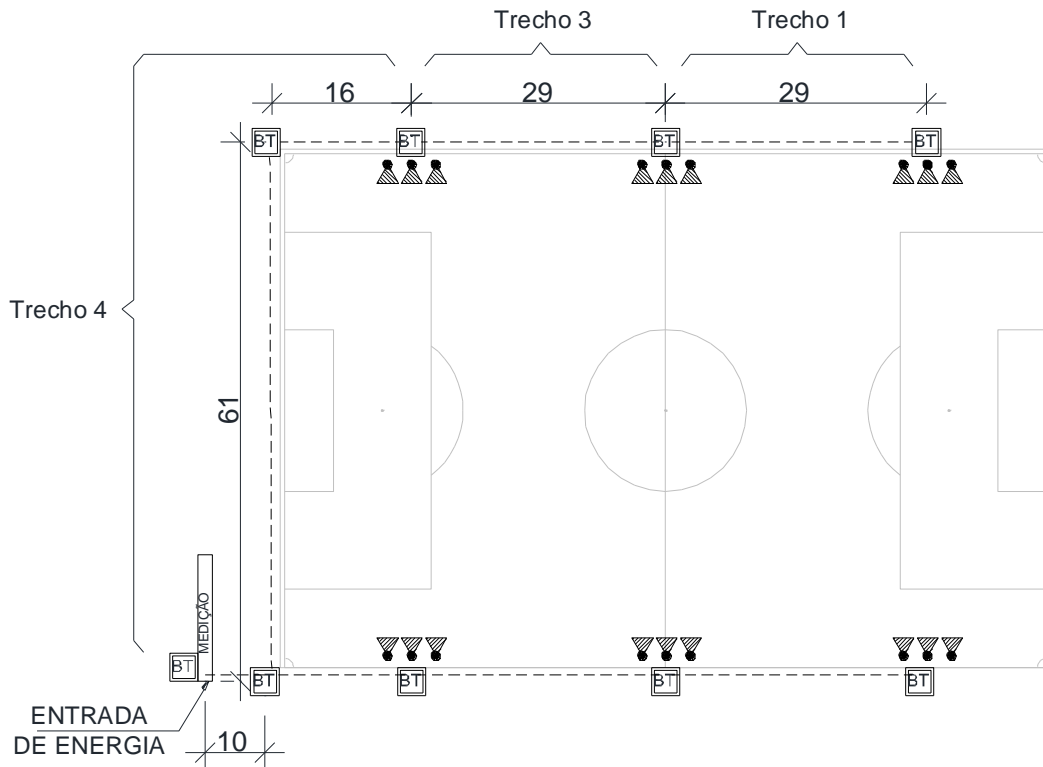
4.2.5 Custo de investimento

Na idealização da execução de um campo de futebol realizado pela maioria dos municípios, procura-se a praticidade de execução utilizando a metodologia convencional que já vem sendo aplicada, não realizando uma análise sobre os benefícios que as trocas por refletores em LED poderiam trazer. Esta praticidade citada está associada a falta da necessidade de realização de estudos luminotécnicos e às pesquisas e especificação de materiais em LED que requerem mão de obra especializada pois existem no mercado uma variedade de materiais com aplicações específicas para cada situação.

Para o exemplo citado faz-se um comparativo entre o investimento para o campo de futebol com o refletor tradicional e com refletores em LED. Neste caso os itens de investimento que sofrem alteração quando da substituição por LED são; os condutores em função da alteração da seção pela capacidade de corrente e queda de tensão e os refletores em função do tipo e potência, conforme apresentado nas tabelas 29 e 30. Ficam excluídos da comparação todos os demais materiais que são comuns às duas topologias tanto em quantidade quanto em especificação, limitando a análise aos custos relacionadas as luminárias e condutores.

Para o cálculo dos condutores, consideremos o arranjo apresentados na figura 24, foram aplicados os critérios da capacidade de corrente e da queda de tensão para dimensionamento da seção dos condutores.

Figura 24 - Distribuição de condutores – Campo de Burisatuba



Fonte: Elaboração própria.

a) Para o cálculo da capacidade de condução de corrente, tem-se;

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos\phi} \quad (10)$$

Onde:

I = Corrente do circuito, monofásico;

V = Tensão monofásica do sistema;

P = Potência ativa das luminárias num mesmo circuito e fase (3 luminárias por fase);

$\cos\phi$ = Fator de potência da lâmpada ou luminária, para qual será atribuído 0,92.

Cenário 1:

$$I = \frac{3 \cdot 1070}{127 \cdot 0,92} = 25,27 \text{ A} \quad (11)$$

Implica, condutor de 6 mm²

Cenário 2:

$$I = \frac{3 \cdot 304,2}{127 \cdot 0,92} = 7,18 \text{ A} \quad (12)$$

Implica, condutor de 1,5 mm²

b) Para o cálculo da queda de tensão, tem-se os dados apresentados na tabela 28;

Tabela 28 - Memória de cálculo de queda de tensão – Campo de Burisatuba

Cenário 2					Cenário 3				
Tensão	127				Tensão	127			
$\Delta V\%$	0,02	2,54			$\Delta V\%$	0,02	2,54		
Fp	0,92				Fp	0,92			
Trecho	Potência (W)	Corrente (I)	Distância (L/1000)	(IxL)	Trecho	Potência (W)	Corrente (I)	Distância (L/1000)	(IxL)
1	535	4,579	0,04	0,18	1	152,1	1,302	0,04	0,05
2	535	4,579	0,011	0,05	2	152,1	1,302	0,011	0,01
3	1070	9,158	0,029	0,27	3	304,2	2,604	0,029	0,08
4	1605	13,737	0,086	1,18	4	456,3	3,905	0,086	0,34
			Soma (IxL)	1,68				Soma (IxL)	0,48
Queda VA/km =	1,51				Queda VA/km =	5,31			
Condutor	#25mm²				Condutor	#10mm²			

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Condutores definidos pela queda de tensão conforme tabela 17 do manual de dimensionamento de baixa tensão prysman, para circuito monofásico com condutor lançado em eletroduto de material não magnético e fator de potência de 0,8 (PRYSMIAN, 2020).

Nota: O trecho 2 se refere a distância do solo ao poste.

Do resultado dos cálculos adota-se o condutor de maior cessação, 25 mm² para o cenário 2 e 10 mm² para o cenário 3, obtendo a as tabelas 29 e 30 com a lista padrão para cada cenário.

Tabela 29 - Custo de investimento cenário 2

Item	Código	Banco	Cenário 2	Uid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)
1	3237	ORSE	Projektor philips ref. HNF003 com lâmpada vapor metálico de 1000 W, inclusive reator externo e ignitor ou similar	un	18,00	1.734,77	31.225,86
2	92984	SINAPI	Cabo de cobre flexível isolado, 25 mm ² , anti-chama 0,6/1,0 kV, para distribuição - fornecimento e instalação. Af_12/2015	M	200,00	15,54	3.108,00
Total							34.333,86

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 30 - Custo de investimento cenário 3

Item	Código	Banco	Cenário 3	Uid.	Quant.	Valor Unit. (R\$)	Valor total (R\$)
1		Cotação	Refletor LED LEDVANCE Flood HP 300W/5700K 60D	un	18,00	3.940,13	82.084,50
2	91933	SINAPI	Cabo de cobre flexível isolado, 10 mm ² , anti-chama 0,6/1,0 kV, para circuitos terminais - fornecimento e instalação. Af_12/2015	M	200,00	9,65	1.930,00
Total							84.014,50

Fonte: Elaboração própria.

O comparativo das tabelas 29 e 30 mostra que a aplicação de LED proporciona uma redução significativa da seção do condutor, resultando da redução do custo em 37,90%; todavia, a utilização do LED resulta num acréscimo de 163% do custo de refletores, tendo como resultado final um aumento no orçamento de 145%, com uma diferença no custo total do investimento inicial de R\$ 49.680,64.

Esta primeira análise nos mostra a influência do custo do condutor no investimento inicial, contudo, além disto, devemos evoluir para uma análise mais aprimorada envolvendo não só os custos dos materiais, mas também os custos com o consumo de energia, os custos com mão de obra e a manutenção, como apresentado na tabela 31.

Tabela 31 - Comparativo dos custos de investimento cenários 2 e 3

Luminária convencional					
Tipo	Custo do condutor (R\$)	Custo unitário (R\$)	Custo 12 anos (R\$)¹	Quantidade (un)	Custo Total (R\$)
VM-1000 W	3.108,00	1734,77	3.123,92	18	59.338,59
Luminária LED					
Tipo	Custo do condutor (R\$)	Custo unitário (R\$)	Custo 12 anos (R\$)	Quantidade (un)	Custo Total (R\$)
LEDVANCE 300 W	1.930,00	3.940,13	3.940,13	18	72.852,34
Diferença de custo (R\$)					13.513,75
Diferença de custo (%)					23%

1 - Inclui mão de obra, luminária, lâmpada, reator, relé e reinvestimento durante 12 anos (3 ciclos de reinvestimento)

Fonte: Elaboração própria.

Segundo Sales (2012) as luminárias tradicionais fechadas têm vida útil de 20 anos, no entanto, estas luminárias devem ser substituídas a cada 12 anos, pois após esse tempo seu rendimento cai abaixo de 70% do fluxo luminoso inicial, valor mínimo aceitável para rendimento das luminárias públicas. Para as luminárias LED é utilizado o mesmo valor de 12 anos que é um valor praticado no mercado.

4.2.6 Custo de energia

Para análise dos custos de energia está sendo considerado o período total de 12 anos considerando as 18 luminárias com um consumo médio de 7 horas de funcionamento diário e 260 dias por ano, isto porquê diferentemente da iluminação de vias os campos não ficam acesas todos os dias e nem durante toda a noite; é considerado ainda a tarifa de 0,32246999 R\$/kWh referente ao grupo de B4a (iluminação pública), com os seguintes resultados apresentados na

tabela 32, que mostra os tipos de lâmpadas em análise, a quantidade de cada uma, o cálculo do consumo estimado para o consumo de energia para o período de um ano e o custo total para o período de 12 anos que e horizonte de estudo.

Tabela 32 - Comparativo dos custos de energia cenários 2 e 3

Luminária	Potência (W)	Quantidade (un)	Consumo E.E. (kWh/Ano)	Custo E.E ano (R\$)	Custo E.E 12 anos (R\$)
VM-1000 W	1070	18	35.053	11.303,61	135.643,26
LEDVANCE 300 W	304,2	18	9.966	3.213,60	38.563,25
Economia anual em 12 anos (R\$)					97.080,01
Economia em percentual (%)					71,57%

Fonte: Elaboração própria.

A proposta da utilização de refletores de LED em substituição à tecnologia convencional em lâmpada de descarga apresenta um excelente resultado de eficiência energética no valor de 71,57% que resulta numa economia significativa do gasto com o consumo de energia.

Para ter uma ideia do quanto isto representa, em 2017 o consumo total com os campos do município de Camaçari foi de 353.753,00 kWh, com custo de R\$ 171.038,74, aplicando o percentual de eficiência encontrado de 71,57% ter-se-ia uma redução na ordem de R\$ 122.412,46 para o mesmo período.

4.2.7 Custos de manutenção

O valor de manutenção por ponto luminoso em Camaçari está na ordem de R\$ 8,89, o valor do custo para manutenção do LED está na ordem de 70% do custo de luminárias tradicionais (NOVAES, 2017), para sistema em análise chega-se aos valores apresentados na tabela 33 onde são mostrados os custos de manutenção do sistema existente com as lâmpadas de vapor metálico de 1000 W e o custo estimado para o sistema em LED.

Tabela 33 - Comparativo dos custos de manutenção cenários 2 e 3

Luminária	Preço por ponto (R\$)	Quantidade (un)	Custo com Manutenção ao ano (R\$)	Custo com Manutenção 12 anos (R\$)
VM-1000 W	8,89	18	1.920,24	23.042,88
LEDVANCE 300 W	6,22	18	1.344,17	16.130,02
Economia em 12 anos (R\$)				6.912,86
Economia em percentual (%)				30,00%

Fonte: Elaboração própria.

O custo em reais por ponto luminoso é definido através de uma planilha de composição que leva em consideração os custos de mão de obra, custos operacionais, despesas

administrativas e um custo para troca dos materiais do sistema, este valor por ponto irá remunerar toda manutenção (CAMAÇARI, 2020).

O resumo dos custos totais é apresentado na tabela 34 onde é possível verificar uma redução percentual de 41,5% quando utilizado o LED.

Tabela 34 - Custos totais de investimento e manutenção dos cenários 2 e 3

Luminária	Custo com investimento (R\$)	Custo E.E. 12 anos (R\$)	Custo com Manutenção 12 anos (R\$)	Custo Total (R\$)
VM-1000 W	59.338,59	135.643,26	23.042,88	218.025
LEDVANCE 300 W	72.852,34	38.563	16.130,02	127.546
Diferença nos custos (12 anos)	13.514	97.080	6.913	
Diferença nos custos (1 ano)		8.090,00	576,07	
Diferença percentual (%)				41,50%

Fonte: Elaboração própria.

A economia gerada pela proposta de utilização do LED é a diferença entre os custos de investimento das propostas em análise o qual será utilizada como valor de desconto no fluxo de caixa da análise de viabilidade do investimento.

4.2.8 Análise econômico-financeira

Para análise quanto à viabilidade econômico-financeira serão utilizados os métodos de análise de investimentos do VPL, da TIR e do *Payback*.

Para o valor presente líquido (VPL) tomamos como valor de investimento inicial o valor já calculado de R\$ 13.513,75 que é o valor da diferença do custo de investimento para as duas tecnologias estudadas, é o custo pela opção da adoção de uma nova tecnologia.

Para fins de cálculo do VPL será utilizada a taxa mínima de atratividade de 8%, conforme prevê o manual para elaboração do programa de eficiência energética da Aneel, essa taxa tem por base o Plano Nacional de Energia (PNE, 2030), taxa de desconto aplicada na avaliação das alternativas de expansão (ANEEL, 2008).

De posse dos valores de VPL e TMA será construído um fluxo de caixa a fim de calcular a taxa interna de retorno (TIR) para que esta possa ser compara com a taxa mínima de atratividade (TMA). Este quadro de fluxo de benefício indicará também o *payback* que é o ano em que o investimento começa a dar retorno.

Para os valores do fluxo de caixa descontado, tomemos os valores referentes a economia total de manutenção e energia para 1 ano, conforme apresentado na tabela 35. Para o sistema em questão tem-se uma economia anual de R\$ 8.666,07 (oito mil, seiscentos e sessenta e seis reais) resultante do somatório da economia de energia e manutenção.

Tabela 35 – Indicação da economia total com a modernização

Descrição	Economia Anual	Economia Anual (%)
Economia com energia (R\$)	8.090,00	93,35%
Economia com manutenção (R\$)	576,07	6,65%
Economia anual total (R\$)	8.666,07	-

Fonte: Elaboração própria.

De posse destes valores é possível implementar a análise de VPL e TIR mostrada na tabela 36 que demonstra a viabilidade do investimento com retorno a partir do segundo ano.

Tabela 36 – VPL e TIR para estudo de caso do campo de Burisatuba.

Investimento inicial efetivo (R\$)	-13.513,75	
Tempo (Ano)	Fluxo de caixa (Mil R\$)	VPL (Mil R\$)
1	8.666,07	-5.489,61
2	8.666,07	1.940,15
3	8.666,07	8.819,56
4	8.666,07	15.189,38
5	8.666,07	21.087,37
6	8.666,07	26.548,46
7	8.666,07	31.605,03
8	8.666,07	36.287,04
9	8.666,07	40.622,23
10	8.666,07	44.636,30
11	8.666,07	48.353,03
12	8.666,07	51.794,45
TMA (% a.a)	8%	
TIR	128%	

Fonte: Elaboração própria.

A análise econômico-financeira dos estudos para os campos de futebol com retorno já a partir do segundo ano de implantação com uma elevada TIR de 128% considerando uma TMA de 8% demonstrando a atratividade e viabilidade para o investimento, uma vez que o retorno financeiro ocorre logo no segundo ano após o investimento, em tempo bem inferior a vida útil das luminárias.

Ver-se então que a aplicação do LED inicialmente se demonstra mais onerosa, mas que os resultados de eficiência acabam por remunerar o investimento por proporcionar ganhos futuros, isto porque o investimento inicial é uma aplicação pontual no início do projeto, já os retornos com a efficientização se prologam por toda vida útil do material.

4.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CAMAÇARI

A seguir é apresentado um estudo para proposta de modernização do sistema de iluminação pública do município de Camaçari com a substituição das lâmpadas de descarga por lâmpadas LED.

O anexo 1 deste trabalho apresenta a composição do sistema de iluminação pública do município de Camaçari, ano base 2019, com a indicação dos tipos lâmpadas, potências e quantidades, cujo resumo dos pontos por faixa de potência é apresentado na tabela 37.

Tabela 37 - Quantidade de pontos de iluminação do município de Camaçari por faixa de potência

Faixa de Potência	Quantidade	%
1000	391	0,93%
400	4.595	10,87%
250	7.129	16,87%
150	8.520	20,16%
70	19.930	47,15%
Outras	1.701	4,02%
Total de Pontos	42.266	100,00%

Fonte: Elaboração própria com dados da SESP Camaçari.

Sobre as lâmpadas mostrada na tabela 37, as de 1000 W presentes no sistema de iluminação do município de Camaçari não são de aplicação usual para vias ou praças, representado em sua maioria aplicações para campos de futebol ou para iluminação de grandes áreas abertas onde não existe rede de IP. Refletores são utilizados nestes locais para compensar a ausência da rede e prover a iluminação em grandes distâncias.

Os outros tipos de lâmpadas como mistas, fluorescentes, dicróicas, halógenas e incandescentes são lâmpadas que em sua maioria são antigas e ainda não sofreram atualização ou estão cumprindo um papel de iluminação de uma área específica que reque este tipo de aplicação.

Por tais motivos estas classes de lâmpadas ficarão fora da simulação, sendo que tal exclusão não gera prejuízo à análise pois, conforme tabela 38, estas representam menos de 5% do sistema.

Tabela 38 - Resumo de pontos do município por faixa de potência de 70 à 400 W

Faixa de Potência	Quantidade	%
70 à 400W	40.174	95,05%
outras	2.092	4,95%
Total de Pontos	42.266	

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez que o sistema de IP de Camaçari é essencialmente composto por lâmpadas na faixa de potência de 70 a 400 W, representando 95% de todos os pontos de iluminação, o estudo ora apresentado ficará restrito para estas faixas de potência cujo quantitativo é apresentado na tabela 39. A tabela 39 mostra que quase metade dos pontos do município é formado por lâmpadas de baixa potência (70 W), enquanto as lâmpadas de maior potência (400 W) são a minoria, conhecer estes percentuais é importante para análise da modelagem financeira do projeto de modernização do sistema pois o valor das luminárias varia conforme a faixa de potência, de forma que um que um sistema composto essencialmente por lâmpadas de baixa potência irá requerer um investimento menor para modernização, por outro lado esta concentração de lâmpadas de baixa potência pode indicar também um menor potencial de eficiência energética.

Tabela 39 - Quantitativo de pontos no município de Camaçari para faixa de potência de 70 à 400 W

Potência (W)	Quantidade (un)	%
400	4.595	11,44%
250	7.129	17,75%
150	8.520	21,21%
70	19.930	49,61%
Total de Pontos	40.174	

Fonte: Elaboração própria.

A modernização do sistema de iluminação de determinado local por LED precede da elaboração de estudo luminotécnico específico para cada via em questão e escolha da luminária a ser substituída.

O estudo para a modernização do sistema de iluminação pública de Camaçari será realizado tomando como referência as luminárias utilizadas em estudo realizado pela Prefeitura Municipal de Salvador no pregão SEMGE n° 036/2019 para fins de utilização da referência de preço, tais estudos estão conforme a prática adotada no mercado. Neste trabalho as luminárias foram simuladas no Dialux considerando as configurações de vias típicas para atendimento das classes de iluminação V1 à V4 e P1 à P4 podendo ser replicado para qualquer município uma vez que a norma de referência é mesma ABNT NBR 5101.

O estudo realizado, elaborado por meio do Dialux, teve como resultado a definição de faixas de fluxo luminoso de luminárias LED equivalentes às faixas de potência de lâmpadas de descarga tradicionais 70, 150, 250 e 400 W. Cabe ressaltar que a equivalência é verificada por meio de atendimento aos requisitos normativo de iluminância e uniformidade estabelecidos na ABNT NBR 5101 e não por faixa de potência.

Primeiramente foi realizado um estudo no Dialux para definição dos fluxos luminosos mínimos para atendimento à norma, após realização do certame as luminárias ofertadas pela empresa ganhadora passaram por um novo estudo para validação dos resultados luminotécnicos.

A tabela 40 mostra as faixas de potência das lâmpadas convencionais, o fluxo luminoso de cada uma destas faixas, qual seria o fluxo luminoso mínimo para validação no processo licitatório, a potência das lâmpadas e o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas selecionadas no processo.

Tabela 40 - Comparativo entre o requisitado e o ofertado no certame

Potência (W)	Fluxo luminoso das lâmpadas Existentes (lm)	Fluxo luminoso requerido para da lâmpada LED equivalente (lm)	Potência LED equivalente ganhadora (W)	Fluxo luminoso da Lampada LED equivalente ganhadora (lm)
400	43.200	20.020	134,7	21.069
250	25.200	14.980	110,4	17.354
150	13.500	7.980	73,8	11.075
70	6.000	5.040	36	5.153

Fonte: Elaboração própria.

- 1) Fluxo das lâmpadas de descargas referente a lâmpadas Philips SON-T
- 2) Valor mínimo requerido conforme simulação no Dialux.

Da tabela 40 pode-se observar que a equivalência de luminárias LED com as de lâmpadas de descarga não é obtida por meio do comparativo de faixas de potência nem mesmo pelo fluxo luminoso e sim pela garantia do atendimento aos requisitos normativos para via obtido por meio do estudo luminotécnico, isto é, uma via que utiliza uma lâmpada de 400 W que tenha fluxo luminoso de 43.200 lúmens pode ser substituída por uma LED de 135 W com fluxo 21.069 lúmens, uma vez que a opção em LED atende os requisitos de iluminância e uniformidade requeridos para via onde hoje está instalada uma luminária de lâmpada de descarga de 400 W, conforme estudos luminotécnicos que foram parte integrante do pregão SEMGE nº 036/2019.

Observa-se ainda que a potências das lâmpadas LED equivalente estão na ordem de 50% do valor das lâmpadas de descarga existentes.

Para validação das luminárias estas foram simuladas no Dialux para fins de verificação do atendimento os requisitos da ABT NBR 5101. A tabela 41 mostra a potência da luminária e seu respectivo fluxo luminoso de acordo com cada tipo de via, indicando também quais características foram utilizadas na simulação com a largura e espaçamento entre os postes.

Tabela 41 – Tipos de vias abrangidas pelo estudo

Potência nominal da luminária	Fluxo luminoso (lm)	Tipo de via	Largura da via (m)	Espaçamento entre postes (m)
36	5.153	V5	4	25
36	5.153	V4	4	25
72	11.075	V4	6	30
72	11.075	V3	7	30
110	17.354	V2	8	30
135	21.069	V1	11	30
135	21.069	V2	11	24

Fonte: Elaboração própria.

Acerca deste resultado observa-se que foram abrangidos os cinco tipos de classificação viária, V1 a V5, bem como as larguras de vias e distanciamento médio padrões entre postes.

Decorrida a explicação sobre a escolha das luminárias, a investigação segue com a análise econômico financeira para a modernização do sistema de modo análogo ao realizado para o campo de Burisatuba.

4.3.1 Custo de investimento

Os valores de investimentos estimados são apresentados na tabela 42 onde incluem em sua composição unitária os custos com mão de obra, luminária, lâmpada, reator, relé e reinvestimento durante 12 anos.

Tabela 42 - Comparativo dos custos de investimento para o sistema de IP

Luminária tradicional					
Potência (W)	Custo unitário (R\$)	Custo 12 anos (R\$)¹	Quantidade (un)	Custo (R\$)	Custo Total (R\$)
85	R\$ 388,85	687,89	19.930	13.709.647,70	30.399.541,65
173	R\$ 429,22	733,70	8.520	6.251.124,00	
280	R\$ 493,07	830,25	7.129	5.918.852,25	
440	R\$ 623,66	983,66	4.595	4.519.917,70	
Luminária LED					
Potência (W)	Custo unitário (R\$)	Custo 12 anos (R\$)¹	Quantidade (un)	Custo (R\$ x 1000)	Custo Total (R\$ x 1000)
36	R\$ 405,00	405,00	19.930	8.071.650,00	20.702.720,00
73,8	R\$ 488,00	488,00	8.520	4.157.760,00	
110,4	R\$ 700,00	700,00	7.129	4.990.300,00	
134,7	R\$ 758,00	758,00	4.595	3.483.010,00	
Diferença de custo (mil R\$)					-9.696.821,65
Diferença de custo (%)					-32%
1 - Inclui mão de obra, luminária, lâmpada, reator, relé e reinvestimento durante 12 anos					

Fonte: Elaboração própria.

A tabela 42 mostra que, embora o custo unitário inicial do LED ainda se apresente maior do que o das luminárias convencionais, ao longo dos anos o custo total do investimento do LED é menor, isto porque o LED possui uma vida útil superior ao sistema convencional com lâmpadas de descarga e não requer reinvestimentos para substituição de componentes.

Em termos financeiros, por apresentar valor final menor o LED já se apresenta como a solução mais vantajosa para instalação de novos pontos de iluminação pública.

Da tabela 42 tem-se o valor total de R\$ 20.702.720,00 (vinte milhões e setecentos e dois mil setecentos e vinte reais) que seriam necessários para modernização de todo sistema de iluminação do município de Camaçari.

4.3.2 Custo de energia

A tabela 43 mostra um comparativo para o custo com o consumo de energia considerando todo o sistema de iluminação pública do município de Camaçari. Nesta são apresentadas as potências das luminárias existentes no município com tecnologia convencional

em lâmpadas de descarga bem como as faixas de potências para as luminárias LED que são propostas como substitutas e que foram validadas no estudo luminotécnico. É apresentado para cada luminária o cálculo da estimativa de consumo ao longo de um ano, o custo de energia por um ano e para 12 anos que é o horizonte de análise.

Para análise dos custos de energia está sendo considerado o período total de 12 anos, que é período de vida útil para luminária LED (HDA, 2020), considerando as 40.174 luminárias com um consumo médio de 11h28min (Res. 2590 ANEEL) de funcionamento diário por 12 meses com a tarifa de 0,32246999 R\$/kWh referente ao grupo de B4a (Iluminação pública), com os seguintes resultados apresentados na tabela 43.

Tabela 43 - Comparativo dos custos de energia para o sistema de IP

Luminária	Potência (W)	Quantidade (un)	Consumo E.E. (kWh/Ano)	Consumo E.E. (kWh/Ano)	Custo E.E ano (R\$)	Custo E.E 12 anos (R\$)
Tradicional	85	19.930	7.090.164	30.075.512	9.698.450,17	116.381.402,04
	173	8.520	6.169.014			
	280	7.129	8.354.428			
	440	4.595	8.461.907			
LED	36	19.930	3.002.893	11.519.059	3.714.550,83	44.574.609,98
	73,8	8.520	2.631.637			
	110,4	7.129	3.294.031			
	134,7	4.595	2.590.497			
Economia anual em 12 anos R\$)						71.806.792,06
Economia em percentual (%)						61,70%

Fonte: Elaboração própria.

O percentual de eficiência energética encontrado é de 61,70% que é equivalente ao referencial encontrado em diversos estudos de casos realizados em vários países conforme verificado na pesquisa bibliográfica. Salienta-se que existe ainda a possibilidade da implementação de telegestão que pode proporcionar índices maiores de eficiência energética.

Para ter uma ideia da economia que pode ser proporcionada, em 2018 o custo total com o consumo de energia do sistema de IP foi de R\$ 8.852.734,47 (oito milhões e oitocentos e cinquenta e dois mil setecentos e trinta e quatro reais e quarenta e sete centavos) aplicando o percentual de eficiência encontrado de 61,70% ter-se-ia uma redução na ordem de R\$ 5.462.137,17 (cinco milhões e quatrocentos e sessenta e dois mil cento e trinta e sete reais e dezessete centavos) para o mesmo período.

4.3.3 Custos de manutenção

Os custos estimados com manutenção estão apresentados na tabela 44, obtida multiplicando-se o valor do custo unitário de manutenção por ponto de iluminação pela quantidade de pontos existentes no município.

Tabela 44 - Comparativo dos custos estimados de manutenção para o sistema de IP

Luminária	Custo Unit. de manutenção por ponto	Quantidade (un)	Custo com Manutenção ano (R\$)	Custo com Manutenção 12 anos (R\$)
VM	8,89	40.174	4.285.762,32	51.429.147,84
LED	6,22	40.174	3.000.033,62	36.000.403,49
Economia anual em 12 anos (R\$)				15.428.744,35
Economia em percentual (%)				30%

Fonte: Elaboração própria.

O resumo dos custos é apresentado na tabela 45 onde é possível verificar uma redução percentual de 49% quando utilizado o LED.

Tabela 45 - Comparativo dos custos totais envolvidos nos cenários 2 e 3

Luminária	Custo com investimento (R\$)	Custo E.E. 12 anos (R\$)	Custo com Manutenção 12 anos (R\$)	Custo Total (R\$)
VM	30.399.541,65	116.381.402,04	51.429.147,84	198.210.091,53
LED	20.702.720,00	44.574.609,98	36.000.403,49	101.277.733,47
Diferença nos custos (12 anos)	-9.696.822	71.806.792,06	15.428.744	
Diferença nos custos (1 ano)		5.983.899,33808	1.285.728,69600	
Diferença percentual (%)				49%

Fonte: Elaboração própria.

A economia gerada pela proposta de utilização do LED é a diferença destes custos que será utilizada como valor de desconto no fluxo de caixa da análise de viabilidade do investimento.

4.3.4 Análise econômico-financeira

Para do cálculo do VPL é tomado como valor de investimento inicial o valor já calculado R\$ 71.806.790,00 setenta e um milhões e oitocentos e seis mil setecentos e noventa e dois reais e seis centavos) e taxa mínima de atratividade de 8%.

Para os valores do fluxo de caixa descontado, são tomados os valores referentes à economia total de manutenção e energia para 1 ano, conforme tabela 46.

Tabela 46 - Indicação da economia total com a modernização

	Economia Anual (R\$)	Economia Anual (%)
Economia com energia (R\$)	5.983.899,33808	82,31%
Economia com manutenção (R\$)	1.285.728,69600	17,69%
Economia anual total (R\$)	7.269.628,03408	-

Fonte: Elaboração própria.

Para o sistema em questão tem-se uma economia anual na ordem de R\$ 7.269.628,03 (sete milhões e duzentos e sessenta e nove mil seiscentos e vinte e oito reais) resultante do somatório das economias de energia e manutenção.

De posse destes valores é possível implementar a análise de VPL e TIR apresentada na tabela 47 que demonstra a viabilidade do investimento com retorno a partir do quarto ano.

Tabela 47 - VPL e TIR para estudo de caso do sistema de IP de Camaçari

Investimento inicial efetivo (R\$)	-20.702.720,00	
Tempo (Ano)	Fluxo de caixa (R\$)	VPL (R\$)
1	7.269.628,03	-13.971.582,93
2	7.269.628,03	-7.739.048,61
3	7.269.628,03	-1.968.183,49
4	7.269.628,03	3.375.210,13
5	7.269.628,03	8.322.796,82
6	7.269.628,03	12.903.895,60
7	7.269.628,03	17.145.653,74
8	7.269.628,03	21.073.207,57
9	7.269.628,03	24.709.831,48
10	7.269.628,03	28.077.075,85
11	7.269.628,03	31.194.894,71
12	7.269.628,03	34.081.764,02
TMA (% a.a)	8,00%	
TIR	33,21%	

Fonte: Elaboração própria.

A análise econômico-financeira para o estudo de modernização do sistema de IP demonstra viabilidade a partir do quarto ano de aplicação com uma TIR de 33,21% comparada a uma TMA de 8%, demonstrando a atratividade e viabilidade para o investimento, uma vez

que o retorno financeiro ocorre logo no quarto ano após o investimento, em tempo inferior a vida útil das luminárias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou como é possível quantificar os ganhos energéticos e econômicos da troca de luminárias que utilizam a tecnologia convencional pelo LED, que agrega muitas vantagens em sua utilização; vida útil bem superior, alto índice de reprodução de cor; elevada eficiência luminosa, possibilidade variação do fluxo luminoso.

Em todos os ambientes investigados houve uma relevante diminuição do consumo de energia elétrica, obtendo-se uma efficientização de 71,57% para o estudo aplicado ao campo de Burisatuba e de 61,70% no estudo para troca de todo o sistema de iluminação do município, colocando o LED como opção mais vantajosa para novas aplicações de iluminação pública tanto em vias automotivas quanto em campos de futebol.

Para o caso de campos de futebol, apesar do LED possuir investimento inicial maior, conforme dados da tabela 31, a vida útil superior implica e menores investimentos de reposição num mesmo intervalo de tempo resultando em ganhos econômicos quando toda a vida útil dos dois sistemas é comparada.

Nas as aplicações em vias automotivas, conforme dados da tabela 42, os valores atuais dos sistemas em LED são muito próximos às das lâmpadas convencionais e, os ganhos provenientes da vida útil bem superior torna o LED com opção mais vantajosa para instalação de novos pontos de iluminação.

Todos cenários analisados foram validados economicamente, demonstrando a viabilidade de implantação, com uma TIR de 128% para o estudo aplicado ao campo de Burisatuba e 33,21% no estudo para troca de todo o sistema de iluminação do município, taxas internas de retorno bem superiores ao valor da taxa mínima de atratividade referenciada de 8%.

No caso do estudo aplicado a campos de futebol, ainda que o valor do refletor LED fosse superior ao uso da tecnologia convencional, o retorno do investimento foi ainda mais significativo do que as aplicações de LED pra vias automotivas, conseguido logo no segundo ano. Tal resultado ocorre mesmo com tempo de uso no ano inferior ao da aplicação em vias automotivas, isto se deve por trata-se luminárias de potências mais elevadas e consequentemente um consumo também maior que proporcionar um custo de economia de energia mais significativo.

Os estudos luminotécnicos desenvolvidos demonstraram deficiências no uso das tecnologias convencionais atualmente aplicadas nos locais estudados, evidenciando a necessidade de melhorias para atendimento aos requisitos mínimos normativos.

O estudo desenvolvido neste trabalho valida a proposta de modernização do sistema de iluminação pública para o município de Camaçari como uma opção capaz de proporcionar ganhos significativos com eficiência energética, corroborar ainda na adequação dos níveis de iluminamento aos requisitos normativos que por consequência impactar diretamente em fatores relacionados à iluminação pública como a redução dos índices de criminalidade, o fomento a práticas de atividades esportivas e estímulo ao uso do espaço público.

Os estudos apresentados neste trabalho mostram a importância da adequação e modernização da iluminação pública como um projeto viável que proporciona redução significativa com os gastos de dinheiro público com iluminação.

Os tempos de retorno de investimento, inferiores a quatro anos, servem para estimular os gestores a realizar investimentos em modernização, visto que tal período é compatível com o período de mandato eletivo, isto porque historicamente gestores são resistentes a realizar qualquer investimento que não apresente retorno dentro de seu mandato eletivo.

REFERÊNCIAS

ABREU, Danilo. Ilumatic S/A. **Especificação técnica e funcionamento controlmatic**. São Paulo, 2018.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação pública – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15129: Luminárias para iluminação pública — Requisitos particulares**. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 8837: Iluminação esportiva**. Rio de Janeiro, 1995.

AGHEMO, C. ; PELLEGRINO, A. ; FISANOTTI, D. ; PICCABLOTTO, G. ; TARAGLIO, R. ; A. Paruzzo ; ROSCIO, G. Environmental and energy performance of public lighting installations: results of a measurement campaign. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING*, 2018. **Proceedings [...]** 2018. DOI 10.1109/EEEIC.2018.8494348.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 2590**. Brasília, 2029.

_____. **Resolução Normativa 414**. Brasília, 2017

_____. **Resolução Normativa 556**. Brasília, 2013

_____. **Manual para elaboração do programa de eficiência energética**. Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14944470/Manual+de+Elabora%C3%A7%C3%A3o+do+PEE+2008.pdf/0dbb7e3c-aa8a-43ef-ae4a-b0899f0077bb>. Acesso em: 5 ago. 2020 às 20h40.

ANTHOPOULOU, Evaggelia; DOULOS, Lambros. The effect of the continuous energy efficient upgrading of LED street lighting technology: the case study of Egnatia Odos. *In: BALKAN JUNIOR CONFERENCE ON LIGHTING*, 2., (Balkan Light Junior). 2019. **Proceedings [...]** IEEE, 2019. p. 1-2. DOI 10.1109_B LJ.2019.8883662.

BECCALI, M.; BONOMOLO, M.; LO BRANO, V.; CIULLA, G.; DI DIO, V.; MASSARB, F.; FAVUZZA, S. Energy saving and user satisfaction for a new advanced public lighting system. **Energy Conversion and Management**, v. 195, p. 943-957, 2019. DOI 10.1016/j.enconman.2019.05.070.

BROCK, Kati; DEN OUDEN, Elke; VAN DER KLAUW, Kees; PODOYNITSYNA, Ksenia; Langerak, Fred. Light the way for smart cities: lessons from Philips Lighting. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 142, p. 194-209, 2019. DOI 10.1016/j.techfore.2018.07.021.

CAMAÇARI. Prefeitura Municipal. **Secretaria de Serviços Públicos**. Dados gerais, 2020.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Lei nº 9.991**. Brasília, 2000.

CARREIRA, P.J.G.; ESTEVES, P.J.C.; DE ALMEIDA, A.T.; SAMORA, C. A. R. Efficient and adaptive LED public lighting integrated in Évora smart grid. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON ELECTRICITY DISTRIBUTION – CIRED, 22., 2013. Proceedings [...] 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6683417/?reload=true>. Acesso em: 4 jun. 2018 às 20h13.*

CEPAM - CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Iluminação Pública -Guia do Gestor.** São Paulo, 2013.

CIOBANU, Ionut ; NICOLAE Golovanov ; GEORGE C. Lazaroiu. Improving energy efficiency for public lighting of pedestrian crossings. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENT (CIEM), 2017. Proceedings [...] 2017. DOI 10.1109/CIEM.2017.8120811*

CLARO, Anderson. **Modelo vetorial esférico para radiação aplicado à iluminação natural.** 179p. 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 1998.

COTRIM, Ademaro A. M. B. **Instalações elétricas.** 5. ed. São Paulo: Person, 2009.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Tipos de lâmpadas.** Disponível em: <https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2F423c114f77e78e81032573f7004b2e92>. Acesso em: 27 jul. 2020 às 17h12.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas.** 16. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DEGRA, Adriano; GOBI, Erlei. Led na iluminação pública: vantagens e desvantagens da aplicação desta tecnologia. **Lume Arquitetura**, v. 63, 2013. Disponível em: https://www.lumearquitectura.com.br/lume/Upload/file/pdf/ed63/Es%20-%20Ilumina%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o%20P%C3%83%C2%BAblica_ed63.pdf. Acesso em: 4 jun. 2019 às 20h13.

DIAL. **Dialux.** Disponível em: <https://www.dial.de/en/dialux/>. Acesso em: 5 jun. 2019 às 17h40.

DOULOS, L.T.; SIOUTIS, I.; KONTAXIS, P.; ZISSIS, G.; FAIDAS, K. A decision support system for assessment of street lighting tenders based on energy performance indicators and environmental criteria: Overview, methodology and case study. **Sustainable Cities and Society**, 2019. DOI 10.1016/j.scs.2019.101759.

EMPALUX. **Informações luminotécnicas.** Disponível em: <http://www.empalux.com.br/index.php?a1=1>. Acesso em: 18 maio 2018 às 22:30h.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020 ano base 2019.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%2020.pdf>. Acesso em: 24 out. 2020 às 23:51.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13201: Road lighting – Part 1 – Selection of lighting classes.** Brussels, Belgium, 2004.

_____. **EN 13201 Part 2 – Performance requirements.** Brussels, Belgium, 2015.

_____. **EN 12193 Part 2 – Light and lighting - Sports lighting.** Brussels, Belgium, 2007.

EXATI. **Telegestao-smart-cities.** Disponível em: <https://exati.com.br/telegestao-smart-cities/>. Acesso em: 30 jan. 2021 às 23:10h.

FONSECA, C. **Sistema de operação remota e supervisão de iluminação pública.** 151p. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências)- EESC.USP, São Paulo, 2013.

GUEDES, André L. A.; ALVARENGA, Jeferson C.; GOULART, Maurício, S. S.; RODRIGUEZ, Martius V. R.; SOARES, Carlos A. P. Smart cities: The main drivers for increasing the intelligence of cities. 2018. **Sustainability**, v.10, n.9, p.3121, 2019. DOI 10.3390/su10093121.

HABIBZADEH, Hadi; QIN, Zhou; SOYATA, Tolga; KANTARCI, Burak. Large-scale distributed dedicated- and non-dedicated smart city sensing systems. 2017 **IEEE Sensors Journal**. DOI 10.1109/JSEN.2017.2725638.

HDA LED. **Informações sobre produtos.** 2020. Disponível em: www.hda.ind.br Acesso em: 30 jan. 2021 as 23h50.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY – IES. **Electrical and photometric measurements of solid-state lighting products – LM-79-08.** Nova York, 2008.

_____. **Measuring lumen maintenance of LED light sources – LM-80-08.** Nova York, 2008.

_____. **Projecting long term lumen maintenance of LED light sources – TM-21-11.** Nova York, 2011.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria n.º 20:** Regulamento técnico da qualidade para luminárias para iluminação pública viária. Brasília, 2017.

ITAIPU BINACIONAL. **Geração - produção anual de energia.** Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao#:~:text=A%20Itaipu%20Binacional%20%C3%A9%201%C3%ADder,88%2C1%25%20no%20Paraguai>. Acesso em: 28 jan. 2021 as 01h20.

ITRON. **Load control solutions.** Disponível em: <https://www.itron.com/-/media/feature/products/documents/brochure/itron-load-control-solutions.pdf> Acesso em: 30 jan. 2021 as 23h50.

KUMMITHA, Rama K. R. Smart cities and entrepreneurship: an agenda for future research. **Technological Forecasting & Social Change**, 2019. DOI 10.1016/j.techfore.2019.119763.

KYUCHUKOV, Teodor. Light pollution borders of lighting design. *In: BALKAN JUNIOR CONFERENCE ON LIGHTING, 2.*, (Balkan Light Junior). 2019. **Proceedings [...]** IEEE, 2019. DOI 10.1109_B LJ.2019.8883614.

LANCELLE, Luis. DIALux evo: evolução?. **Lume Arquitetura**, v. 68, 2013. Disponível em: https://www.lumearquitectura.com.br/lume/Upload/file/pdf/ed_62/ed_62%20-%20Artigo%20DIALux%20Lancelle.pdf Acesso em: 4 jun. 2019 as 19h22.

MALGORZATA, Zalesinska; MALGORZATA, Gorczewska. Comparative study of lighting quality and energy efficiency for various road lighting situations. *In: IEEE LIGHTING CONFERENCE OF THE VISEGRAD COUNTRIES, 4.*, Lumen. 2019. **Proceedings [...]** DOI 10.1109/LUMENV.2016.7745546.

MAMEDE. F. J. **Instalações elétricas industriais**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Iluminação pública municipal programas e políticas públicas orientações para gestores municipais**. 2018. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/72140/229750/Livreto+Ilumina%C3%A7%C3%A3o+P%C3%ABblica_2018_02_19.pdf. Acesso em: 05 maio 2018 às 17h18.

NOVAES, Alex. **Modernização da iluminação pública com tecnologia led e sistema de telegestão**: estudo de caso aplicado à cidade de salvador. 32p. 2017. (Trabalho de Conclusão de Curso)- Área 1, 2017.

PETRITOLI, Enrico; LECCESE, Fabio; PIZZUTI, Stefano; PIERONI, Francesco. Smart lighting as basic building block of smart city: an energy performance comparative case study. **Measurement**, v. 136, p. 466-477, 2019. DOI 10.1016/j.measurement.2018.12.095.

PERKO, Jurica; TOPIC, Danijel; SLJIVAC, Damir. Exploitation of public lighting infrastructural possibilities. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (SST)*. 2016. **Proceedings [...]** 2016. DOI 10.1109_SST.2016.7765632.

PRYSMIAN. **Guia de dimensionamento em baixa tensão**. Disponível em: https://br.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/Guia_Dimensionamento_Baixa_Tensao.pdf Acesso em: 5 jul. 2020 às 22h40.

RODRIGUES, Kênia; ROZENFELD, Henrique. **Análise de viabilidade econômica**. Disponível em: <http://www.portaldeconhecimentos.org.br/index.php/por/Conteudo/Analise-de-Viabilidade-Economica> Acesso em: 28 out. 01h29.

SALVADOR. Prefeitura Municipal. **Pregão eletrônico SEMGE n° 036**. Salvador, 2019.

SALES, Roberto. Luminárias LED na iluminação pública: características técnicas e viabilidade econômica. **O Setor Elétrico**, ed 76, 2012. Disponível em: https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/06/Ed76_fasc_iluminacao_cap5.pdf Acesso em: 5 ju. 2020 às 18h22.

SECRETARIA GERAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto N° 9.470**. Brasília, 2018.

SMARTGREEN. Soluções em telegestão. Disponível em: <http://www.smartgreen.net/categoria/telegestao-solucoes> Acesso em: 31 jan. 2021 às 00h35.

SOHA, C. B.; TAN, J. J.; TSENG, K. J.; WOO, W. L.; TEO, J. W. Ro. Intelligent Street Lighting for Smart Cities. *In: IEEE INNOVATIVE SMART GRID TECHNOLOGIES - ASIA (ISGT ASIA)*. 2018. Singapore. **Proceedings** [...] Singapore, 2018. DOI 10.1109_isgt-asia.2018.8467767.

TRIBUNAL DE CONTAS DO MUNICÍPIO – TCM - BA. **Portal da cidadania – pesquisa de pessoal**. Disponível em: <https://www.tcm.ba.gov.br/portal-da-cidadania/pessoal>. Acesso em: 5 jul. 2020 às 17h34.

UPB - UNIÃO DOS MUNICÍPIOS DA BAHIA. **Dados das prefeituras do Estado da Bahia**. Disponível em: <http://www.upb.org.br/downloads>. Acesso em: 10 jul. 2020 às 19h50.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Savings forecast of solid-state lighting in general illumination applications**. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/ssl/downloads/energy-savings-forecast-solid-state-lighting-general-illumination-applications>. Acesso em: 5 out. 2020 às 21h35.

VALDEZ, M. Travassos; FERREIRA, C. Machado; BARBOSA, F. P. Maciel. Study and lighting design in an electrical engineering programme. *In: EAEEIE ANNUAL CONFERENCE (EAEEIE)*, 27., 2017. **Proceedings** [...] 2017. DOI 10.1109/EAEEIE.2017.8768724

VIANI, F.; POLO, A.; ROBOL, F.; GIAROLA, E.; FERRO, A. Experimental validation of a wireless distributed system for smart public lighting management. *In: IEEE INTERNATIONAL SMART CITIES CONFERENCE (ISC2)*. 2016. **Proceedings** [...]. 2016. DOI 10.1109_ISC2.2016.7580852.

ZUMTOBEL. **The lighting handbook**. 6. ed. Austria: Zumtobel Lighting GmbH, 2018.

ANEXO A - PONTOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE CAMAÇARI

Tipo de lâmpada	Potência	Quantidade	Tipo de lâmpada	Potência	Quantidade
Dicroica	100	52	Vapor de mercúrio	125	13
Dicroica	50	51	Vapor de mercúrio	400	81
Fluorescente	20	134	Vapor de mercúrio	100	2
Fluorescente	15	10	Vapor de mercúrio	80	1
Fluorescente	110	8	Vapor de mercúrio	1000	9
Fluorescente	40	2	Vapor de sódio	70	4966
Fluorescente compacta	23	52	Vapor de sódio	250	903
Fluorescente compacta	85	5	Vapor de sódio	100	63
Fluorescente compacta	36	29	Vapor de sódio	150	1564
Fluorescente compacta	25	14	Vapor de sódio	400	367
Fluorescente compacta	45	71	Vapor de sódio	360	1
Fluorescente compacta	30	32	Vapor metálico	70	14964
Fluorescente compacta	46	42	Vapor metálico	400	4147
Fluorescente compacta	65	5	Vapor metálico	150	6817
Fluorescente compacta	15	77	Vapor metálico	250	6077
Fluorescente compacta	21	1	Vapor metálico	100	226
Fluorescente compacta	20	77	Vapor metálico	1000	382
Fluorescente compacta	55	3	Vapor metálico	125	9
Fluorescente compacta	32	1	Vapor metálico	360	8
Halógena	110	6	Vapor metálico	160	1
Halógena	100	2	Vapor metálico	45	1
Halógena	500	71	Vapor metálico	25	1
Halógena	150	97			
Halógena	300	39			
Incandescente	60	150			
Incandescente	40	66			
Incandescente	150	11			
Incandescente	100	145			
Incandescente	200	1			
Led	72	28			
Led	15	11			
Led	50	20			
Mista	160	123			
Mista	250	95			
Mista	500	47			
Mista	150	2			
Vapor de mercúrio	250	54			
Vapor de mercúrio	150	29			
Total					42.266