

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
ÁREA DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

RUDINEI CESAR BALESTRIN

**ANÁLISE E REFORMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO SITUADA NO
ESTACIONAMENTO DE UM SHOPPING NA CIDADE DE ERECHIM NO NORTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

ERECHIM – RS

2024

RUDINEI CESAR BALESTRIN

**ANÁLISE E REFORMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO SITUADA NO
ESTACIONAMENTO DE UM SHOPPING NA CIDADE DE ERECHIM NO NORTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação
da Universidade Regional Integrada do
Alto Uruguai e das Missões – Câmpus
de Erechim.**

Orientador: Prof. Ms. Sergio Bordignon

ERECHIM – RS

2024

RUDINEI CESAR BALESTRIN

**ANÁLISE E REFORMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO SITUADA NO
ESTACIONAMENTO DE UM SHOPPING NA CIDADE DE ERECHIM NO NORTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação
da Universidade Regional Integrada do
Alto Uruguai e das Missões – Câmpus
de Erechim.**

Erechim, 11 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Ms. Sergio Bordignon
URI Erechim

Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri
URI Erechim

Prof. Esp. Fernando Luís Tartari Peres
URI Erechim

Dedico este trabalho a todos que me forneceram, de alguma forma, paciência, resiliência e foco, a Deus que nunca nos abandona e a minha família. Agradeço a meu orientador por confiar no meu trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida nos foi presenteado neste misterioso universo.

De forma sincera, desejo agradecer à Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Câmpus II de Erechim por disponibilizar seus espaços para o desenvolvimento deste trabalho; à empresa supermercadista que possibilitou o avanço, empenho e o financiamento necessário para que o projeto ganhasse vida diante dos olhos de todos que comparecem no local apresentado e modificado.

Agradeço ao meu pai, Darcy, que nunca deixou de confiar em mim, em suas rezas e súplicas incansáveis a Deus, que sempre me guiou e continuará por esta vida.

A minha esposa e a minha filha que, com apoio emocional e carinho, nunca me abandonaram mesmo nos meus dias mais angustiantes e desafiadores.

Aos meus colegas, amigos de trabalho e faculdade, ao meu orientador Sérgio, e demais professores e colaboradores da universidade.

A compaixão pelos animais está intimamente ligada à bondade de caráter, e quem é cruel com os animais não pode ser um bom homem.

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

Este trabalho propõe, de forma prática, apresentar uma solução de luminescência para um local privado, especificamente o estacionamento de um shopping, que apresenta tecnologia defasada e até obsoleta para os padrões atuais. Como metodologia optou-se, inicialmente pela revisão bibliográfica, abordando projetos propostos por reconhecidos autores que tratam da área de luminotécnica, bem como as normativas vigentes que norteiam e oferecem credibilidade legal ao estudo. Numa segunda etapa foi efetivada a proposta, sendo realizado levantamento *in loco* de todas as variáveis, oriundas e inerentes, que podem alterar e onerar os custos da melhora técnica. Realizou-se medição inicial em lux do local em estudo com base nos pressupostos de medição apresentados na literatura, foi selecionado o método ponto a ponto para esta aferição, a qual foi realizada e comprovada por meios matemáticos. Com base na medição foram simulados novos cenários de luz com algumas marcas e modelos. Após definição da marca efetivou-se a compra e realizaram-se análises financeiras de *payback* e retorno sobre o investimento. Posteriormente à substituição, como resultados, observou-se eficácia do projeto com a medição final evidenciando ganho energético e adequação das normativas. Conclui-se, portanto, que o projeto teve êxito e resultou em melhoria significativa na luminosidade do local oferecendo, inclusive, conforto visual.

Palavras-chave: iluminação; normativa; simulação; retorno financeiro.

ABSTRACT

This work proposes, in a practical way, to present a luminescence solution for a private place, specifically the parking lot of a shopping mall, which presents outdated and even obsolete technology by current standards. As a methodology, it was initially opted for the bibliographic review, addressing projects proposed by recognized authors that deal with the area of lighting, as well as the current regulations that guide and offer legal credibility to the study. In a second stage, the proposal was carried out, and an on-site survey was carried out of all variables, arising and inherent, which can change and burden the costs of technical improvement. An initial measurement in lux of the study site was performed based on the measurement assumptions presented in the literature, and the point-by-point method was selected for this measurement, which was performed and proven by mathematical means. Based on the measurement, new light scenarios were simulated with some brands and models. After defining the brand, the purchase was made and financial analysis of payback and return on investment was carried out. After the replacement, as a result, the effectiveness of the project was observed with the final measurement evidencing energy gain and adequacy of the regulations. It is concluded, therefore, that the project was successful and resulted in a significant improvement in the luminosity of the place, even offering visual comfort.

Keywords: lighting; normative; simulation; financial return.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxo luminoso de uma lâmpada.....	19
Figura 2 – Rendimento luminoso das lâmpadas	20
Figura 3 – Lâmpada incandescente	21
Figura 4 – Lâmpada dicróica	22
Figura 5 – Lâmpada halógena.....	23
Figura 6 – Princípio do funcionamento do led	23
Figura 7 – Camadas e região de depleção	24
Figura 8 – Recombinação radiativa.....	25
Figura 9 – Recombinação não-radiativa.....	25
Figura 10 – Conversão de energia em diferentes fontes de luz branca	26
Figura 11 – Fluxo luminoso relativa em relação ao stress de temperatura	27
Figura 12 – Reatores para lâmpada de descarga	28
Figura 13 – Reator eletrônico	29
Figura 14 – Luminária de uso externo.....	30
Figura 15 – Comparativo de cor das lâmpadas e índice de realismo.....	30
Figura 16 – Curva de distribuição em candelas por 1000 lumens.....	31
Figura 17 – Poste telecônico.....	32
Figura 18 – Alocação de vagas do estacionamento	34
Figura 19 – Disposição dos postes na área externa	35
Figura 20 – Lâmpada halógena de 400 watts tubular	36
Figura 21 – Reator para lâmpada halógena.....	36
Figura 22 – Foto dos postes no local do estacionamento do mercado	37
Figura 23 – Visão noturna do estacionamento	39
Figura 24 – Planta baixa com pontos de lux coletados Lado A.....	41
Figura 25 – Planta baixa com pontos de lux coletados Lado B.....	42
Figura 26 – Simulação de 30 luminárias Conexled 200W	45
Figura 27 – Disposição das luminárias do cenário 1	45
Figura 28 – Simulação de 37 luminárias Conexled 150W	46
Figura 29 – Disposição das luminárias do cenário 2	46
Figura 30 – Simulação de 23 luminárias ESB 200W	47
Figura 31 – Disposição das luminárias do cenário 3.....	47
Figura 32 – Simulação de 30 luminárias HDA 200W	48

Figura 33 – Disposição das luminárias do cenário 4	48
Figura 34 - Simulação de 40 luminárias HDA 150W	49
Figura 35 – Disposição das luminárias do cenário 5	49
Figura 36 – Simulação de 40 luminárias Intral 150W	50
Figura 37 – Disposição das luminárias do cenário 6	50
Figura 38 – Simulação de 40 luminárias Intral 200W	51
Figura 39 – Disposição das luminárias do cenário 7	51
Figura 40 – Simulação de 28 luminárias Ledvance 150W	52
Figura 41 – Disposição das luminárias do cenário 8	52
Figura 42 – Simulação de 23 luminárias Zagonel 250W	53
Figura 43 – Disposição das luminárias do cenário 9	53
Figura 44 – Simulação de 31 luminárias Zagonel 180W	54
Figura 45 – Disposição das Luminárias do cenário 10.....	54
Figura 46 – Distribuição de pontos de aferição	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores medidos no estacionamento em Lux.....	39
Tabela 2 – Valores medidos e calculados.....	42
Tabela 3 – Comparativo de luminárias led.....	43
Tabela 4 – Quantitativo de luminárias sugeridas para projeto luminotécnico.....	44
Tabela 5 – Resumo dos níveis de iluminação total.....	55
Tabela 6 – Valores de consumo versus total de lumens obtidos.....	55
Tabela 7 – Valores de luminárias coletados para compra.....	57
Tabela 8 – Custos totais de implantação.....	58
Tabela 9 – Valores financeiros de redução mensal e anual.....	59
Tabela 10 – Comparativo de custos de manutenção em 15 anos.....	60
Tabela 11 – Comparativo de medição.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

IES – Sociedade de engenharia de iluminação

LED – Diodos emissores de luz

Nm – Nanômetro

PN – Positivo e negativo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Justificativa	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Breve história da lâmpada	17
2.2 Como a luz funciona	17
2.3 Métricas para a luz	18
2.4 Lumens	19
2.5 Eficiência luminosa	20
2.6 Tipos de lâmpadas	21
2.7 Controle térmico em lâmpadas de led	26
2.8 Reatores para lâmpadas	27
2.9 Características de luminosidade	29
2.9.1 Temperatura de cor	29
2.9.2 Ofuscamento	29
2.9.3 Reprodução de cores	30
2.9.4 Curva de distribuição luminosa.....	31
2.10 Postes de iluminação	31
2.11 Trabalhos anteriores na área	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Descrição do local do projeto	34
3.2 Descrição das características de luz do local	35
3.3 Método de aferição e planejamento	38
4 DESENVOLVIMENTO	43
4.1 Simulação com novas luminárias de led	43
4.1.1 Cenário 1 – luminária CLP-LC200(F)	45
4.1.2 Cenário 2 – luminária CLP-CL150(F)	46
4.1.3 Cenário 3 – luminárias LPI200SV-5-CR	47
4.1.4 Cenário 4 – luminárias Lum PUB HDA 200	48
4.1.5 Cenário 5 – luminárias Lum PUB HDA 150.....	49

4.1.6 Cenário 6 – luminárias Helene 04782 150W	50
4.1.7 Cenário 7 – luminárias Helene 04783 200W	51
4.1.8 Cenário 8 – luminárias Arealight Nema3 Pro	52
4.1.9 Cenário 9 – luminárias ZL-7809 80°	53
4.1.10 Cenário 10 – luminárias ZL-5962	54
4.2 Resumos dos valores de consumo e luminância	55
4.2.1 Resultados obtidos	56
4.2.2 Efetivação da compra	57
4.2.3 Retorno sobre o investimento	58
4.2.4 Medições finais do local projetado	61
5 CONCLUSÃO	64
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia evolui de forma significativa e constante em diversas áreas do conhecimento, entretanto uma das áreas de maior impacto é a de engenharia elétrica, pois em tal área tudo que depende de elétrons em movimento é influenciado de maneira contrastante até mesmo alterado de forma latente.

O presente trabalho busca apresentar um cenário localizado no estacionamento de um shopping na cidade de Erechim-RS que possui uma deficiência luminosa, devido à utilização de lâmpadas halógenas, ultrapassadas tecnologicamente, ou seja, anacrônicas em termos energéticos, o que gera altos custos de manutenção, baixa eficiência e luminosidade insuficiente aos padrões normativos. (ABNT, 2013).

O trabalho foi embasado em livros e dissertações sobre a área, em sua revisão bibliográfica aborda-se o princípio da lâmpada e as várias tentativas até então frustradas de implementá-la no decorrer da história. Apresentam-se as métricas necessárias para oferecer uma possível solução, bem como tecnologias atuais e até mesmo as defasadas pelo transcorrer do tempo. Apresenta-se, ainda, a evolução das lâmpadas através da tecnologia LED, que são descritas como diodos emissores de luz. (RODRIGUES, 2019).

Com o desenvolvimento do estudo é possível entender novos cenários de caráter luminoso oferecendo uma solução viável e de fácil implementação técnica, com o mínimo de investimento necessário. Tais estratégias de engenharia são possíveis devido à capacidade de implementar o conhecimento das áreas luminotécnicas, áreas de potência, e também um breve desenvolvimento pertinente aos custos, no que tange à matemática que é fundamental para o escrutínio deste trabalho.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo é analisar e redimensionar, de forma otimizada, a luminância de um estacionamento em um estabelecimento comercial, visando sugerir alterações nas instalações elétricas existentes, buscando eficiência energética por meio de um projeto luminotécnico previsto em simulação via software. Sendo que será buscado o melhor custo-benefício, entre consumo elétrico e eficiência energética mantendo o cenário de luminescência dentro das normativas vigentes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar levantamento bibliográfico sobre o assunto abordado;
- Abordar autores que foram precursores no assunto;
- Avaliar a instalação atual e sua iluminação;
- Aferir os índices de iluminação atuais;
- Verificar os equipamentos de compõem o cenário atual do estacionamento;
- Apresentar novas luminárias para o projeto;
- Simular novos cenários com base nas normativas vigentes;
- Analisar os resultados obtidos, e sua possível eficácia;
- Realizar a compra dos produtos apresentados;
- Providenciar a troca e comparação com cenário atual.

1.2 Justificativa

No contexto empresarial a redução de custos é fundamental, entretanto permanecer dentro das normas também se faz necessário, portanto, é possível aliar as duas prerrogativas para este projeto.

Os custos com energia elétrica no Brasil são muito elevados, pois são compostos por bandeiras tarifárias, encargos, perdas, custos de transmissão. (Sobreira, 2017). Para que uma empresa seja competitiva é necessário que possua despesa menor que receita, sendo crucial implementar meios que reduzam o

consumo e permitam cenários mais competitivos, proporcionando a saúde financeira da organização.

Com o avanço tecnológico na área de iluminação a troca de equipamentos obsoletos por inovações pré-testadas e elaboradas é de suma importância, pois possibilita competitividade mediante redução de desperdícios e aumento da eficiência oferecida por sistemas de iluminação aprimorados e modernos.

Outro fator que pode impactar de forma negativa para a empresa ocorre pelo descarte incorreto de lâmpadas com teor de poluição ambiental, acarretando lixo poluente ao ecossistema, ocasionando despesas desnecessárias que podem ser evitadas de forma profilática.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Breve história da lâmpada

Uma das figuras mais icônicas na trajetória da tecnológica humana em particular, historicamente, foi Thomas Edison, nascido em 11 de fevereiro de 1847, em Ohio, nos Estados Unidos da América, sendo o sétimo e último filho de Samuel e Nancy Edison. Sua família viveu em um período marcado por guerras que ocasionaram mortes no seio da família. Em sua trajetória sempre enfrentou inúmeras dificuldades. A primeira lâmpada em si não foi criada por Edison, a lâmpada incandescente já havia sido concebida por inventores como Humphry Davy e Janes Bowman Lindsay, porém elas eram inúteis e com falhas. Edison sabia que precisava corrigir os erros de seus antecessores, a única forma seria com uma lâmpada que fosse econômica e barata de ser produzida, e que sua vida útil fosse mais perene. (KALLI, 2019).

A voltagem deveria ser de 110 volts e seu bulbo deveria ter uma extrema resistência. Dentre suas inúmeras tentativas de criar um filamento viável alguns metais foram utilizados como carbono e platina, em novembro de 1879 Thomas Edison e pesquisadores de sua empresa Electric Light Compay, obtiveram a primeira experiência positiva ao deixar uma lâmpada acesa queimando por treze horas e meia. Edison continuou aprimorando seu design, solicitando a patente em 1880. A mais avançada lâmpada utilizava um filamento de bambu que durava cerca de 1000 horas, ideia esta que obteve ao pescar com varas de bambu, um barco da empresa Villard foi a bancada de testes para seu novo experimento. Já em 1882, a iluminação elétrica se expandia pelo mundo todo, como possuía conhecimento em telégrafos utilizou como forma de mídia para espalhar a boa nova ao mundo. (DELLA LUCIA, 2014).

2.2 Como a luz funciona

A área do conhecimento contemporâneo que se dedica a estudar a luz é a física quântica. A luz é considerada uma partícula subatômica que, apesar de oculta, molda e dá traços ao mundo em que se vive, englobando da mesma forma que a

química pode ser aplicada, tudo que é matéria física ao nosso redor. (MARTINS; ROSA, 2014).

Na física quântica, também chamada de mecânica quântica, é possível aferir as grandezas do mundo microscópico, algumas grandezas fazem parte de um conjunto maior, ou seja, elementar, quando é possível quantificar a variável dá-se o nome de quantum.

O físico teórico Albert Einstein conferiu, em 1905, que a radiação eletromagnética é quantizada e recebe o nome de fóton, apesar de ser de difícil compreensão, esta dualidade paradoxal compõe o mundo quântico se manifestando hora em onda, hora em partícula. Alguns materiais possuem a capacidade de absorver a luz, outros de refletir, suas partículas compreendem assim que a luz se manifesta em termos práticos como partícula e como onda de probabilidade, sendo que no tempo pode ser detectada num ponto em um pequeno volume. A forma como a luz se manifesta ainda divide a opinião de alguns físicos devido à complexidade de sua natureza dualizada. (MARTINS; ROSA, 2014).

De acordo com Freitas (2009), a luz é uma fonte de radiação que através das suas ondas eletromagnéticas em diferentes comprimentos traz a sensação de luz na retina dos olhos, para que seja possível as ondas devem ficar entre 760nm a 10.000nm. As cores violeta e azul possuem um menor comprimento de onda gerando assim uma melhor intensidade de sensação luminosa.

2.3 Métricas para a luz

A iluminância é o limite da razão de um fluxo luminoso, que incide sobre uma superfície, em um ponto a ser considerado, quando esta tende a zero. Outra forma de descrever a iluminância é o seu nível de iluminamento, este é descrito como lux, que corresponde ao fluxo luminoso que incide sobre determinada unidade de área. (DELLA LUCIA, 2014).

A equação 1 descreve como deve ser calculado o coeficiente luminoso lux em uma área:

$$V = \frac{F}{S(Lux)} \quad (1)$$

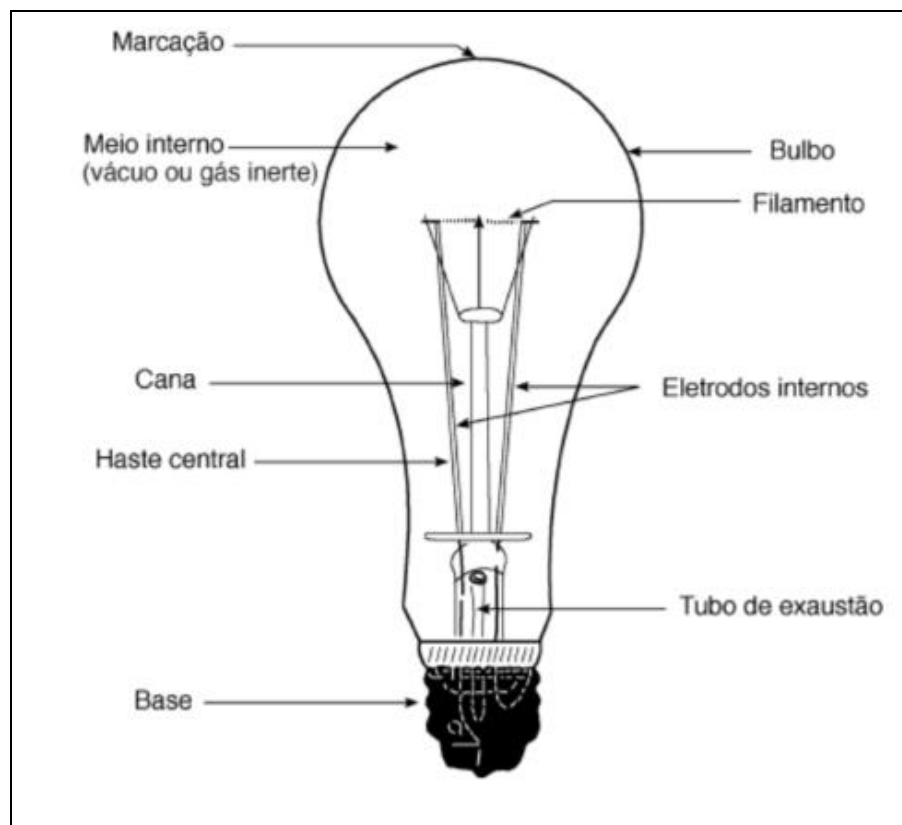
2.4 Lumens

Uma forma de observar a irradiação luminosa pode ser vista na figura 1, na qual uma lâmpada incandescente, por meio de um filamento metálico interno, pode ser alimentada por uma corrente elétrica, convertendo o fluxo da corrente elétrica em luz.

O fluxo luminoso não pode ser expresso em watts devido à sensibilidade do olho humano não fornecer a percepção do quantitativo em lumens sobre o objeto iluminado. Outra forma de entender o conceito é que para o sentido da visão perceber a luz, a faixa de espectro de cores deve estar entre 450 a 700nm. (CREDER, 2007).

A quantidade de lumens varia de acordo com o tipo de material em que está sendo executado o projeto. Para locais industriais como cerâmica e vidro se requer alto grau de precisão laboral, sua área de polimento requer 750 lumens de valor médio, já ambientes como padarias e indústrias de alimentos fica em torno de 300 lumens. (ABNT, 2013).

Figura 1 – Fluxo luminoso de uma lâmpada



Fonte: Creder (2007)

2.5 Eficiência luminosa

A relação entre o fluxo luminoso irradiado por uma fonte luminosa e a potência em watts, consumido por esta descreve sua eficiência aplicada, sendo que o vidro ou policarbonato pode influenciar, na aferição. Na equação 2 é possível compreender como calcular o η (eficiência). (MAMEDE FILHO, 2017).

$$\eta = \frac{\psi}{P_c} \left(\frac{\text{lumens}}{W} \right) \quad (2)$$

Entre as lâmpadas menos eficientes tem-se as incandescentes e as halógenas, com rendimento médio de 10 a 25 lumens por watts, na figura 2 é possível verificar vários modelos comparados por sua eficiência apresentada. Aborda-se as lâmpadas de vapor de sódio, fluorescentes econômicas e vapor metálico como mais eficientes dentre as apresentadas. (NERY, 2019).

Figura 2 – Rendimento luminoso das lâmpadas

Tipos de lâmpadas	Rendimento luminoso (lumens/W)
Incandescente	10 a 15
Halogêneas	15 a 25
Mista	20 a 35
Vapor de mercúrio	45 a 55
Leds	35 a 70
Fluorescente comum	55 a 75
Fluorescente compacta	50 a 80
Multivapores metálicos	65 a 90
Fluorescentes econômicas	75 a 90
Vapor de sódio	80 a 140

Fonte: (Mamede Filho, 2017)

Algumas tecnologias proporcionam rendimento superior a outras, é importante referir que as fontes de luz mencionadas não emitem de maneira uniforme a luz em todas as direções, existem disparidades em seu fluxo luminoso. Algumas empresas

já entregam luminárias de led com valores de iluminância mais eficientes, alguns valores já representam 100 lumens ou mais por watt.

A eficiência não está apenas em troca de lâmpadas, mas também é necessário apontar, outros problemas, como excesso de iluminação, ausência de manutenção e hábitos incorretos de uso. (SOBREIRA, 2017).

2.6 Tipos de lâmpadas

Para compor um leque mais consolidado de lâmpadas é possível abordar algumas características qualitativas:

- Processo de emissão de luz – seriam as lâmpadas incandescentes, de descarga e de led;
- Quanto ao desempenho – vida útil, rendimento e diversidade de cores.

As lâmpadas incandescentes são constituídas por um filamento de tungstênio enrolado, de certa forma espiralado, que possui incandescência pela passagem de corrente elétrica, dentro de um bulbo transparente (FREITAS, 2009), conforme pode ser visto na figura 3.

Figura 3 – Lâmpada incandescente



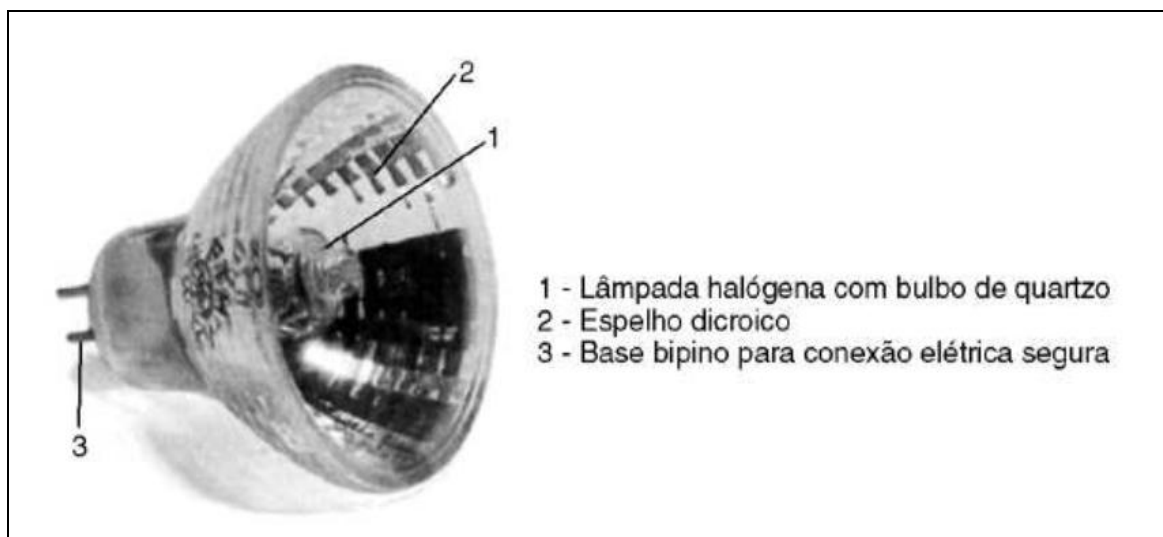
Fonte: Nery (2019)

A vida útil de uma lâmpada desta característica é de 600 horas, com eficiência em torno de 15 lumens por watt, a vida útil depende, de forma direta, da tensão que

a alimenta no interior do bulbo constituído de vidro, do qual é retirado todo o ar, deixando um vácuo, assim todo o oxigênio evitando que o filamento queime, impedindo a combustão, como alternativa utiliza-se um gás inerte como o argônio.

Há uma infinidade de utilizações para estes modelos de lâmpadas, mas em termos mais aplicáveis, utiliza-se em iluminações de ambientes comerciais, em máquinas de produção, para aquecimentos no caso de estufas, dentre as que podem ser destacadas, fecho médio, bulbo prateado, germicidas a até infravermelhas, cada uma com uso específico. Contudo, sua produção já está em declínio devido ao alto consumo de energia que geram. Entretanto, para ambientes decorativos ainda é possível utilizar lâmpadas dicróicas, pois se apresentam como uma melhoria da lâmpada incandescente, sendo constituídas por um tubo de quartzo contendo em seu interior um filamento de tungstênio. A vida útil é mais longa e possui ótima eficiência luminosa, alto índice de reprodução de cores. A dimensão costuma ser menor que a incandescente, mas são ótimas lâmpadas para projetores, possibilitando enorme fidelidade às cores dos objetos refletidos por elas. É possível visualizar esta lâmpada na figura 4, as partes que compõem são bulbo, espelho dicróico e base para o pino de ligação. (CREDER, 2007).

Figura 4 – Lâmpada dicróica



Fonte: Freitas (2009)

As lâmpadas de tungstênio se assemelham muito às incandescentes, possuem um filamento contido em um tubo de quartzo, seu funcionamento é visto

como o ciclo do iodo contido no interior da estrutura. Na figura 5 é possível ver sua aparência:

Figura 5 – Lâmpada halógena

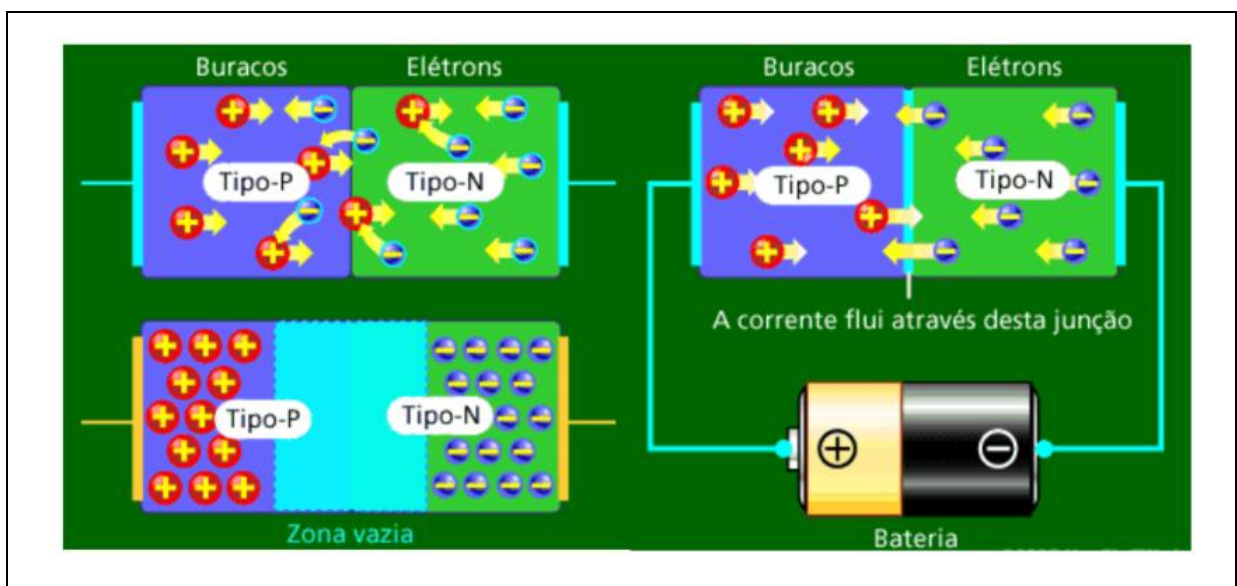


Fonte: Della Lucia (2014)

Uma das lâmpadas mais utilizadas em estabelecimentos comerciais, residências e indústrias é a tecnologia denominada de forma habitual como led, os leds ou diodos emissores de luz são elencados como dispositivos semicondutores, constituídos por dois materiais distintos, estes formam uma junção tipo P.

Quando a junção PN é polarizada de forma direta, suas lacunas tipo P (espaços vazios sem elétrons) são preenchidas pelos elétrons do material tipo N, nesse processo de transição que ocorre na área de depleção, a energia gerada é liberada em forma de luz, ou fóton como pode-se observar na figura 6. (RODRIGUES, 2019).

Figura 6 – Princípio do funcionamento do led

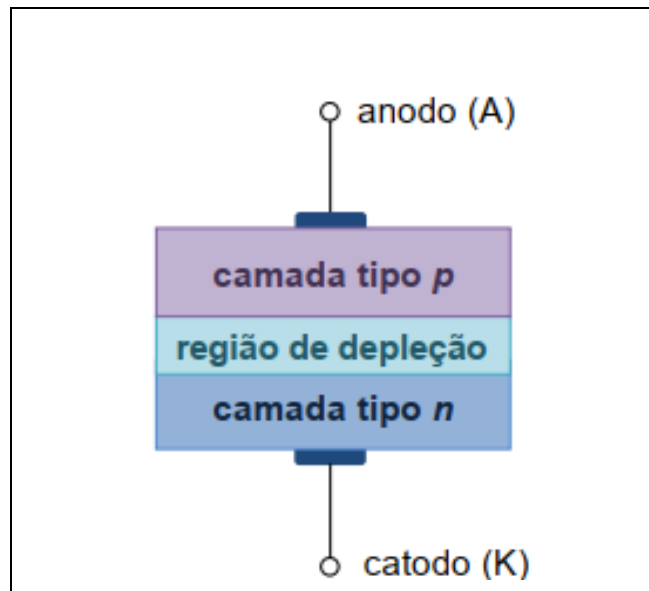


Fonte: Lopes (2014)

O processo de recombinação pode ocorrer na forma radiativa e não radiativa, na forma radiativa ocorre uma conversão da energia perdida pelo elétron na forma de luz, de forma para-paradoxal a não radiativa, a energia do elétron é convertida em fônons (calor).

De acordo com Filadelfo (2010), para que um led emita luz, é imperativo que ocorram algumas recombinações dos elétrons em lacunas, assim sendo a junção PN, conforme a figura 7 ilustra, deve ser diretamente polarizada, caso a tensão direta aplicada entre o cátodo e o ânodo é forte o suficiente para vencer a camada de depleção, a mesma se torna estreita, reduzindo a resistência elétrica, permitindo que os elétrons fluam de uma camada para outra gerando assim o fóton.

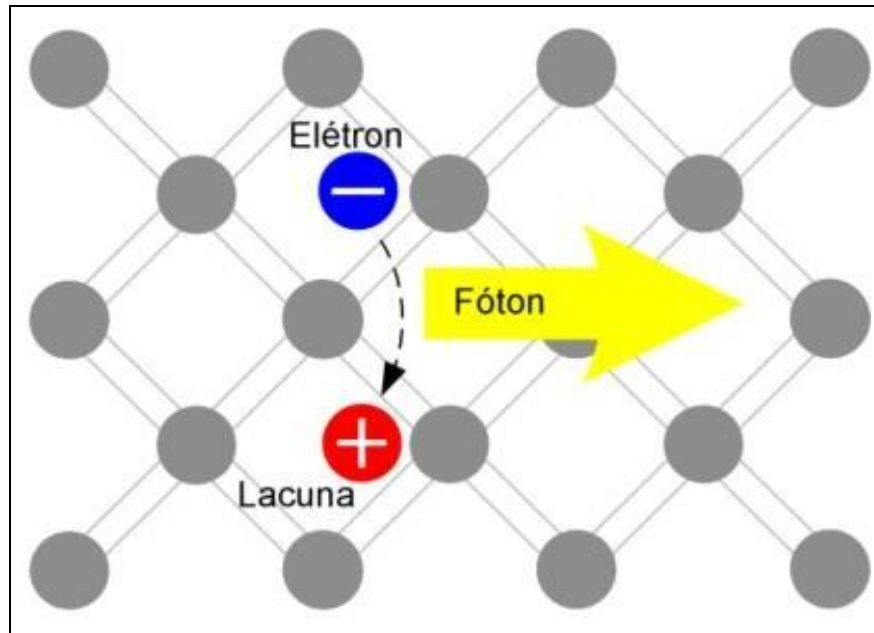
Figura 7 – Camadas e região de depleção



Fonte: Filadelfo (2010)

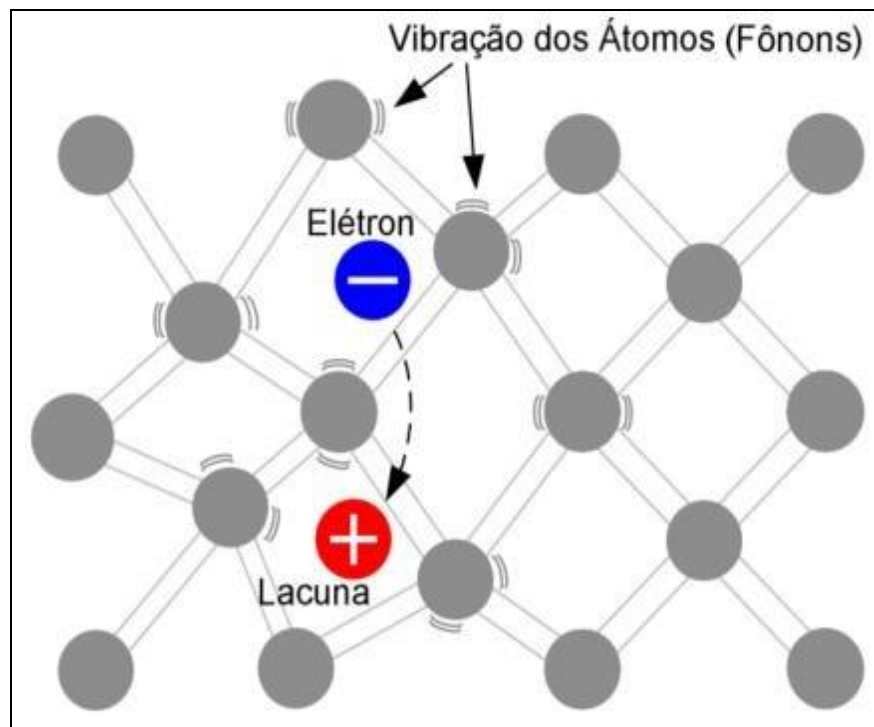
Para melhor compreensão do fenômeno de conversão de energia, na figura 8 é possível verificar uma recombinação radiativa onde é gerado o fóton, entretanto na figura 9 a recombinação não-radiativa contrapõe, sendo assim, ocorre a emissão de calor (fônons). (BENDER, 2012).

Figura 8 – Recombinação radiativa



Fonte: Bender (2012)

Figura 9 – Recombinação não-radiativa



Fonte: Bender (2012)

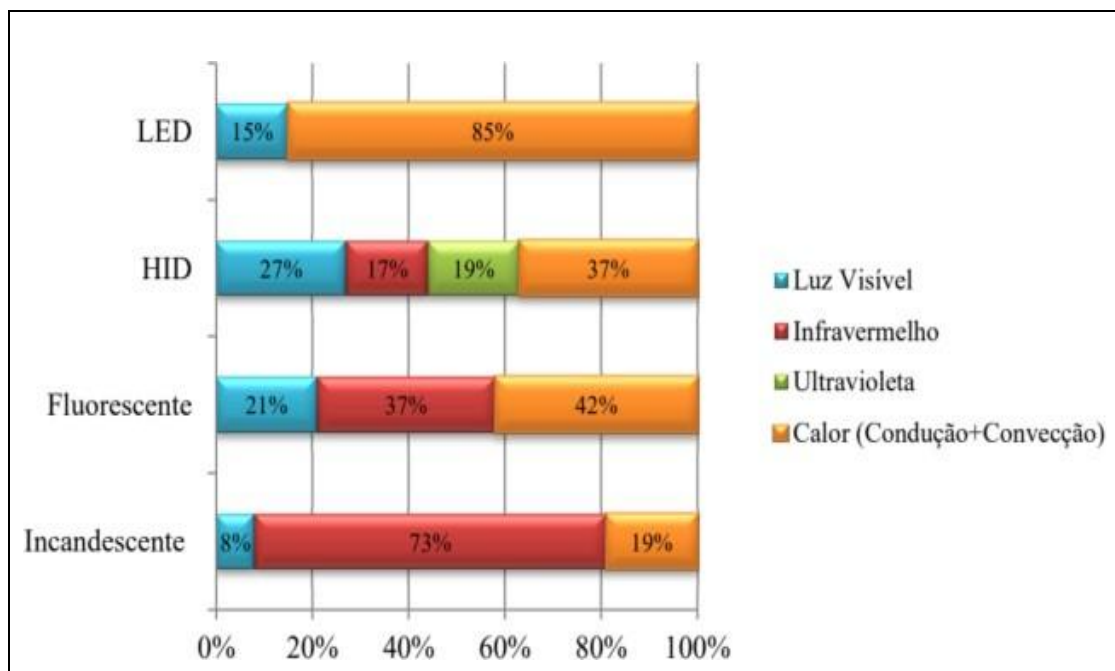
É possível descrever o quanto de vida útil um led possui através de seu quantitativo ciclo repetitivo de liga e desliga, ao contrário de lâmpadas comuns

raramente os leds param de funcionar de forma arbitrária ou não controlada. (NERY, 2019).

2.7 Controle térmico em lâmpadas de led

As fontes de luz alimentadas por corrente elétrica convertem essa energia em luz (fótons), e energia térmica, em várias camadas possíveis, o calor gerado deve ser eliminado ou transferido por convecção, tendo em vista que nos leds o aquecimento é superior às demais fontes luminosas, requerendo assim um gerenciamento térmico calculado e otimizado. (BENDER, 2012). O calor é um fator determinante na produção destes dispositivos, ocorrendo, geralmente, não recombinações não-radiativas da junção PN. Na figura 10 é possível comparar a incidência de calor em quatro tipos de tecnologias de iluminação.

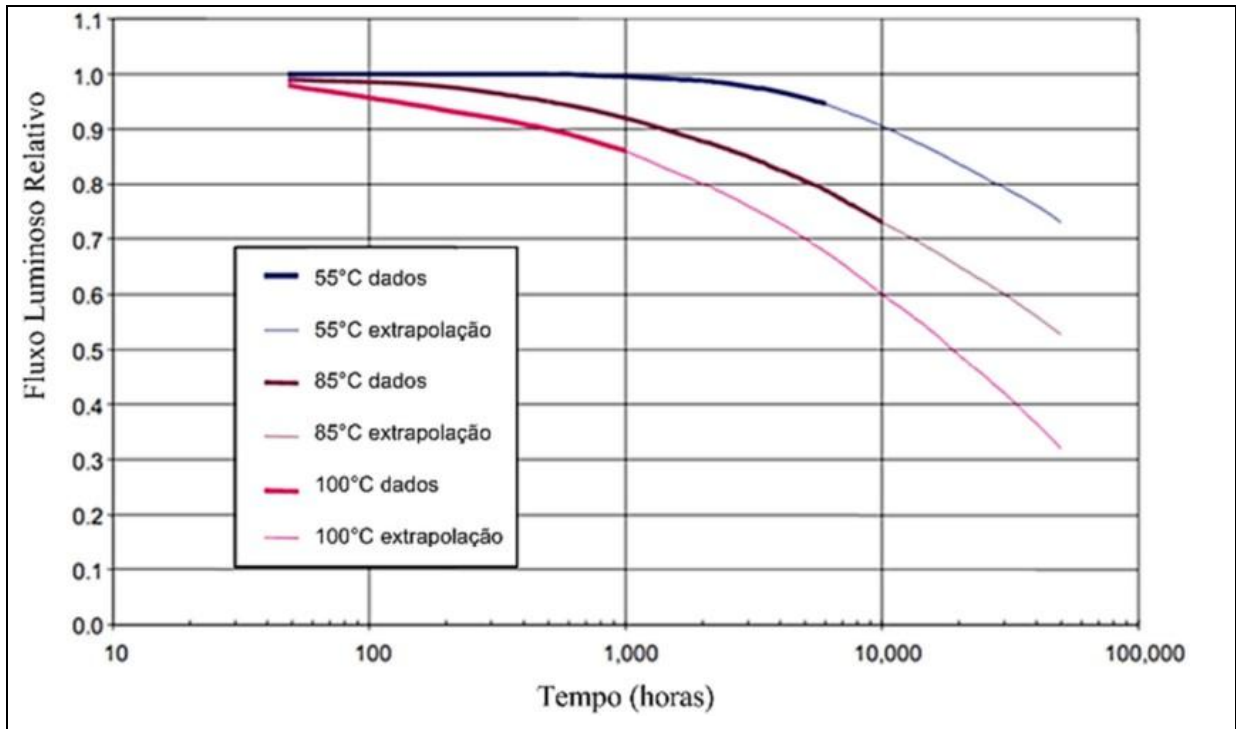
Figura 10 – Conversão de energia em diferentes fontes de luz branca



Fonte: Bender (2012)

É importante abordar também que o superaquecimento na junção do led, diminui de maneira significativa a vida útil dos componentes do led. Na figura 11 é possível verificar três leds idênticos com a mesma corrente, porém com temperatura de junção distintas, constatando-se que quanto maior a temperatura associada ao seu funcionamento, menor é a vida útil proposta.

Figura 11 – Fluxo luminoso relativo em relação ao stress de temperatura



Fonte: Philips Lumileds (2006)

2.8 Reatores para lâmpadas

Vários modelos de lâmpadas têm seu funcionamento sem o auxílio de um reator, estes são dispositivos que possibilitam o controle da corrente, em um nível que atenda a necessidade de consumo da lâmpada, se apresentando como uma reatância em série dentro o circuito da lâmpada. (CREDER, 2007).

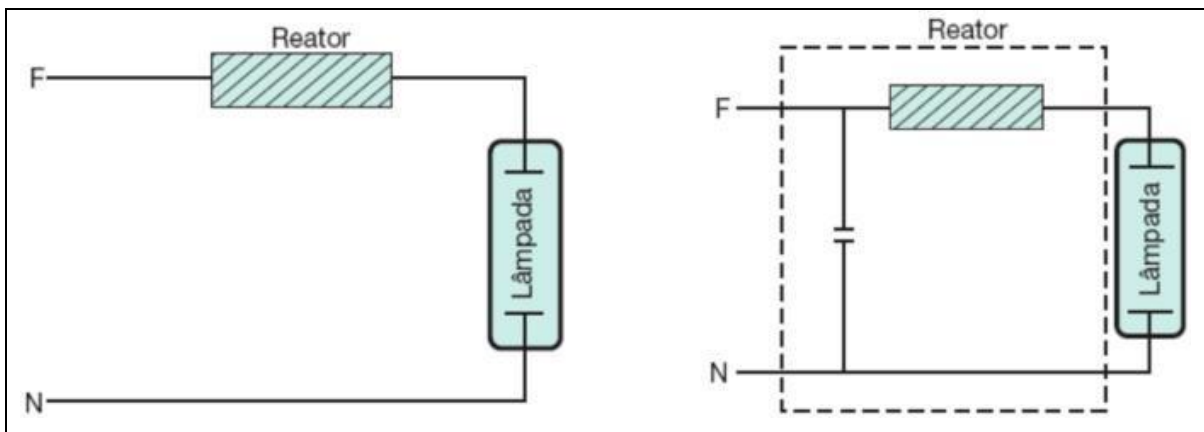
Os reatores elétricos são necessários para lâmpadas de descarga, considerando que a tensão de entrada esteja adequada à instalação, eles devem ser ligados em série no circuito, servindo especificamente para controlar o fluxo de corrente no interior da lâmpada. Sua simples construção causa um fator de potência indutivo que fica em torno de 0,6 e 0,8. Para que este fator fique dentro de níveis aceitáveis e normativos, um capacitor é agregado ao circuito de forma paralela, isso eleva o fator de potência para o nível de 0,95.

Para as lâmpadas de vapor de sódio existem dois modelos básicos de reatores, os indutivos e os eletrônicos. Os primeiros possuem uma bobina de ferro magnético promovendo uma alta tensão para prover a ignição da lâmpada, já os reatores eletrônicos possuem circuitos elétricos em estado sólido que propiciam a ignição necessária para acender a lâmpada, neste caso e possível também afirmar

que os reatores eletrônicos consomem menos energia, por trabalhar em frequências mais altas sua eficiência e mais elevada. (DELLA LUCIA, 2014).

Na figura 12 evidencia-se o capacitor anexado ao circuito, permitindo assim a correção do fator de potência. É possível também, em alguns casos, ligar o capacitor em série obtendo o mesmo resultado. (MAMEDE FILHO, 2017).

Figura 12 – Reatores para lâmpada de descarga



Fonte: Mamede Filho (2017)

De acordo com Nogueira (2013), é possível encontrar no mercado dois modelos de reatores, eletromagnéticos e eletrônicos. Os eletromagnéticos se dividem em baixo fator de potência e alto fator de potência, já os reatores eletrônicos são constituídos por três diferentes blocos de funcionamento, sendo a fonte, que converte a tensão alternada em contínua, dentro da frequência de 50 e 60 Hz; o inversor, que converte a tensão contínua em corrente alternada de alta frequência, para atender a lâmpada especificada, e por último; o circuito de partida, que combina capacitâncias e indutâncias.

Na figura 13 pode-se ver um exemplo de reator eletrônico, suas vantagens são inúmeras, operam em alto fator de potência, elevam a vida útil da lâmpada, não apresentam distorções harmônicas.

Figura 13 – Reator eletrônico



Fonte: Creder (2007)

2.9 Características de luminosidade

As lâmpadas podem ser classificadas por inúmeros fatores, entre os quais, temperatura de cor, ofuscamento e índice de reprodução de cores.

2.9.1 Temperatura de cor

Para compreender o conceito de temperatura de cor, é imprescindível determinar o que pode ser denominado como corpo negro, este é definido como um objeto imaginário que emite uma radiação contínua, sua cor de trabalho é medida em kelvin (K) (Creder, 2007), devendo sempre oferecer a mesma aparência de cor para o observador.

2.9.2 Ofuscamento

Este fenômeno é percebido pelo espectador como um desconforto visual, ao passo que há um excesso de luminância gerado por uma fonte de luz. Este problema pode ser resolvido, através do uso de vidros difusores ou opacos, podendo ser visto na figura 14.

Figura 14 – Luminária de uso externo



Fonte: Nogueira (2013)

2.9.3 Reprodução de cores

Pode ser visto com um índice de realismo das cores naturais reproduzidas sobre um objeto, para que isso seja possível o espectro de cor deve possibilitar, dentro de uma faixa de 0 a 100, a capacidade de um observador identificar, de forma legitimista, as cores do objeto em si. Assim sendo, quanto mais elevado este valor maior e o realismo aplicado. Na figura 15, pode-se ver alguns índices de temperatura de cor e seu respectivo índice de realismo. (Mamede Filho, 2017).

Figura 15 – Comparativo de cor das lâmpadas e índice de realismo

Tipo de lâmpada	Temperatura da cor em °C	Índice %
Incandescente	2.800	100
Incandescente de halogênio	3.200	100
Fluorescente - luz do dia	6.500	75-79
Fluorescente - luz branca	4.000	75-79
Vapor de mercúrio	5.000	47
Vapor de sódio	3.000	35

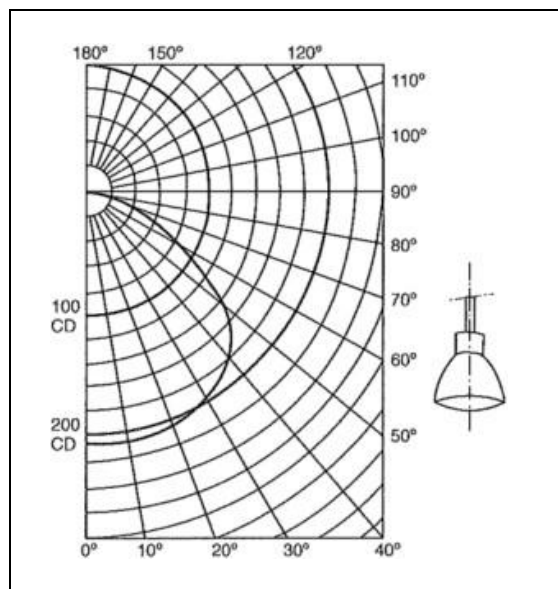
Fonte: Mamede Filho (2017)

2.9.4 Curva de distribuição luminosa

A curva de distribuição é a maneira como os fabricantes representam a intensidade luminosa em diferentes direções, se apresenta como um diagrama polar, em que a luminária é reduzida a um ponto central, o ângulo formado com a vertical registra a intensidade de luminosidade em lumens, de forma geral se aplica um valor base de 1000 lumens. (CREDER, 2007). É possível visualizar esta curva na figura 16.

As empresas de material elétrico que comercializam lâmpadas e luminárias costumam disponibilizar os arquivos por meio digital para uso por profissionais, a exemplo área de arquitetura e engenharia, que utilizam estes dados para simulações via softwares. Estes arquivos possuem um grande valor de análise. Em projetos elétricos em que é necessário compor, interpretar e simular cenários de iluminação, sua precisão é grande possibilitando construir as melhores alternativas neste campo técnico.

Figura 16 – Curva de distribuição em candelas por 1000 lumens



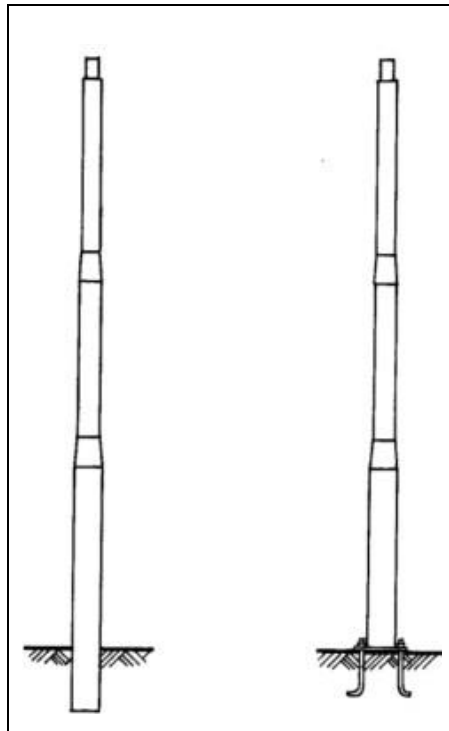
Fonte: Creder (2007)

2.10 Postes de iluminação

Os postes de iluminação são construídos com base na normativa NBR 14744 (ABNT, 2001), que delimita a forma como deve ser construído, devem ser previstas

também todas as forças que atuam em sua estrutura, como ventos e o peso do próprio poste. A resistência mecânica também faz parte do processo de construção, devendo ser utilizado aço soldável e vincável por imersão a quente (ABNT, 2001). O poste pode ser visto na figura 17.

Figura 17 – Poste telecônico



Fonte: ABNT (2001)

2.11 Trabalhos anteriores na área

Na literatura especializada sobre o assunto encontram-se trabalhos que podem apresentar algumas soluções similares ao estudo proposto, podendo-se citar autores como Bender (2012), que apresenta, em sua dissertação de mestrado, uma abordagem sobre a eficiência do led em aplicabilidades de iluminação pública. No mesmo trabalho o autor considera o efeito térmico na condução de projetos luminotécnicos e sua possível dissipação inerente. Também apresentando os elementos normativos que relacionam os aspectos da iluminação pública e sua aplicabilidade através da NBR 5101.

Outro trabalho, de autoria de Rodrigues (2019), apresenta uma análise de viabilidade no emprego de iluminação com tecnologia led para o setor público, seu custo-benefício é apresentado e comprovado por meio de estudos contábeis e

econômicos, demonstrando por meio de índices econômicos como TIR e Payback, tornando o projeto palpável e de suma relevância para a região de Forquilha no Ceará, onde foi proposto o trabalho. Seu estudo obteve ótimos resultados e excelentes perspectivas, tendo em vista que o retorno interno sobre o investimento ficou no valor de 12,33%, sendo desta forma além da redução econômica, também foi possível comprovar que o investimento se pagou no transcorrer dos anos.

É possível encontrar estudos a respeito do tema realizados em diversos locais do Brasil, trabalhos de autores conectados com o assunto. Alguns apresentam apenas os aspectos promissores tecnológicos relacionados ao led, pois para Lopes (2014), diante das formas de iluminação contemporâneas a mais promissora se apresentava por diodos emissores de luz. Em seu trabalho, Lopes (2014) fornece um breve histórico sobre o led e as empresas que há décadas investem em pesquisa e desenvolvimento, para equiparar as novas luminárias com as atuais fornecidas.

Para fazer um contraponto deste projeto, é possível mencionar outro trabalho, trata-se de uma dissertação de mestrado, que aborda de forma mais detalhada a substituição de luminárias com vapor de sódio por luminárias led. Para Nogueira (2013), nem sempre é possível a troca dos equipamentos por outros de menores valores de consumo, pois para uma tarifa elétrica pública que tem por definição menores custos incidentes sobre a natureza de sua aplicação, o projeto se torna inviável, mesmo tendo como base todas as normatizações que oferecem solidez à tomada de decisão. Isso demonstra que nem todo projeto com foco em novas tecnologias é bem-vindo, sendo assim, o investimento se torna muito alto, e a troca deve ocorrer antes que o investimento se torne inviável. Entretanto no estudo realizado por Nogueira (2013), foi também constatado que luminárias de led de menor potência apresentam ótimos resultados em relação à lâmpadas de vapor de sódio com maior consumo, deixando sempre uma visão dualista, ou seja, a tecnologia empregada é satisfatória em termos práticos, porém por motivos macroeconômicos seu alto investimento colabora para que seja mais complexa sua aplicação.

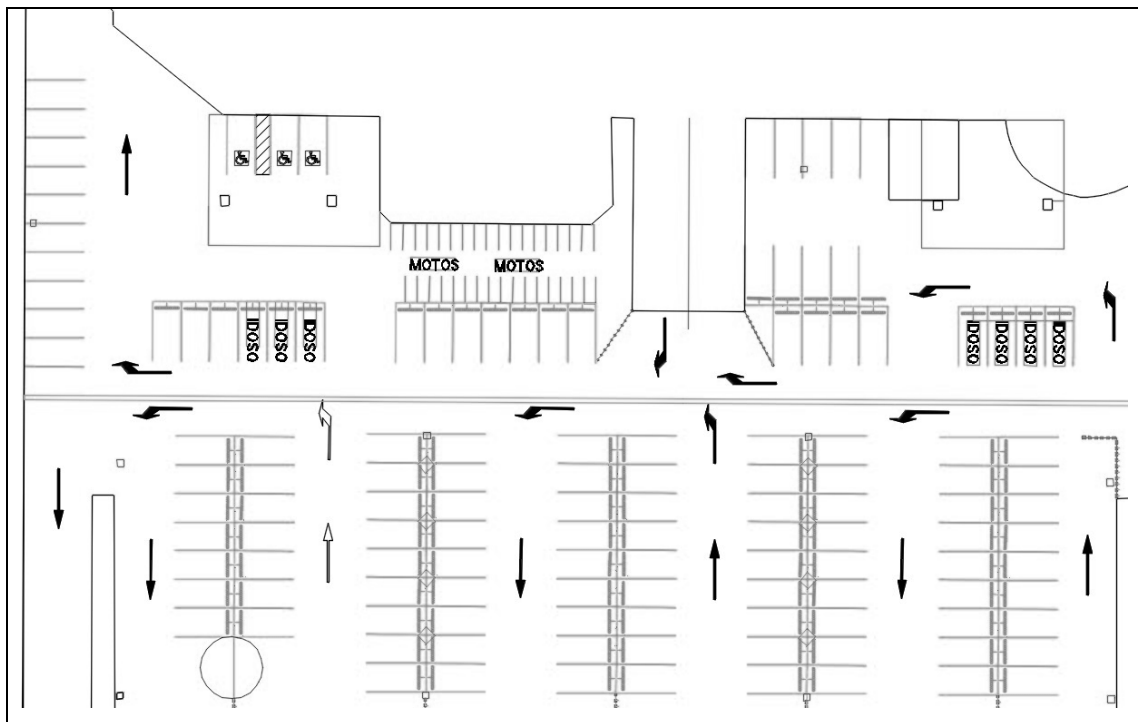
3 METODOLOGIA

3.1 Descrição do local do projeto

Para o desenvolvimento do projeto luminotécnico foi necessário aferir inúmeras condições no local. A fim de que o processo possa ser aprovado é preciso conferir junto à empresa quais são os problemas mais emergenciais dentro da área de luminotécnica. A empresa trata-se de um shopping localizado no bairro centro de Erechim, cidade que está situada no norte do Rio Grande do Sul.

A área que foi disponibilizada para estudo é um estacionamento para clientes e colaboradores, que fica situado em frente ao shopping, paralela à calçada pública, com área estimada de aproximadamente 5.148m². O estacionamento possui pavimento asfáltico e pintura apenas nas delimitações das vagas dos veículos, tanto para carros, quanto motocicletas, totalizando 136 vagas para carros e 33 motocicletas. É possível visualizar a planta baixa na figura 18.

Figura 18 – Alocação de vagas do estacionamento



Fonte: O autor

A entrada e saída de pedestres são feitas tanto pelo lado direito, quanto esquerdo do terreno, mas a entrada de veículos se dá somente pela direita do

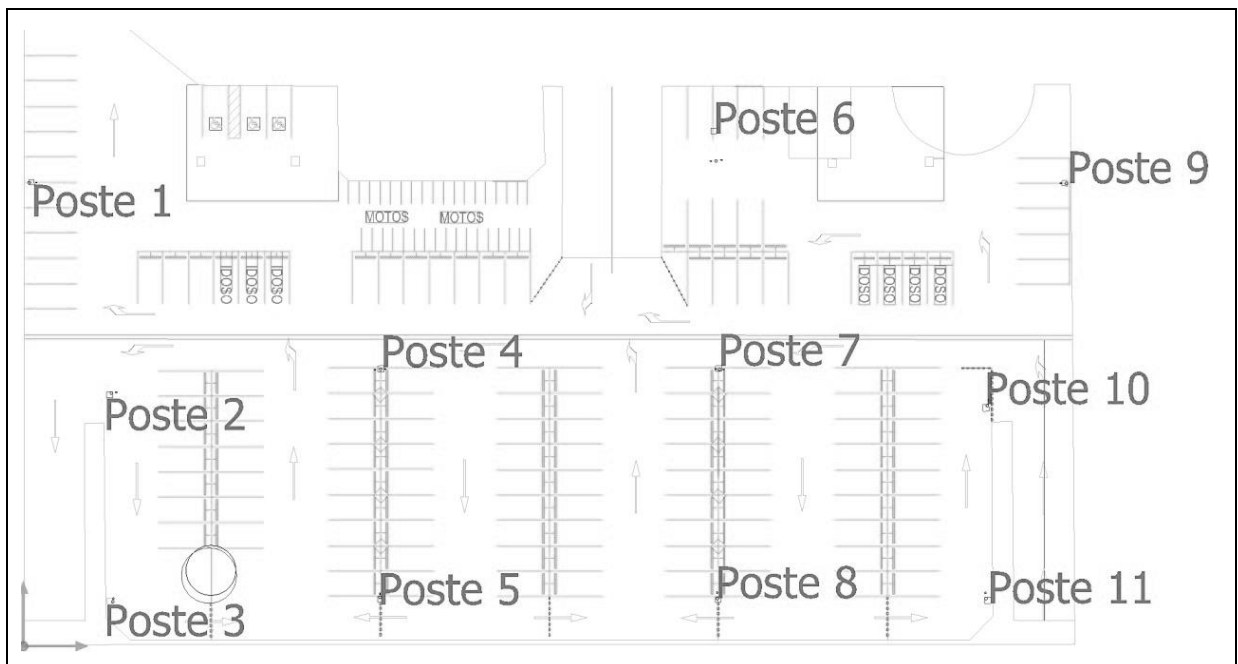
terreno e a saída destes é feita pelo lado esquerdo do terreno ou por uma saída alternativa pela lateral esquerda do prédio, que leva aos fundos da edificação e dá acesso à rua. No centro do estacionamento é alocado o acesso ao subsolo do shopping, sendo que o pavimento é reservado para estacionar mais 182 veículos, contabilizado 318 veículos e 43 motos.

O alto fluxo de veículos requer boa iluminação com maior ênfase na área externa, pois atualmente seu fluxo de luminosidade está abaixo do recomendado pela NBR8995. (ABNT, 2013).

3.2 Descrição das características de luz do local

A distribuição dos postes pode ser visualizada na figura 19. Como se percebe pela figura, conta com 11 postes metálicos fixados no solo por base de concreto usinado. A alimentação das lâmpadas ocorre por dutos abaixo do solo, interligados por caixas de passagem, oferecendo acesso aos cabos para manutenção e troca. Cada poste possui altura de 14 metros e seu diâmetro na base é de 25cm.

Figura 19 – Disposição dos postes na área externa



Fonte: O autor

A maneira como os postes estão distribuídos não colabora para um bom aproveitamento luminoso e sua altura irá influenciar na tomada de decisão das

luminárias ou refletores que deverão ser utilizados. A lâmpada que está sendo utilizada é descrita como halógena de potência elétrica média de 400 watts, seu reator consome em média 44 watts de acordo com Philips (2024), sendo assim seu consumo médio hora é de 444 watts. Sua eficiência energética é de 32.000 lumens. Na figura 20 pode-se visualizar a lâmpada do atual projeto inserido no estacionamento.

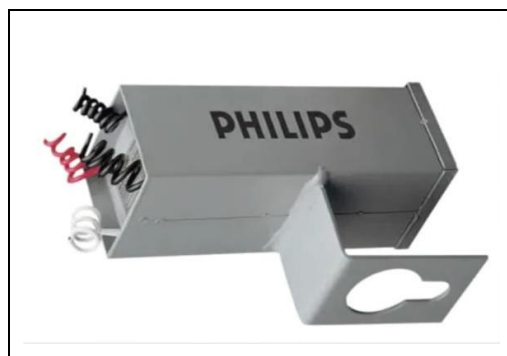
Figura 20 – Lâmpada halógena de 400 watts tubular



Fonte: Philips (2024)

O reator para esta lâmpada pode ser visualizado na figura 21, suas perdas ficam em torno de 44 watts, a temperatura média em funcionamento é de 90°C, e seu fator de potência é de 0.95. O conjunto de lâmpada e reator ainda é comercializado, porém seu uso é cada vez menos recorrente, tendo em vista que as empresas não mantêm em estoque lâmpadas com baixo giro de vendas. É importante também destacar que tecnologias antigas são rapidamente substituídas por novas, técnicas e métodos de execução estão sempre em atualização.

Figura 21 – Reator para lâmpada halógena



Fonte: Philips (2024)

A rede elétrica se encontra em boas condições de uso, ao passo que projetos mais modernos requerem, de forma genérica, menor fluxo de corrente exigida nos condutores elétricos, o que possibilita manter, e até mesmo ampliar, a quantidade de lâmpadas ou luminárias nos postes, sendo necessário apenas uma análise de resistência mecânica com o fabricante.

Na figura 22 é possível ver uma foto das condições de conservação dos postes, seu revestimento galvanizado tornou sua vida útil mais prolongada, nenhum dano até então é aferido na base, tendo em vista que ao se tratar de um estacionamento movimentado, a ocorrência de abalroamentos e sinistros são documentados com certa frequência.

Figura 22 – Foto dos postes no local do estacionamento do mercado



Fonte: O autor

Os postes metálicos alocados possuem ótimas condições de reutilização, tornando a troca desnecessária, sua distribuição é feita de forma que não

congestione, ou atrapalhe o fluxo de veículos no local. A leitura do cenário atual é imprescindível para elaboração do projeto luminotécnico, as variáveis mais relevantes foram evidenciadas para que, com base nas conferências locais, seja possível a comparação na pós-execução do projeto apresentado.

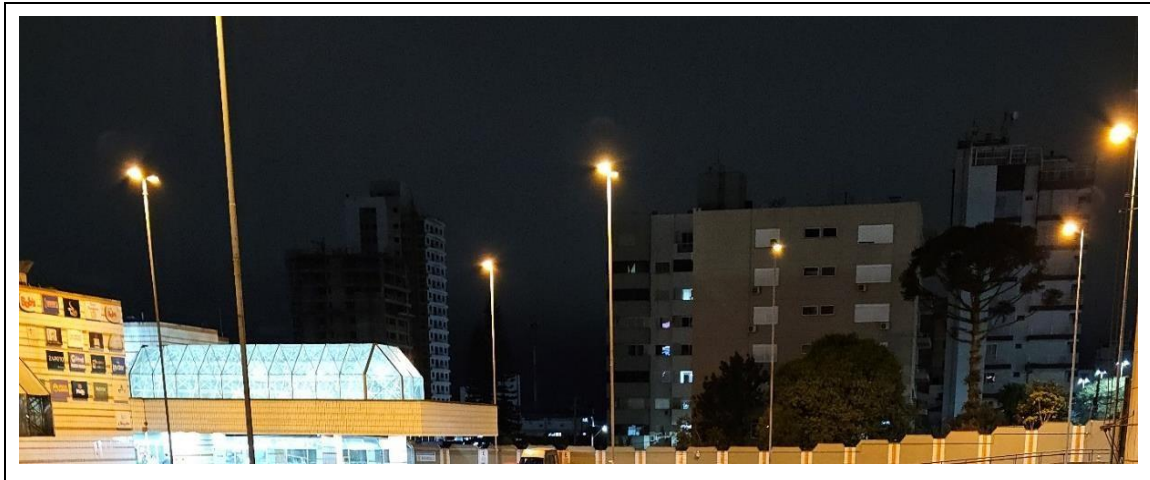
No mesmo estacionamento também são evidenciados dois refletores queimados que, localizados na torre da caixa de água, servem para iluminar a logomarca da empresa, mas por se encontrarem queimados, impossibilitam a visualização noturna da marca e logotipo. Será possível projetar para o mesmo estacionamento a melhoria deste ponto, providenciando assim a projeção eficaz e objetiva da carga luminotécnica que será simulada.

3.3 Método de aferição e planejamento

Para que seja possível desenvolver o trabalho luminotécnico foi necessário utilizar um software de simulação de ambientes. Para este projeto foi utilizado o programa alemão DIALux evo da empresa Dial GmbH. Por se tratar de um programa gratuito sua licença de uso é livre. É possível realizar inúmeras situações de virtualização nos locais, nível de lux, simulação da luz do dia, efeitos gráficos em 3D, trocar arquivos de luminárias para maximizar o aproveitamento energético com diferentes tecnologias de luminescência. (GMBH, 2017).

Antes de promover a simulação em software foi necessário aferir no local o nível médio de lux que as luminárias atuais forneciam para o estacionamento a ser estudado, para isso foi utilizado um luxímetro da marca Minipa, modelo MIm-1001. Com essa ferramenta foi possível determinar, de maneira assertiva, a quantidade de lux que incide em inúmeros pontos do estacionamento, esta medida foi realizada no período da noite, após as 21h. Na figura 23 é possível visualizar o local do estacionamento com seus respectivos postes metálicos. Para a efetivação das simulações foram utilizados os arquivos de extensão IES, que permitem carregar diferentes modelos de luminárias encontrados no site dos fabricantes. (RODRIGUES, 2019).

Figura 23 – Visão noturna do estacionamento



Fonte O autor

No perímetro do estacionamento é possível encontrar inúmeros pontos de ofuscamento de luz, devido à distância dos postes serem equidistantes das zonas de luz. Para melhor compreender, na tabela 1, tem-se o total de pontos medidos e suas respectivas métricas de aferição realizadas no local.

Tabela 1 – Valores medidos no estacionamento em Lux

Num	Lux	Num	Lux	Num	Lux	Num	Lux	Num	Lux
1	1	11	21	21	17	31	53	41	67
2	14	12	41	22	34	32	51	42	42
3	22	13	31	23	26	33	44	43	27
4	38	14	56	24	15	34	33	44	25
5	39	15	47	25	14	35	44	45	39
6	25	16	64	26	40	36	24	46	35
7	39	17	45	27	33	37	49		
8	38	18	21	28	37	38	51		
9	33	19	20	29	54	39	39		
10	25	20	37	30	39	40	35		

Fonte: O autor

O método de aferição da luminância adotado é chamado de ponto a ponto, para que este modelo seja possível é fundamental apresentar duas leis da luminotécnica, sendo elas Lei do Inverso do Quadrado e Lei dos Cossenos, assim sendo a Lei do Inverso do Quadrado demonstra que o iluminamento médio diminui à medida que o quadrado da distância aumenta em relação a fonte de luz aplicável. Já a Lei dos Cossenos estabelece que, caso o ângulo de incidência de luz não for

normal em semelhança ao plano horizontal, sua relação é dada pelo cosseno dos ângulos formado entre as duas superfícies. (FREITAS, 2009).

De acordo com a equação 3, é possível analisar as variáveis necessárias para efetuar o método de aferição ponto a ponto onde assim sendo:

$$E = \frac{I_{\alpha}}{h^2} \cdot \cos^3 \alpha \quad (3)$$

Onde:

E = Lux o valor que precisa ser obtido.

I_{α} = Candela, fornecido pela luminária, do contrário precisa ser calculado.

h^2 = Distância do ponto de medição, neste caso altura do poste.

α = Ângulo entre o ponto direto e o ponto de coleta de dados.

Para que seja possível o cálculo desta fórmula é necessário encontrar a quantidade de candelas emitidas pela luminária que atua no local do projeto. Os dados da lâmpada podem ser encontrados no site do fabricante. De acordo com Philips (2024), a lâmpada HPI-T Plus possui 32.000 lumens, sua temperatura de cor é de 4500k, sua potência média é de 385W, e sua tensão de trabalho e de 198v nominais.

Para o cálculo das candelas é necessário utilizar a equação 4, que possibilita a conversão direta da quantidade de lumens em candelas. Para Saranga *et al.* (2016), este modelo matemático permite a simulação via fórmula de lumens para candelas:

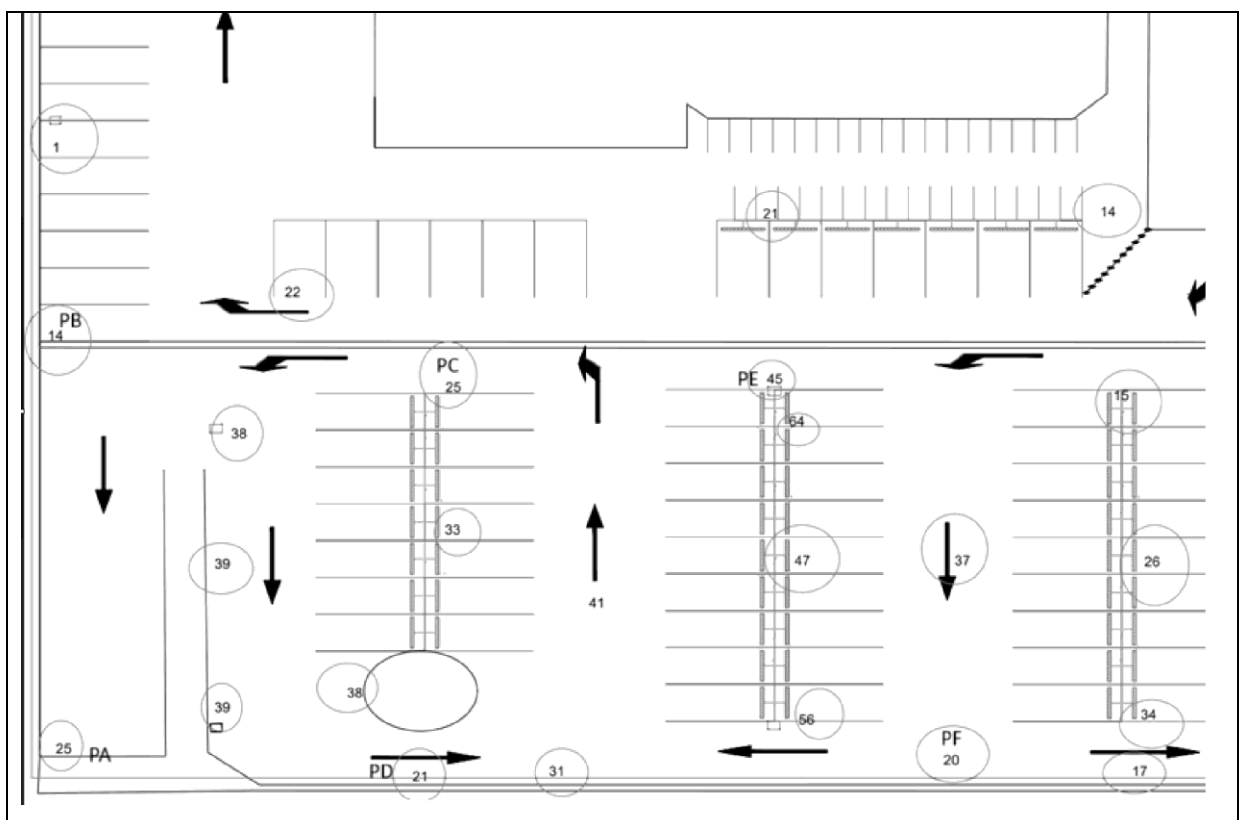
$$\text{Candela} = \frac{\text{Lumens}}{\left(2 \cdot \pi \left(1 - \cos \left(\frac{\text{Graus}}{2}\right)\right)\right)} \quad (4)$$

É necessário obter as candelas, já os lumens são fornecidos pelo fabricante da lâmpada, e o ângulo será de 140° devido ao formato da luminária pública, que pode ser visualizado na figura 24. Ao colocar todos os elementos necessários na equação 5 é possível obter o valor expresso.

$$\text{Candela} = \frac{32.000}{\left(2 \cdot \pi \left(1 - \cos \left(\frac{140}{2}\right)\right)\right)} = 7.740,29 \approx 7.740 \text{ Cd.} \quad (5)$$

Com o valor obtido será possível comprovar, nos pontos aferidos, os valores em lux. De forma a checar os valores obtidos, na tabela 2 é possível avaliar o aferido no local com o calculado pela fórmula do método ponto a ponto.

Figura 24 – Planta baixa com pontos de lux coletados Lado A

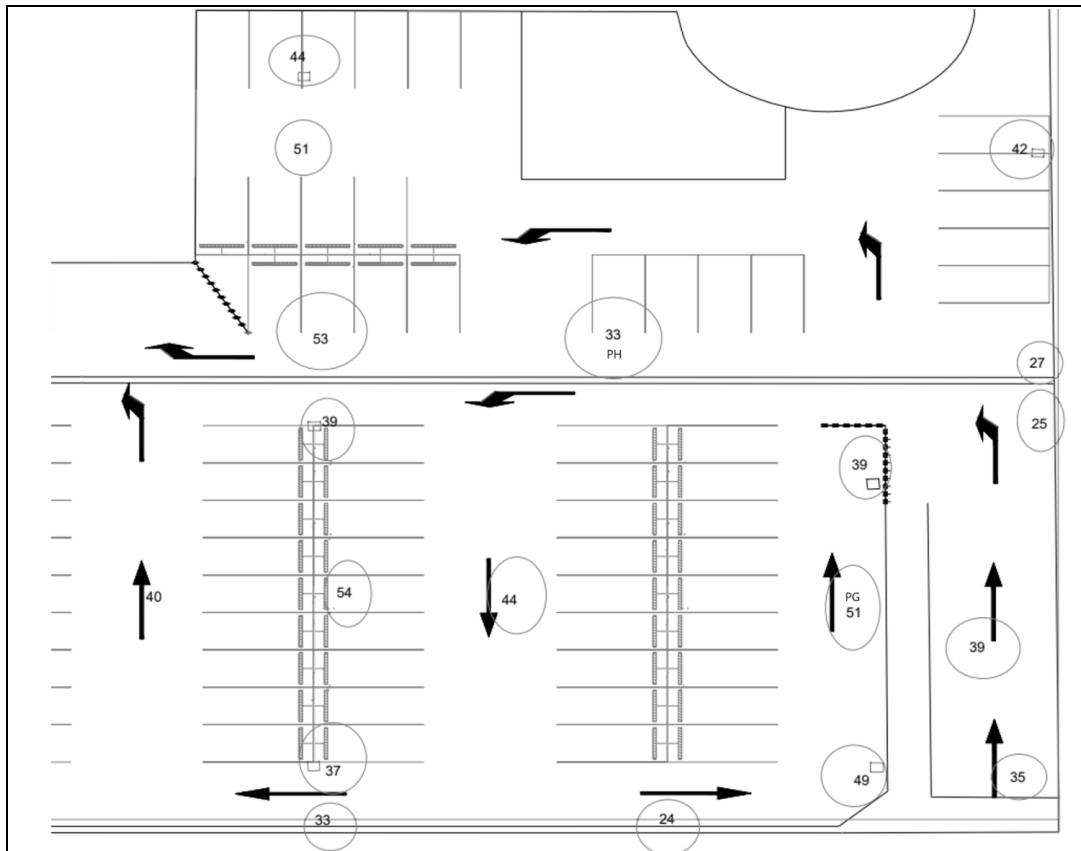


Fonte: O autor

As figuras 24 e 25 apresentam os valores medidos, os pontos escolhidos foram marcados pelas letras A, B, C, D, E, F, G e H.

Os valores podem ser visualizados na tabela 2, o intuito é comparar e apresentar uma alternativa entre o estimado pela equação, e a realidade disponível no local. As distâncias dos pontos interferem de maneira significativa no cálculo, pois quanto maior a distância do ponto em relação ao emissor de luz, menor será sua incidência luminosa. Contudo, o valor medido pode sofrer distorção proveniente da iluminação da via pública que fica bastante próxima ao estacionamento.

Figura 25 – Planta baixa com pontos de lux coletados Lado B



Fonte: O autor

Tabela 2 – Valores medidos e calculados

Ponto	Altura	Distância	Ângulo	Aferido	Calculado	% Diferença
PA	14m	7.6m	28°	25 Lux	27 Lux	8,0%
PB	14m	10.15m	36°	14 Lux	20 Lux	42,9%
PC	14m	10.36m	37°	25 Lux	20 Lux	-20,0%
PD	14m	10.97m	38°	21 Lux	19 Lux	-9,5%
PE	14m	0m	0°	44 Lux	40 Lux	-9,1%
PF	14m	9.73m	35°	20 Lux	21 Lux	5,0%
PG	14m	9.57m	34°	51 Lux	48 Lux	-5,9%
PH	14m	14m	45°	33 Lux	35 Lux	6,1%

Fonte: O autor

A diferença pode ocorrer devido à vida útil da lâmpada estar defasada ou também por erro no luxímetro, não se podem descartar outras variáveis que interferem, tais como a iluminação externa, aos postes do estacionamento, e até mesmo as luminárias públicas, que causam efeito direto no aferido em detrimento do cálculo.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Simulação com novas luminárias de led

No comércio de luminárias foram encontradas diversas opções para atender a demanda do projeto, sendo estabelecidos alguns critérios para seleção das marcas e modelos, entre os quais: consumo elétrico, fluxo luminoso, encaixe no poste atual e tempo de garantia. Outras características não foram abordadas, pois não fazem diferença técnica.

Ao serem considerados os pré-requisitos apresentados, as marcas selecionadas foram: Intral, Conexled, ESB LIGHT, Zagonel, Ledvance e HDA. As marcas são nacionais, o que possibilita uma vantagem de troca e pós-venda, caso seja necessário para efeitos de danos de fabricação e tempo de atendimento. Para compreender o escopo das luminárias que serão simuladas, as informações foram comparadas na tabela 3.

Tabela 3 – Comparativo de luminárias led

Marca	Modelo	Potência	Lumens	Encaixe	Garantia
Conexled	CLP-LC200(F)	200W	25.000	Sim	2 Anos
Conexled	CLP-LC150(F)	150W	20.250	Sim	2 Anos
EBS Light	LPI200SV-5-CR-STD	200W	33.814	Sim	5 Anos
HDA	Lum PUB HDA 200	200W	24.644	Sim	5 Anos
HDA	Lum PUB HDA 150	150W	18.516	Sim	5 Anos
Intral	Helene 04782	150W	19.455	Sim	1 Ano
Intral	Helene 04783	200W	25.980	Sim	1 Ano
LedVance	Arealight Nema3 Pro	150W	20.250	Sim	5 Anos
Zagonel	ZL-7809 80°	250W	34.039	Sim	5 Anos
Zagonel	ZL-5962	180W	25.200	Sim	5 Anos

Fonte: O autor.

Para a simulação calculou-se de forma individual cada luminária e o somatório de potência equivalente, sendo que esta soma deve ficar inferior à potência atual instalada. Assim sendo, uma luminária de 200W poderá ter o limite de 30 luminárias, entretanto uma luminária com potência de 150W poderá ser inserida até 40 vezes na planta, este parâmetro foi definido para que não ocorra um aumento de consumo no estacionamento, isso permite que o investimento tenha retorno com prazo mais

curto, pois não faria sentido evoluir em termos tecnológicos se as despesas fixas forem infladas com gastos com energia elétrica.

Todas as simulações foram elencadas como cenários no software Dialux evo (GMBH, 2017), os valores coletados de iluminância média mantida estão embasados na NBR 8995 (ABNT, 2013) e foram submetidos a todas as luminárias descritas de forma imparcial. Os valores obtidos estão demonstrados a cada cenário realizado.

Tabela 4 – Quantitativo de luminárias sugeridas para projeto luminotécnico

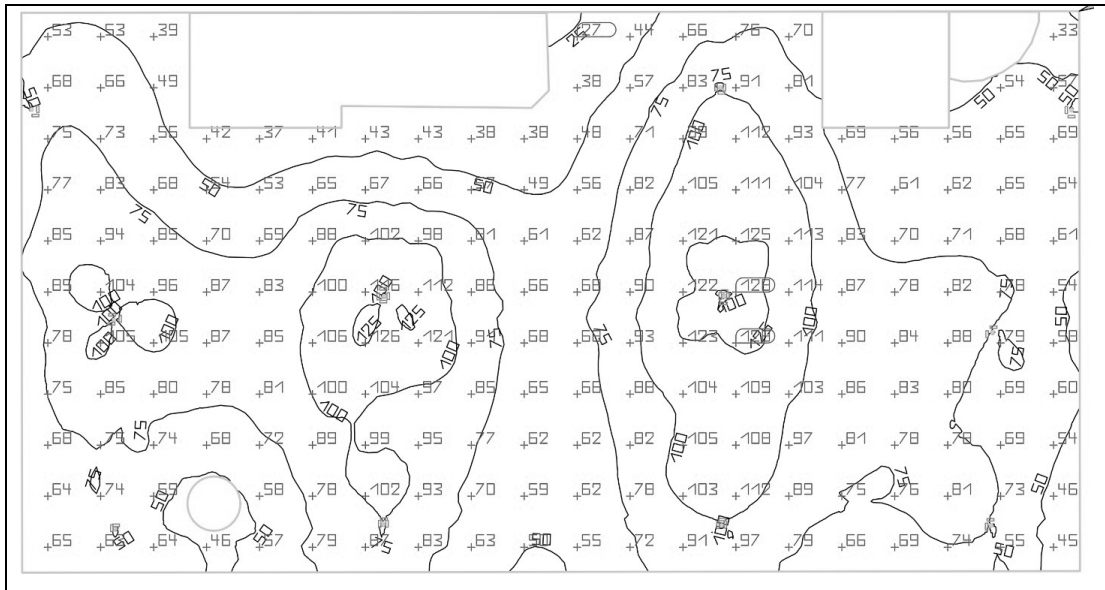
Marca	Modelo	Potência	Quantidade Máxima Sugerida	Potência Total	Potência Atual
Conexled	CLP-LC200(F)	200W	30	6000W	6216W
Conexled	CLP-LC150(F)	150W	40	6000W	6216W
EBS Light	LPI200SV-5-CR-STD	200W	30	6000W	6216W
HDA	Lum PUB HDA 200	200W	30	6000W	6216W
HDA	Lum PUB HDA 150	150W	40	6000W	6216W
Intral	Helene 04782	150W	40	6000W	6216W
Intral	Helene 04783	200W	30	6000W	6216W
LedVance	Arealight Nema3 Pro	150W	40	6000W	6216W
Zagonel	ZL-7809 80°	250W	24	6000W	6216W
Zagonel	ZL-5962	180W	33	5940W	6216W

Fonte: O autor

De acordo com a tabela 4, é possível limitar o consumo elétrico da área, acerca da alteração que será sugerida no estacionamento, os parâmetros de cálculo serão embasados na NBR 8995 (ABNT, 2013), que sugere um nível médio de iluminância mantida de 75 lux, limite de ofuscamento unificado de 28 e por último o índice mínimo de reprodução das cores de 40. (ABNT, 2013).

4.1.1 Cenário 1 – luminária CLP-LC200(F)

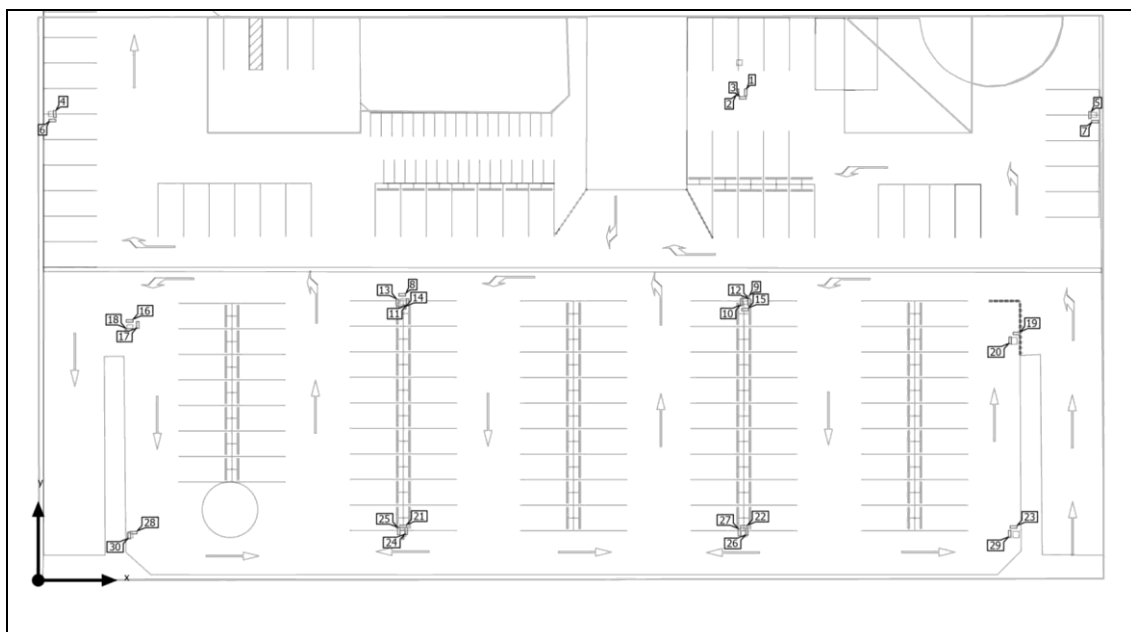
Figura 26 – Simulação de 30 luminárias Conexled 200W



Fonte: O autor

No cenário 1 obteve-se os valores amostrados na figura 26, de acordo com o software, o nível mínimo de luminância mantida é de 75,4 lux, o que atende a demanda da normativa. Na figura 27 está demonstrada a disposição das luminárias no pátio. De acordo com Conexled (2024), os valores de simulação foram inseridos para cálculo.

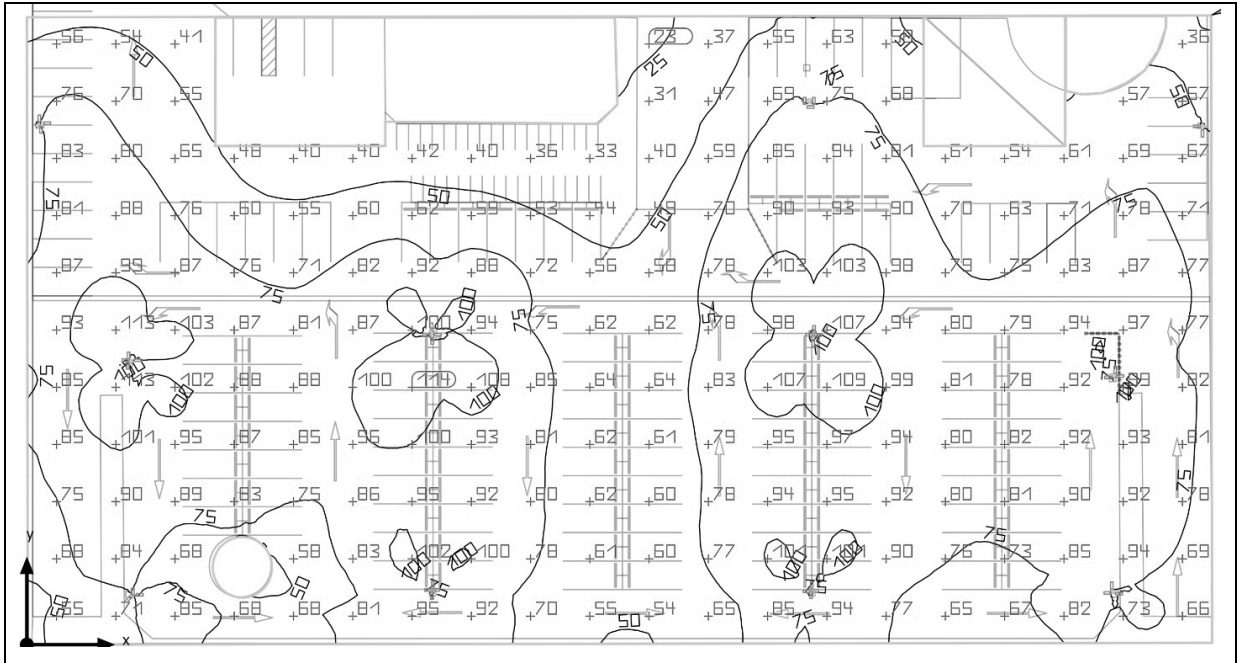
Figura 27 – Disposição das luminárias do cenário 1



Fonte: O autor

4.1.2 Cenário 2 – luminária CLP-CL150(F)

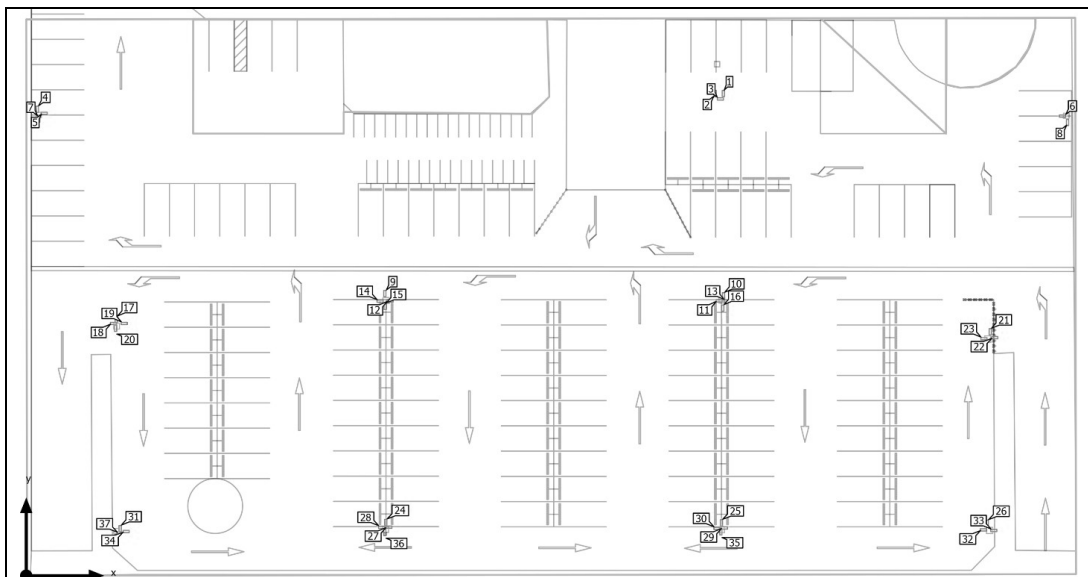
Figura 28 – Simulação de 37 luminárias Conexled 150W



Fonte: O autor

No cenário 2 foram propostas 37 luminárias da Conexled, com potência apresentada por luminária de 150W. De acordo com a simulação, o nível mínimo de iluminância obtido é de 76.5 lux, foi necessário colocar mais dispositivos como pode ser considerado na figura 29.

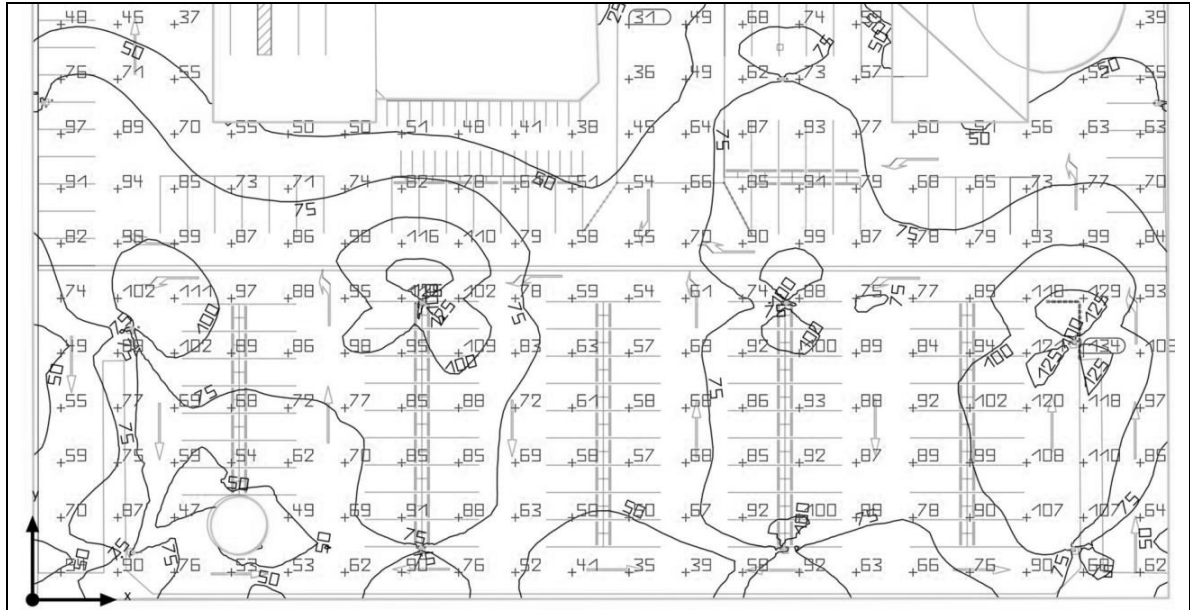
Figura 29 – Disposição das luminárias do cenário 2



Fonte: O autor

4.1.3 Cenário 3 – luminárias LPI200SV-5-CR

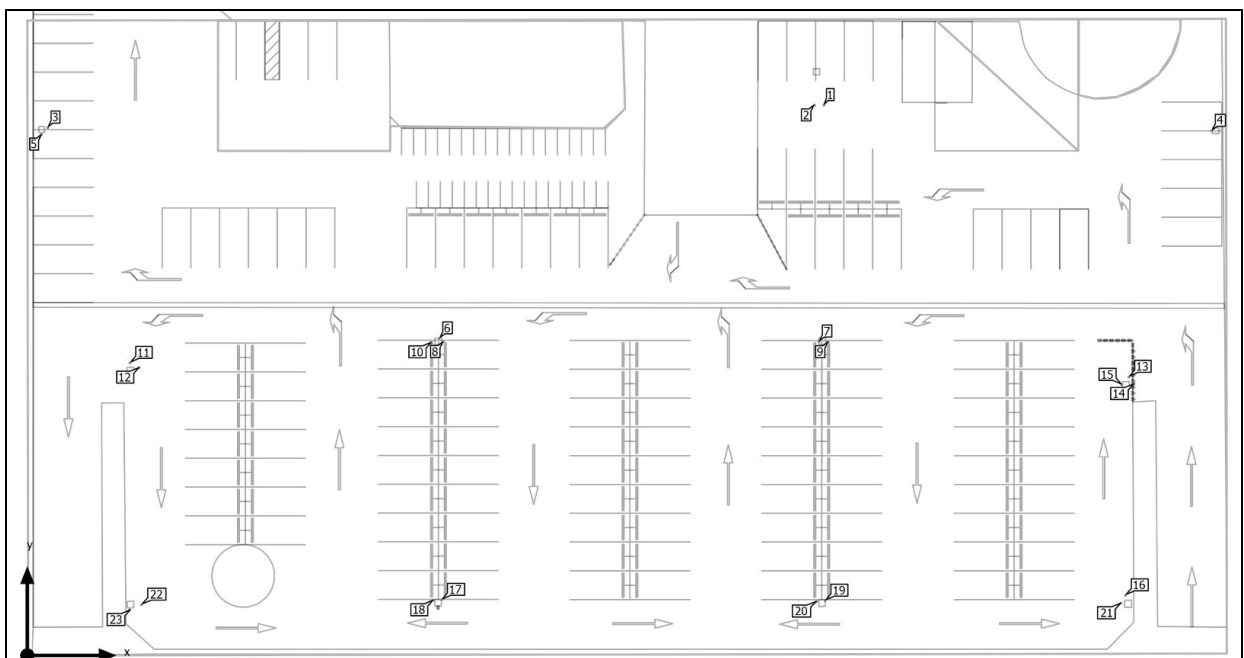
Figura 30 – Simulação de 23 luminárias ESB 200W



Fonte: O autor

No cenário 3 houve uma redução no número de luminárias necessárias para atingir o nível de iluminância mínimo, com 23 luminárias foi possível atingir 75.7 lux, a disposição das luminárias pode ser vista na figura 31. A curva de iluminação fornece os dados dispostos na simulação (ESB Light, 2024).

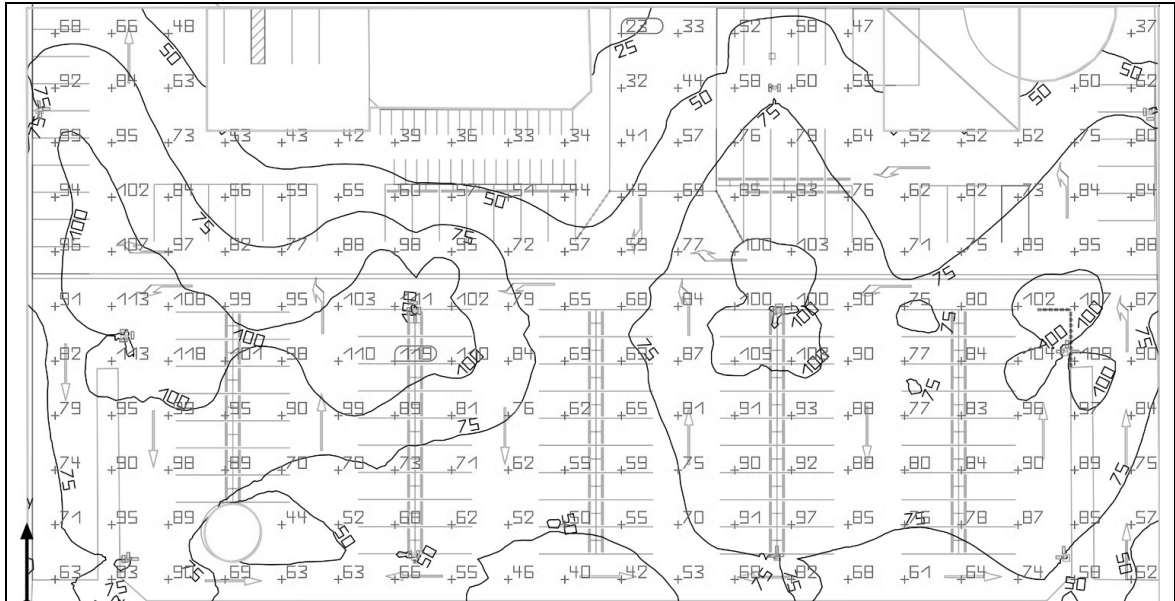
Figura 31 – Disposição das luminárias do cenário 3



Fonte: A autor

4.1.4 Cenário 4 – luminárias Lum PUB HDA 200

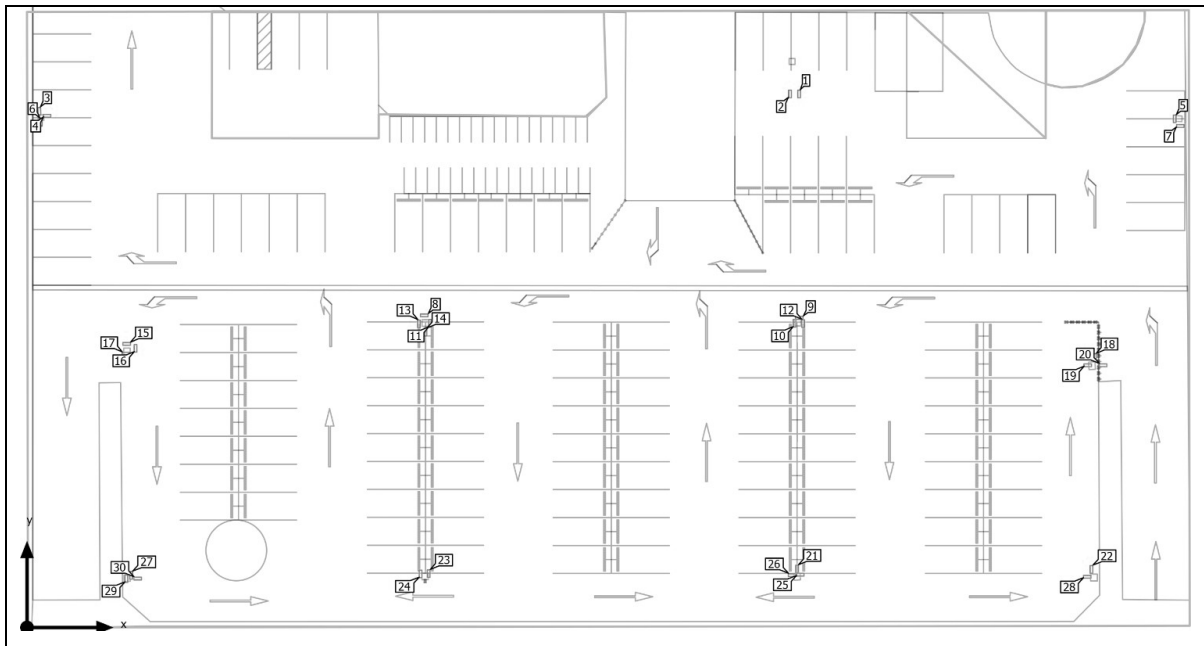
Figura 32 – Simulação de 30 luminárias HDA 200W



Fonte: O autor

O desempenho desta luminária foi baixo em relação ao seu consumo elétrico efetivo, sendo necessários 30 dispositivos para atingir 75,4 lux. Na figura 33 pode-se ver as locações das luminárias simuladas. Dados para aferição estão de acordo com HDA (2024).

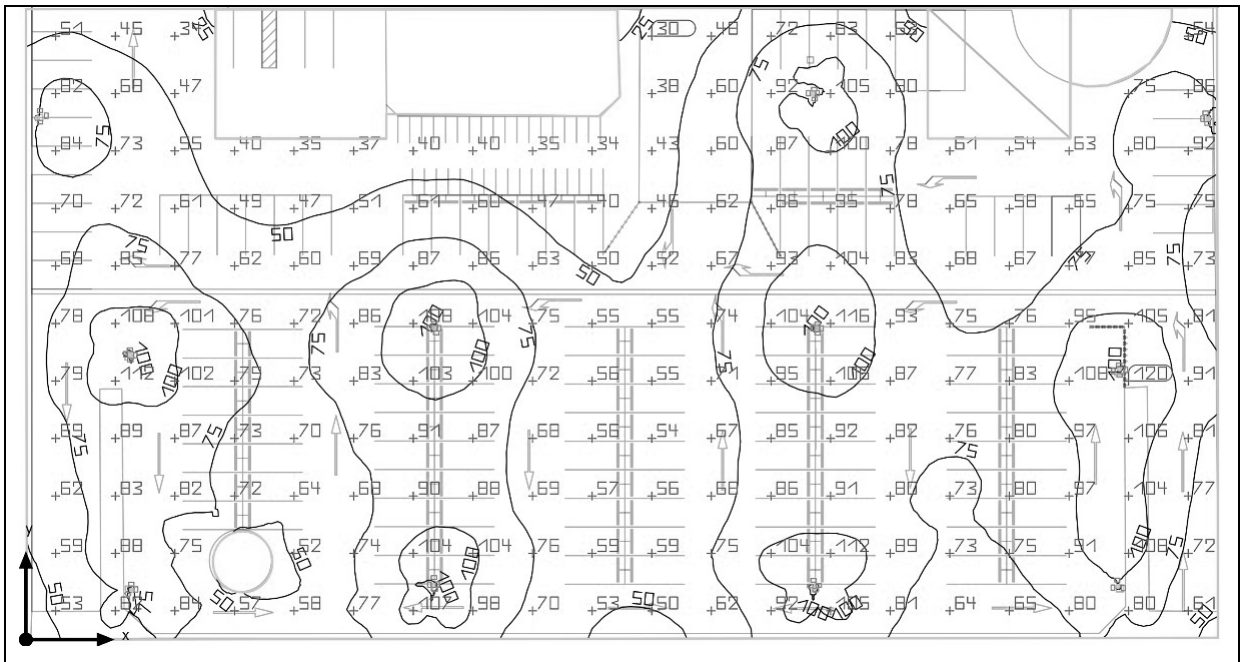
Figura 33 – Disposição das luminárias do cenário 4



Fonte: O autor

4.1.5 Cenário 5 – luminárias Lum PUB HDA 150

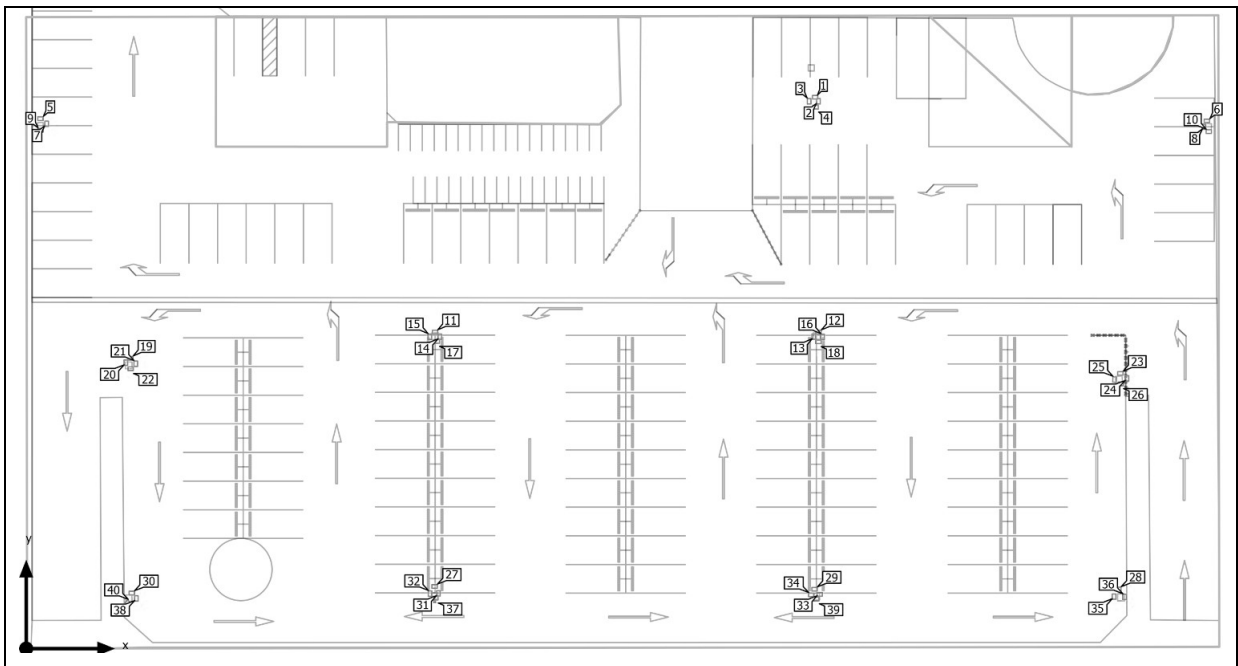
Figura 34 - Simulação de 40 luminárias HDA 150W



Fonte: O autor

A luminária da HDA de 150W não conseguiu atingir o mínimo de iluminância mantida, com o efetivo de 40 led, seu resultado foi de 74.1 lux, abaixo do pré-estabelecido. Na figura 35 pode-se ver o layout das luminárias simuladas.

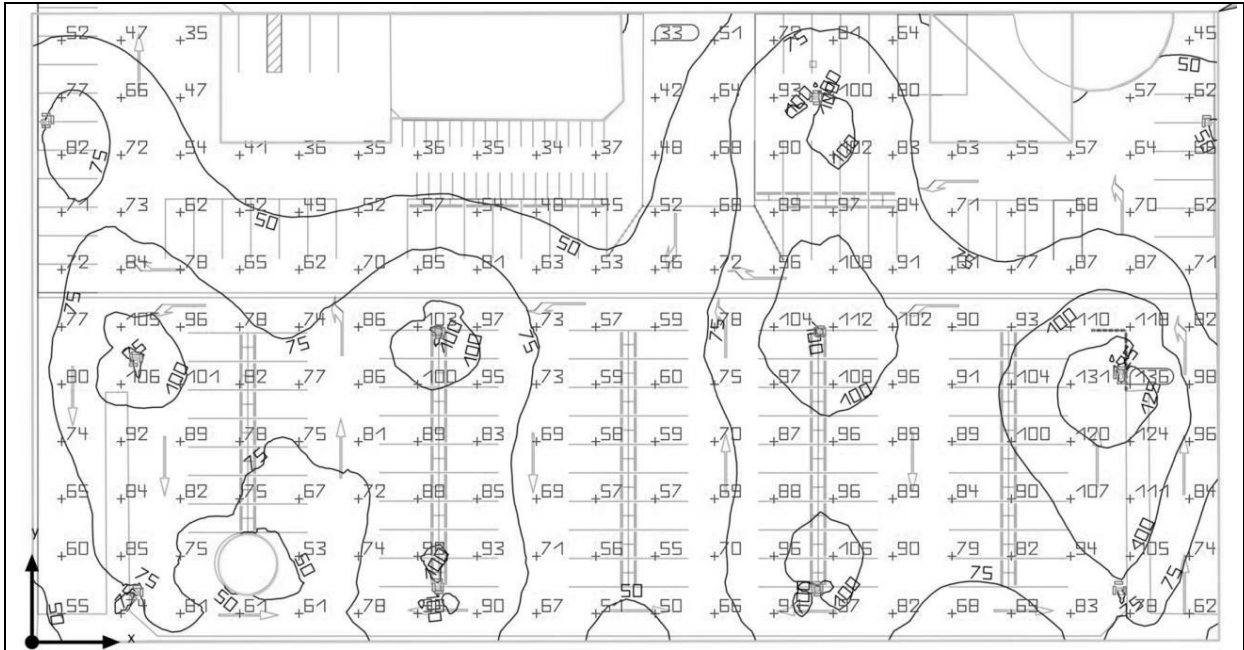
Figura 35 – Disposição das luminárias do cenário 5



Fonte: O autor

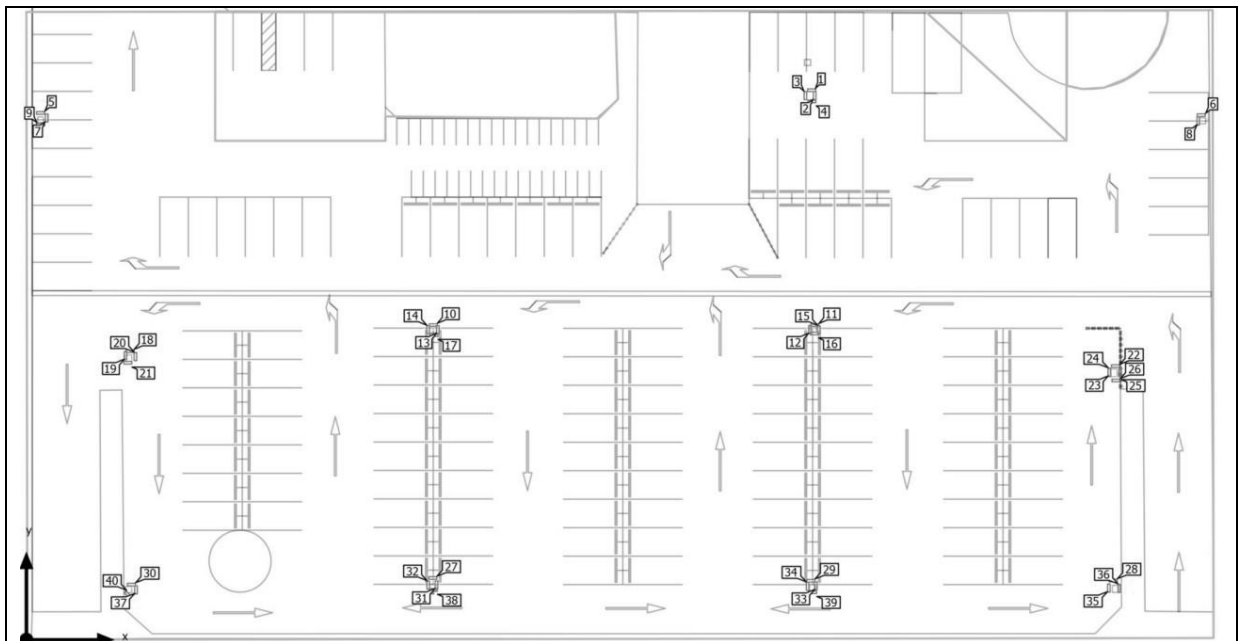
4.1.6 Cenário 6 – luminárias Helene 04782 150W

Figura 36 – Simulação de 40 luminárias Intral 150W



Fonte: O autor

Figura 37 – Disposição das luminárias do cenário 6

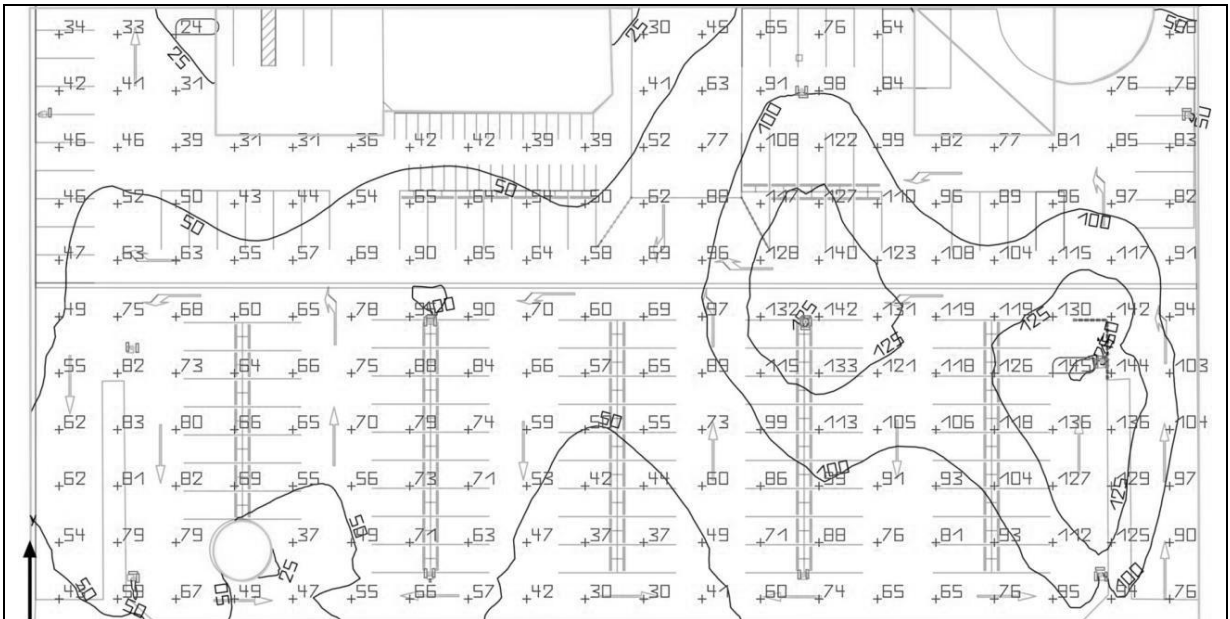


Fonte: O autor

De acordo com a simulação obteve-se o valor de 76 lux de iluminância com a quantidade de 40 luminárias. As informações podem ser vistas nas figuras 36 e 37. As potências e dados estão de acordo com Intral (2024).

4.1.7 Cenário 7 – luminárias Helene 04783 200W

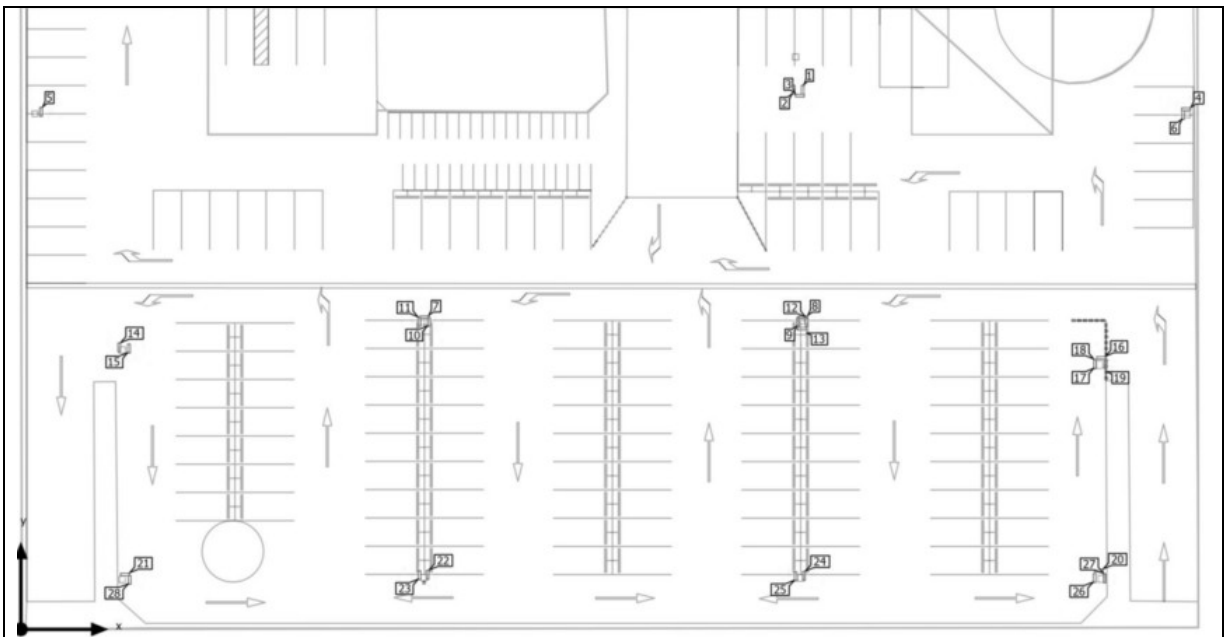
Figura 38 – Simulação de 40 luminárias Intral 200W



Fonte: O autor

No cenário 7 o desempenho da luminária de 200W da Intral conseguiu oferecer o nível mínimo de lux em 76,1, com 28 unidades, podendo ser vista sua repartição na figura 39.

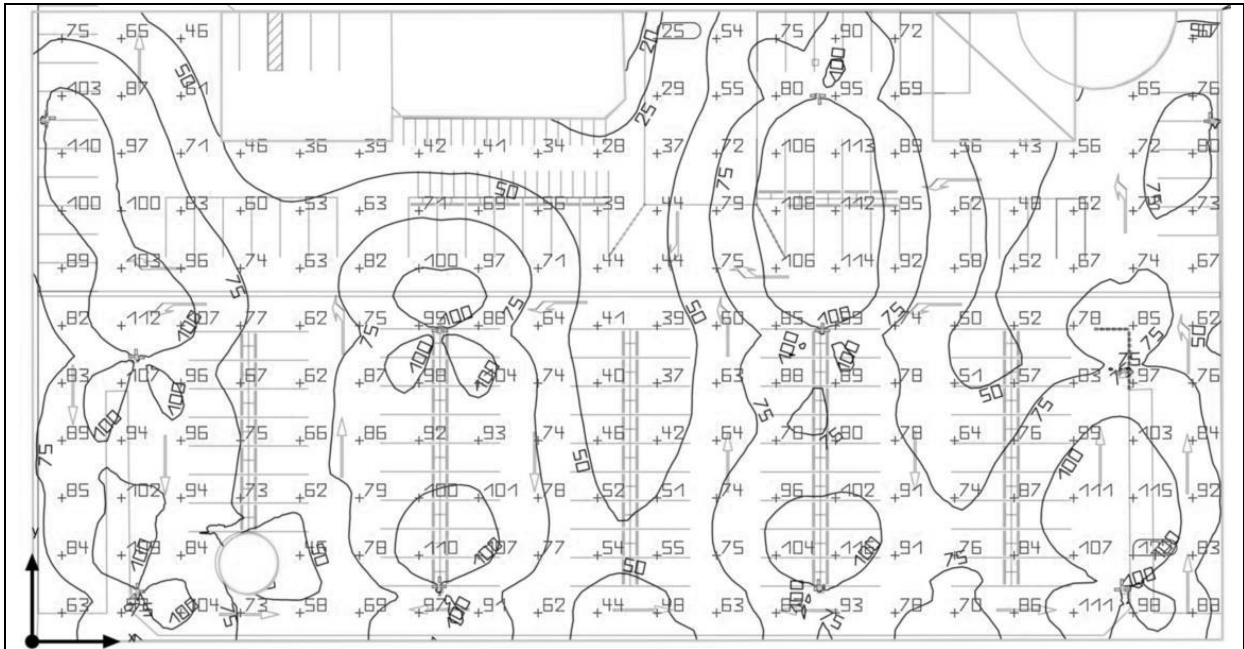
Figura 39 – Disposição das luminárias do cenário 7



Fonte: O autor

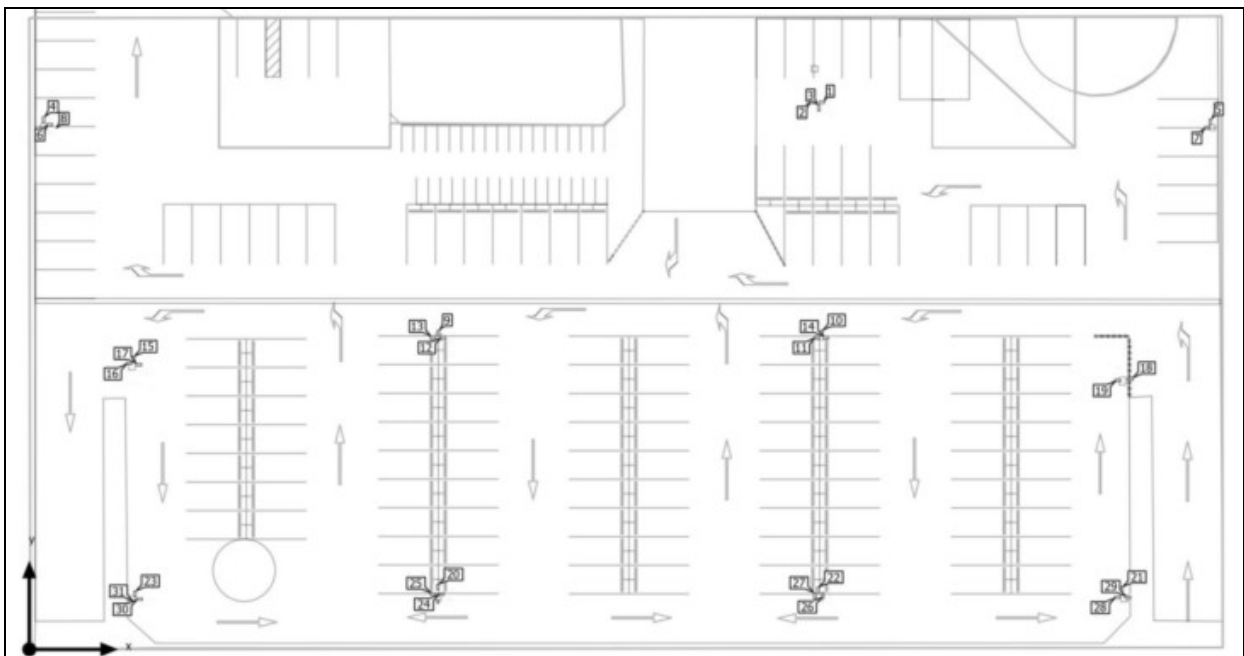
4.1.8 Cenário 8 – luminárias Arealight Nema3 Pro

Figura 40 – Simulação de 28 luminárias Ledvance 150W



Fonte: O autor

Figura 41 – Disposição das luminárias do cenário 8

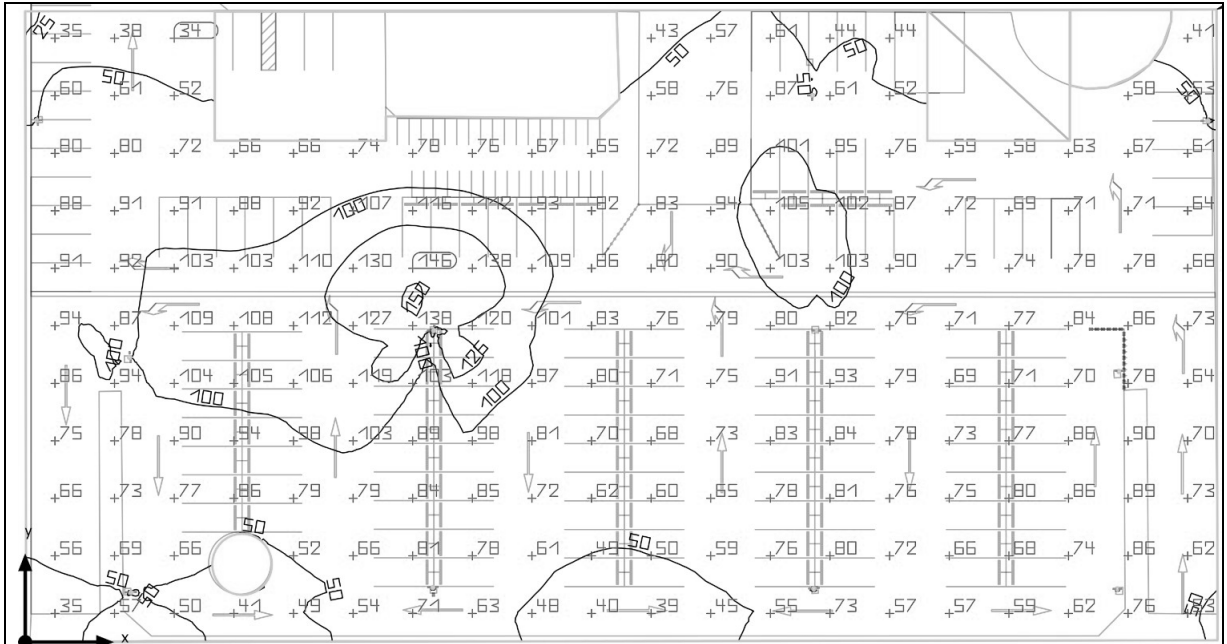


Fonte: O autor

No cenário 8 é possível visualizar um nível mínimo de luminância mantida de 75.8 lux com o total de 31 luminárias da empresa Ledvance, conforme figuras 40 e 41. As informações de simulação estão em acordo com Ledvance (2024).

4.1.9 Cenário 9 – luminárias ZL-7809 80°

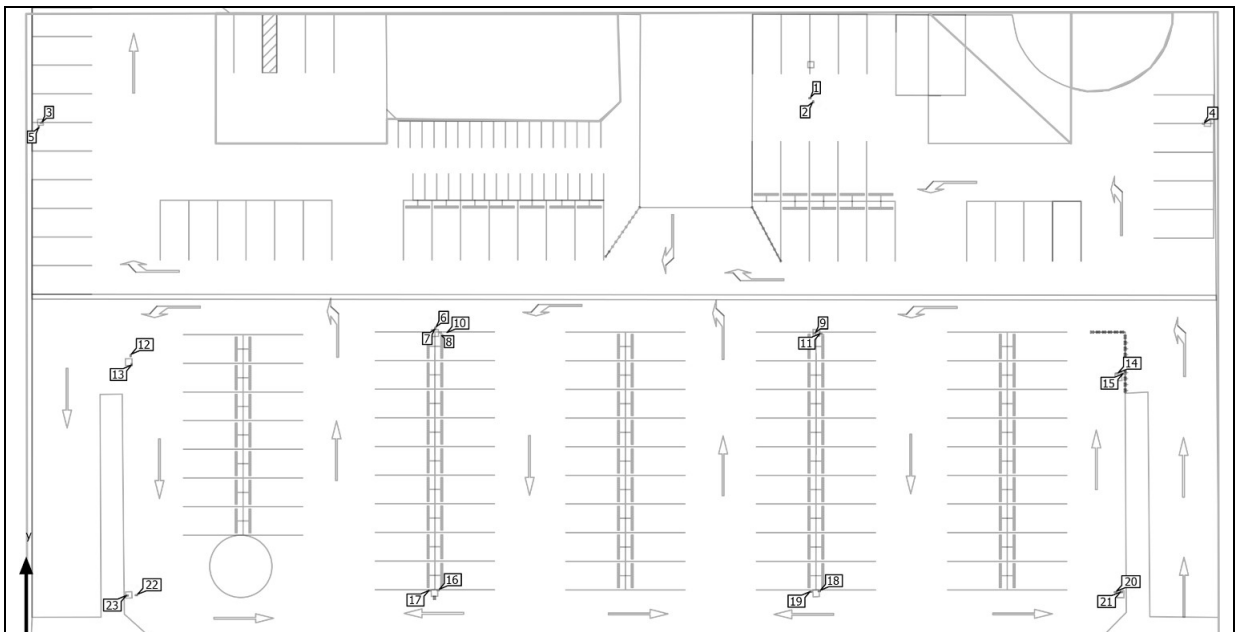
Figura 42 – Simulação de 23 luminárias Zagonel 250W



Fonte: O autor

No cenário 9 a luminária Zagonel de maior potência foi simulada e atingiu o nível de lux desejado de 77,5 lux com apenas 23 unidades conforme se evidencia na figura 42. Este resultado foi atingido no layout que pode ser visualizado na figura 43.

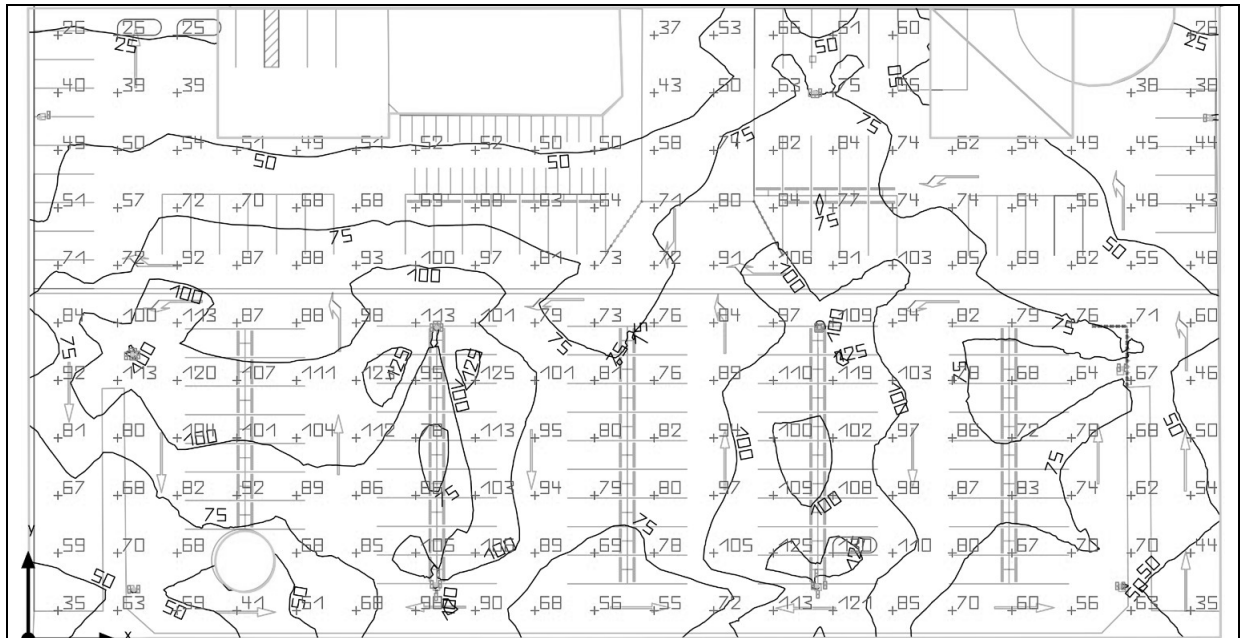
Figura 43 – Disposição das luminárias do cenário 9



Fonte: O autor

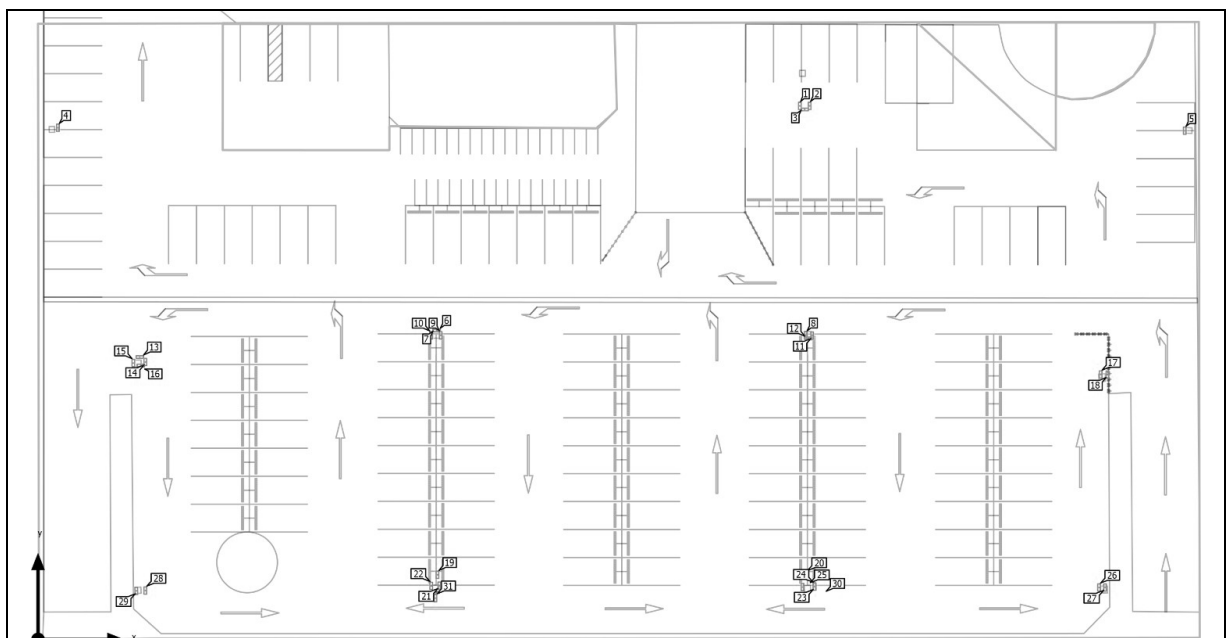
4.1.10 Cenário 10 – luminárias ZL-5962

Figura 44 – Simulação de 31 luminárias Zagonel 180W



Fonte: O autor

Figura 45 – Disposição das Luminárias do cenário 10



Fonte: O autor

Para o último cenário, visto na figura 44, tem-se a luminária de 180W da empresa Zagonel, com a qual foi possível atingir o índice desejado com 31

refletores, seu valor médio ficou em 75,5 lux. Este layout está disponível na figura 45. Os dados estão de acordo com Zagonel (2024).

4.2 Resumos dos valores de consumo e luminância

Conforme se pode avaliar na tabela 5, a única luminária que não atingiu o desempenho médio foi da empresa HDA de 150W, pois com a quantidade máxima projetada seu valor ficou em 74,1 lux.

Tabela 5 – Resumo dos níveis de iluminação total

Marca	Modelo	Potência	(UN)	Lumens por luminária	Total de Lumens	Média
HDA	Lum PUB HDA 200	200W	29	24.644	714.676	76,9 lx
Zagonel	ZL-5962	180W	31	25.200	781.200	75,5 lx
Conexled	CLP-LC200(F)	200W	30	25.000	750.000	75,4 lx
Zagonel	ZL-7809 80°	250W	23	34.039	782.897	76,6 lx
Conexled	CLP-LC150(F)	150W	37	20.250	749.250	76,5 lx
Intral	Helene 04783x	200W	28	25.980	727.440	76,1 lx
Intral	Helene 04782	150W	40	19.455	778.200	76,0 lx
LedVance	Arealight Nema3 Pro	150W	31	24.004	744.124	75,8 lx
EBS Light	LPI200SV-5-CR	200W	23	33.814	777.722	75,7 lx
HDA	Lum PUB HDA 150	150W	40	18.516	740.640	74,1 lx

Fonte: O autor

Tabela 6 – Valores de consumo versus total de lumens obtidos

Marca	Modelo	Potência	(UN)	Potência total	Média
EBS Light	LPI200SV-5-CR-STD	200W	23	4600W	75,7 lx
LedVance	Arealight Nema3 Pro	150W	31	4650W	75,8 lx
Conexled	CLP-LC150(F)	150W	37	5550W	76,5 lx
Zagonel	ZL-5962	180W	31	5580W	75,5 lx
Intral	Helene 04783	200W	28	5600W	76,1 lx
Zagonel	ZL-7809 80°	250W	23	5750W	77,5 lx
HDA	Lum PUB HDA 200	200W	29	5800W	76,9 lx
Conexled	CLP-LC200(F)	200W	30	6000W	75,4 lx
Intral	Helene 04782	150W	40	6000W	76,0 lx
HDA	Lum PUB HDA 150	150W	40	6000W	74,1 lx

Fonte: O autor

De acordo com o resultado fornecido na tabela 6, tem-se a luminária da ESB Light, como a mais eficiente energeticamente, pois com apenas 23 unidades, gerando um consumo de 4.600W, obteve-se o valor esperado em lux. Isto também

se justifica pelo fator técnico em fornecer o melhor índice de lúmen por watt, assim ficando demonstrado que esta luminária se tornou a mais bem colocada entre as 10 simuladas.

4.2.1 Resultados obtidos

De acordo com a simulação em software concluiu-se que a potência não está diretamente vinculada a eficácia da luminária, mas devem ser levados em consideração outros fatores como altura do poste, já que este requisito afeta seu desempenho.

A quantidade de lumens por watt é um aspecto determinante, pois a segunda colocada no ranking de consumo precisou de 31 refletores para alcançar o fator médio de iluminância, acrescentando apenas 50W de onerosidade elétrica. Entretanto o fator investimento inicial se torna mais encarecedor, fazendo com que o tempo de retorno do investimento se torne mais longo em muitos casos, inviabilizando a aprovação por parte dos investidores do projeto. Para demonstrar que a viabilidade técnica das outras luminárias não atende o projeto apresentado, seria necessário aplicar de forma prática todos os cenários propostos, pois somente com a simulação não se tem convicção exata sobre os outros dispositivos, somente podendo simular e inferir que sejam menos eficazes. Entretanto, com base nos resultados obtidos pode-se encontrar um norteador de critérios que invariavelmente fornece melhores informações e dados para tomada de decisão.

A compra deve ser única e efetiva, portanto, serão apresentadas, à empresa responsável pelo local, quatro soluções viáveis, sendo as empresas ESB Light, LedVance, Conexled e Zagonel.

A de melhor custo-benefício por lógica poderia ser a solução única, porém é bom ressaltar também que a homogeneidade de fluxo luminoso torna o ambiente mais agradável aos olhos. Assim, em vez de se concentrar em apenas 23 luminárias, poderiam ser utilizados 31 ou 37 equipamentos que proporcionariam também ótimos cenários luminosos, em detrimento de um investimento inicial mais oneroso.

A tomada de decisão fica sempre a critério do investidor, se pode oferecer alternativas de solução. Todavia, no curto prazo é necessário gastar com instalação

e imobilização para que no longo prazo se obtenha o retorno sobre o valor empregado no projeto.

4.2.2 Efetivação da compra

Após aprovação da área comercial do shopping onde se realizou o estudo, a compra dos materiais foi deliberada, assim os orçamentos apresentados estão disponíveis na tabela 7. Para manter o sigilo das informações e das empresas que participaram do processo de orçamentação foram adotados novos nomes para as marcas e os modelos propostos, será mantido apenas a potência e os valores adquiridos.

Tabela 7 – Valores de luminárias coletados para compra

Marca	Modelo	Potência	(UN)	Lux	Data	Custo unitário (em R\$)	Custo Total (em R\$)
Empresa A	Modelo A	200W	23	75,7 lx	15/08/2024	801,12	18.425,76
Empresa B	Modelo B	150W	31	75,8 lx	16/08/2024	637,58	19.764,98
Empresa C	Modelo C	150W	37	76,5 lx	03/06/2024	776,27	28.721,90
Empresa D	Modelo A	250W	23	77,5 lx	10/06/2024	987,64	22.715,73

Fonte: O autor

Os valores apresentados denotam que a empresa A, além de apresentar a melhor performance na simulação, também representa o menor valor em termos de investimento, com o valor total de R\$ 18.425,76. Entretanto, o custo das luminárias não reflete todo o valor necessário para a implementação do projeto, sendo necessário também abordar a troca dos suportes pétalas, pois em todos os cenários calculados é fundamental o incremento de luminárias, mantendo o número de postes atuais. Na tabela 8 encontra-se a soma dos valores dos dispositivos elétricos e custo de compra dos suportes de luminárias. É importante também ressaltar que no caso das lâmpadas de led da Empresa A poderia se reaproveitar quatro suportes duplos e dois suportes únicos, reduzindo o valor necessário para a efetivação do processo de instalação. Todavia, com o intuito de padronizar e harmonizar de forma estética o estacionamento do shopping a compra completa foi autorizada, bem como o descarte dos suportes antigos.

Para o cálculo ficar mais ajustado à realidade dos serviços, foi inserido na tabela 8 também o valor de custo das horas de Munck, a estimativa é de 10 horas de trabalho. Ao serem considerados todos os fatores que geram valores provisionados, será possível prever o tempo de retorno sobre o investimento.

Um dos valores mais relevantes para esta análise é o valor da energia elétrica paga mensalmente pelo estabelecimento. De acordo com a última fatura do mês 08/2024 o valor médio do megawatt é de R\$ 670,00. Esse valor é menor que a média do mercado devido a empresa se inserir no mercado livre de energia, sendo que o valor real seria 20% acima, de acordo com relatórios fornecidos pela empresa. O que pode custar maior tempo de espera para o retorno do investimento, apesar das luminárias possuírem uma vida média de 10 anos, com base na taxa de uso diário, é possível e viável que ocorrerá uma resposta financeira satisfatória abaixo do tempo de vida total dos dispositivos.

Tabela 8 – Custos totais de implantação

Marca	Unitárias	Duplas	Triplas	Qua- druplas	Custo Pétalas (em R\$)	Custo Munck (em R\$)	Custo Total (em R\$)	Total (em R\$)
Empresa A	0	2	6	0	1.400,00	2.400,00	18.425,76	22.225,76
Empresa B	0	0	9	0	1.557,27	2.400,00	19.764,98	23.722,25
Empresa C	0	0	7	4	2.211,21	2.400,00	28.721,90	33.333,11
Empresa D	0	2	3	0	786,52	2.400,00	22.715,73	25.902,25

Fonte: O autor

Os valores demonstram que apesar de possuir maior necessidade de investimento em suportes, a Empresa A apresenta o menor custo total de investimento, seguido por Empresa B e D, por último ficou a Empresa C, devido a maior necessidade de luminárias também requer maior investimento em suportes, o que ocasiona baixo rendimento luminoso e maior gasto inicial.

4.2.3 Retorno sobre o investimento

O tempo necessário para que o investimento tenha retorno depende de algumas variáveis, sendo o somatório dos custos iniciais de implantação de todo o projeto, em contrapartida aos benefícios oferecidos pela troca. Na tabela 9 é possível verificar o consumo das luminárias sugeridas, e de acordo com Philips (2024) o consumo total das lâmpadas atuais é de 4.840 watts. Ficando evidente as

reduções de consumo das marcas selecionadas, desde a inferior econômica até a mais indicada no projeto. Novamente a Empresa A se destaca na redução do consumo, seguida pela Empresa B. As variáveis de consumo foram estabelecidas em cinco horas de uso diário das luminárias o que gera um montante de 690 Kw/h no somatório das 23 luminárias, as demais ficaram com valores maiores. Essa análise reflete o inverso proporcional de forma lógica, sendo que quanto maior for o consumo diário, menor será seu benefício em longo prazo. Esses valores serão necessários para análise final do retorno financeiro almejado no projeto. É possível também enfatizar que apesar das marcas novas divergirem no consumo elétrico, nenhuma delas ultrapassou o valor de consumo das lâmpadas atuais, o que evidencia uma necessidade técnica e financeira de troca.

Tabela 9 – Valores financeiros de redução mensal e anual

Consumo Mensal (5 horas de uso por dia)			Financeiro			
Atual	Marca	Sugerida	Economia Mensal	Custo Megawatt (em R\$)	Valor Mensal (em R\$)	Valor Anual (em R\$)
932,4 Kw	Empresa A	690,0 Kw	242,4 Kw	670,00	162,41	1.948,90
932,4 Kw	Empresa B	697,5 Kw	234,9 Kw	670,00	157,38	1.888,60
932,4 Kw	Empresa C	832,5 Kw	99,9 Kw	670,00	66,93	803,20
932,4 Kw	Empresa D	862,5 Kw	69,9 Kw	670,00	46,83	562,00

Fonte: O autor.

Para a análise primária pode-se levar em consideração um cálculo de *payback*, ou seja, o montante inicial investido na troca das luminárias e seu benefício calculado, com a redução de consumo, não deixando de compor também o aumento de lumens no local, e também a adequação com as normativas pré-descritas e abordadas no trabalho. Na equação 6 demonstra-se o tempo de retorno do investimento, segundo Rodrigues (2019).

$$Payback = \frac{Custos}{Benefícios} = \frac{R\$ 22.225,76}{R\$ 1.948,90} = 11.4 \text{ (anos)} \quad (6)$$

De acordo com a Empresa A, sua luminária possui vida útil de 77.000 horas, o que para efeitos práticos se converte para 42 anos de uso, levando em consideração seu uso diário de apenas 5 horas. Entretanto, para uma análise conservadora, será

adotado uma vida útil de 15 anos sem necessidade de troca, ficando subjetivo também o tempo de garantia oferecido pela empresa que é de 5 anos. Para essa análise é financeiramente viável a troca, pois em 15 anos é provável que haja necessidade de reparos ou troca de lâmpadas queimadas, pois já estará esgotada a garantia de fábrica e o *payback* ocorre em 11,4 anos tendo um saldo de 3,6 anos ou 43 meses.

Outra forma de analisar esse investimento e seu respectivo retorno é através do custo de troca das lâmpadas atuais no decorrer do tempo, a vida útil da lâmpada de vapor de sódio é de aproximadamente 20.000 horas, entretanto para o tempo estimado será considerada uma troca completa de lâmpadas e reatores no período de 15 anos. Com os valores obtidos, a segunda análise se torna mais prática, então considerando o consumo das lâmpadas atuais em contraste com as marcas sugeridas para que seja claro e assertivo o projeto luminotécnico sugerido e comprado.

Nesta aferição secundária, pode-se verificar na tabela 10 que, em 15 anos de consumo o valor econômico reduzido foi de R\$ 36.331,00, ou seja, caso ocorra um péssimo cenário em que todas as luminárias findem sua vida útil, ainda será vantajosa a troca devido a esse saldo.

Tabela 10 – Comparativo de custos de manutenção em 15 anos

Fatores Comparativos	Atual Instalada (em R\$)	Empresa A (em R\$)	Empresa B (em R\$)	Empresa C (em R\$)	Empresa D (em R\$)
Custo Mensal de consumo	624,71	462,30	467,33	557,78	577,88
Custo Anual de consumo	7.496,50	5.547,60	5.607,90	6.693,30	6.934,50
Valor de 1 troca completa	4.697,56	-	-	-	-
Serviço Munk	2.400,00	-	-	-	-
Total em 15 anos	119.545,00	83.214,00	84.118,50	100.399,50	104.017,50

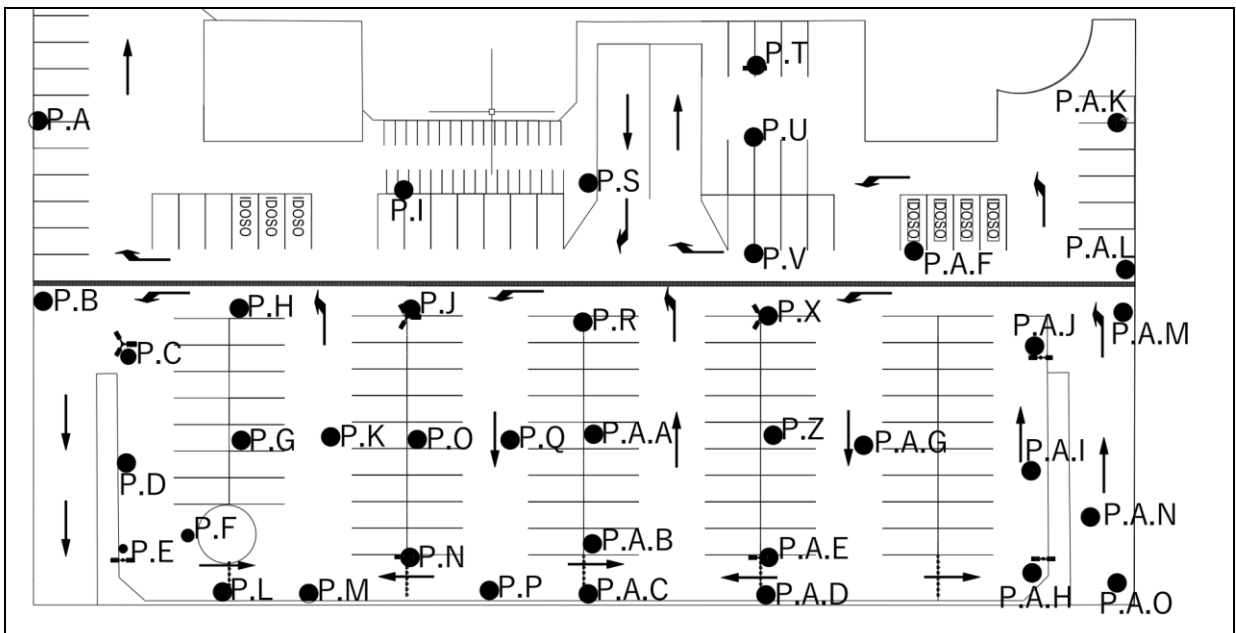
Fonte: O autor.

Na tabela 10 fica evidente a diferença de consumo elétrico em 15 anos mesmo, desconsiderando o valor da troca completa de lâmpadas e reatores atuais o valor reduzido é R\$ 29.233,44 tornando possível nova compra futura, ou a manutenção do sistema projetado da Empresa A.

4.2.4 Medições finais do local projetado

A figura 46 demonstra como foram elencados os pontos em sequência alfabética, possibilitando assim compará-los. Esses foram de P.A até P.A.O, sendo no total 39 medições reaplicadas nas mesmas condições de horário e ambiente externo.

Figura 46 – Distribuição de pontos de aferição



Fonte: O autor

Após a troca das luminárias no local de projeto foi realizada nova medição com luxímetro nos mesmos pontos anteriores a troca, verificando-se aumento significativo de luminância média mantida em boa parte do estacionamento.

Tabela 11 – Comparativo de medição

Pontos	Medição Anterior	Medição Final	Ganho em Lux	Percentual
P.B	14	37	23	164%
P.C	38	74	36	95%
P.D	39	70	31	79%
P.E	39	57	18	46%
P.F	38	53	15	39%
P.G	33	72	39	118%
P.H	25	70	45	180%
P.I	21	91	70	333%
P.J	45	119	74	164%
P.K	41	72	31	76%
P.L	21	32	11	52%
P.M	31	48	17	55%
P.N	56	66	10	18%
P.O	47	69	22	47%
P.P	20	44	24	120%
P.Q	37	81	44	119%
P.R	15	48	33	220%
P.S	14	45	31	221%
P.T	44	137	93	211%
P.U	51	116	65	127%
P.V	53	113	60	113%
P.X	39	127	88	226%
P.Z	54	93	39	72%
P.A.A	26	45	19	73%
P.A.B	34	42	8	24%
P.A.C	17	38	21	124%
P.A.D	33	32	-1	-3%
P.A.E	37	66	29	78%
P.A.F	33	79	46	139%
P.A.G	44	89	45	102%
P.A.H	49	84	35	71%
P.A.I	51	99	48	94%
P.A.J	39	102	63	162%
P.A.K	42	50	8	19%
P.A.L	27	50	23	85%
P.A.M	25	63	38	152%
P.A.N	39	87	48	123%
P.A.O	35	59	24	69%

Fonte: O autor

Alguns pontos ainda permaneceram com baixa incidência de luz, devido à impossibilidade de inserir outros postes no projeto, o que foi proposto e exigido pela própria empresa. A mudança na temperatura de cor de 4500k para 6500k trouxe de forma harmônica uma significativa melhora de ambiente, oferecendo para os

usuários do local uma sensação de clareamento mais intenso e uniforme. Com base nos dados apresentados na tabela 11, as medições em lux obtiveram um aumento de até 333% em relação ao cenário anterior, o resultado obtido foi aceitável e, apesar das adversidades vinculadas ao processo de troca e investimento, foi possível diminuir o consumo elétrico e otimizar de forma prática o que a simulação ofereceu, de maneira antecipada. Com base nas medidas aferidas é possível também destacar maior alcance de projeção luminosa, antes impossibilitado pela baixa eficiência do modelo antigo.

O que fica evidente no processo de clareamento por meio de planejamento e normatização, é que se estabelece em resultado técnico adequado aliado ao baixo consumo. Entretanto, o investimento inicial pode, em alguns casos, oferecer resistência por parte de alguns proprietários que, por falta de diagnóstico adequado e desinformação, rejeitam medidas que os beneficiariam em longo prazo. Este projeto provou que é possível aliar fatores de custo e retorno, com evidências tácitas e bem calculadas.

5 CONCLUSÃO

Após o término deste trabalho, que teve por objetivo a melhoria do sistema de iluminação do estacionamento de um shopping, pode-se concluir que foi necessário apresentar a bibliografia existente que consolidou as premissas de ajuste e alteração, no local abordado.

A instalação atual foi reaproveitada estruturalmente em sua maioria, pois a rede de energia e os postes apresentam ótimas condições de uso. Os índices de lux coletados demonstraram a baixa eficiência do sistema requerendo, assim, a intervenção oferecida. Antes de propor a melhoria foram simulados dez cenários de luminescência com utilização de luminárias de marcas distintas no intuito de apresentar o melhor desempenho possível, no estudo proposto. Dentro das simulações foram acrescentados também critérios normativos de acordo com a NBR ISSO 8995 (ABNT, 2013), que estabelece um nível de 75 lux como mínimo médio mantido no local.

Depois de definido o modelo que apresentou o melhor custo-benefício coligando preço baixo no investimento e maior desempenho de lumens por watt, a Empresa A foi requerida, aprovada e comprada para a realização da troca das lâmpadas antigas que consumiam uma média de 440w, pelo Modelo A passando a consumir 200w. Esta redução em ganho de escala na eficiência proporcionou aumentar a quantidade de luminárias no projeto, acrescentando, de forma expressiva, a quantidade de lumens disponíveis em padrões mais homogêneos e simétricos sobre o solo do estacionamento. O quantitativo de dispositivos onerou de 14 lâmpadas halógenas para 23 luminárias de led redistribuídas com alteração e realocação de suportes, permitindo atingir os níveis mínimos desejados no trabalho proposto.

Com a redução no consumo, dentro do período de 11,4 anos, o valor investido já terá seu retorno almejado, restando ainda uma boa margem de vida útil para os equipamentos instalados, o que denota excelente substituição técnica.

As medições finais comprovaram que o aumento de lux no local, em detrimento aos níveis iniciais, foi satisfatório, apresentando um ganho percentual médio de 111% oferecendo, assim, aumento significativo de lumens disponíveis, acompanhado por menor consumo elétrico, viabilizando o investimento, garantindo seu retorno e normalizando o estacionamento.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/CIE 8995-1: iluminação de ambientes de trabalho. Parte 1: Interior.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14744: poste de aço para iluminação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- BENDER, V. C. **Metodologia de projeto eletrotérmico de leds aplicada ao desenvolvimento de sistemas de iluminação pública.** Orientador Tiago Bandeira Marchesan. 2012. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade de Santa Maria, UFSM, Rio Grande do Sul, Brazil. 2012. Disponível em:
<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8510/BENDER%2c%20VITOR%20CRISTIANO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 maio 2024.
- CONEXLED. Conex Eletromecânica Indústria e Comércio Ltda. **Guia rápido de produtos: iluminação para indústrias, áreas públicas e atmosferas explosivas.** 2024. Disponível em: <https://conexled.com/downloads/>. Acesso em: 01 maio 2024.
- CREDER, Hélio. **Instalações elétricas.** Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- DELLA LUCIA, Felipe Lorenzo. **Desenvolvimento de um sistema de gestão de iluminação pública através de redes de sensors e atuadores sem fio.** Orientador: Leandro Tiago Manera. 2014. 94 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. Campinas-SP, 2014.
- ESB LIGHT. ESB Indústria e Comércio de Eletroeletrônicos Ltda. **Luminária LPI200SV-5-CR-STD 2303.** 2024. Disponível em : <https://esblight.com.br>. Acesso em: 01 maio 2024.
- FILADELFO, Fernando Ribeiro. **Desenvolvimento de um conversor estático controlado por pwm para luminária de iluminação pública com leds.** Orientador: Samuel E. de Lucena. 2010. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá-SP, 2010.
- FREITAS, Paula Campos Fadul de. **Luminotécnica e lâmpadas elétricas.** 2009. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/140265636/Lampadas-Eletricas-e-Luminotecnica-Paula-Freitas>. Acesso em: 02 maio 2024.
- GMBH, Dial. **Dialux evo manual: a collection of all wiki articles.** 2017. Disponível em: <https://www.dialux.com/en-GB/download>. Acesso em: 01 maio 2024.
- HDA. **Produtos: luminária led HDA 001 MP injetada 150W.** 2024. Disponível em: <https://hda.ind.br/produtos/led-hda-001-mp-injetada/led-hda-001-mp-injetada-150w-185>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- INTRAL. Intral S.A. **Luminárias Helene 04782 150W.** 2024. Disponível em: <https://www.intral.com.br/pt/intral/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

KALLI, John F. **Thomas Edison**: A curiosa vida de um dos maiores inventores da história. [S.l.]: Book Brothers, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/729641658/Thomas-Edison-A-curiosa-vida-d-John-F-Kalli>. Acesso em: 10 maio 2024.

LEDVANCE. **Datasheet A17-3T150SF/3PRS**. jun. 2024. Disponível em: <https://www.rablighting.com/specs/A17-3T150SF/3PRS>. Acesso em: 15 maio 2024.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

MARTINS, Roberto de Andrade; ROSA, Pedro Sérgio. **História da teoria quântica: a dualidade onda-partícula, de Einstein a De Broglie**. São Paulo: LF Editorial, 2014.

NERY, Norberto. **Instalações elétricas: princípios e aplicações**. São Paulo: Érica, 2019. *E-book*.

NOGUEIRA, Fernando José. **Avaliação experimental de luminaries empregando leds orientadas à iluminação pública**. Orientador: Henrique Antônio Carvalho Braga. 2013. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora-MG, 2013.

OSRAM. **Manual luminotécnico prático**. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/manual-luminotecnico-pratico.pdf>. Acesso em: 01 maio 2024.

PHILIPS. **Guia prático Philips iluminação: lâmpadas, luminárias, reatores, leds**. 2024. Disponível em: <https://www.helenge.com.br/uploads/9fca68e98632be1b0dcdb5c299e229b0.pdf>. Acesso em: 30 maio 2024.

PHILIPS. Philips Lumileds Lighting Company. **Lumileds**. 2006. Disponível em: www.lumiledsfuture.com. Acesso em: 02 jun. 2024.

RODRIGUES, Francisco Edgleice Siqueira. **Estudo de caso: análise de viabilidade econômica da implantação de luminárias LEDs em trechos do sistema de iluminação pública da cidade de Forquilha-CE**. Orientador Prof. Dr. Eber de Castro Diniz. 2019. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/47724>. Acesso em: 01 maio 2024.

SARANGA, D. A. A. S.; DIAS, N. A. D. L. S. L.; FERNANDO, K. A. G. C.; SENAVIRATNA, N. A. C.; DHAMMEARATCHI, D. Semi-Automated Vehicle Routing System (SAVROS). **International Journal of Computer Applications**. v. 147, n. 9, August 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332439860_Semi-Automated_Vehicle_Routing_System_SAVROS. Acesso em: 10 set. 2024.

SOBREIRA, Sandro Geraldo Alves. **Eficiência energética aplicada a iluminação**. Orientadora Regiane de Souza e Silva Ramalho. 2017. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em:

<https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/964>. Acesso em: 01 maio 2024.

ZAGONEL. **Luminária pública catarina**: luminárias ZL-5962. Jun. 2024. Disponível em: <https://www.zagonel.com.br/iluminacao/luminaria-publica-atarina>. Acesso em: 08 jun. 2024.