

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande



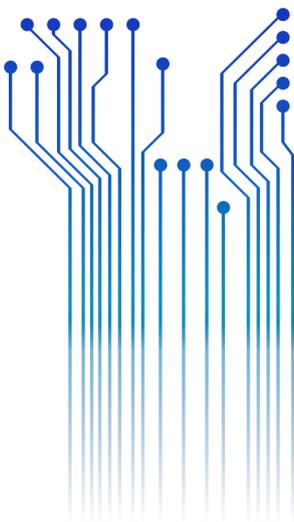
Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática



Departamento de  
Engenharia Elétrica

ALBERTO LEÔNIO DOS SANTOS FONTAN

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA ORLA  
MARÍTIMA DE MACEIÓ



Campina Grande  
2018

Alberto Leônio dos Santos Fontan

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA ORLA  
MARÍTIMA DE MACEIÓ

*Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Coordenação do curso de  
Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção  
do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eficiência Energética

Orientador:  
Professor Ubirajara Rocha Meira

Campina Grande  
2018

Alberto Leonio dos Santos Fontan

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DA  
ORLA MARÍTIMA DE MACEIÓ

*Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido à Unidade Acadêmica de  
Engenharia Elétrica da Universidade  
Federal de Campina Grande como parte  
dos requisitos necessários para a obtenção  
do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eficiência Energética

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

**Professor Ubirajara Rocha Meira**

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus avós, minha mãe, minha irmã, todos os meus amigos que me apoiaram e a Deus que sempre esteve ao meu lado me fortalecendo.

# AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por toda a força que ele me proporcionou para aguentar esses anos de curso, sei que sem Ele eu não chegaria a lugar nenhum e que Ele é quem comanda a minha vida e me guia pelo melhor caminho.

Agradeço também aos meus avós, Leônio e Magali, que sempre me apoiaram e me deram suporte emocional e financeiro ao longo do curso, mesmo longe eles mantiveram contato comigo quase que diariamente e com toda certeza isso foi fundamental para aliviar um pouco a saudade que eu tinha da minha casa.

Agradeço a minha mãe e irmã, Katya e Patricia, que sempre foram presentes na minha vida, em momentos de tristeza e de alegria, elas sempre estão ao meu lado seja me apoiando e oferecendo ajuda ou comemorando comigo. Elas nunca deixaram que me faltasse nada e sou muito grato a isso, pois foi fundamental para que eu pudesse concluir o meu curso.

Agradeço os meus familiares, que sempre se preocuparam comigo e ofereceram ajuda das mais diversas formas.

Agradeço a todos os meus amigos, que estiveram comigo durante todos esses anos e que foram indispensáveis para que eu aguentasse passar tanto tempo longe da minha família.

Agradeço aos meus amigos João Carlos e Djerson, que me ajudaram bastante me fornecendo informações que eu não possuía.

Agradeço também ao professor Ubirajara Rocha Meira por ter aceitado a me orientar neste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a minha formação pessoal e acadêmica.

# Resumo

O tema eficiência energética ganhou notoriedade e chama a atenção dos governos e da sociedade no que diz respeito a escassez de recursos energéticos e altas tarifas cobradas sobre o consumo da energia elétrica; portanto, tornou-se recorrente a otimização dos sistemas e equipamentos que utilizam energia elétrica. Como exemplo, pode ser citado um sistema de Iluminação Pública; ao otimizá-lo, o mesmo proporcionará uma redução nos gastos públicos e atrairá investimentos, oportunidades de negócios e mais segurança para a população. Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo, inicialmente, relatar a evolução das lâmpadas, os conceitos e terminologias para projetos de vias públicas, mostrando assim a importância que se tem a eficiência energética no sistema de Iluminação Pública, em seguida será feita uma comparação entre o sistema anterior e o atual da orla marítima de Maceió, explicando os pontos positivos que essa mudança proporcionou e para finalizar será explicado o que é Procel Reluz e qual a sua importância.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Iluminação Pública, Orla Marítima de Maceió, Procel, Reluz, LED, Telegestão.

# Abstract

Energy efficiency has gained notoriety and draws the attention of government and society "about" the lack of energetic resources and high fees "over" the usage of electric energy; therefore, optimizing systems and equipments that uses electric energy became recurrent. Street lighting systems can be used as an example here; as we optimize those systems, it will reduce public spendings and will attract investments, business oportunities and more security for the population. This final paper is, initially, intended to report the evolution of light bulbs, its concepts and terminologies for public road projects, showing the importance of energy efficiency in public lighting systems; then, a comparison between the previous and the new system of Maceió's seashore will be shown, explaining the strenghts that these changes have provided; lastly, it will be explained what Procel Reluz is and its importance.

**Key-words:** Energy Efficency, Public Lighting, Maceió's, Procel, Reluz, LED, Management.

## Lista de Figuras

Figura 1: Primeira Lâmpada de Thomas Edison .....	18
Figura 2: Starter .....	19
Figura 3: Lâmpada Halógena .....	21
Figura 4: Espectro eletromagnético.....	25
Figura 5: (a) Curvas Fotométricas Horizontais e Verticais; (b) Curva Fotométrica Vertical de uma Lâmpada Vapor de Mercúrio de Cor Corrigida de 250 W.....	28
Figura 6: Diagrama Isolux (Moreira, 1976).....	30
Figura 7: Representação dos Parâmetros: Altura de montagem (HM), Largura da via (L) e Espaçamento (E).....	36
Figura 8: Disposição dos Postes .....	39
Figura 9: Posição das Luminárias (Pista).....	39
Figura 10: Disposição das Luminárias (Calçada) .....	40
Figura 11: Superfícies de Cálculo .....	40
Figura 12: Representação de Cores Falsa (Anterior).....	41
Figura 13: Disposição dos Postes .....	42
Figura 14: Posição das Luminárias (Pista).....	43
Figura 15: Disposição das Luminárias (Calçada) .....	43
Figura 16: Superfícies de Cálculo .....	44
Figura 17: Representação de Cores Falsa (Atual) .....	45
Figura 18: Disposição dos Postes .....	46
Figura 19: Posição das Luminárias (Pista).....	46
Figura 20: Disposição das Luminárias (Calçada).....	47
Figura 21: Superfícies de Cálculo .....	48
Figura 22: Representação de Cores Falsa (Anterior).....	48
Figura 23: Orla da Ponta Verde.....	49
Figura 24: Orla da Ponta Verde (Satélite) .....	50
Figura 25: Etiqueta ENCE .....	53

# Lista de Tabelas

Tabela 1: Fluxos Luminosos.....	29
Tabela 2: Eficiência Luminosa.....	29
Tabela 3: Requisitos de Luminância e Uniformidade .....	34
Tabela 4: Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação .....	35
Tabela 5: Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação .....	36
Tabela 6: Relação entre Fluxo Luminoso x Altura de Montagem.....	37
Tabela 7: Posição das Luminárias (Pista) .....	39
Tabela 8: Posição das Luminárias (Calçada).....	40
Tabela 9: Resultados Sistema Anterior .....	40
Tabela 10: Posição das Luminárias (Pista) .....	43
Tabela 11: Posição das Luminárias (Calçada).....	44
Tabela 12: Resultados Sistema Anterior .....	44
Tabela 13: Posição das Luminárias (Pista) .....	47
Tabela 14: Posição das Luminárias (Calçada).....	47
Tabela 15: Resultados Sistema Anterior .....	48
Tabela 16: Consumo do Sistema Antigo .....	51
Tabela 17: Consumo do Atual Sistema .....	51

# Lista de Quadros

Quadro 1: Tráfego motorizado .....	33
Quadro 2: Tráfego de pedestres <sup>1</sup> .....	34
Quadro 3: Classes de Iluminação para cada tipo de via (Veículos) .....	35
Quadro 4: Classes de iluminação para cada tipo de via (Pedestres) .....	35

# Lista de Abreviaturas e Siglas

ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
Hm	Altura de Montagem
A	Ampere
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BT	Baixa Tensão
Cd	Candela
cm	Centímetro
q	Coeficiente de Luminância
CEAL	Companhia Energética de Alagoas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
Eméd Min	Fator de Luminância Media Mínimo
°C	Graus Celsius
°K	Graus Kelvin
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Reprodução de Cor
kV	Kilo Volt
kW	Kilo Watt
kWh	Kilo Watt hora
kWh/ano	Kilo Watt hora por ano

LED	Light Emitting Diode
lm	Lumens
lm/W	Lumens por Watt
E	Luminância
lx	Lux
MW	Mega Watt
mm	Milímetro
mm <sup>2</sup>	Milímetro quadrado
nm	Nanômetro
NBR	Norma Brasileira
SIMA	Superintendência Municipal de Energia e Iluminação Pública de Maceió
V	Volt
W	Watt

# Sumário

1. Introdução .....	15
1.1. Objetivos .....	16
1.2. Estrutura do trabalho .....	16
2. Evolução das Lâmpadas .....	17
2.1. Lâmpada Incandescente .....	17
2.2. Lâmpada Fluorescente .....	18
2.3. Lâmpadas Halógenas .....	20
2.4. Lâmpada de Néon .....	21
2.5. Lâmpada de Vapores .....	21
2.5.1. Lâmpada de Vapor de Sódio .....	21
2.5.2. Lâmpada a Vapor de Mercúrio sob Alta Pressão .....	22
2.6. Lâmpada de LED .....	22
2.6.1. LED .....	23
2.6.2. Vantagens do LED .....	23
3. Fotometria .....	25
3.1. Princípios Gerais .....	25
3.2. Campo Visual .....	26
3.2.1. Características da visão .....	26
3.3. Grandezas e Unidades Utilizadas em Iluminação .....	27
3.3.1. Intensidade Luminosa .....	27
3.3.2. Curva Fotométrica .....	28
3.3.3. Fluxo Luminoso .....	28
3.3.4. Eficiência Luminosa .....	29
3.3.5. Luminância e Iluminância .....	29
3.3.6. Diagrama de Isolux .....	30
3.3.7. Ofuscamento .....	30
3.3.8. Índice de Reprodução de Cor (IRC) .....	31
3.3.9. Temperatura de Cor .....	31
4. Iluminação Pública .....	32
4.1. Classificação das Vias Públicas .....	32

4.1.1. Classe A (vias rurais).....	32
4.1.2. Classe B (vias de ligação).....	32
4.1.3. Classe C (vias urbanas).....	32
4.1.4. Classe D (vias especiais).....	33
4.2. Classificação do Volume de Tráfego em Vias Públicas .....	33
4.3. Requisitos de Iluminância e Uniformidade .....	34
4.4. Altura de Montagem das Luminárias.....	36
4.5. Disposição da Posteação em Vias Públicas .....	37
4.5.1. Posteação Unilateral.....	37
4.5.2. Posteação Bilateral Alternada.....	37
4.5.3. Posteação Bilateral Frente a Frente .....	37
4.5.4. Posteação no Canteiro Central .....	37
4.6. Iluminação da Orla Marítima de Maceió.....	37
4.6.1. Sistema de Iluminação Anterior .....	38
4.6.2. Sistema de Iluminação Atual.....	41
4.6.3. Sistema de Iluminação Proposto .....	45
4.6.4. Comparação entre os Sistemas.....	49
5. Procel.....	52
5.1. Indústria e Comércio .....	52
5.2. Edificações.....	53
5.3. Selo Procel.....	54
5.4. Iluminação Pública (Reluz).....	54
6. Conclusões .....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

# 1. INTRODUÇÃO

A cidade de Maceió é reconhecida por suas belezas naturais e sua excepcional orla marítima, que possui diversos bares, restaurantes e hotéis, se tornando uma forte opção de lazer para a população local e para os turistas. O turismo é um dos pilares da economia do município, sendo a orla marítima e sua exuberante beleza a maior responsável por atrair tantos turistas.

Devido a sua importância para a economia do município a orla marítima vem recebendo diversos investimentos para melhorar sua infraestrutura, calçamento, bem como possibilitar a instalação de totem e estátuas, abertura de novos restaurantes, bares, quiosques e um moderno sistema de Iluminação Pública (IP).

Em 2015 foi implantado um novo sistema de telegestão, essa inovação permite que a Superintendência Municipal de Energia e Iluminação Pública (SIMA) supervisione o sistema em tempo real, podendo agendar o acionamento e desligamento de lâmpadas, ajustes da intensidade da luz e identificar falhas.

O sistema encontra-se em operação em alguns trechos da Orla de Maceió (Cruz das Almas, Jatiúca, Pajuçara, Ponta Verde e Jacarecica), já são mais de 2.300 pontos instalados, que correspondem a um percentual de 3% de um total de 71 mil pontos que existem na cidade. A prefeitura visa levar esse sistema para toda a cidade gerando assim uma economia nos cofres da capital alagoana, pois a tecnologia utilizada está instalada em luminárias em LED, que são mais eficientes e possuem um baixo custo de manutenção.

Este trabalho consiste em uma análise comparativa entre o sistema antigo e o atual, mostrando que a tecnologia escolhida favoreceu a cidade, seus habitantes e turistas.

## 1.1. Objetivos

O principal objetivo deste trabalho é estudar e mostrar as vantagens que foram obtidas com a implantação do novo sistema de iluminação pública e os impactos que foram gerados para a cidade de Maceió.

## 1.2. Estrutura do trabalho

O trabalho foi dividido em quatro etapas: a primeira etapa consiste em uma pesquisa bibliográfica sobre a evolução das lâmpadas, os conceitos, terminologias da fotometria e projetos de vias públicas, usando como base a NBR 5110, manuais de iluminação e normas da Superintendência Municipal de Energia e Iluminação Pública (SIMA).

A segunda etapa relata, mediante análise comparativa, o desperdício de energia elétrica do antigo sistema de iluminação pública da cidade, descrevendo os principais equipamentos utilizados a época e, paralelamente, o comparando ao atual parque de iluminação da orla marítima de Maceió, com a finalidade de evidenciar os benefícios provenientes dessa mudança.

A terceira etapa traz uma breve explanação sobre o Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente (Procel ReLuz) mostrando a sua função e importância.

A quarta e última etapa é a conclusão e apresentação dos resultados obtidos com a implantação do novo sistema de Iluminação Pública.

## 2. EVOLUÇÃO DAS LÂMPADAS

A invenção da lâmpada incandescente foi, com certeza, um marco para a história da humanidade, possibilitando a substituição de velas e lampiões a gás, que além de possuírem uma baixa luminosidade, ainda eram extremamente perigosos e poluentes.

A invenção da lâmpada foi atribuída a Thomas Edison, porém, o princípio fundamental do seu funcionamento ocorreu em 1809, quando Humphry Davy realizou um experimento onde ele posicionou uma fina tira de carbono entre os dois polos de uma bateria, gerando um pequeno arco luminoso.

Outro grande passo foi dado por Warren De la Rue, em 1840, quando ele fez passar eletricidade por um filamento de platina, dentro de um tubo vazio. Vale salientar que, nesse experimento, devido ao, quase, vácuo criado no interior do tubo e a alta resistência da platina ao calor, o filamento não queimou instantaneamente, aumentando a longevidade do teste.

### 2.1. Lâmpada Incandescente

Após os experimentos De la Rue, foram feitos vários ensaios com diferentes materiais para filamentos e aprimoraram a forma que se esvaziava o bulbo de vidro, obtendo melhores condições de vácuo.

Em 1875, Matthew Evans e Henry Woodward resolveram patentear a lâmpada, que na verdade era quase que a mesma criada por De la Rue e aprimorada por diversos outros inventores.

Em 1879, Thomas Edison comprou a patente de Evans e Woodward para desenvolver seu próprio modelo de lâmpada. Esse modelo consistia em um filamento de carbono de alta resistência em um bulbo de vidro, com um alto vácuo no interior do bulbo. O mencionado experimento entrou para a história,

pois foi o primeiro modelo de lâmpada elétrica que era comercialmente viável. Na figura 1 podemos visualizar como foi a lâmpada idealizada por Edison.

Figura 1: Primeira Lâmpada de Thomas Edison



Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Edison\\_bulb.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/Edison_bulb.jpg)

## 2.2. Lâmpada Fluorescente

A lâmpada fluorescente foi criada por Nikola Tesla e se diferencia da lâmpada incandescente por ser mais eficiente, pois emite mais energia eletromagnética em forma de luz do que de calor.

A referida lâmpada é composta por dois eletrodos, um tubo de vidro transparente, um material à base de Fósforo que reveste internamente o tubo e um gás inerte a baixa pressão, geralmente é utilizado o Argônio.

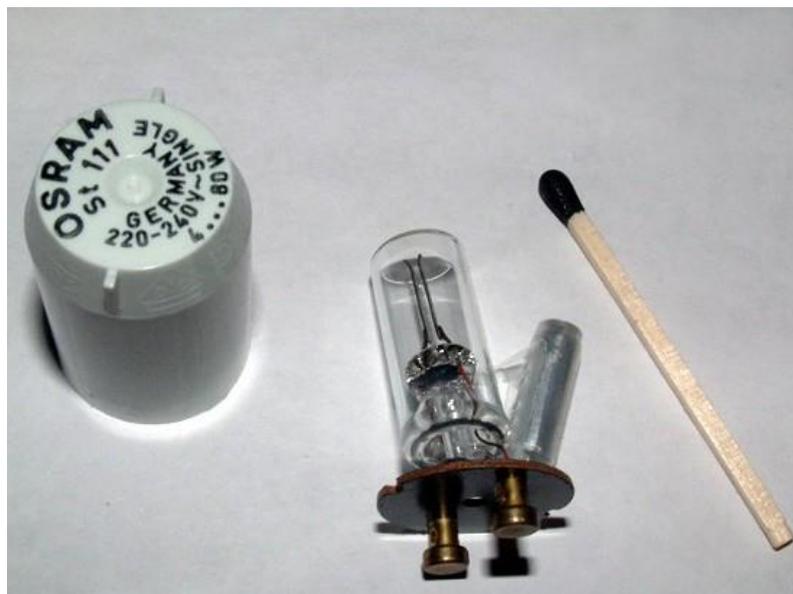
Essas lâmpadas funcionam da seguinte forma: os eletrodos são energizados, fazendo com que uma corrente elétrica passe pelo interior do tubo e o pré-aqueça, reduzindo a tensão elétrica necessária à ionização dos gases, depois de iniciado o processo de bombardeamento de íons, processo de

ionização, é produzida uma radiação ultravioleta que atuará na excitação do Fósforo, produzindo assim luz visível.

Caso o interior do tubo seja preenchido com vapor de Mercúrio, deve-se aplicar um gradiente de tensão, de centenas de volts, para se obter a ionização e por consequência a emissão de luz ultravioleta, excitando assim o Fósforo da parede do tubo de vidro. Porém, logo após a descarga iônica não há mais necessidade de alta tensão, então ela é reduzida para menos de 100 Volts, para lâmpadas de baixa potência, e no máximo 175 Volts para lâmpadas de alta potência.

Um dos empecilhos das lâmpadas fluorescentes é que elas necessitam de dois acessórios extras: o balastro, que é uma bobina para gerar alta tensão necessária ao arranque e que atua no controle da corrente que é consumida pela lâmpada, e um *Starter*, equipamento semelhante a um relé térmico biostável e que só funciona no ato da ignição da lâmpada. Na figura 2 podemos ver como é o *Starter*.

Figura 2: Starter



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4e/Starterp.jpg>

Esse tipo de lâmpada possui diversos tipos de aplicações, podendo ser de uso doméstico, industrial e até laboratorial, nesse caso eles são largamente utilizados sem a cobertura de fósforo, para se realizar a esterilização por radiação ultravioleta.

A grande vantagem das fluorescentes é que elas são duas a quatro vezes mais eficientes que as incandescentes, além de possuírem uma vida útil muito superior, geralmente passam de dez mil horas, enquanto que as incandescentes duram em média mil horas.

Uma das desvantagens das lâmpadas fluorescentes é que elas não devem ser descartadas de qualquer forma, pois possuem Mercúrio e Fósforo, sendo consideradas como poluentes e nocivas aos seres vivos, devendo, portanto, passar por processo de reciclagem quando do seu descarte.

### 2.3. Lâmpadas Halógenas

As lâmpadas halógenas foram introduzidas no mercado em 1958, apresentando como grande novidade o filamento de Tungstênio e um gás do grupo halógeno.

Para que esse gás se misture com os átomos de Tungstênio, evaporem e se depositem novamente no filamento, a temperatura deve ser mantida superior a 250 °C. Esse processo de reciclagem proporciona uma maior durabilidade do filamento. Além disso, esse filamento aguenta temperaturas mais elevadas, gerando assim mais luz por unidade de energia.

Outra diferença das lâmpadas halógenas (Figura 3) para as incandescentes é que os filamentos são envolvidos por um invólucro de Quartzo, visto que a temperatura de deformação do Quartzo é de aproximadamente 1000 °C, se o invólucro fosse de vidro, ele derreteria devido as altas temperaturas.

Figura 3: Lâmpada Halógena



Fonte: <http://www.cec.com.br/img-prod/images/standard/lampada-halogeno-bulbo-70w-2800k-127v-amarela-osram-1232179-foto-1.png>

## 2.4. Lâmpada de Néon

Inventada em 1933, por Daniel McFarlan Moore, as lâmpadas de néon são muito úteis para fornecer informação se a tensão fornecida é alternada ou contínua e, se for contínua, qual a polarização dos pontos a serem testados.

O teste da tensão ocorre da seguinte forma: quando o tubo luminoso é alimentado com uma fonte de tensão contínua (DC), apenas o cátodo brilha. Quando a fonte de alimentação for do tipo alternada (AC), ambos os eletrodos brilham, cada um durante metade da duração de cada ciclo de tensão.

## 2.5. Lâmpada de Vapores

### 2.5.1. Lâmpada de Vapor de Sódio

Existem dois tipos de lâmpadas de vapor de Sódio, as de baixa pressão e as de alta pressão.

A lâmpada de baixa pressão foi desenvolvida em 1930, seu grande problema é que para o gás ser ionizado é necessária uma tensão relativamente alta, portanto é preciso se usar um transformador para o seu arranque.

A de alta pressão foi inventada em 1962. Esse tipo de lâmpada é largamente utilizada para iluminações externas, em avenidas, viadutos, vias rurais, estacionamentos, estaleiros e outros locais que necessitam de lâmpadas com elevada eficiência luminosa, longa durabilidade e que não precisem de um ótimo índice de reprodução de cores.

### 2.5.2. Lâmpada a Vapor de Mercúrio sob Alta Pressão

A maioria das lâmpadas de Mercúrio possuem dois invólucros, um interno, que é o tubo de descarga, e outro externo, que é feito de vidro borossilicato.

O invólucro externo tem como função proteger o tubo de descarga de ações externas, como chuvas e aumentos de temperaturas. Ele também ajuda a prevenir a oxidação das partes internas, além de servir como superfície para a aplicação de um pó fluorescente.

O tubo de descarga, por sua vez, é feito de Quartzo, pois esse material é capaz de suportar elevadas temperaturas. Nesse tubo também estão alojados dois eletrodos de Tungstênio, um em cada extremidade, e o resto do tubo é preenchido com gás Argônio e gotas de Mercúrio.

Fora do tubo de descarga, existe um eletrodo auxiliar ligado em série a uma resistência. Esse eletrodo auxiliar também está conectado a um dos eletrodos principais.

Uma vantagem das lâmpadas de Mercúrio é que elas não necessitam de um *starter* para iniciar a descarga, já que elas possuem um eletrodo auxiliar que possui essa mesma função. Porém, esse tipo de lâmpada necessita de um reator, que serve como um limitador e estabilizador da corrente que circulará pela lâmpada.

## 2.6. Lâmpada de LED

Para falarmos das lâmpadas de LED, primeiro é necessário se comentar sobre o que é o LED, quando foi inventado, seu princípio de funcionamento e suas características.

### 2.6.1 LED

A sigla LED tem origem do inglês *Light Emitting Diode*, que significa diodo emissor de luz. O LED é um diodo semicondutor, de junção P-N, que quando energizado emite luz. A luz não é monocromática, mas consiste de uma banda espectral relativamente estreita e é produzida pelas interações energéticas dos elétrons. O processo de emissão de luz é denominado de eletroluminescência.

Toda junção P-N quando polarizada diretamente gera uma recombinação de lacunas e elétrons próxima a junção. Essas recombinações geram uma liberação de energia por parte dos elétrons, essa liberação ocorre na forma de calor ou de fótons de luz, produzindo luz.

O LED surgiu em 1961 quando Robert Biard e Gary Pittman descobriram que o gás Arsenieto de Gálio emitia radiação infravermelha quando percorrido por uma corrente elétrica. Curiosamente esse gás era usado na fabricação de diodos retificadores e de sinal, no entanto a radiação infravermelha não é perceptível ao olho nu, então em 1962 Nick Holonyak, da General Electric, conseguiu obter luz visível a partir de um LED.

Holonyak percebeu que dopando o Arsenieto de Gálio com o Fósforo é possível se obter luz visível vermelha ou amarela, dependendo da concentração de Fósforo.

Os LEDs chegaram ao ramo de iluminação em 1999 e aos poucos foram ocupando os espaços das lâmpadas fluorescentes, isso muito se deve ao barateamento do preço, seu alto rendimento e sua durabilidade muito superior aos demais tipos de lâmpadas.

### 2.6.2 Vantagens do LED

O Tempo de vida útil do LED é uma das suas maiores vantagens em relação as outras lâmpadas, em geral elas possuem um tempo de vida útil de 50.000 (cinquenta mil) horas. As lâmpadas fluorescentes compactas chegam no máximo a 10.000 (dez mil) horas (INMETRO).

O LED possui um brilho permanente quase que constante ao longo de sua vida útil. As lâmpadas fluorescentes compactas chegam a perder 84% (oitenta e quatro por cento) de seu fluxo luminoso após 2.000 (duas mil) horas de uso (INMETRO).

Outra qualidade que merece destaque é que a superfície iluminada por LED fica na temperatura ambiente, pois as lâmpadas de LED não emitem raio infravermelho, não gerando calor.

Os LEDs conseguem converter 60% (sessenta por cento) da energia em luz. Já as lâmpadas incandescentes convertem apenas 10% (dez por cento), o resto é dissipado na forma de calor e se perde devido ao efeito Joule.

Em geral as lâmpadas de LED consomem 85% (oitenta e cinco por cento) menos energia do que as incandescentes, 65% (sessenta e cinco por cento) menos que as fluorescentes compactas, 50% (cinquenta por cento) menos que as de vapor de sódio e 40% (quarenta por cento) menos que as fluorescentes tubulares (fonte: Abilux).

Por não conter mercúrio, elas podem ser descartadas junto com o vidro comum e não precisam de um tratamento especial. As lâmpadas fluorescentes, por exemplo, possuem cerca de 21 (vinte e um) miligramas de Mercúrio, caso a lâmpada seja descartada de forma não adequada, ela pode vir a quebrar e esse mercúrio pode contaminar o ar, o solo ou a água, dessa forma é essencial que haja uma coleta especial para lâmpadas fluorescentes.

## 3. Fotometria

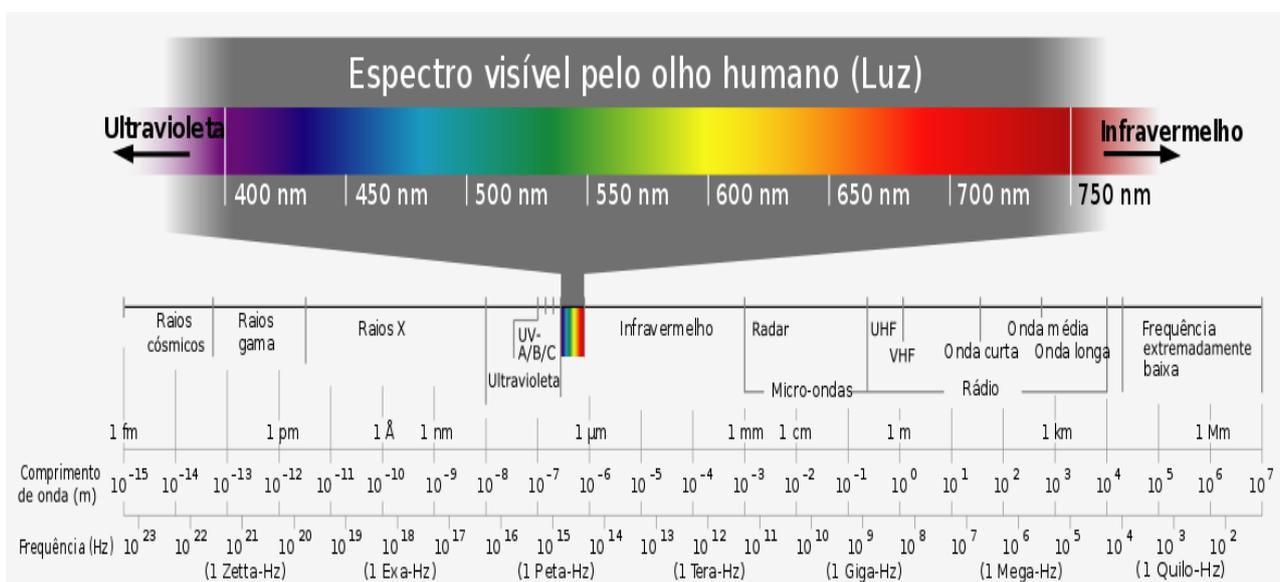
Nesse capítulo iremos descrever um pouco sobre os principais conceitos de iluminação, depois serão apresentadas as principais grandezas e unidades que são utilizadas na área de iluminação e por fim iremos explicar o que é fotometria.

### 3.1. Princípios Gerais

Para o estudo da iluminação é interessante conhecer as radiações eletromagnéticas que são capazes de estimular a retina do olho humano, produzindo a sensação luminosa.

Na Figura 4 pode-se ver a faixa visível do espectro eletromagnético, ela compreende uma pequena faixa de onda que vai de 380 nm (violeta) até 760 nm (vermelho), aproximadamente.

Figura 4: Espectro eletromagnético



Fonte: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/36/Electromagnetic\\_spectrum\\_-\\_pt.svg/1176px-Electromagnetic\\_spectrum\\_-\\_pt.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/36/Electromagnetic_spectrum_-_pt.svg/1176px-Electromagnetic_spectrum_-_pt.svg.png)

O espectro visível varia de animal para animal, por exemplo, os cachorros e os gatos não conseguem ver todas as cores que os humanos conseguem, o espectro visível deles são apenas subfaixas entre o azul e o

amarelo. Já as cobras conseguem ver o infravermelho, faixa a qual os humanos não conseguem visualmente detectar.

## 3.2. Campo Visual

“O campo visual pode ser definido como a extensão angular do espaço no qual um objeto pode ser percebido, quando a cabeça e os olhos estão parados. Em outras palavras, é o limite do alcance da visão de cada olho, e do campo binocular, relativo a ambos os olhos”. (ALMEIDA; BARBOSA, 1998, p.37).

Durante a elaboração de um projeto de iluminação pública, certas medidas devem ser tomadas para que se evite o contato direto entre o foco de luz e a visão dos usuários, o que pode ocasionar irritações e ofuscamentos. Uma das medidas que pode ser adotada para se evitar esse problema é controlando os níveis de iluminância do campo visual.

### 3.2.1. Características da visão

A visão é um dos cinco sentidos que os animais possuem, ela é a responsável por permitir que nós consigamos enxergar tudo em volta.

Tal sentido possui funções que servem para se autoajustar, melhorando assim o seu desempenho visual. Dentre as principais funções serão citadas as três principais para a definição de um projeto de iluminação pública, são elas:

- Adaptação

“Adaptação é o processo pelo qual o estado do sistema visual modifica-se quando exposto aos estímulos com luminosidade e distribuição espectral variável. Em outras palavras, se refere à maneira como o olho humano acostuma-se a contínuas e diferentes intensidades de luz e de cor”. (ALMEIDA; BARBOSA, 1998, p.37).

- Acomodação;

“Acomodação é o processo de ajustamento do sistema visual para permitir a visão nítida, que é o foco de objetos situados a distâncias diferentes. Com o avanço da idade, a capacidade de acomodação diminui, sendo

necessários para objetos distantes maiores níveis de iluminância para focalizar um objeto”. (ALMEIDA; BARBOSA, 1998, p.38).

- Acuidade visual;

É a capacidade de distinguir detalhes espaciais, ou seja, identificar as formas e os contornos dos objetos. Alguns fatores ópticos e neurais influenciam na acuidade, entre eles podemos citar a saúde das células retinianas e a capacidade de interpretação do cérebro. Essa característica é um fator importante para a visualização de sinais de trânsito ou obstáculos durante a condução de um veículo.

Dimensionando o projeto de iluminação pública é possível se escolher níveis de iluminância e fatores de uniformidade adequados em estradas para o tráfego motorizado, propiciando assim um discernimento mais rápido e preciso ao motorista.

### 3.3. Grandezas e Unidades Utilizadas em Iluminação

De acordo com a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) as principais grandezas e unidades utilizadas em iluminação, são as seguintes:

#### 3.3.1. Intensidade Luminosa

Podemos definir intensidade luminosa como a concentração de luz em uma direção específica, radiada por segundo. A unidade de intensidade luminosa é a candela (cd) e é representada pelo símbolo “I”.

A intensidade luminosa pode ser calculada por:

$$I = \frac{d\phi}{dw},$$

Onde

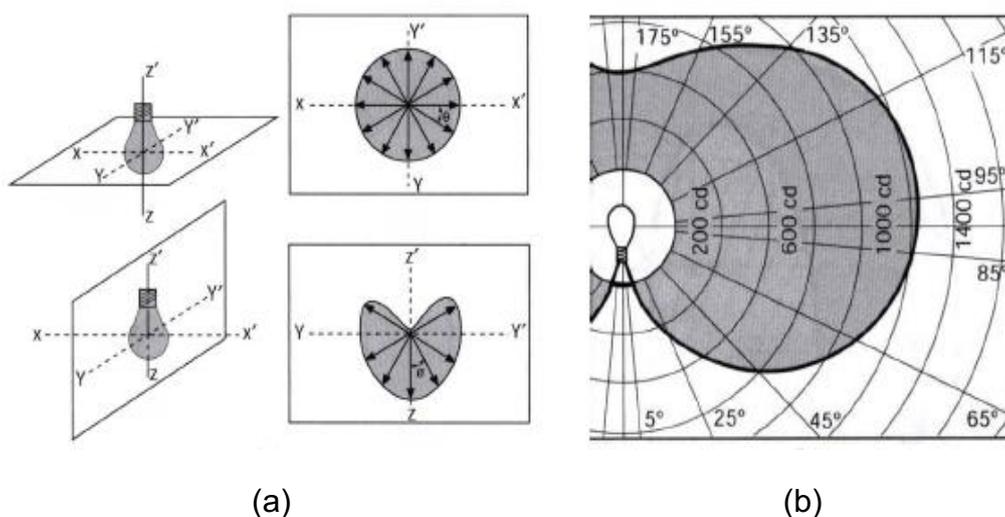
$d\phi$  é o fluxo luminoso;

$dw$  é o ângulo sólido.

### 3.3.2. Curva Fotométrica

A curva fotométrica é um gráfico que indica como é distribuída a luz de uma fonte luminosa em diversas direções no espaço. Como sua representação espacial é de difícil visualização, foi convencionado que para um melhor entendimento devem ser feitas projeções das superfícies fotométricas sobre um plano, conforme será mostrado na Figura 5.

Figura 5: (a) Curvas Fotométricas Horizontais e Verticais; (b) Curva Fotométrica Vertical de uma Lâmpada Vapor de Mercúrio de Cor Corrigida de 250 W.



Fonte: Guia experimental de Fotometria, UFCG.

### 3.3.3. Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é definido como o fluxo emitido por uma fonte luminosa e puntiforme de intensidade invariável e igual a uma candela, de mesmo valor em todas as direções. Como na prática não existem fontes puntiformes, então foi definido que quando o diâmetro da fonte for menor que 20% (vinte por cento) da distância que a separa do ponto onde se considera seu efeito, podemos então considerar essa fonte como puntiforme.

A unidade de medida do fluxo luminoso é o lúmen (lm), representado pelo símbolo  $\Phi$ .

O fluxo luminoso pode ser comparado com a quantidade de água que passa por segundo em um determinado ponto.

Conforme mostrado na Tabela 1 mostra diversos tipos de lâmpadas, com diferentes potências e seus respectivos fluxos luminoso.

*Tabela 1: Fluxos Luminosos*

Tipo de Lâmpada	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)
Incandescente	100	1000
Fluorescente	40	3250
Vapor de Mercúrio	250	12700
Multi-vapor metálico	250	17000

*Fonte: Próprio autor*

### 3.3.4. Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa é dada pela relação entre o fluxo luminoso total, em lúmens, e a potência consumida, dada em Watts. A eficiência luminosa é melhor quando se consome menos energia para se gerar um determinado fluxo luminoso. A unidade de medida da eficiência luminosa é o lúmens por Watt (lm/W). Na Tabela 2, pode-se observar alguns exemplos;

*Tabela 2: Eficiência Luminosa*

Tipo de Lâmpada	Potência (W)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	100	10
Fluorescente	40	42,5 a 81,5
Vapor de Mercúrio	250	50

*Fonte: Próprio autor.*

### 3.3.5. Luminância e Iluminância

Luminância é a relação entre a intensidade luminosa com a qual irradia uma superfície, em uma determinada direção, e a área dessa superfície (ALMEIDA; BARBOSA, 1998).

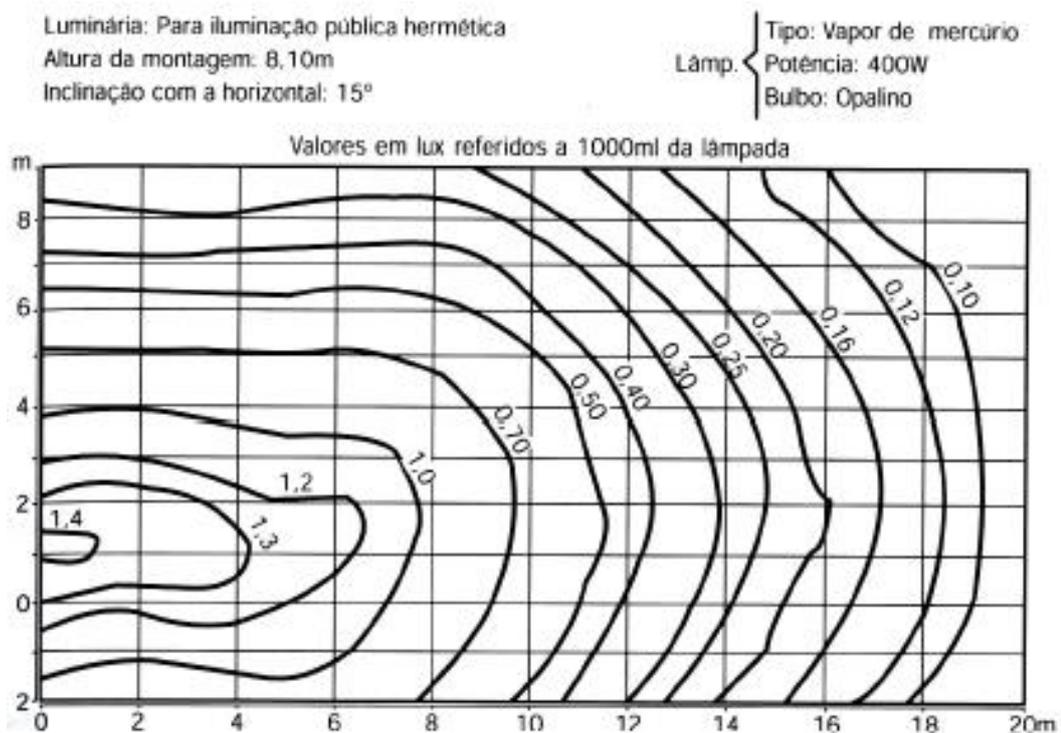
Iluminância ou iluminamento é definido como a razão entre o fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, em outras palavras, é a densidade de fluxo luminoso na superfície sobre a qual este incide. A unidade

da iluminância é o Lux (lux). Em dias ensolarados de verão em locais abertos a iluminância é de aproximadamente 100.000 lux, já uma boa iluminação de rua é geralmente entre 20 e 40 lux.

### 3.3.6. Diagrama de Isolux

Um diagrama de isolux é um conjunto de curvas de isolux, que por sua vez são linhas traçadas em um plano e que interligam pontos, que estão em uma mesma superfície e possuem um mesmo iluminamento. Como exemplificado na Figura 6.

Figura 6: Diagrama Isolux (Moreira, 1976)



Fonte: Guia experimental de Fotometria, UFCG.

### 3.3.7. Ofuscamento

Ofuscamento é a sensação desagradável causada por uma luminância excessiva ou pelo posicionamento inadequado de luminárias.

A NBR 5101 não define qualitativamente o fenômeno do ofuscamento causado pelas fontes de luz artificiais. Porém, esse fenômeno é de suma importância na elaboração de projetos de iluminação pública, então serão

apresentados os seus principais conceitos, de acordo com as definições da norma europeia da “*Commision Internationale de L'éclairage*” (CIE).

O ofuscamento pode ser de dois tipos: o inabilitador, que é mais comum na iluminação exterior e que causa deficiência na capacidade visual, comprometendo assim a acuidade visual do motorista, e o ofuscamento desconfortável, que altera o grau de conforto do motorista. É importante limitar ambos os ofuscamentos para que se possa prevenir acidentes, erros e fadigas.

### 3.3.8. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

É o valor percentual médio relativo à sensação de reprodução de cor, baseado em uma série de cores padrões, ou seja, é a medida de correspondência entre a cor real de um objeto e sua aparência diante de uma fonte de luz. Quanto menor o IRC pior a sua reprodução de cores, tornando-se mais difícil perceber as cores corretamente.

Os índices variam de acordo com a natureza da luz e devem se adequar ao uso de cada ambiente, por exemplo, as lojas de roupas devem ter IRC acima de 80 (oitenta), já as praças públicas que possuem lâmpadas de vapor podem ter IRC de 60 (sessenta).

### 3.3.9. Temperatura de Cor

Segundo a Lei de Planck, os objetos mudam de cor em função de sua temperatura, sendo cada vez mais clara até atingir seu ponto de fusão. Partindo desse ponto, pode-se estabelecer uma correlação entre a cor de uma fonte luminosa e sua temperatura, onde a energia do espectro varia segundo a temperatura de seu ponto de fusão. Quanto mais branca é a cor da luz, mais alta é a sua temperatura.

A temperatura de cor possui como unidade o Kelvin (K), as lâmpadas incandescentes opera com temperatura entre 2700 K e 3100 K. A temperatura de cor varia muito de acordo com a finalidade a qual a fonte luminosa será empregada, em ambientes que se deseja ter uma atmosfera mais íntima, geralmente se usam cores quentes (que vão até 3000 K), em ambientes mais formais, geralmente escolhem cores frias (acima de 6000 K).

## 4. Iluminação Pública

### 4.1. Classificação das Vias Públicas

De acordo com a NBR 5101, que trata sobre a iluminação pública, as vias são divididas de acordo com a sua natureza, em:

#### 4.1.1. Classe A (vias rurais)

- A1 – Vias Arteriais;

Essas vias são exclusivas para tráfego motorizado, são de estacionamento proibido, possuem pouco acesso de tráfego, várias pistas e escoamento contínuo. Nessas vias é raro ocorrer ofuscamento pelo tráfego de sentido oposto. Essas vias servem mais para viagens de longas distâncias, mas, eventualmente pode servir para de tráfego local.

- A2 – Vias Coletoras;

Assim como as vias arteriais, essas vias também são exclusivas para tráfego motorizado, no entanto essas vias possuem um volume de tráfego inferior e um maior número de acessos, em relação às vias arteriais.

- A3 – Vias Locais;

São essas vias que permitem o acesso às propriedades rurais, possuem um volume de tráfego ainda menor que as vias coletoras e um grande acesso de tráfego.

#### 4.1.2. Classe B (vias de ligação)

São as vias que servem de ligação entre os centros urbanos e suburbanos, todavia, elas não se encaixam na classe A (vias rurais). Na maioria dos casos, elas só possuem importância para o tráfego local.

#### 4.1.3. Classe C (vias urbanas)

Essa classe de via tem como principal característica a existência de construções às suas margens, possuindo também a presença de tráfego de pedestres e de veículos motorizados. Ela pode ser subdividida em;

- C1 – Vias Principais;

São as avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas, marcadas pela forte presença de construções comerciais e um elevado fluxo de pedestres e veículos.

- C2 – Vias Normais;

São avenidas e ruas asfaltadas ou calçadas caracterizadas por uma presença predominantemente de construções residenciais, possuindo um fluxo de pedestres e de veículos menor que o das vias principais.

- C3 – Vias Secundárias;

São vias onde há construções, porém o fluxo de veículos e de pedestres não são intensos.

- C4 – Vias Irregulares;

São caminhos criados por moradores, possuindo traçado irregular, largura, declives e calçamento de diversos tipos, geralmente são criados para o trânsito de pedestres, mas existem casos onde podemos observar o trânsito de veículos.

#### 4.1.4. Classe D (vias especiais)

Essa classe engloba as vias e acessos exclusivos para pedestres, tais como praças e calçadões.

## 4.2. Classificação do Volume de Tráfego em Vias Públicas

Dividem-se os valores de tráfegos tanto para veículos quanto para pedestres, conforme os Quadros 1 e 2, respectivamente.

Quadro 1: Tráfego motorizado

Classificação	Volume de tráfego noturno <sup>1</sup> de veículos por hora, em ambos os sentidos <sup>2</sup> , em pista única
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200
<sup>1</sup> Valor máximo das médias horárias obtidas nos períodos compreendidos entre 18 h e 21 h	
<sup>2</sup> Valores para velocidades regulamentadas por lei	

Fonte: NBR 5101, 2012

Quadro 2: Tráfego de pedestres <sup>1</sup>

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
<sup>1</sup> O projetista deve levar em conta esta tabela, para fins de elaboração do projeto	

Fonte: NBR 5101,2012

### 4.3. Requisitos de Iluminância e Uniformidade

A uniformidade é a razão entre o valor mínimo ( $E_{min}$ ) e o valor médio ( $E_{méd}$ ) de Iluminância.

Os valores de iluminância média mínima ( $E_{méd. Mín.}$ ) e o fator de uniformidade de iluminância mínima ( $U_{mín}$ ) dependem do tipo de via e do volume de tráfego de pedestres e de veículos. A NBR 5101 recomenda os seguintes valores:

Tabela 3: Requisitos de Luminância e Uniformidade

Classe de Iluminação	$L_{med}$	$U_0 \geq$	$U_L \leq$	TI %	SR
V1	2,00	0,40	0,70	10	0,5
V2	1,50	0,40	0,70	10	0,5
V3	1,00	0,40	0,70	10	0,5
V4	0,75	0,40	0,60	15	
V5	0,50	0,40	0,60	15	
Lmed: Luminância média; $U_0$ : Uniformidade global; $U_L$ : Uniformidade longitudinal; TI: Incremento linear					
Nota 1 Os critérios de TI e SR são orientativos, assim como as classes V4 e V5					
Nota 2 As classes V1, V2 e V3 são obrigatórias para luminância.					

Fonte: NBR 5101,2012

Quadro 3: Classes de Iluminação para cada tipo de via (Veículos)

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 pedestre elevado	
Volume de tráfego intenso	V2
Volume de tráfego médio	V4
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: NBR 5101, 2012

Tabela 4: Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação

Classe de iluminação	Iluminância média mínima Emed,min (lux)	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: NBR 5101, 2012

Quadro 4: Classes de iluminação para cada tipo de via (Pedestres)

Descrição da via	Classe de iluminação
Vias de uso noturno intenso por pedestre ( Exemplo: Calçadões)	P1
Vias de grande tráfego noturno de pedestre ( Exemplo: Praças)	P2
Vias de uso noturno moderado por pedestre (Exemplo: Acostamento)	P3
Vias de pouco uso por pedestre	P4

Fonte: NBR 5101, 2012

Tabela 5: Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação

Classe de iluminação	Iluminância horizontal média Emed (lux)	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{mín}/E_{med}$
P1	20	0,3
P2	10	0,25
P3	5	0,2
P4	3	0,2

Fonte: NBR 5101, 2012

#### 4.4. Altura de Montagem das Luminárias

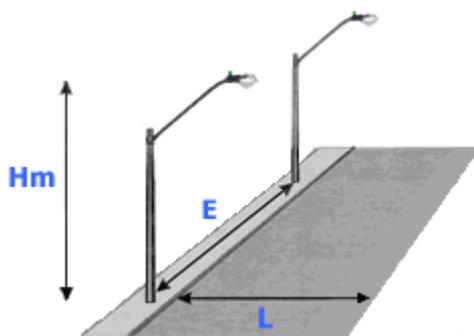
Outro item que se deve ter uma atenção especial, na hora da elaboração de um projeto de iluminação pública, é a altura de montagem das luminárias, verificando qual a melhor posição e distância entre os postes.

Existe uma regra simples e que é muito aplicada para se determinar a altura da montagem e o espaçamento entre os postes. É a seguinte regra:

Altura de montagem > Largura da via

3 x Altura de montagem > Espaçamento entre os postes

Figura 7: Representação dos Parâmetros: Altura de montagem (HM), Largura da via (L) e Espaçamento (E)



Fonte: Barbosa; Robson, 1998.

Caso seja mal projetado um sistema de iluminação, ele pode trazer vários problemas, tais como ofuscamento ou efeitos de zebraamentos, podendo comprometer o projeto.

Visando minimizar esses efeitos indesejados, foram estabelecidas algumas relações entre o fluxo luminoso e a altura da montagem.

Tabela 6: Relação entre Fluxo Luminoso x Altura de Montagem

Fluxo luminoso máximo (lm)	Altura de montagem (Hm)
6500	Entre 3 e 4 m
14000	Entre 4 e 8 m
25500	Entre 8 e 12 m
46500	Acima de 12 m

Fonte: Almeida; Barbosa, 1998

## 4.5. Disposição da Posteação em Vias Públicas

A disposição dos postes na via depende do tipo da via que será iluminada. Existem quatro tipos básicos de disposição dos postes, são eles:

### 4.5.1. Posteação Unilateral

Esse tipo de posteação é recomendada para quando a largura da pista for igual ou menor que a altura de montagem da luminária.

### 4.5.2. Posteação Bilateral Alternada

A posteação bilateral alternada é recomendada em situações onde a largura da pista é 1 até 1,6 vezes a altura da montagem.

### 4.5.3. Posteação Bilateral Frente a Frente

A posteação bilateral frente a frente é destinada para vias que apresentam uma largura superior a 1,6 vezes a altura da montagem.

### 4.5.4. Posteação no Canteiro Central

Em casos de vias com largura de pista 1,6 vezes a altura de montagem das luminárias e que possua um canteiro central que não ultrapasse seis metros, a posteação é colocada no canteiro central.

## 4.6. Iluminação da Orla Marítima de Maceió

A orla marítima de Maceió é um dos maiores atrativos da cidade, sua beleza incontestável lhe rendeu fama nacionalmente e internacionalmente. Devido a sua grande importância para o turismo e conseqüentemente para a economia da cidade de Maceió, a prefeitura vem investindo ao longo dos anos

cada vez mais na infraestrutura da orla. Entre os principais investimentos realizados está a modernização do sistema de iluminação pública.

Nesse capítulo iremos tratar dos projetos de iluminação da orla de Maceió, primeiramente será apresentado o sistema que era utilizado antes do atual, depois será mostrado o sistema atual e por fim será mostrada uma proposta que pode servir de base para um sistema mais eficiente que o atual.

Ao longo dos tópicos serão comentados os principais equipamentos que compõem cada um dos sistemas de iluminação e mostrado os resultados das simulações que foram obtidas com o uso do software Dialux

#### 4.6.1. Sistema de Iluminação Anterior

O sistema de iluminação que foi utilizado até 2008 era composto por uma luminária Almec IP MVM 400W (para iluminar a pista) e uma luminária Almec Iluminação Luminaire LEXA 190 (para iluminar a calçada).

Usando o software Dialux, foi possível fazer uma simulação de um trajeto da orla e a partir dele extrair alguns dados importantes. Nessa simulação foram utilizados apenas 6 (seis) postes, todos com a mesma configuração e o mesmo espaçamento entre si.

Foi necessário definir alguns elementos, tais como o tipo de luminária, potência da lâmpada, a distância entre os postes e a inclinação das luminárias, todos esses parâmetros foram escolhidos de acordo com o projeto real que foi implantado na orla durante tantos anos.

##### 4.6.1.1. Luminária

Cada poste possuía uma luminária voltada para a pista e outra voltada para a calçada. E elas possuíam as seguintes configurações;

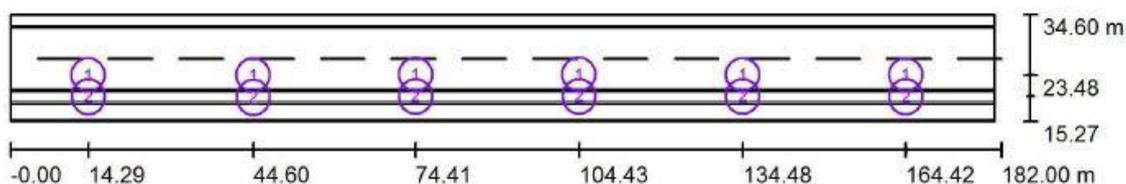
- Luminária voltada para a pista;  
Tipo: ALMEC IP MVM 400 W.  
Corrente luminosa (Luminária): 27061 lm.  
Corrente luminosa (Lâmpada): 35000 lm.  
Potência luminosa: 440 W.  
Eficiência: 77%

- Luminária voltada para a calçada;  
 Tipo: ALMEC Iluminação Luminaire LEXA 190.  
 Corrente luminosa (Luminária): 8672 lm.  
 Corrente luminosa (Lâmpada): 12500 lm.  
 Potência luminosa: 150 W.  
 Eficiência: 69%

#### 4.6.1.2. Disposição dos Postes

Os postes estavam distantes um do outro por uma distância de aproximadamente 30 metros. Conforme a Figura 8.

Figura 8: Disposição dos Postes

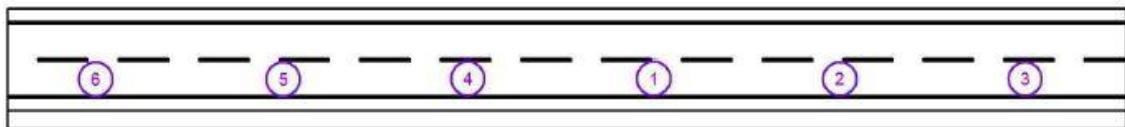


Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.1.3. Posição das Luminárias ALMEC IP MVM 400 W

A Figura 9 ilustra a posição das luminárias da pista e a Tabela 7 mostra a posição de acordo com os planos cartesianos.

Figura 9: Posição das Luminárias (Pista)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 7: Posição das Luminárias (Pista)

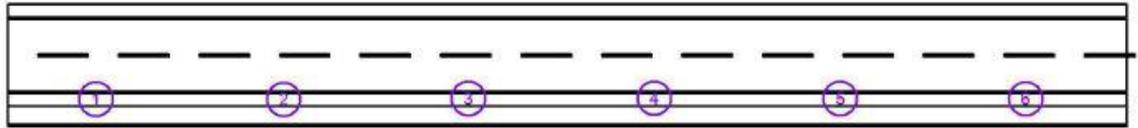
nº	Posição (m)			Rotação (°)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	104,427	23,58	9	0	-10	90
2	134,479	23,55	9	0	-10	90
3	164,42	23,55	9	0	-10	90
4	74,412	23,58	9	0	-10	90
5	44,598	23,48	9	0	-10	90
6	14,288	23,53	9	0	-10	90

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.1.4. Posição das Luminárias Iluminação Luminaire LEXA 190

A Figura 10 ilustra a posição das luminárias da calçada e a Tabela 8 mostra a posição de acordo com os planos cartesianos.

Figura 10: Disposição das Luminárias (Calçada)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 8: Posição das Luminárias (Calçada)

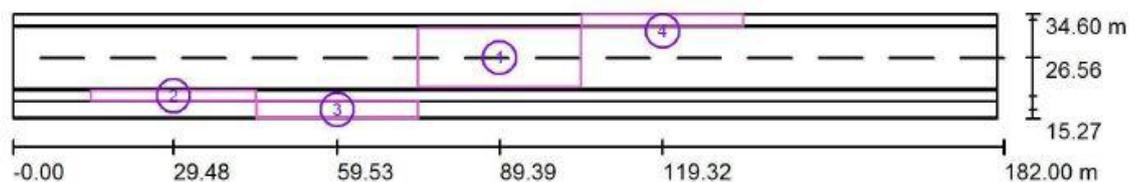
nº	Posição (m)			Rotação (°)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	14,311	19,614	6	0	-10	-90
2	44,611	19,563	6	0	-10	-90
3	74,424	19,701	6	0	-10	-90
4	104,460	19,720	6	0	-10	-90
5	134,508	19,693	6	0	-10	-90
6	164,459	19,637	6	0	-10	-90

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.1.5. Resultados

Foram analisadas quatro superfícies de cálculo, conforme a Figura 11. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 9.

Figura 11: Superfícies de Cálculo



Fonte: Próprio autor.

Tabela 9: Resultados Sistema Anterior

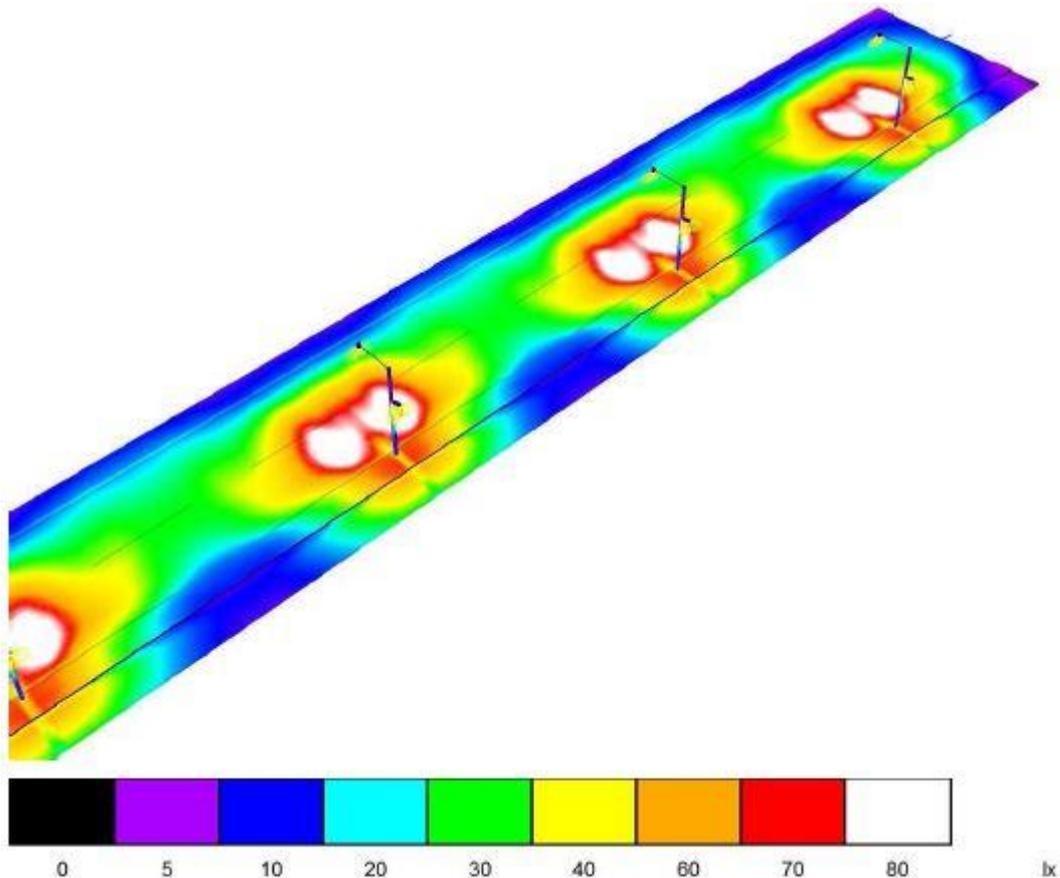
Superfície	Em (lx)	Emin (lx)	Emax (lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1	43	14	114	0,32	0,122
2	34	8,29	78	0,243	0,106
3	26	4,97	74	0,192	0,067
4	10	6,83	15	0,679	0,469

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.1.6. Representação de Cores Falsas

A representação de cores falsas é uma maneira muito fácil de observar a uniformidade e qual a iluminação aproximada de cada área. A representação de cores falsa do sistema simulado está representada na Figura 12.

Figura 12: Representação de Cores Falsa (Anterior)



Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.2. Sistema de Iluminação Atual

O atual sistema de iluminação foi implantado em 2008. Ele é composto por duas luminárias do tipo NXT-60M (60 LEDs), para iluminar a pista automotiva, e uma luminária do tipo NXT-48M (48 LEDs) para iluminar a ciclovia e a calçada.

Foi feita uma simulação no Dialux semelhante à simulação anterior e os parâmetros e elementos escolhidos foram escolhidos visando o projeto real.

#### 4.6.2.1 Luminária

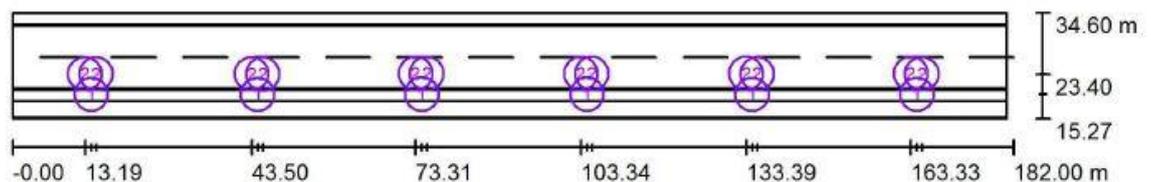
Cada poste possuía duas luminárias voltadas para a pista e uma voltada para a calçada. E elas possuíam as seguintes configurações;

- Luminárias voltadas para a pista;  
 Tipo: LED ROADWAY LIGHTING NXT 72M.  
 Corrente luminosa (Luminária): 16845 lm.  
 Corrente luminosa (Lâmpada): 16845 lm.  
 Potência luminosa: 158 W.  
 Eficiência: 100%
- Luminária voltada para a calçada;  
 Tipo: LED ROADWAY LIGHTING NXT 48M.  
 Corrente luminosa (Luminária): 7789 lm.  
 Corrente luminosa (Lâmpada): 7789 lm.  
 Potência luminosa: 80 W.  
 Eficiência: 100%

#### 4.6.2.2 Disposição dos Postes

A disposição dos postes estava semelhante ao do sistema anterior, estavam espaçados 30 metros um do outro. Conforme a Figura 13.

Figura 13: Disposição dos Postes

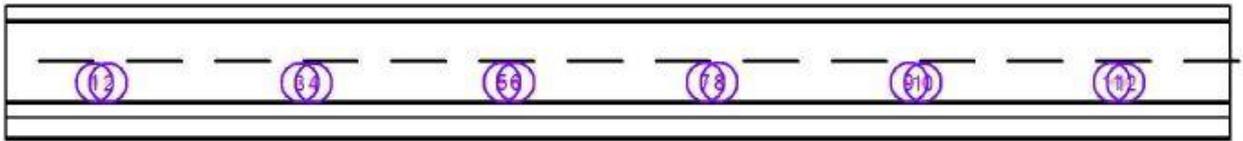


Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.2.3 Posição das Luminárias LED ROADWAY LIGHTING NXT 72M

A Figura 14 ilustra a posição das luminárias da pista e a Tabela 10 mostra a posição de acordo com os planos cartesianos.

Figura 14: Posição das Luminárias (Pista)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 10: Posição das Luminárias (Pista)

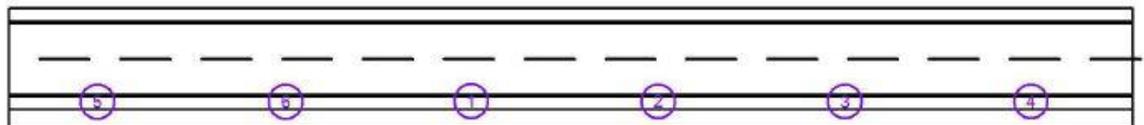
nº	Posição (m)			Rotação (°)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	13,19	23,47	9	0	0	90
2	15,213	23,429	9	0	0	90
3	43,496	23,439	9	0	0	90
4	45,518	23,398	9	0	0	90
5	73,313	23,519	9	0	0	90
6	75,335	23,478	9	0	0	90
7	103,337	23,519	9	0	0	90
8	105,359	23,478	9	0	0	90
9	133,387	23,493	9	0	0	90
10	135,409	23,453	9	0	0	90
11	163,331	23,49	9	0	0	90
12	165,353	23,449	9	0	0	90

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.2.4 Posição das Luminárias LED ROADWAY LIGHTING NXT 48M

A Figura 15 ilustra a posição das luminárias da calçada e a Tabela 11 mostra a posição de acordo com os planos cartesianos.

Figura 15: Disposição das Luminárias (Calçada)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 11: Posição das Luminárias (Calçada)

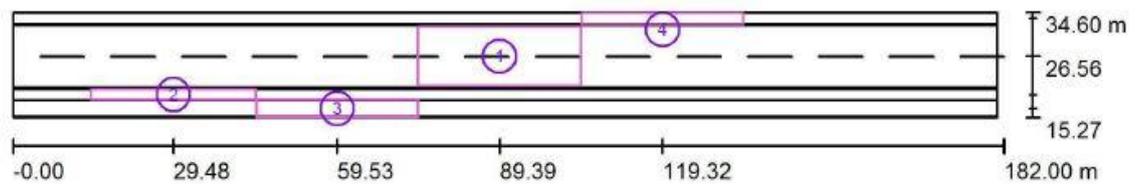
nº	Posição (m)			Rotação (°)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	74,410	19,770	6	0	-10	-90
2	104,444	19,762	6	0	-10	-90
3	134,486	19,721	6	0	-10	-90
4	164,432	19,726	6	0	-10	-90
5	14,311	19,705	6	0	-10	-90
6	44,598	19,683	6	0	-10	-90

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.2.5 Resultados

Foram analisadas, novamente, quatro superfícies de cálculo, conforme a Figura 16. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 12.

Figura 16: Superfícies de Cálculo



Fonte: Próprio autor.

Tabela 12: Resultados Sistema Anterior

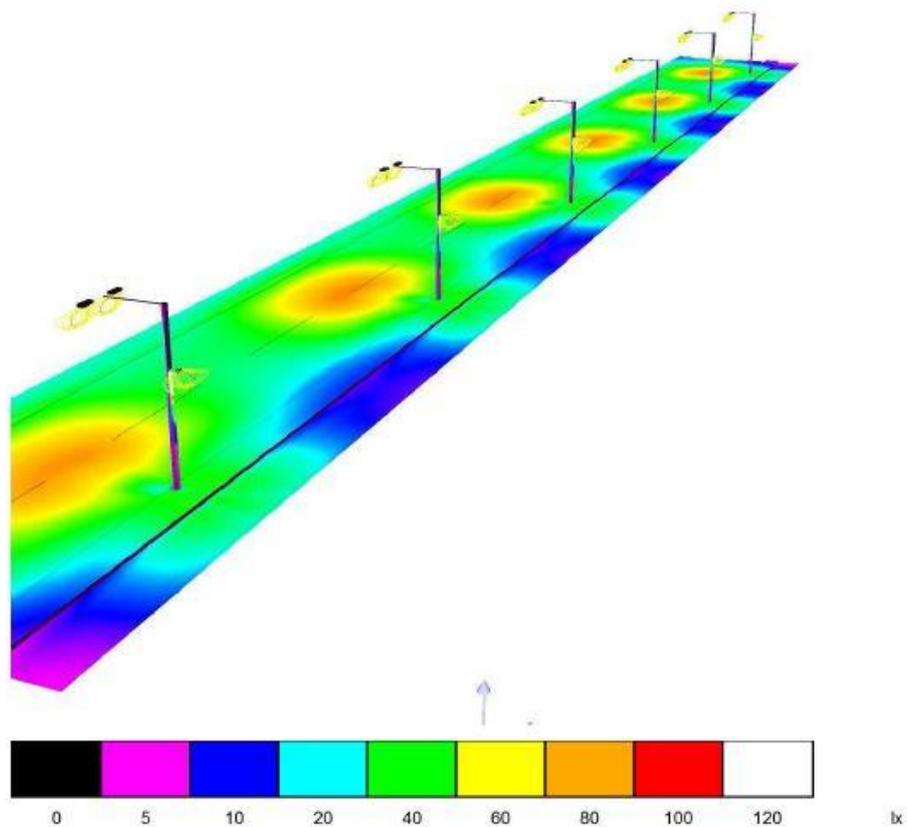
Superfície	Em (lx)	Emin (lx)	Emax (lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1	49	18	99	0,365	0,182
2	25	11	51	0,440	0,216
3	20	8	49	0,394	0,165
4	26	17	37	0,650	0,465

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.2.6 Representação de Cores Falsas

A representação de cores falsa do sistema simulado está representada na Figura 17.

Figura 17: Representação de Cores Falsa (Atual)



Fonte: Próprio autor.

### 4.6.3. Sistema de Iluminação Proposto

Esse terceiro sistema de iluminação na realidade ainda não foi colocado em prática, é apenas uma sugestão que poderia ser implantada para se economizar dinheiro e obter um sistema tão eficiente quanto o atual.

A grande novidade desse sistema em relação ao atual é o fato de se necessitar apenas de uma luminária voltada para a pista, pois foi utilizada uma luminária mais moderna e potente que a do sistema atual.

Para a simulação desse sistema proposto, foram usados os mesmos critérios usados nos outros dois sistemas já descritos.

#### 4.6.3.1. Luminária

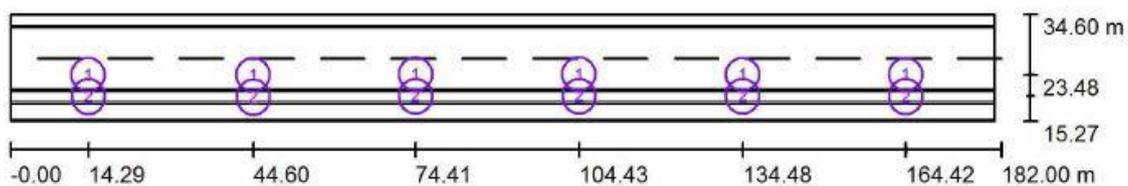
Cada poste possuiria uma luminária voltada para a pista e outra voltada para a calçada, assim como no projeto anterior a 2008. Tais luminárias possuiriam as seguintes configurações;

- Luminária voltada para a pista;  
 Tipo: BRP373 A LED243-3S NW 242W.  
 Corrente luminosa (Luminária): 24340 lm.  
 Corrente luminosa (Lâmpada): 24340 lm.  
 Potência luminosa: 242 W.  
 Eficiência: 100%
- Luminária voltada para a calçada;  
 Tipo: Philips Converted by LUMCat V 19 BRP220.  
 Corrente luminosa (Luminária): 5370 lm.  
 Corrente luminosa (Lâmpada): 5370 lm.  
 Potência luminosa: 58 W.  
 Eficiência: 100%

#### 4.6.3.2. Disposição dos Postes

Para podermos comparar o sistema proposto com os demais, foi necessário manter a distancia de 30 metros entre os postes, durante a simulação. Conforme a Figura 18.

Figura 18: Disposição dos Postes

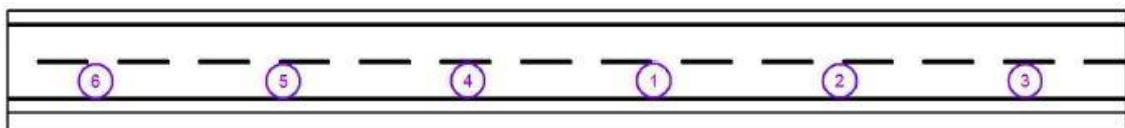


Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.3.3. Posição das Luminárias BRP373 A LED243-3S NW 242W

A Figura 19 ilustra a posição das luminárias da pista e a Tabela 13 mostra a posição de acordo com os planos cartesianos.

Figura 19: Posição das Luminárias (Pista)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 13: Posição das Luminárias (Pista)

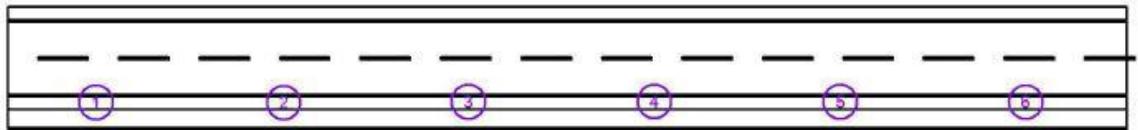
nº	Posição (m)			Rotação (°)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	104,427	23,58	9	0	-5	90
2	134,479	23,55	9	0	-5	90
3	164,42	23,55	9	0	-5	90
4	74,412	23,58	9	0	-5	90
5	44,598	23,48	9	0	-5	90
6	14,288	23,53	9	0	-5	90

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.3.4. Posição das Luminárias Philips Converted by LUMCat V 19 BRP220

A Figura 20 ilustra a posição das luminárias da calçada e a Tabela 14 mostra a posição de acordo com os planos cartesianos.

Figura 20: Disposição das Luminárias (Calçada)



Fonte: Próprio autor.

Tabela 14: Posição das Luminárias (Calçada)

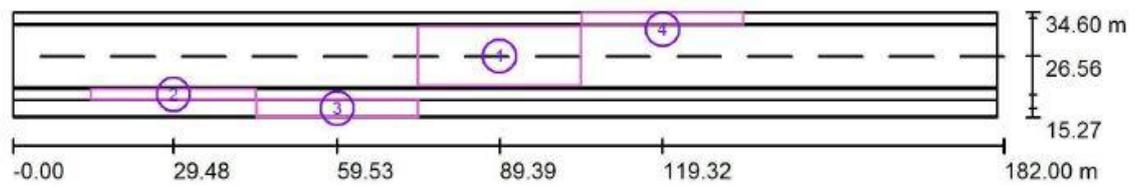
nº	Posição (m)			Rotação (°)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	14,311	19,614	6	0	-10	-90
2	44,611	19,563	6	0	-10	-90
3	74,424	19,701	6	0	-10	-90
4	104,460	19,720	6	0	-10	-90
5	134,508	19,693	6	0	-10	-90
6	164,459	19,637	6	0	-10	-90

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.3.5. Resultados

Foram analisadas quatro superfícies de cálculo, conforme a Figura 21. Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 15.

Figura 21: Superfícies de Cálculo



Fonte: Próprio autor.

Tabela 15: Resultados Sistema Anterior

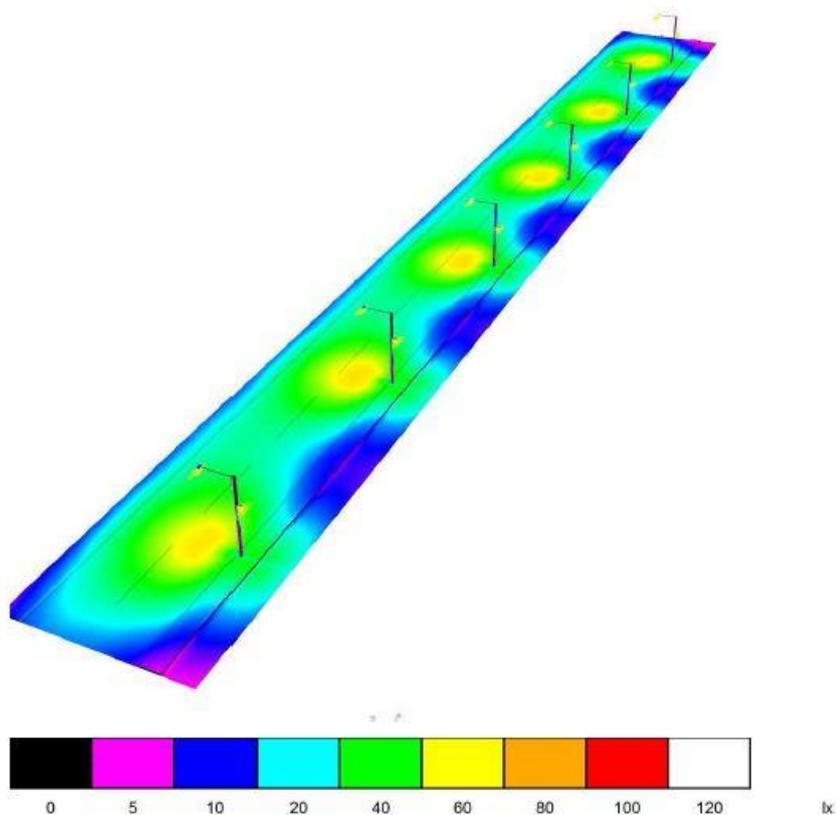
Superfície	Em (lx)	Emin (lx)	Emax (lx)	Emin/Em	Emin/Emax
1	39	13	78	0,319	0,161
2	22	8,54	48	0,394	0,178
3	19	7,49	46	0,405	0,163
4	17	11	26	0,645	0,421

Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.3.6. Representação de Cores Falsas

A representação de cores falsa obtida para o sistema proposto está representada na Figura 22.

Figura 22: Representação de Cores Falsa (Anterior)



Fonte: Próprio autor.

#### 4.6.4. Comparação entre os Sistemas

Com base nos dados obtidos com a SIMA (Superintendência Municipal de Energia e Iluminação Pública de Maceió), foi possível analisar de forma mais detalhada os sistemas e assim realizar uma comparação mais real entre o sistema anterior e o atual sistema.

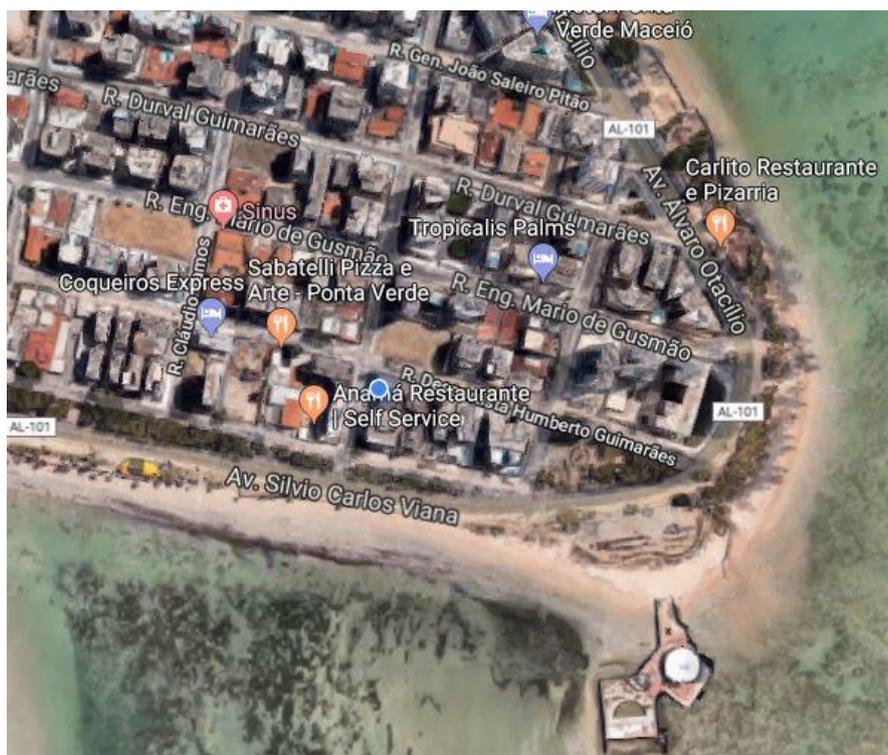
Para essa análise comparativa foi escolhido um trecho da orla marítima, que possui 14 postes. Esse trecho está situado no bairro da Ponta Verde e está ilustrado na Figura 23, feita no software AutoCAD, e a Figura 24, extraída do Google Earth.

Figura 23: Orla da Ponta Verde



Fonte: SIMA, 2018.

Figura 24: Orla da Ponta Verde (Satélite)



Fonte: Google Earth, 2018.

Para a elaboração das tabelas de consumo e gastos com os equipamentos de cada tipo de sistema, a SIMA forneceu alguns dados importantes tais como: tempo de consumo diário e valor da tarifa (R\$/kWh) com ICMS (imposto de circulação de mercadorias e serviços).

- Tempo de consumo diário; 11hrs e 52 min.
- Valor da tarifa com ICMS; 0,3597 R\$/kWh.

Na tabela do sistema anterior foi considerada a potência e o consumo de dois tipos de lâmpada ambas do tipo vapor metálica (HQI), sendo uma de 400 W e outra de 150 W. Na do atual sistema as lâmpadas utilizadas foram as de LED com potência de 150 W e 70 W.

Outra informação importante para a construção da tabela foi o cálculo dos kWh, que é dado pela seguinte formula;

$$kWh = Potência Consumida \times N^{\circ} \text{ de pontos} \times Consumo \text{ diario} \times dias$$

De posse de todas essas informações foram elaboradas as seguintes Tabelas

Tabela 16: Consumo do Sistema Antigo

Código	Lâmpada	Potência Nominal (W)	Perdas do Reator (W)	Potência Consumida (W)	Nº de Pontos	kWh	Valor
T400	Metálico	400	36	436	14	2173,09	R\$ 781,66
T150	Metálico	150	20	170	14	847,30	R\$ 304,78
Total					28	3020,39	R\$ 1.086,43

Fonte: Próprio autor.

Tabela 17: Consumo do Atual Sistema

Código	Lâmpada	Potência Nominal (W)	Perdas do Reator (W)	Potência Consumida (W)	Nº de Pontos	kWh	Valor
T150	LED 158	150	0	150	28	1495,24	R\$ 537,84
T70	LED 58	70	0	70	14	348,89	R\$ 125,50
Total					42	1844,13	R\$ 663,33

Fonte: Próprio autor.

Analisando as tabelas anteriores pode-se perceber que existe uma economia mensal de R\$ 423,10 (quatrocentos e vinte e três reais e dez centavos) em um pequeno trecho com 14 postes. Além do lado financeiro a cidade ainda ganhou mais benefícios com a eficiência que a nova tecnologia trouxe. O IRC das lâmpadas de LED é melhor que o da HQL, o índice de uniformidade da iluminação também melhorou.

Outro fator que se deve levar em consideração é o tempo de vida útil dos equipamentos e a manutenção, o antigo sistema possuía uma vida útil de em média 3 (três) anos, o atual, graças a tecnologia do LED, dura em torno de 10 (dez) anos, necessitando assim de menos gastos com manutenção.

O sistema atual está sofrendo uma modernização, mediante a implantação da telegestão que servirá para o acompanhamento em tempo real de cada poste, possibilitando o agendamento do acionamento e desligamento das lâmpadas, ajuste da intensidade luminosa e caso exista alguma falha no sistema, o equipamento informa qual foi o problema e o ponto exato, enviando uma mensagem para o técnico responsável pela manutenção.

Esse sistema de telegestão ainda não está em operação na orla toda, somente em alguns trechos, mas a prefeitura garante que em um futuro próximo planeja estender essa inovação para toda a capital.

## 5. Procel

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), instituído em 30 de dezembro de 1985, é um programa do governo, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia e executado pela Eletrobrás.

O principal objetivo do Procel é promover o consumo eficiente da energia elétrica e minimizar os seus desperdícios.

Esse programa abrange várias áreas e atua em cada uma delas de forma diferente. As principais áreas de atuação são: indústria e comércio, edificações, equipamentos (Selo Procel) e iluminação pública (Reluz).

Segundo os dados mais atuais, desde 1986, já foram economizados mais de 107 bilhões de kWh e foram investidos 2,9 bilhões de reais, empregados nas mais diversas áreas.

### 5.1. Indústria e Comércio

A indústria brasileira é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% do total da energia consumida no país, a maior parte dessa energia é consumida por sistemas motrizes.

Visando esse consumo excessivo o Procel implantou 14 Laboratórios de Otimização de Sistema Motrizes (Lamotrizes), com a função de aprofundar a abordagem da eficiência energética em sistemas motrizes.

Já na área do comércio o consumo de energia elétrica é bem menor, se comparado com o da indústria. No entanto, faz-se mister ações de eficiência energética, para que se possa reduzir os custos de produção e assim maximizar os lucros, oferecendo produtos com preços mais baixos.

Na indústria e no comércio, o Procel visa sempre otimizar sistemas produtivos, instalações elétricas e mecânicas, motores elétricos, cargas acionadas e o uso final, tudo isso por meio de ferramentas computacionais e manuais, além de auditorias energéticas que buscam criar casos de sucesso.

## 5.2. Edificações

De 2009 até os dias atuais, mais de 2100 (duas mil e cem) edificações receberam a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE), essa etiqueta foi uma parceria do Procel com o Inmetro, onde o objetivo é classificar a edificação de acordo com os padrões definidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), quanto melhor for a conservação e a eficiência dos gastos dos recursos naturais, reduzindo o desperdício e os impactos ambientais, melhor será a classificação dessa edificação.

Essa etiqueta é de fundamental importância, pois cerca de 50% (cinquenta por cento) do total da eletricidade consumida no Brasil, são provenientes do consumo das residências, dos centros comerciais e dos serviços públicos. Graças a essa nova etiquetagem algumas edificações chegaram a obter uma economia de até 50% (cinquenta por cento).

Figura 25: Etiqueta ENCE



Fonte: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BF48ABFE1-2335-4951-9FF9-C5E9B27815AC%7D>

### 5.3. Selo Procel

O selo Procel é mais uma parceria firmada com o Inmetro, juntamente com a associação de fabricantes e pesquisadores. Esse selo tem como principal objetivo informar ao consumidor o quão eficiente é o produto que ele está adquirindo, permitindo assim que o consumidor possa de uma maneira simples, saber qual o produto que menos consome energia.

O selo é concedido depois da realização de vários testes e ensaios em laboratórios, os índices obtidos nos testes são comparados com os índices de consumo e desempenho estabelecidos para cada categoria de equipamento, e então ele pode ser classificado o nível de eficiência.

### 5.4. Iluminação Pública (Reluz)

É um programa que foi implantado durante o governo de Fernando Henrique Cardoso, que tinha como objetivo principal a modernização da iluminação pública e semafórica do país.

A ideia inicial do projeto era substituir as lâmpadas incandescentes ou de vapor de mercúrio por lâmpadas mais modernas como as de vapor de sódio, que são mais econômicas e possuem uma eficiência energética e luminosa melhor que as anteriores. Com a recente revolução, ocasionada pela inserção das lâmpadas de LED no mercado, esse projeto foi atualizado e hoje estão focando na substituição das antigas lâmpadas pelas de LED.

Para conseguir os benefícios do Reluz, os agentes ligados à área de iluminação pública devem preencher uma série de requisitos necessários para a preparação de proposta, a qual concorrerá quando for aberta uma chamada pública, que é composta por duas fases, a primeira fase é classificatória, e a segunda é eliminatória.

A primeira fase é iniciada após o recebimento da proposta, a qual será classificada e aprovada para a segunda fase. Na segunda fase se faz uma verificação da veracidade das informações contidas na proposta de projeto.

Após a validação, ela é novamente classificada e contemplada de acordo com a classificação.

Os benefícios do Reluz variam e podem chegar até 75% (setenta e cinco por cento) de financiamento do valor total do projeto. Esses financiamentos são feitos às concessionárias de energia que, em conjunto com as prefeituras, efetivam o projeto.

Estimasse que graças ao Procel Reluz já foram substituídos mais de 2,78 milhões de pontos de luz, atendendo a mais de 1.300 municípios, sob um custo de mais de 500 milhões de reais.

## 6. Conclusões

Após a análise dos dados e das simulações realizadas com a ajuda do software Dialux, pode-se perceber os ganhos que a modernização do sistema de iluminação da orla marítima de Maceió trouxe, tornando-se mais eficiente energeticamente e economicamente, gerando economia para os cofres públicos, conforto e segurança para a população.

Nesse trabalho também foi visto que, embora, o atual sistema seja muito bom ainda existe outra proposta que pode ser levada em consideração para que se tenha um sistema mais eficiente.

O Procel Reluz pode ajudar na questão dos gastos para a implantação dessa nova proposta, tornando assim o projeto mais viável para as concessionárias e prefeituras.

Embora o sistema atual da orla se mostre bastante viável, ele ainda não se espalhou por toda a cidade de Maceió, por enquanto ele está concentrado apenas na orla e em algumas ruas.

Para que a tecnologia aplicada na orla se espalhe pelo resto da cidade, é necessário que se faça um estudo detalhado de todos os bairros da cidade, levando em consideração todos os requisitos necessários para a elaboração de um projeto de iluminação pública, podendo servir de tema para trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] História das Lâmpadas Disponível em: <[http://www.vilux.com.br/ver\\_noticias.asp?codigo=143](http://www.vilux.com.br/ver_noticias.asp?codigo=143)>. Acesso em: 20/10/2017.
- [2] Lâmpada Incandescente. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki /LC3%A2mpada\\_incandescente](https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_incandescente)>. Acesso em: 20/10/2017.
- [3] Lâmpada Fluorescente. Disponível em: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada\\_fluorescente](https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_fluorescente)>. Acesso em: 20/10/2017..
- [4] Lâmpada de LED. Disponível em: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodoemissor\\_de\\_luz](https://pt.wikipedia.org/wiki/Diodoemissor_de_luz)>. Acesso em: 20/10/2017.
- [5] Procel Reluz. Disponível em: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/Procel\\_Reluz](https://pt.wikipedia.org/wiki/Procel_Reluz)>. Acesso em: 22/10/2017.
- [6] Procel. Disponível em : < <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Procel.aspx>>. Acesso em: 22/10/2017.
- [7] Chamada Pública Procel Reluz 2017. Disponível em : < <http://eletrobras.com/pt/Paginas/Chamada-Publica-Procel-Reluz.aspx>>. Acesso em: 22/10/2017.
- [8] Lâmpadas de Neón. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada\\_de\\_n%C3%A9on](https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_n%C3%A9on)>. Acesso em: 10/11/2017.
- [9] Lâmpadas de Halogêneo. Disponível em: < [https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada\\_de\\_halog%C3%AAneoData](https://pt.wikipedia.org/wiki/L%C3%A2mpada_de_halog%C3%AAneoData) >. Acesso em: 10/11/2017.
- [10] Costa, Edson. Guia Experimental de Fotometria. UFCG CEEI, 2015.
- [11] ALMEIDA, J. G. P.; BARBOSA, R. Manual de Iluminação Pública Eficiente, Rio de Janeiro, IBAM/PROCEL, 1998.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-5101. Iluminação Pública. Rio de Janeiro, 2012.

[13] Iluminação Pública. Disponível em: < <http://www.eletronbras.com/ELB/main.asp?TeamID=%7BEB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57%7D>>.

Acesso em: 18/12/2017.

[14] SUPERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE ENERGIA E ILUMINAÇÃO PÚBLICA DE MACEIÓ. Estudo Prévio da Norma Técnica de Padrão de Estruturas para Rede de Iluminação Pública de Maceió, 2007.

[15] Telegestão da Iluminação Pública. Disponível em: < <http://www.maceio.al.gov.br/2017/10/telegestao-traz-tecnologia-e-inovacao-a-iluminacao-de-maceio/>>.

Acesso em: 27/02/2018.