



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Engenharia e Ciências
Campus de Rosana

PABLO ANDRÉ DE SOUZA SILVA

**Análise da Utilização de Relés Inteligentes com Dimmerização para Iluminação Pública
visando Redução de Consumo de Energia Elétrica.**

Rosana - SP
2023

Pablo André de Souza Silva

**Análise da Utilização de Relés Inteligentes com Dimmerização para Iluminação Pública
visando Redução de Consumo de Energia Elétrica.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenadoria de Curso de Engenharia de
Energia do Campus Experimental de Rosana,
Universidade Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia de Energia.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco Resende
da Silva

Rosana - SP
2023

S586a Silva, Pablo André de Souza
Análise da utilização de relés inteligentes com dimmerização para iluminação
públicas visando redução de consumo de energia elétrica. / Pablo André de Souza Silva.
-- Rosana, 2023
71 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia de Energia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana
Orientador: José Francisco Resende da Silva

1. Energia Elétrica - Consumo. 2. Iluminação. 3. Economia. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Engenharia e Ciências, Rosana.
Dados fornecidos pelo autor(a). Essa ficha

não pode ser modificada.



PABLO ANDRÉ DE SOUZA SILVA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“**GRADUADO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Prof. Dr. Leandro Ferreira Pinto
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. José Francisco Resende da Silva
Orientador/UNESP-Rosana

Prof. Dr. Kleber Rocha de Oliveira
UNESP-Rosana

Prof. Dr. Claudia Gonçalves de Azevedo
UNESP-Rosana

Novembro, 2023

Dedico este trabalho de modo especial, à
minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro agradecer a Deus por tudo o que ele fez por mim durante minha graduação, me proporcionando momentos de alegrias, nervosismo e principalmente de aprendizado. Agradecer minha família pelo apoio incondicional durante estes cinco anos, ao meu pai que mesmo não podendo fisicamente acompanhar o final desta etapa sempre acreditou que seria possível.

As novas amizades (André Rodrigues, João Victor Toni, João Lucas Berti, Leandro Galvani, Vitor Ghiraldelo e Maycon Tcharly) que levarei para a vida toda e aos meus amigos que sempre esteve comigo desde minha infância onde me apoiaram, ajudaram, e que pude apreender com cada um deles. Em especial ao meu amigo André que me apoio no decorrer deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradecer a todos os professores e funcionários da universidade pelo aprendizado e amizades que carregarei em meu coração, por fazer parte da realização de um sonho de finalização do curso de Engenharia de Energia. E ao meu orientador José Francisco Resende da Silva, por tudo que fez por mim durante o desenvolvimento deste trabalho.

“A persistência é o caminho do êxito.”
Charles Chaplin

RESUMO

A implantação de relés inteligentes com dimmerização na iluminação pública é uma estratégia inteligente a fim de economizar energia elétrica e aperfeiçoar o sistema de iluminação pública. Por meio de ensaios laboratoriais utilizando-se lâmpadas para plano de trabalho foi possível diminuir o consumo de energia elétrica apenas reduzindo a tensão na entrada da lâmpada, que por consequência reduz a poluição luminosa do ambiente. Realizando uma análise de uma possível implementação na cidade de Primavera - SP na Avenida dos Barrageiros, que atualmente conta com 63 pontos de iluminação em uma distância de 1,9 km onde na literatura informa a possibilidade da redução do consumo de energia com dimmerização em 40%, assim obtendo uma redução no consumo anual de 12.141,4 kWh. Desta forma, esta tecnologia contribui para a economia de recursos, redução de custo e promoção de cidades mais sustentáveis e eficientes energeticamente.

PALAVRAS-CHAVE: Relé inteligente com dimmerização. Iluminação Pública. Consumo de energia. Sustentabilidade. Poluição luminosa.

ABSTRACT

The implementation of smart relays with dimming in public lighting is an intelligent strategy to save electricity and improve the public lighting system. Through laboratory tests using work table lamps, it was possible to reduce electrical energy consumption simply by reducing the voltage at the lamp input, which consequently reduces light pollution in the environment. Carrying out an analysis of a possible implementation in the city of Primavera - SP on Avenida dos Barrageiros, which currently has 63 lighting points over a distance of 1.9 km where the literature reports the possibility of reducing energy consumption with dimming by 40 %, thus obtaining a reduction in annual consumption of 12,141.4 kWh. In this way, this technology contributes to saving resources, reducing costs and promoting more sustainable and energy efficient cities.

KEYWORDS: Smart relay with dimming. Street lighting. . Energy consumption. Sustainability. Light pollution.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Participação de pontos de iluminação instalados por região.....	17
Figura 2 - Sistema atual de iluminação pública.....	19
Figura 3 - Relé fotoelétrico.....	20
Figura 4 - Característica de um foto resistor.....	21
Figura 5 - Rede de distribuição.....	22
Figura 6 - Braços de sustentação para iluminação pública.....	23
Figura 7 - Luminárias abertas.....	24
Figura 8 - Luminária fechada.....	25
Figura 9 - Espalhamento de luminosidade de acordo com a luminária utilizada.....	26
Figura 10 - Relé inteligente SIEMENS PRO.....	27
Figura 11 - Concentrador de rede.....	28
Figura 12 - Funcionamento de um <i>dimmer</i>	29
Figura 13 - <i>Dimmer</i> Digital Orion da Schneider Electric.....	30
Figura 14 - Largura de pulso.....	31
Figura 15 - Tipos de lâmpada de vapor de sódio.....	33
Figura 16 - Lâmpada de vapor de mercúrio.....	33
Figura 17 - Lâmpada de vapor metálico.....	34
Figura 18 - Lâmpada LED.....	35
Figura 19 - Espectro de ondas eletromagnéticas.....	36
Figura 20 - Fluxo luminoso.....	37
Figura 21 - Intensidade luminosa.....	37
Figura 22 - Iluminância.....	38
Figura 23 - Luminância.....	39
Figura 24 - Conceitos de luminotécnica.....	39
Figura 25 - A evolução do sistema de Iluminação.....	42
Figura 26 - Modelo de rede ZigBee.....	43
Figura 27 - Bancada experimental.....	47
Figura 28 - Avenida dos Barrageiros - Primavera-SP.....	49
Figura 29 - Variação de corrente em razão da tensão para lâmpadas de LED.....	58
Figura 30 - Redução de luminosidade da lâmpada LED.....	58
Figura 31 - Potência elétrica da lâmpada LED.....	59
Figura 32 - Variação de corrente elétrica da lâmpada Halógena.....	61

Figura 33 - Oscilação de luminosidade da lâmpada Halógena.....	62
Figura 34 - Potência elétrica da lâmpada Halógena.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de lâmpadas de iluminação pública no Brasil.....	17
Tabela 2 - Níveis de acionamento do relé.....	20
Tabela 3 - Comparação das lâmpadas na iluminação pública.....	32
Tabela 4 - Diferentes lumens de acordo com a lâmpada utilizada.....	47
Tabela 5 - Consumo mensal e anual de energia elétrica da lâmpada – LED.....	48
Tabela 6 - Consumo mensal e anual de energia elétrica da lâmpada – Halógena.....	48
Tabela 7 - Consumo anual em KWh e gasto em R\$.....	50
Tabela 8 - Lâmpada 1 – LED.....	51
Tabela 9 - Lâmpada 2 - LED.....	52
Tabela 10 - Lâmpada 3 - LED.....	53
Tabela 11 - Lâmpada 1 - Halógena.....	54
Tabela 12 - Lâmpada 2 – Halógena.....	55
Tabela 13 - Lâmpada 3 – Halógena.....	56
Tabela 14 - Média das três lâmpadas LED.....	57
Tabela 15 - Média das três lâmpadas Halógenas.....	60
Tabela 16 - Valor unitário em dólar dos equipamentos.....	63
Tabela 17 - Custo de implementação dos dispositivos proposto.....	63
Tabela 18 - Viabilidade econômica.....	65

LISTA DE SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AMI	Advanced Metering Infraestucture
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
Cd	Candela
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GHz	Gigahertz
GW	Gigawatt
GW/h	Gigawatt-hora
IoT	Internet das Coisas
IP	Iluminação Pública
KW	Quilovolts
KWh/ano	Quilowatt hora por ano
LDR	Light dependent resistor/resistor dependente de luz
LED	Diodo Emissor de Luz
Lux	Unidade de medida de luminosidade
MHz	Megahertz
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PWM	Pulse Width Modulation/Modulação por Largura de Pulso
REI	Redes Elétricas Inteligentes
SG	Smart Grid
V	Volts
W	Watt

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL.....	19
2.2. RELÉ FOTOELÉTRICO.....	19
2.1.1. Foto Resistor - LDRs.....	21
2.1.2. Fotodiodo.....	22
2.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA.....	22
2.3. BRAÇOS DE SUSTENTAÇÃO DA ILUMINAÇÃO	22
2.4. REATORES.....	23
2.4.1. Ignitor.....	24
2.5. LUMINÁRIA.....	24
2.5.1. Luminária Aberta	24
2.5.2. Luminárias Fechadas para Lâmpadas de Descarga	25
2.6. COMPONENTES PARA INCREMENTAR A ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....	26
2.6.1. Relé Inteligente com Dimmerização	26
2.6.2. Concentrador de Rede	27
2.6.3. <i>Dimmer</i>	28
2.6.3.1. <i>Dimmer</i> Regulador de Tensão.....	29
2.6.3.2. <i>Dimmer</i> Digital	30
2.6.3.3. <i>Dimmer</i> PWM.....	30
2.7. LÂMPADAS	31
2.7.1. Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão	32
2.7.2. Lâmpada de Vapor de Mercúrio	33
2.7.3. Lâmpadas de Vapor Metálico	34
2.7.4. Lâmpada de LED	35
2.8. LUMINOTÉCNICA	36
2.8.1. Conceitos e Grandezas Fundamentais.....	36
2.8.1.1. Fluxo Luminoso (Φ).....	36
2.8.1.2. Intensidade Luminosa (I)	37
2.8.1.2.1. Curva de Distribuição Luminosa	37
2.8.1.3. Iluminância (E)	38
2.8.1.4. Luminância (L)	38
2.9. TELEGESTÃO.....	39

2.9.1. Telegestão da IP.....	39
2.9.2. Controle.....	41
2.9.3. Redes Elétricas Inteligentes ou <i>Smart Grids</i> (SG)	41
2.9.3.1. IEEE (ZigBee)	42
2.9.3.2. DASH7	43
2.9.3.3. Rede Local sem Fio	44
2.9.3.4. World Wide Interoperability Micriwave Access - WIMAX.....	44
2.9.3.5. Global System for Mobile - GSM	45
3. OBJETIVOS.....	45
3.1. OBJETIVO GERAL	45
3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	45
4. MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1. APARTO EXPERIMENTAL.....	46
4.2. CONSUMO MENSAL E ANUAL DAS LÂMPADAS UTILIZADAS	48
4.3. APLICAÇÃO DE CONCEITOS NA AVENIDA DOS BARRAGEIROS – PRIMAVERA -SP	49
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1. VIABILIDADE ECONÔMICA	63
6. CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS.....	67

1. INTRODUÇÃO

A principal finalidade da iluminação pública é prover iluminação artificial para ruas, avenidas e demais espaços públicos em uma cidade, garantindo segurança e luminosidade nessas áreas frequentadas pela população (A ILUMINAÇÃO PÚBLICA, 2023).

De acordo com o artigo 149-A da Constituição Federal de 1988, inserido pela Emenda Constitucional 39 de 2002, cabe aos municípios a responsabilidade de organizar e fornecer diretamente o serviço de iluminação pública, seja por meio de concessão ou permissão (PROJETO DE LEI, 2016).

Com o decorrer do tempo, torna-se evidente no Brasil uma lacuna no gerenciamento do setor energético do país. Que têm por intuito preservar os recursos naturais, diminuir os impactos ambientais e racionalizar o consumo de energia elétrica, visando não prejudicar o crescimento populacional e o desenvolvimento do país (BERNARDES, 2020).

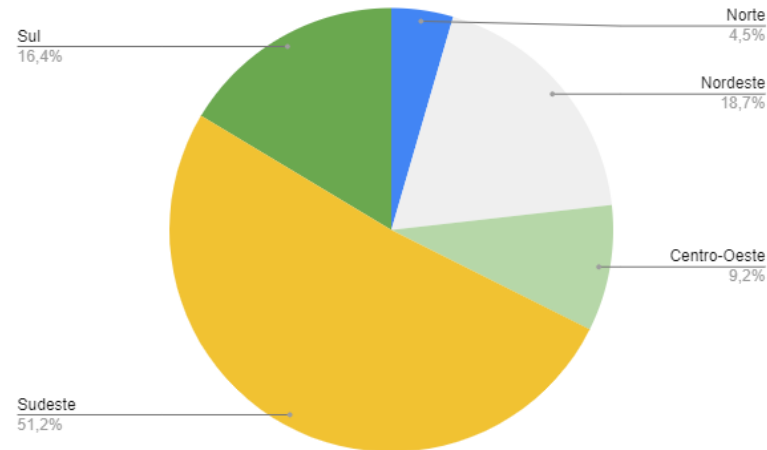
Neste contexto, o presente trabalho aborda uma das questões enfrentadas pelas cidades brasileiras, que é a gestão eficiente da iluminação pública. Na maioria dessas cidades, a infraestrutura de iluminação pública opera sem automação, como também não há um sistema efetivo para identificar lâmpadas queimadas ou pontos de iluminação recorrentemente problemáticos (DE LA ROCHA, 2020).

Segundo dados da EPE (Empresa de Pesquisa Energética), em maio de 2023, o Brasil registrou um consumo de energia elétrica de 43.181 GW/h, apresentando um aumento de 2,7% em comparação ao mesmo período no ano de 2022 (RESENHA, 2023).

Globalmente, a iluminação pública representa aproximadamente 20% do consumo total de energia elétrica (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2023). No Brasil o consumo de energia elétrica da iluminação pública segundo a Empresa de Pesquisa Energética foi cerca de 3% (EPE, 2022). Consumo este que no ano de 2022 foi estimado em cerca de 2,1 TWh, do consumo total de energia elétrica do país, que foi de 497 TWh. (EPE, 2022).

Levando em consideração o aumento populacional e a expansão das cidades, se faz necessário a expansão do parque de iluminação pública que em razão disso traz por necessidade o gerenciamento e manutenção da mesma (LED, 2014). De acordo com o site Brasil IP, o parque de iluminação pública brasileiro possui mais de 18 milhões de pontos de iluminação instalados no ano de 2023 (Brasil IP, 2023), distribuídas nas 5 regiões brasileira como ilustrado na figura 1.

Figura 1 - Participação de pontos de iluminação instalados por região



Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2023.

Como mostrado na figura 1, a participação de pontos de iluminação pública no território nacional é muito grande, deste modo a utilização de diferentes tipos de lâmpadas para iluminação ainda é comum no Brasil como pode ser analisado na tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição de lâmpadas de iluminação pública no Brasil

Tipo de Lâmpada	Quantidade	Participação (%)
LED	8.000.000	42,55
Vapor de Sódio	6.000.000	31,91
Vapor de Mercúrio	2.500.000	13,30
Outras	2.000.000	10,64
Mistas	200.000	1,06
Incandescentes	100.000	0,53
TOTAL	18.800.000	99,99

Fonte: Brasil IP, 2023.

A iluminação pública tem uma área fundamental para a aplicação de eficiência energética, pelo fato de seus benefícios não estarem apenas na redução do consumo elétrico como também na forma de extinguir certas tecnologias que seriam prejudiciais para o meio ambiente, reduzindo os custos de manutenção e melhorando o controle do sistema de iluminação (LOUREIRO, 2014).

Neste contexto, o conceito de Smart Cities vem sendo utilizado constantemente nos 20 dias atuais, com o intuito de apontar que o ambiente urbano é um marco na revolução digital, as *Smart Cities* podem ser consideradas ambientes nos quais diversas fontes de informação passam a interagir e para a solução de problemas, desde a utilização de sensores instalados nas vias públicas até Sistemas inteligentes de previsão de eventos usando inteligência artificial e algoritmos de *deep* e *machine learning* (CARLOTO, 2020).

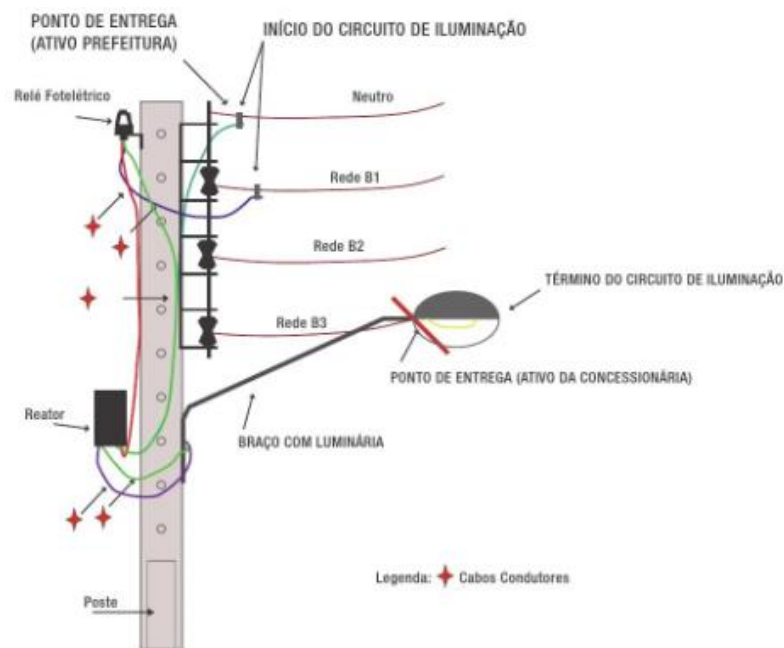
As Redes Elétricas Inteligentes são praticamente iguais em relação ao conceito de *Smart Cities*, elas possuem diversas fontes de informação e possibilidades, indo desde a implantação de AMI (*Advanced Metering Infrastructure*), até em sistemas amplo e robusto de operação, análise e planejamento do sistema de distribuição de energia elétrica (GALLOTTI, 2020).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO ATUAL

Atualmente o Brasil mantém o mesmo sistema de iluminação de anos atrás, sendo composto por um relé fotoelétrico, um reator e a lâmpada conforme a Figura 2 (Silva, 2018), bem como pela rede de distribuição da concessionária, braços de sustentação da iluminação, reatores, luminárias, postes e circuitos (PEREIRA, 2021).

Figura 2 - Sistema atual de iluminação pública



Fonte: PEREIRA, 2021.

Este sistema é corriqueiramente analisado e discutido no país sobre sua eficiência energética, na qual visa à conservação de energia e um funcionamento eficaz para a população, ou seja, realizando a otimização da produção, a redução do consumo de energia, os custos, contudo sem perder na qualidade de serviço prestado (BERNADES, 2020).

2.2. RELÉ FOTOELÉTRICO

É um componente que possui uma grande importância no sistema de iluminação pública, pois tem a função de determinar quando o circuito irá fechar para que a lâmpada seja acesa (CLEMENTE, 2018).

Os relés fotoelétricos para uso na iluminação pública têm como objetivo ligar as lâmpadas no início da noite quando a iminência solar estiver abaixo de 10 lux, e realizar o desligamento das lâmpadas no amanhecer quando a iminência estiver acima dos 10 lux (PEREIRA, 2021).

Nos dias atuais, o acionamento e desligamento do relé de iluminação pública são regulamentados pela ABNT NBR 5123:2016. A tabela 2 mostra o nível estabelecido para que o relé acenda e desligue no sistema de iluminação pública (VIEIRA, 2019).

Tabela 2 - Níveis de acionamento do relé

	Amanhecer (Lux)	Anoitecer (Lux)
Caso 1 (Tempo Mínimo)	80	20
Caso 2 (Tempo Máximo)	80	3

Fonte: VIEIRA, 2019.

Desse modo, os relés fotoelétricos têm como função o monitoramento da luminosidade do local e assim realizar o acionamento das lâmpadas automaticamente. Existem dois tipos de funcionamento: o relé NF (Normalmente fechado) nos quais os contatos se mantêm fechados na ausência de luz (VIEIRA, 2019), e os NA (Normalmente aberto) que mantêm os contatos abertos e que de acordo com suas características permite a passagem de energia onde um sensor LDR (*light dependent resistor* ou resistor dependente de luz) torna isso possível (MUNDO DA ELÉTRICA, 2018).

Figura 3 - Relé fotoelétrico



Fonte: SABER ELÉTRICA, 2023.

O relé fotoelétrico como o da figura 3, possui duas características macro: Atuando como um transdutor ou como sensor. O relé será um transdutor cuja função base seja converter energia

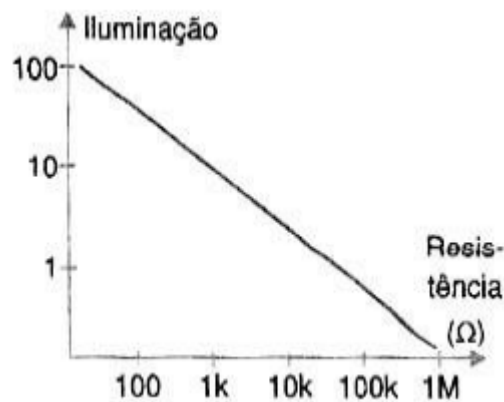
luminosa em energia elétrica, e esta mesma função ocorre em fotocélulas na iluminação pública. Por outro lado, os sensores têm por característica a conversão de luz em uma variável incluída em uma grandeza elétrica (*Corrente ou tensão*), que são conhecidos como LDRs e fotodiodos (SABER ELÉTRICA, 2023).

2.1.1. Foto Resistor - LDRs

O foto resistor ou LDRs (*Light Dependent Resistor*) é ligado em série com uma bobina e na presença de luz solar sua resistência é reduzida, ocasionando a passagem de corrente elétrica pela bobina gerando um campo magnético suscetível a atrair o contato preso na mola. Isto ocorre pelo fato de todo o condutor percorrido por uma corrente elétrica gera em torno de si um campo magnético (CLEMENTE, 2018).

Entretanto, na ausência de luz a sua resistência aumenta de forma significativa até que não obtenha passagem de corrente pela bobina, efetuando o contato com a mola novamente e assim fechando o outro circuito que acende a lâmpada (CLEMENTE, 2018).

Figura 4 – Característica de um foto resistor



Fonte: Braga, 2012.

A característica mostrada na figura 5 ocorre pelo fato deste componente ser sensível à luz, e por essa razão sua resistência sofre variações. Desse modo, quanto maior for a intensidade luminosa menor a resistência, e pelo contrário maior a sua resistência (GRUPO AUTCOMP, 2023).

2.1.2. Fotodiodo

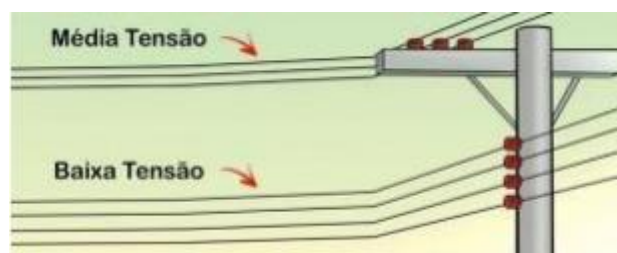
São dispositivos que podem ser usados tanto como fotocondutivo quanto voltaico, e seu funcionamento se baseia em uma junção semicondutora semelhante ao das fotocélulas e quando uma intensidade de luz incide sua superfície ele libera cargas, operando assim como fotovoltaico (SABER ELÉTRICA, 2018).

Portanto, temos a manifestação de dois fenômenos que são utilizados na prática, onde em um deles a resistência em sentido contrário da junção iluminada irá diminuir e o outro no qual surge uma tensão no dispositivo. Caso o sensor aproveite a variação da resistência inversa com a luz em modo operante, pode-se dizer que está em operação no modo fotocondutivo. Entretanto, caso aproveite a tensão gerada com a luz estará operando em modo fotovoltaico (BRAGA, 2012)

2.2. REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA

A rede de distribuição de energia elétrica pertence à concessionária e tem a função de transportar a energia elétrica para as diferentes localidades da cidade. Na maioria das redes de distribuição, tem-se sistemas trifásicos com diferentes tensões: na rede primária, a tensão média de 13,2 kV e na rede de distribuição secundária tem-se uma baixa tensão igual 220/127 V, conforme observado na figura 5 (PEREIRA, 2021).

Figura 5 – Rede de distribuição



Fonte: Mundo da Elétrica, 2020.

2.3. BRAÇOS DE SUSTENTAÇÃO DA ILUMINAÇÃO

Somente os braços de sustentação podem ser fixados nos postes de duas maneiras, dependendo do tipo de poste. Para os postes que são circulares a fixação dos braços de sustentação é feita através de uma cinta metálica que fica abraçada ao poste. Enquanto para os postes de formato quadrado a sua fixação é feita utilizando-se alguns parafusos e outras ferragens. O

braço ainda possui também luminárias que são introduzidas diretamente nos postes, desta forma não é necessário o uso de braços (PEREIRA, 2021).

Os braços de sustentação como os da figura 6 são necessários para a iluminação pública, uma vez que permitem que a luminária seja colocada um pouco à frente do poste, de modo que a luz seja bem distribuída. Caso os braços não fossem introduzidos no sistema de iluminação, como ocorria no passado, grande parte da luminosidade emitida pela lâmpada seria perdida na face do poste (PEREIRA, 2021).

Figura 6 – Braços de sustentação para iluminação pública



Fonte: Próprio autor, 2023.

2.4. REATORES

Os reatores têm a função de aumentar a tensão durante a ignição da lâmpada, limitando assim a intensidade da corrente elétrica, no decorrer do funcionamento da lâmpada. Estes reatores podem ser do tipo eletromagnético ou eletrônico.

Os reatores eletromagnéticos são compostos por um núcleo de ferro, bobinas de cobre e de capacitores para correção do fator de potência. Devido às suas características construtivas pode apresentar a emissão de ruídos, efeito “flicker” e carga térmica elevada (PEREIRA, 2021).

Os reatores eletrônicos possuem uma maior eficiência em relação aos eletromagnéticos no que diz respeito a conversão de potência elétrica em potência luminosa. Entretanto deve-se realizar uma avaliação em relação a qualidade do produto, especialmente no que diz respeito ao fator de potência (PEREIRA, 2021).

Para que as lâmpadas de vapor de sódio, amplamente utilizadas na iluminação pública, sejam acionadas, é utilizado um ignitor que gera um pico de tensão nos eletrodos da lâmpada assim desligando-se automaticamente após a partida (PEREIRA, 2021).

2.4.1. Ignitor

Os ignitores são dispositivos com a função de gerar um pulso de alta tensão em um breve período de tempo de modo a produzir a ionização dos gases da lâmpada e iniciar o procedimento de seu funcionamento. A princípio seu funcionamento se inicia quando o ignitor fornece um pico de tensão inicial de 0,7 há 4,5kV, iniciando o processo de descarga e formar o arco voltaico entre os eletrodos da lâmpada que, uma vez acessa o ignitor se desliga (CLEMENTE, 2018).

2.5. LUMINÁRIA

A luminária tem o papel de abrigar a lâmpada a fim de protegê-la contra vandalismo e também de distribuir a luz emitida da lâmpada em direção ao solo com o intuito de promover uma maior luminosidade no ambiente instalado (PEREIRA, 2021). Para que obtenha uma maior eficiência a exigência é de que a lâmpada ou LED esteja instalada na luminária (VIEIRA, 2019).

2.5.1. Luminária Aberta

Em princípio as luminárias utilizadas eram do tipo aberta, entretanto este tipo de luminária possui uma baixa eficiência luminosa além de deixarem a lâmpada exposta para atos de vandalismo, insetos, dentre outras causas que podem prejudicar na vida útil da lâmpada (VIEIRA, 2019).

Figura 7 – Luminárias abertas



Fonte: VIEIRA, 2019.

As luminárias abertas como mostrada na figura 7, são um modelo de iluminação pública onde não possui refletores a fim de direcionar a luz. Iluminando em todas as direções, o que pode ser útil em locais onde se deseja uma iluminação uniforme e ampla, como parques e praças. Entretanto, elas podem gerar poluição luminosa e desperdício de energia, pois parte da luz é enviada para o céu sem contribuir para a iluminação do solo.

2.5.2. Luminárias Fechadas para Lâmpadas de Descarga

A fim de melhorar a eficiência luminosa das luminárias e preservar as lâmpadas, se fez necessário o desenvolvimento das luminárias fechadas, as quais possuem conjuntos ópticos com o papel de direcionar o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. Por decorrência a poluição luminosa tende a diminuir por conta da dispersão de luminosidade (VIEIRA, 2019).

Figura 8 – Luminária fechada

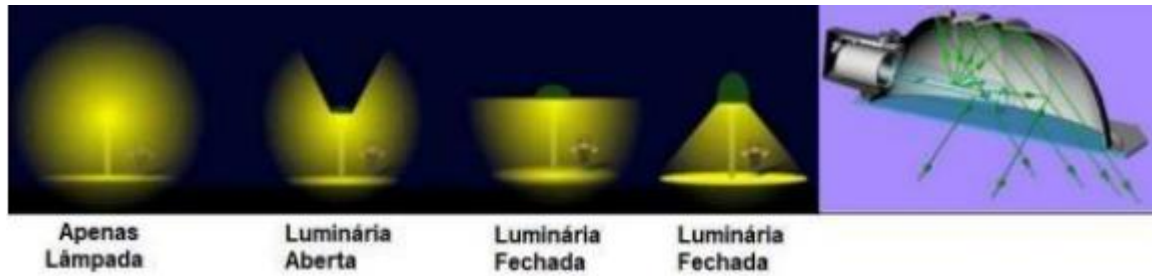


Fonte: VIEIRA, 2019.

Com a evolução das luminárias e dos conjuntos ópticos utilizados por elas como ilustrado na figura 8, atualmente as lâmpadas apresentam uma alta eficiência luminosa e bem como no recuo no desperdício de luminosidade (VIEIRA, 2019).

Na figura 9 é possível analisar o espalhamento da luminosidade quando utilizado as luminárias abertas que dispersam uma quantidade de luz significativa das lâmpadas, oposto das luminárias que concentram a luminosidade dentre uma superfície de área.

Figura 9 – Espalhamento de luminosidade de acordo com a luminária utilizada



Fonte: VIEIRA, 2019.

Em função da luminária fechada utilizada para o sistema de iluminação obtém um melhor rendimento da luz emitida das lâmpadas, isto pelo fato de a luz não ficar dispersa em direções sem necessidade, desta forma a luminária fechada tem um maior aproveitamento pela razão do direcionamento de luz para ambientes que necessitam e foram planejados para serem iluminados (VIEIRA, 2019).

2.6. COMPONENTES PARA INCREMENTAR A ILUMINAÇÃO PÚBLICA

2.6.1. Relé Inteligente com Dimmerização

Os relés de sobrecarga, também conhecidos como relés inteligentes, são utilizados para a proteção de motores de baixa tensão. São chamados de inteligentes pelas suas várias funcionalidades e também pela sua capacidade de comunicação. Consequentemente proporcionando de maneira remota e alta eficiência, o controle das cargas e também das partidas (ABB, 2023).

O relé inteligente com dimmerização como mostrado na figura 10 permite ajustar a intensidade da corrente elétrica que passa pelo motor, alterando o consumo de energia elétrica. Logo a dimmerização pode ser feita por meio de potenciômetro, um controle remoto ou uma rede de comunicação (WEG, 2023).

Estes relés são sistemas de gerenciamento de motores que contam com alta tecnologia e uma extraordinária capacidade de se comunicar em rede, campo e nuvem. E com a ajuda do mesmo é capaz de obter os dados detalhados da operação, manutenção como diagnósticos (SIEMENS, 2023).

Figura 10 – Relé inteligente SIEMENS PRO



Fonte: SIEMENS, 2023.

Cabe ressaltar que, os relés inteligentes são altamente precisos os tornando ideias para diversas aplicações nas quais são exigidos rigor e confiabilidade (ABB, 2023).

2.6.2. Concentrador de Rede

Um concentrador de rede é um dispositivo que permite a conexão de vários computadores em uma rede local, transmitindo sinais elétricos que recebe de uma porta para as outras portas sem analisar os dados. O concentrador pode ser ativo ou passivo, isto depende caso ele amplifica ou não o sinal que recebe, o concentrador de rede ativo é alimentado eletricamente e regenera o sinal de várias portas existentes nesse aparelho, enquanto o concentrador de rede passivo não amplifica o sinal, apenas faz a disfunção do sinal para a conexão de todos os hóspedes (DOMINANDO REDES, 2023).

Figura 11 – Concentrador de rede



Fonte: DOMINANDO REDES, 2023.

De modo geral um concentrador de rede como da figura 11 pode ser utilizado para criar uma topologia de rede em estrela, onde cada computador é conectado a uma porta do concentrador, que fica no centro da rede. Esta topologia obtém a vantagem de simplificar a instalação e a manutenção da rede, mas têm a desvantagem de reduzir o desempenho e a segurança, pois todos os computadores compartilham o mesmo meio e podem receber dados que não são destinados a eles. Além disso, se o concentrador falhar a rede inteira fica inoperante (DOMINANDO REDES, 2023).

2.6.3. *Dimmer*

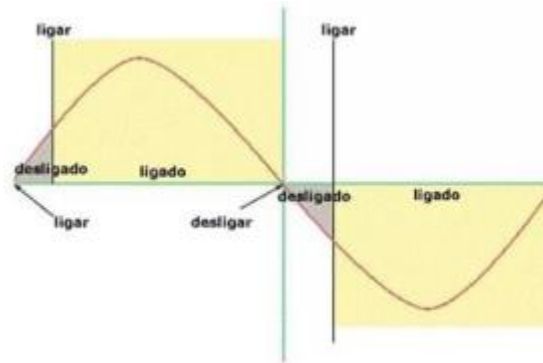
O *dimmer* é um dispositivo cuja principal função é permitir a regulação da luminosidade de uma lâmpada ou de um conjunto de lâmpadas de modo gradual, proporcionando diferentes ambientes e efeitos de luz (Ourolux, 2023). Possui um funcionamento determinante para a economia de energia elétrica como também na sua utilização, conseguindo determinar a quantidade de luz utilizada durante o decorrer do dia (MATTEDE, 2023).

O seu uso pode trazer uma economia de energia significativa como também prolongar a vida útil das lâmpadas, visto que a redução da intensidade luminosa impacta no consumo de energia elétrica (Ourolux, 2023).

Os *dimmers* modernos não tem por objetivo o desvio da carga por um material resistivo a fim de limitá-lo, mas sim ligando e desligando (chaveamento) do circuito com o intuito de reduzir a quantidade total de fluxo de energia. Assim o *Dimmer* vai desligar o circuito cada vez em que a corrente muda a sua direção, isto é, quando a voltagem gradualmente desce à zero na

escala de onda senoidal, isto conforme a posição do contato ou botão. Com a tensão baixa deslocando-se pela lâmpada provoca uma baixa luminosidade (MATTEDE, 2023).

Figura 12 – Funcionamento de um *dimmer*



Fonte: MATTEDE, 2023.

Observa-se que a mudança no formato da onda ocasionando na variação da iluminação, deste modo é perceptível que a tensão e a corrente variam os seus valores.

Para a implementação de *dimmer* na iluminação pública com o intuito de reduzir o consumo de energia elétrica, se deve estudar qual o mais ideal para o objetivo da pesquisa no quais os que mais se adequa são os *dimmer* regulador de tensão, *dimmer* digitais e o *dimmer* PWM.

2.6.3.1. *Dimmer* Regulador de Tensão

Este *dimmer* funciona através de resistores ajustáveis no qual suporta alterações de cargas elétricas e possibilita o controle da intensidade de luz da lâmpada. Estes resistores são componentes aptos em resistir e dificultar a passagem de corrente elétrica, desta forma reduzindo a tensão da rede elétrica que é enviada para a lâmpada e consequentemente controlando a sua potência (VIVA DECORA, 2023).

Quanto maior o caminho no interior do resistor, maior a quantidade de energia dissipada em forma de calor e menor será a tensão. Quanto menor a tensão menor será a luminosidade, desta forma que o *dimmer* realiza o reajuste da luz em quaisquer ambientes (residencial, comercial, industrial e iluminação pública) e também da redução de gastos (MAX, 2023).

2.6.3.2. *Dimmer Digital*

Os *dimmers* digitais possuem uma característica de consumo de energia elétrica baixa, pois o seu funcionamento é se assemelha a de um variador de luminosidade convencional, podendo ser utilizados em lâmpadas de LED (MATTEDE, 2023). Um exemplo deste *dimmer* é o *Dimmer Digital Orion* da Schneider Electric mostrado na figura 13.

Figura 13 - *Dimmer Digital Orion* da Schneider Electric



Fonte: MATTEDE, 2023.

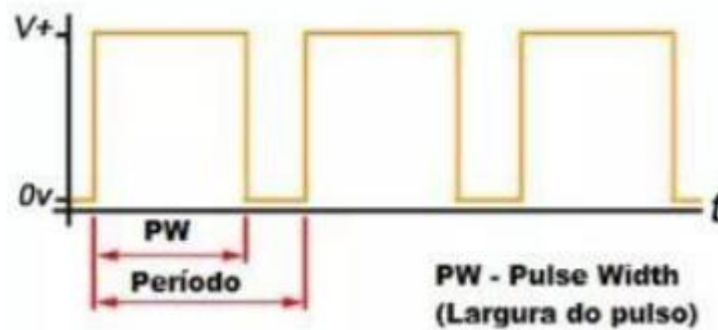
Para sua utilização em sistemas de iluminação pública algumas considerações devem ser levadas em consideração como, por exemplo, a compatibilidade com a lâmpada onde algumas lâmpadas (Sódio de alta pressão, vapor de mercúrio e LED) não são projetadas para dimerizar, por isto a importância de analisar a descrição de cada uma, bem como a modificação de infraestrutura dos postes de iluminação para a instalação dos *dimmers* digitais.

2.6.3.3. *Dimmer PWM*

Os *dimmers* PWM (*Pulse Width Modulation*), ou também modulação por Largura de Pulso, surgiu pela exigência de realizar o controle da tensão entregue aos sistemas eletrônicos desta forma moderando a potência na carga (MATTEDE, 2023).

Logo a modulação por largura como mostrado na figura 14 é uma técnica na qual se ajusta a luminosidade ao variar rapidamente o ciclo de ligamento e desligamento da lâmpada. Isso é adequado para lâmpadas LED, em razão das mesmas poderem ligar e desligar rapidamente sem piscar (MATTEDE, 2023).

Figura 14 – Largura de pulso



Fonte: MATTEDE, 2023.

Um *dimmer* PWM tem seu funcionamento através de um chaveamento rápido do circuito, ligando e desligando a corrente em intervalos regulares. A largura do pulso irá determinar o intervalo em que o circuito se encontra ligado ou desligado, e por consequência a quantidade de energia elétrica que chega até a lâmpada (MATTEDE, 2023).

O *dimmer* PWM pode ser usado na iluminação pública a fim de ajustar a intensidade luminosa, como por exemplo, em horário de baixo ou nenhum fluxo populacional (madrugada) reduzindo a luminosidade com o intuito de economizar energia. Além disto, prolongando a vida útil das lâmpadas de LED, que quando comparada com as demais são as mais eficientes e sustentáveis (MATTEDE, 2023).

2.7. LÂMPADAS

A lâmpada mais utilizada ao longo dos anos foi à lâmpada de vapor de mercúrio que no século passado tinha a concepção de ser mais eficiente em questões de lumens/watt, com o avanço tecnológico, as lâmpadas de LED vieram para substituir as lâmpadas de vapor de sódio/mercúrio por razões consideráveis como mostrado na tabela 3, a vida útil, luminosidade e acima de tudo seu consumo de energia (lumens/watt). O retrofit se tornou uma das maneiras mais eficientes como intuito de realizar a redução de energia elétrica (BERNARDES, 2020).

Tabela 3 – Comparação das lâmpadas na iluminação pública

Tipo de lâmpada	Eficiência luminosa (lm/W)	Índice de reprodução de cor (IRC)	Vida útil da lâmpada (h)	Preço (R\$)
Vapor de sódio de alta pressão	80 – 150	24	15.000 – 24.000	316,00
Vapor metálico	70 – 130	96	8.000 – 12.000	320,00
Vapor de mercúrio	35 – 65	40	10.000 – 15.000	285,00
LED	70 – 160	70 – 90+	40.000 – 90.000	1.500,00

Fonte: BERNARDES, 2020.

Desta forma a utilização das lâmpadas de LED para o sistema de iluminação pública traz consigo certos benefícios quando comparada com os outros tipos de lâmpadas, entretanto seu alto valor impacta na aquisição das mesmas, porém, o seu tempo de troca seria superior chegando-se a mais de 10 anos.

2.7.1. Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

Este tipo de lâmpada como mostrada na figura 15 começou a ser comercializada por volta de 1955, e seu funcionamento necessita de um ignitor para ocasionar um surto de tensão, normalmente entre 1,5 a 4,5KV, assim ionizando o gás e circulando corrente elétrica entre os dois eletrodos fundamentais (CLEMENTE, 2018).

Os surtos de tensão causados pelo ignitor têm uma duração de micro segundo, pois o mesmo serve apenas para a inicialização de seu funcionamento. Logo após a ionização do gás, a resistência do meio é muito baixa, e com isso entra em ação o reator no qual limita a corrente evitando que a lâmpada não entre em combustão e provocando o caimento de tensão necessária para a lâmpada (CLEMENTE, 2018).

O seu espectro de cor é elevado em comparação ao de vapor de mercúrio, apresentando uma cor amarela alaranjada característica que acaba provocando uma impressão de maior agrado quando comparado com as lâmpadas de vapor de mercúrio (LIMA, 2019).

Figura 15 – Tipos de lâmpada de vapor de sódio



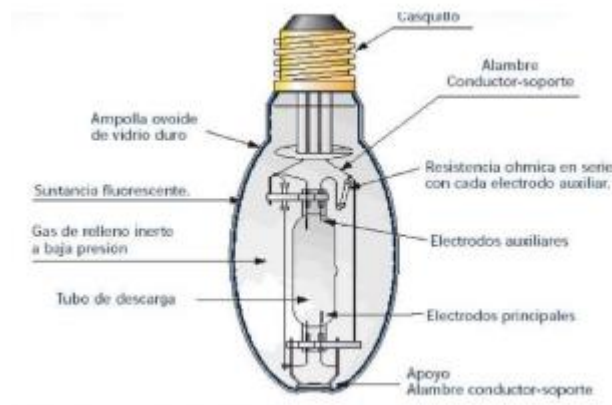
Fonte: LIMA, 2019.

2.7.2. Lâmpada de Vapor de Mercúrio

Este tipo de lâmpada começou a ser comercializada no ano de 1908, sendo a produção de luz iniciada através do estímulo dos gases provocados pela corrente elétrica. As lâmpadas de vapor de mercúrio como mostrado na figura 16 são constituídas de um tubo de descarga transparente, de uma curta dimensão, introduzido em um bulbo de vidro, coberto na parte interior com uma camada de “fósforo” para corrigir o índice de reprodução de cor (LIMA, 2019).

No momento inicial da descarga, a lâmpada acaba por emitir uma luz verde clara. A intensidade luminosa expande gradualmente até que se estabilize após 6 a 7 minutos, até que a luz fique com uma coloração branca com uma tonalidade relativamente esverdeada (LIMA, 2019).

Figura 16 – Lâmpada de vapor de mercúrio



Fonte: SILVA, 2023.

2.7.3. Lâmpadas de Vapor Metálico

Este tipo de lâmpada começa a ser comercializada a partir do ano de 1964, sendo vista como um avanço tecnológico da lâmpada de vapor de mercúrio tornando-se fisicamente semelhante à de vapor de sódio (LIMA, 2019).

Esta lâmpada como mostrado na figura 17 possui formatos tubulares e elipsoidais e refletoras. As tubulares são de arco curto ou longo, as de arco curto são para as luminárias do tipo compacta ou dirigidas já as de arco longo são para iluminação difusa (LIMA, 2019).

As de formato elipsoidais são chamadas assim por apresentar um bulbo no formato de ovoide. A que apresenta uma potência maior que 250 W exibe um bulbo revestido por material fluorescente, são utilizadas na iluminação difusa e apenas em luminárias fechadas (LIMA, 2019).

Já as de formato refletoras acabam por não necessitar de luminárias assim sendo utilizadas para iluminação direcionada. O direcionamento é obtido quando os eletrodos de ignição estão a uma reduzida distância criando uma fonte luminosa com características parecidas a uma fonte puntiforme (LIMA, 2019).

Figura 17 – Lâmpada de vapor metálico



Fonte: LIMA, 2019.

O princípio de funcionamento se assemelha ao de vapor de mercúrio, entretanto a adição de iodetos metálicos conferiu à fonte luminosa com uma maior eficiência luminosa (LIMA, 2019)

2.7.4. Lâmpada de LED

A lâmpada de LED como mostrada na figura 18 foi desenvolvida de forma experimental no ano de 1963, tinha baixa luminosidade e continha a cor vermelha. Em meados de 1975 descobriu-se a de cor verde e em 1995 constatou o LED na cor branca. Nos dias atuais esta tecnologia sofreu diversas modificações e evoluções, entretanto as descobertas iniciais foram cruciais para que chegasse ao resultado atual (SILVA, 2010).

Com o avanço tecnológico, foi criada a lâmpada LED, caracterizada por ser uma lâmpada de qualidade e de longa duração. Tecnologia esta que entra no mercado de lâmpadas para inovar e disputar com as lâmpadas convencionais (SILVA, 2010).

Esta fonte de luz teve sua aplicação comercial após o ano de 2010, por ser vista como uma tecnologia de reprodução de luz disponível no mercado mais sofisticado.

Figura 18 – Lâmpada LED



Fonte: ROBERTO, 2017.

Os LED são semicondutores que transformam eletricidade em luz através das interações dos elétrons. A mesma opera com tensão reduzida, não possuindo filamentos como descarga elétrica (ROBERTO, 2017).

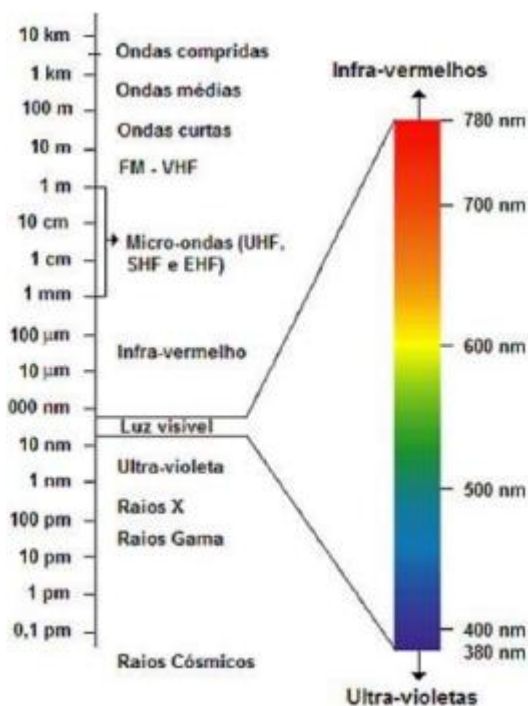
Com isto estas lâmpadas possuem uma melhor tecnologia quando comparadas com as outras, consequentemente são as mais econômicas dentre as outras por não obterem perdas de calor, quer dizer que toda a energia que chega a lâmpada se torna em luminosidade. Um dos pontos positivos e crucial do LED é a sua vida útil de duas vezes maior em comparação com lâmpadas convencionais, alcançando 50 mil horas de funcionamento (NEW LIGHT, 2022),

2.8. LUMINOTÉCNICA

A luz é uma radiação eletromagnética que está englobada entre os comprimentos de onda de 380 a 760 nanômetros (1 nanômetro = 10^{-9}), sendo perceptível a olho humano ocasionando sensações visual de claridade (PEREIRA, 2021).

O espectro eletromagnético visível como mostrado na figura 19 está restrito em um dos extremos pelas radiações infravermelhas, de um comprimento de onda superior, e por outro lado, por radiações ultravioletas, de comprimento de onda menor (PEREIRA, 2021).

Figura 19 – Espectro de ondas eletromagnéticas



Fonte: PEREIRA, 2021.

2.8.1. Conceitos e Grandezas Fundamentais

2.8.1.1. Fluxo Luminoso (Φ)

O fluxo luminoso como mostrado na figura 20 é a quantidade de luz que é transmitida por uma fonte, tem sua medição realizada por lúmens na tensão nominal de funcionamento (PEREIRA, 2021). Os lúmens podem ser definidos como o fluxo luminoso que é emitido de acordo a um ângulo sólido de um esterradiano, através de uma fonte puntiforme de intensidade invariável em todas as direções e igual a 1 candela (intensidade luminosa em uma direção) (Luz, 2000).

Figura 20 – Fluxo luminoso



Fonte: PEREIRA, 2021.

2.8.1.2. Intensidade Luminosa (I)

A intensidade luminosa como mostrada na figura 21 é a potência de radiação em uma determinada direção, é à base do sistema internacional para iluminação no qual é medida através da unidade SI de candela (cd) (PEREIRA, 2021).

Figura 21 – Intensidade luminosa



Fonte: PEREIRA, 2021.

2.8.1.2.1. Curva de Distribuição Luminosa

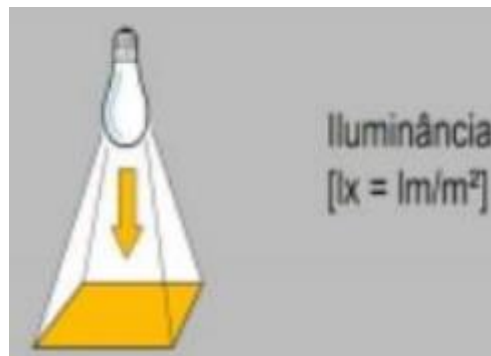
A curva de distribuição luminosa é um gráfico que demonstra a distribuição da intensidade luminosa em várias direções por vetores. Representando graficamente o comportamento da distribuição de luz de uma fonte luminosa, desta forma mostrando como a luz é distribuída em todas as angulações e direções da área de emissão de uma fonte luminosa (Luz, 2000).

Na representação polar acostuma citar os valores da intensidade luminosa constante a um fluxo de 1000 lúmens.

2.8.1.3. Iluminância (E)

A iluminância como mostrado na figura 22 é o fluxo luminoso atendido por uma área iluminada que é expressa pela unidade SI lux, em outras palavras é a densidade de fluxo luminoso na superfície de área na qual este incide e normalmente utilizando um luxímetro para que seja feita sua medição (Luz, 2000). É muito importante declarar a consideração da iluminância média que é a quantidade de luz em um ambiente visto que o fluxo luminoso não é distribuído com igualdade ocasionando variações nos valores de iluminância para distintos pontos da área (PEREIRA, 2021).

Figura 22 - Iluminância



Fonte: PEREIRA, 2021.

2.8.1.4. Luminância (L)

A luminância se refere à intensidade irradiada por meio de uma unidade de superfície aparente, relacionando a sua unidade SI a cd/m^2 (PEREIRA, 2021). De acordo com (Mamede Filho, 2017), a luminância como mostra na figura 23 é definida como a medida da sensação de claridade provocada por uma determinada superfície ou por uma fonte de luz e avaliada pelo cérebro.

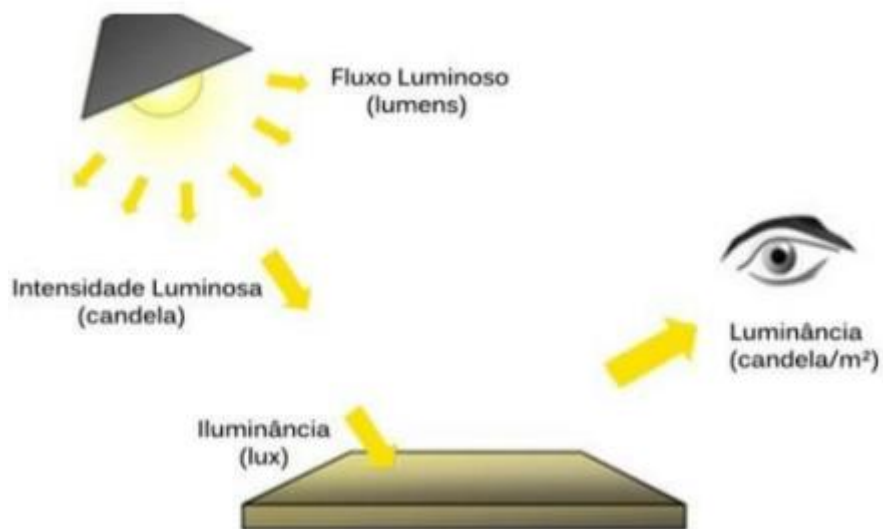
Figura 23 – Luminância



Fonte: PEREIRA, 2021.

Na figura 24 é possível analisar todos os conceitos de luminotécnica apresentados anteriormente, facilitando desta forma a compreensão de seu funcionamento em um ambiente.

Figura 24 – Conceitos de luminotécnica



Fonte: PEREIRA, 2021.

2.9. TELEGESTÃO

2.9.1. Telegestão da IP

A telegestão consiste em um controle remoto à distância, e os sistemas mais avançados utilizam tecnologias abertas e conectividade à internet. A telegestão permite o controle da iluminação e da área por meio de aplicativos baseados na Web. A utilização de tecnologia sem fio permite o monitoramento, controle, medição e gestão eficientes da iluminação, melhorando a confiabilidade e a segurança do sistema. Dessa forma, cada ponto de iluminação poderá ser acionado para ligar e desligar a qualquer momento (LED, 2014).

Por meio desta tecnologia, o sistema de telegestão pode adquirir todas as informações relevantes e monitorar eventos em tempo real, contribuindo para o planejamento e o uso eficiente de energia elétrica, realizando medições precisas do tempo de uso das lâmpadas e identificando possíveis falhas na rede. A data, hora exata e localização geográfica desses eventos são registradas e armazenadas em um banco de dados acessível remotamente pelos gestores de iluminação pública. Esse processo visa garantir o nível preciso de luz necessário, resultando na melhoria da confiabilidade da iluminação pública e na redução dos custos operacionais (BALIZA, 2016; LED, 2014).

A precisão desse sistema se torna um notável benefício quando se trata da identificação de possíveis pontos de falha, representando um grande avanço na logística de manutenção. Cada ponto de iluminação é referenciado de forma individual, permitindo que o setor de manutenção localize rapidamente o poste com defeito. Com base nas informações obtidas, é possível estimar quais defeitos podem estar impactando o funcionamento das lâmpadas. Devido à rapidez e precisão desse processo, observa-se uma considerável redução nos custos de manutenção (BALIZA, 2016).

Devido às dificuldades enfrentadas pelas cidades brasileiras no gerenciamento eficiente da iluminação pública (DE LA ROCHA, 2020), incluindo postes inoperantes devido a mau funcionamento de lâmpadas, baixa qualidade de vida útil das lâmpadas e consumo elevado devido à falta de manutenção, torna-se crucial a implementação de um sistema de detecção no contexto do sistema de iluminação pública (IMPACTOS, 2022).

Um estudo realizado pelo departamento público de transportes da Holanda, concluiu que um sistema dinâmico de IP pode ser aplicado com uma redução de luminosidade em até 50%, desta forma poupando energia em uma ordem de 30 até 40% e tendo aumento de tempo de serviço dos sistemas de iluminação (KOPYCKI, 2020).

Esses sistemas de controle e monitoramento, inicialmente conduzidos por comunicações com fio (PCL), utilizando a rede elétrica de distribuição convencional, apresentam uma solução dispendiosa devido à instalação e manutenção dos cabos. No entanto, com os avanços das redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks – WSNs*), esses sistemas tornam-se mais acessíveis e economicamente viáveis. Tais sistemas, ao operarem sem a necessidade de cabos, abrangem parâmetros cruciais, como tensão, corrente, temperatura, potência, tempo de funcionamento e outros dados relevantes, sendo monitorados e transmitidos a uma estação central (LED, 2014).

2.9.2. Controle

O termo "controle" abrange diversos métodos, protocolos e dispositivos utilizados para operar equipamentos de iluminação LED. Duas abordagens simples de controle são a dimmerização e a operação "ON/OFF". As luminárias LED são projetadas para receber comandos, utilizando um protocolo de comunicação compreendido pela fonte de luz (LED, 2014).

O controle digital possibilita o gerenciamento individual dos dispositivos de iluminação por meio de comunicação direta entre os dispositivos e o ambiente local. Isso oferece a flexibilidade de implementar métodos avançados de controle e diversos níveis de gerenciamento da iluminação, incluindo interfaces de usuário para ajustes manuais ou automáticos em resposta à disponibilidade de luz solar, ocupação ou horário do dia (EUROPEAN COMMISSION, 2013).

Princípios fundamentais do controle inteligente incluem a possibilidade de dimmerização individual das lâmpadas, que pode ser aplicada por meio de alimentação bidirecional ou comunicação sem fio entre as luminárias e a central. Além disso, o controle inteligente integra sensores de tráfego, estações meteorológicas e medidores de iluminância e luminância para aprimorar a eficiência do sistema (VITTA, 2012).

2.9.3. Redes Elétricas Inteligentes ou *Smart Grids* (SG)

As Redes Inteligentes ou conhecidas também como *Smart Grids* de energia podem ser consideradas uma nova arquitetura da energia elétrica, mais segura e inteligente, que permite e integra ações a todos os consumidores que a ela estão conectados. De forma bidirecional dá-se a fluxo de energia elétrica e a de informações (SANTOS, 2018).

Dentre as principais características do *Smart Grid* tem-se o monitoramento, proteção, automação, otimização, integração bem como a segurança do fluxo de potência dos geradores para os seus usuários finais. Isto eventualmente resulta em uma conservação de energia e a sua utilização eficiente, tanto para as aplicações de energia como também para a infraestrutura (USMAN, 2013).

As redes elétricas inteligentes permitem um fluxo biunívoco de informações, onde a distribuidora e o consumidor podem acompanhar em tempo real a evolução do uso de energia, de

modo a responder qualquer alteração no sistema. Além disso, a rede seria dotada de auto recuperação (*self healing*), ou seja, tem a capacidade de detectar, analisar e corrigir possíveis problemas, assim evitando situações extremas como blecautes (CABELLO, 2012).

De acordo com uma Instituição de Pesquisa e Inovação Belga, o sistema de iluminação passa por uma evolução basicamente por três etapas onde primeiramente tem a troca de lâmpadas por LED, em segundo a integração com sistemas conectados e terceiro a integração com cidades inteligentes (*Smart Cities*) (CARLOTO. 2020).

Figura 25 – A evolução do sistema de Iluminação



Fonte: Adaptado de (AGORIA, 2018).

Após as três etapas mostradas na figura 25, obtém-se uma redução do consumo de energia em até 30% por conta da troca de lâmpadas de Vapor de Mercúrio/Sódio por lâmpadas de LED e também uma redução pela integração com outros sistemas de uma cidade inteligente em até 80% (AGORIA, 2018).

Dentre as principais tecnologias de comunicação tem-se IEEE (*ZigBee*), WiMAX e tecnologias de LAN sem fio (Wi-Fi), celular GSM 3G/4G, DASH 7 e PLC (*Power Line Communications*), com foco especial em suas aplicações em *Smart Grids* (USMAN, 2013).

2.9.3.1. IEEE (*ZigBee*)

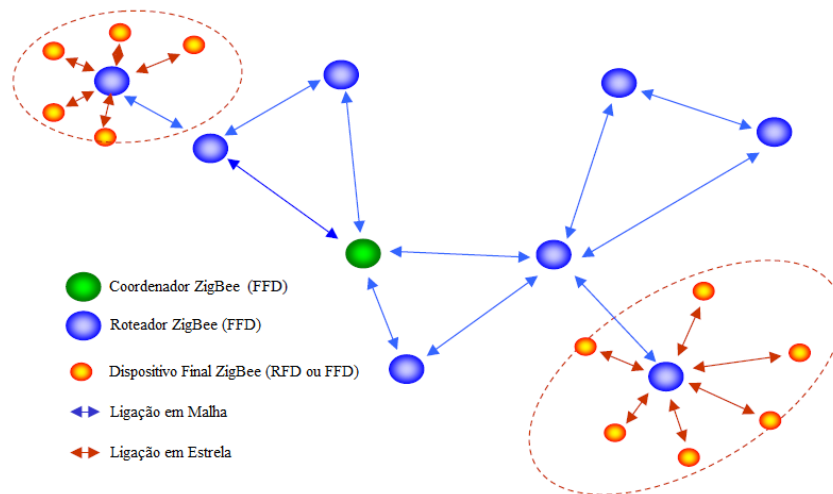
O ZigBee como mostrado na figura 26 é um protocolo de comunicação sem fio que integra a categoria de WPANs, ou Redes Pessoais sem Fio de Área Próxima. Esse sistema é notável pelo seu *design* de rede simplificado e pelo consumo eficiente de energia, atributos fundamentais que desempenham um papel destacado em pesquisas e implementações da Internet das Coisas (IoT) (KOPYCKI, 2020).

Utilizando ondas de rádio para a transmissão de dados, o sistema pode operar em diversas faixas de frequência, como 868 MHz, 915 MHz e 2,4 GHz, adaptando-se às regulamentações regionais e às exigências específicas da aplicação (KOPYCKI, 2020).

Essa tecnologia emprega uma técnica chamada "Espectro de Propagação de Sequência Direta" (*Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS*) para a comunicação sem fio. O DSSS é um método de modulação de sinal que dispersa o espectro de frequência do sinal transmitido, conferindo-lhe maior robustez contra interferências e ruídos (CHEN, 2012).

Sendo, portanto apropriado para a comunicação em redes com volumes reduzidos de dados e exigências eficientes de transferência de dados. Este protocolo foi concebido levando em conta tanto o baixo consumo de energia quanto custos reduzidos, tornando-o uma opção atrativa para aplicações de IoT e automação (CHEN, 2012).

Figura 26 – Modelo de rede ZigBee



Fonte: GTA, 2023.

2.9.3.2. DASH7

A tecnologia de Rede de Sensores Sem Fio (*Wireless Sensor Network - WSN*) adota o padrão ISO/IEC 18000-7, desenvolvido pela DASH7 Alliance, um consórcio dedicado à promoção e avanço dessa tecnologia. Esse padrão é principalmente destinado a dispositivos de identificação por radiofrequência (RFID ativo) que operarão na faixa de frequência de 433MHz (LED, 2014).

Os dispositivos equipados com a tecnologia DASH7 constituem uma opção economicamente viável para implementações de longo prazo e monitoramento de sensores, graças à sua destacada eficiência energética e, por conseguinte, à extensão da vida útil de suas baterias (USMAN, 2013).

A aplicação de uma frequência única global para esses dispositivos simplifica significativamente os desafios associados à implantação e manutenção, ao mesmo tempo em que fomenta oportunidades aprimoradas de interoperabilidade. Além disso, essa tecnologia se mostra como uma alternativa viável em comparação com soluções baseadas em ZigBee em aplicações relacionadas à Smart Grid (USMAN, 2013).

2.9.3.3. Rede Local sem Fio

A Rede de Área Local sem fio (Wireless LAN - WLAN ou Wi-Fi) é uma tecnologia de comunicação sem fio amplamente empregada, fundamentada nos padrões estabelecidos pela Wi-Fi Alliance, em conformidade com as normas definidas pelo IEEE 802.11. Essa tecnologia possibilita a comunicação sem fio em dispositivos como smartphones, tablets e computadores. Operando na banda ISM (*Industrial, Scientific and Medical* – Industrial, Científica e Médica) de 2,4 GHz (USMAN, 2013).

O sistema Wi-Fi apresenta um desempenho resiliente em ambientes de espectro compartilhado, caracterizados pela presença de múltiplos dispositivos e canais de RF (Radiofrequência) ruidosos. Esse sistema é compatível com protocolos baseados na Internet e uma ampla variedade de aplicações, inclusive o Smart Energy Profile 2.0. Além disso, incorpora recursos de segurança robustos para assegurar a autenticidade e a comunicação segura de dados, o que o posiciona como uma das principais opções para tecnologias de comunicação em redes elétricas inteligentes (*Smart Grids*) (USMAN, 2013).

2.9.3.4. World Wide Interoperability Micriwave Access - WIMAX

A tecnologia denominada "Interoperabilidade Mundial para Acesso em Micro-ondas" é uma solução de comunicação desenvolvida com base nos padrões IEEE 802.16 para sistemas de banda larga sem fio. Ela é reconhecida como uma solução essencial de suporte (*backbone*) em ambientes de Smart Grid, que compreendem redes elétricas inteligentes (USMAN, 2013).

Devido à sua extensa cobertura de comunicação, natureza intrinsecamente interoperável e capacidade de sustentar taxas de dados elevadas, essa tecnologia é altamente apropriada para desempenhar o papel de um elo confiável de comunicação no final do processo (*Back-end*) (USMAN, 2013).

A tecnologia WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) proporciona uma elevada taxa de dados e uma conectividade de rede confiável, ao mesmo tempo em que

apresenta custos gerais de instalação reduzidos e uma extensa área de cobertura, especialmente adequada para aplicações de *Smart Grid*. No entanto, algumas áreas específicas ainda demandam atenção e otimização, como o suporte à mobilidade, ambientes de monitoramento intensivo e o aprimoramento da segurança (USMAN, 2013).

2.9.3.5. Global System for Mobile - GSM

O Sistema Global para celulares (GSM, do inglês *Global System for Mobile Communications*) representa uma rede de comunicação de telefonia móvel baseada em circuitos comutados, operando nas frequências de 900 MHz e 1800 MHz. É uma das redes de *smartphones* mais amplamente adotadas globalmente, posicionando-se como a segunda tecnologia de telecomunicações mais difundida após a telefonia fixa. Sua presença abrangente em áreas remotas a torna uma concorrente significativa em aplicações relacionadas à Smart Grid, que englobam o monitoramento e a automação de sistemas elétricos (USMAN, 2013).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

O presente trabalho busca a implementação de relés inteligentes com dimmerização na iluminação pública a fim de reduzir o consumo de energia elétrica e ajustar a luminosidade das lâmpadas de acordo com as necessidades. Os relés inteligentes com dimmerização permitem um controle flexível e remoto, reduzindo tensão e luminosidade que por consequência reduz a potência das lâmpadas em horários de baixo ou nenhum fluxo populacional. Não apenas economizando energia, como também reduz a poluição luminosa, melhorando a qualidade das áreas urbanas. A iniciativa visa promover eficiência energética, economia de custos e qualidade de vida para os cidadãos, contribuindo para a sustentabilidade urbana.

3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Utilização das lâmpadas para plano de trabalho a fim de demonstrar através de ensaios laboratoriais, a redução do consumo de energia regulando-se a tensão de entrada;
- Realizando junto da literatura a redução no consumo de energia elétrica da Avenida dos Barrageiros;
- Avaliação de viabilidade econômica de implantação dos dispositivos.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. APARTO EXPERIMENTAL

Para a realização dos testes experimentais foram utilizados os seguintes materiais:

- 3 - Lâmpadas de LED, 127/220V, 15W;
- 3 - Lâmpadas Halógena, 220V, 100W;
- 2 - Multímetros Digitais;
- 1 - Variador de Tensão;
- 1 - Luxímetro;
- 1 - Bocal de lâmpada;
- 2 metros de fio.

Foram utilizadas três lâmpadas (LED e Halógena) com o objetivo de analisar o comportamento de cada uma, variando-se a tensão aplicada. Para controlar a tensão enviada para cada lâmpada foi utilizado um Variador de tensão, responsável por variar a tensão, reduzindo-se a tensão aplicada em degraus de 5 Volts.

Na figura 27 mostra a bancada experimental e os equipamentos utilizados no experimento, realizando a medição de tensão e corrente da lâmpada foram realizadas utilizando dois multímetros digitais, um deles sendo utilizado como voltímetro para medir a tensão e o outro como amperímetro medindo a corrente.

Ao iniciar-se a variação de tensão na lâmpada não é perceptível ao olho humano a variação de luminosidade nestes degraus iniciais. Utilizou-se um equipamento chamado Luxímetro para a medição de luminosidade em LUX da superfície da bancada de acordo com o degrau de Tensão em cada lâmpada.

De acordo com a norma NBR 8995-1 a iluminância mínima de um plano de trabalho deve ser de 500 lux podendo chegar a 1.000 lux dependendo da atividade, utilizado em escritórios, salas de aula entre outros ambientes. Para vias públicas utiliza-se de luminosidade para atender as questões de fluxo de veículos, pessoas, ou ornamentação de Praças e vias, levando em consideração o tipo de lâmpada utilizada no poste. A tabela 4 apresenta algumas lâmpadas e respectivos fluxos luminosos.

Tabela 4 – Diferentes lumens de acordo com a lâmpada utilizada

Tipo de Lâmpada	Lumens (x Mil)
Vapor de Sódio	20 a 50
Vapor de Mercúrio	10 a 20
LED	8 a +20

Fonte: Próprio autor.

A partir da tabela 4 conclui-se que em questões luminotécnicas as lâmpadas de LED se sobrepõem em comparação com as lâmpadas de vapor de sódio e mercúrio, desta forma sendo a mais viável para a utilização em iluminação.

Lumens representa a quantidade total de luz que é emitida por uma fonte de luz (lâmpadas) do poste de iluminação. Entretanto algumas vias dependem de mais iluminação do que outras por prevenção de acidentes com pedestres, condutores e veículos.

Estradas e ruas, por exemplo, podem ser classificadas como estradas de baixa velocidade, sendo suficiente à luminosidade ter entre 5 mil a 10 mil lumens por poste, considerando distância entre postes de até 40 metros, e estradas de alta velocidade que exigem uma maior luminosidade acima de 20 mil lumens por poste.

Nas áreas de residências a luminosidade varia de 2 mil a 5 mil lumens assim garantindo a visibilidade adequada para os pedestres, nas praças e parques públicos de acordo com o fluxo de pessoas naquela localidade a luminosidade seria de 5 mil a 10 mil lumens por poste. Luminosidade na qual pode ser mais alta de acordo com a grande atividade no período noturno e cuja distância entre os postes deve ser avaliada por softwares gratuitos a exemplo do DiaLux.

Figura 27 – Bancada experimental



Fonte: Próprio autor.

Para o experimento, medimos a tensão, a corrente e a luminosidade de cada lâmpada, conforme mostrado na figura 27. Reduzimos a tensão de entrada em intervalos de 5 Volts e usamos um luxímetro para captar a luz emitida pelas lâmpadas na bancada medidas em Lux. Seguimos a norma da NBR 8995-1 para respeitar a luminosidade adequada para um plano de trabalho

4.2. CONSUMO MENSAL E ANUAL DAS LÂMPADAS UTILIZADAS

Os resultados obtidos para o consumo mensal e anual de energia elétrica das lâmpadas são apresentados nas tabelas 5 e 6. Deve-se deixar claro que os valores obtidos foram adquiridos através de lâmpadas para plano de trabalho, sendo o consumo determinado a partir da equação 1.

$$\text{Consumo} = (\text{Potência} \times \text{Tempo de Funcionamento}) \div 1000 \quad [1]$$

Tabela 5 – Consumo mensal e anual de energia elétrica da lâmpada – LED

Potência (W)		Consumo Mensal (kWh)	Consumo Anual (kWh)
Potência máxima	17,92	122,2	194
Potência mínima	15,09	139,7	212

Fonte: Próprio autor.

Tabela 6 – Consumo mensal e anual de energia elétrica da lâmpada – Halógena

Potência (W)		Consumo Mensal (kWh)	Consumo Anual (kWh)
Potência máxima	88,26	2.001,74	23.354,46
Potência mínima	62,33	1.413,64	17.199,34

Fonte: Próprio autor.

Analisando as tabelas 5 e 6, é possível chegar a conclusão que a redução de tensão impacta diretamente no consumo dado em kWh em suas respectivas potências (*Potência Máxima e Potência Mínima*), onde foi respeitado a norma da NBR 8995-1 de iluminância mínima das lâmpadas.

4.3.APLICAÇÃO DE CONCEITOS NA AVENIDA DOS BARRAGEIROS – PRIMAVERA - SP

A fim de avaliar os resultados, utilizou-se a Avenida dos Barrageiros da cidade de Primavera, Distrito de Rosana - São Paulo, como referência para uma possível implementação do sistema de iluminação proposto com dimerização, utilizando relés inteligentes.

Atualmente a avenida como mostrado na figura 28 conta com 63 postes de iluminação com lâmpadas LED com potência que oscila entre 90 e 110 watts, acendendo todos os dias do ano ao pôr do sol e apagando o nascer do sol, para uma maior clareza do evento, acendendo por volta das 18 horas e apagando por volta das 6 horas da manhã. Estes horários sofrem a influência das estações do ano.

Figura 28 – Avenida dos Barrageiros - Primavera-SP



Fonte: Google Earth, 2023.

A partir da equação 2 determina-se o consumo de energia da Avenida dos Barrageiros, em kWh, considerando a potência da lâmpada LED de 110 W.

De acordo com a (Pró-Inova, 2019), é possível reduzir o consumo de energia elétrica em 40% com a utilização da dimerização, sem perdas dos fatores de segurança para os horários de baixa ou nenhuma circulação de pessoas ou veículos. O gasto em reais é determinado a partir da equação 2, considerando a tarifa da distribuidora (neste caso, CPFL) igual a R\$0,92.

$$\text{Consumo (R\$)} = \text{Consumo (KWh)} \times \text{Tarifa da distribuidora} \quad [2]$$

Tabela 7 - Consumo anual em KWh e gasto em R\$

	Consumo Anual (kWh)	Gasto em Reais (R\$)
Consumo Atual	30.353,4	27.925,1
Consumo dimmerizado (40%)	18.212,0	16.755,1

Fonte: Próprio autor.

Assim, analisando-se a tabela 7 do consumo atual junto da literatura se obteve uma redução significativa do consumo em kWh e do gasto em reais (R\$) no período de 1 ano.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 8, 9, 10, 11, 12 e 13 apresenta os resultados obtidos do experimento da figura 28, no qual foi realizado as medições de três lâmpadas de LED e três lâmpadas Halógenas, obtendo-se as medidas de tensão, corrente, lux e calculando-se a potência. Devido a iluminação externa (luz solar) que atravessavam frestas, pequenas variações foram percebidas nas medições do luxímetro, porém de pouco significado para os resultados da redução de tensão e luminosidade.

Tabela 8 – Lâmpada 1 – LED

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
214,7	0,0755	659	16,21
209,6	0,0762	639	15,97
204,9	0,0767	602	15,72
199,5	0,0771	567	15,38
194,6	0,0779	557	15,16
189,6	0,0789	534	14,96
184,6	0,0798	518	14,73
179,4	0,081	506	14,53
174,6	0,0829	489	14,47
169,5	0,0847	476	14,36
164,5	0,0874	466	14,38
159,5	0,0937	449	14,95
154,8	0,0962	437	14,89
149,4	0,0991	418	14,81
144,9	0,1024	402	14,84
139,6	0,1048	395	14,63
134,9	0,1114	414	15,03
129,6	0,1125	404	14,58
124,5	0,1123	399	13,98
119,6	0,1047	339	12,52
114,5	0,0892	318	10,21
109,8	0,0716	376	7,86
104,4	0,049	243	5,12
99,5	0,03237	168,9	3,22
94,2	0,01555	88,9	1,46
89,6	0,00555	39,5	0,50
84,3	0,00045	17,4	0,04

Fonte: Próprio autor.

Tabela 9 – Lâmpada 2 - LED

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
214,9	0,0875	789	18,80
209,7	0,0855	751	17,93
204,6	0,0857	717	17,53
199,6	0,086	689	17,17
194,8	0,0865	661	16,85
189,4	0,0865	636	16,38
184,7	0,0865	613	15,98
179,3	0,0865	545	15,51
174,7	0,0865	504	15,11
169,3	0,0851	469	14,41
164,5	0,0862	439	14,18
159,7	0,087	423	13,89
154,3	0,0873	414	13,47
149,5	0,0874	411	13,07
144,6	0,0884	413	12,78
139,7	0,0916	413	12,80
134,8	0,0983	423	13,25
129,7	0,1124	433	14,58
124,7	0,1168	416	14,56
119,7	0,1045	364	12,51
114,9	0,0882	295	10,13
109,5	0,0672	222	7,36
104,7	0,04649	216	4,87
99,2	0,02486	141,3	2,47
94,6	0,01038	68,8	0,98
89,7	0,00185	23,8	0,17
84,5	0,00008	15,7	0,01

Fonte: Próprio autor.

Tabela 10 – Lâmpada 3 - LED

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
216,7	0,0865	793	18,745
211,7	0,0858	788	18,164
207,7	0,0843	719	17,509
202,9	0,0875	691	17,754
197,8	0,085	663	16,813
192,7	0,0855	629	16,476
187,3	0,0861	598	16,127
182,7	0,0868	556	15,858
177,7	0,0883	523	15,691
172,4	0,0883	486	15,223
167,1	0,0875	447	14,621
162,8	0,0872	423	14,196
157,4	0,0885	413	13,930
152,7	0,089	409	13,590
147,5	0,0875	404	12,906
142,4	0,0891	404	12,688
137,4	0,0937	403	12,874
132,7	0,0996	408	13,217
127,4	0,1168	412	14,880
122,4	0,1113	386	13,623
117,7	0,0986	326	11,605
112,3	0,0787	291	8,838
107,3	0,05223	208	5,604
102,4	0,0375	194,5	3,840
97,2	0,01879	96,8	1,826
92,5	0,00658	39,1	0,609
87,1	0,00046	9,2	0,040
82,4	0,00004	8,1	0,003

Fonte: Próprio autor.

Tabela 11 – Lâmpada 1 - Halógena

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
200,4	0,4385	166,8	87,88
195,4	0,4321	152,2	84,43
190,7	0,4266	141,5	81,35
185,8	0,4209	127,2	78,20
180,5	0,4137	116,5	74,67
175,2	0,4073	105,7	71,36
170,6	0,4013	96,1	68,46
165,5	0,3945	86,3	65,29
160,5	0,388	77,2	62,27
155,7	0,3816	68,9	59,42
150,7	0,3739	61,1	56,35
145,1	0,3672	53,4	53,28
140,7	0,3609	47,2	50,78
135,5	0,3537	41,2	47,93
130,6	0,3467	36,8	45,28
125	0,3392	17,9	42,40
120	0,3319	15,7	39,83
115,2	0,3241	13,6	37,34
110,6	0,3171	11,4	35,07
105,4	0,3086	10,2	32,53
100,6	0,3004	8,5	30,22
95,4	0,2925	7,2	27,90
90,6	0,2842	6,2	25,75
85,6	0,2757	5,4	23,60
80,2	0,2657	4,7	21,31
75,8	0,2579	4,2	19,55
70,3	0,2475	3,7	17,40
65,8	0,2389	4	15,72
60,6	0,2293	3,5	13,90
55,5	0,2181	3,5	12,10

Fonte: Próprio autor.

Tabela 12 – Lâmpada 2 – Halógena

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
200,3	0,4333	78,5	86,79
195,5	0,4273	72	83,54
190,9	0,4215	66,6	80,46
185,6	0,4152	60,1	77,06
180,6	0,4087	54,7	73,81
175,6	0,4025	49,9	70,68
170,6	0,3964	44,9	67,63
165,8	0,3901	40,5	64,68
160,1	0,3824	35,4	61,22
155,7	0,3769	31,9	58,68
150,9	0,3705	28,9	55,91
145,8	0,3637	24,9	53,03
140,1	0,3558	21,7	49,85
135,1	0,3496	19	47,23
130,1	0,3416	16,5	44,44
125,9	0,3368	14,2	42,40
120,4	0,3282	12,1	39,52
115,4	0,3205	10,5	36,99
110,4	0,3129	9,2	34,54
105,4	0,3047	7,7	32,12
100,3	0,2965	6,6	29,74
95,2	0,2882	5,6	27,44
90,4	0,2804	4,8	25,35
85,4	0,2717	4,1	23,20
80,2	0,2623	3,2	21,04
75,5	0,2535	2,7	19,14
70,4	0,2445	1,9	17,21
65,6	0,2354	1,4	15,44
60,39	0,2259	1,1	13,64
55,14	0,2143	1,1	11,82
50,65	0,2045	0,9	10,36
45,71	0,194	1	8,87

Fonte: Próprio autor.

Tabela 13 – Lâmpada 3 – Halógena

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
200,8	0,4488	104,1	90,12
195,6	0,4417	93,6	86,40
190,8	0,435	85,9	83,00
185,2	0,428	76,3	79,27
180,3	0,4222	70,8	76,12
175,6	0,4158	63,4	73,01
170,8	0,4093	57,4	69,91
165,7	0,4023	50,8	66,66
160,5	0,3956	45,8	63,49
155,4	0,3886	40,2	60,39
150,4	0,3816	35,7	57,39
145,4	0,3747	31,3	54,48
140,5	0,3674	27,1	51,62
135,1	0,3598	23,7	48,61
130,8	0,3535	21,5	46,24
125,1	0,345	17,6	43,16
120,2	0,3377	14,6	40,59
115,2	0,3299	12,3	38,00
110,3	0,3222	10,5	35,54
105,8	0,3149	8,8	33,32
100,3	0,3057	7,1	30,66
95,1	0,2978	5,8	28,32
90,3	0,2885	4,5	26,05
85,5	0,28	3,5	23,94
80,7	0,2711	2,4	21,88
75,7	0,262	2	19,83
70,7	0,2525	1,6	17,85
65,2	0,2416	0,8	15,75

Fonte: Próprio autor.

A tabela 14 apresenta os resultados obtidos da média das medidas de tensão, corrente, lux e potência calculada para as lâmpadas de LED analisadas.

Tabela 14 – Média das três lâmpadas LED

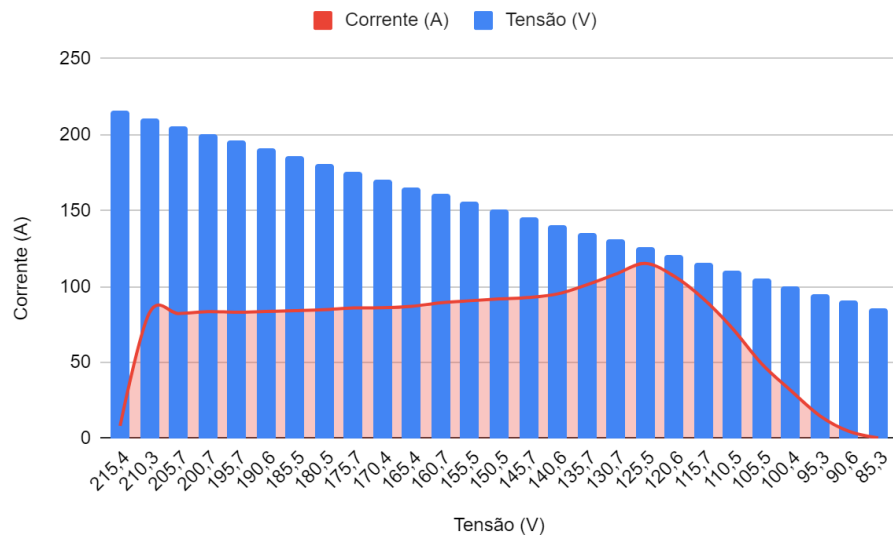
Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
215,4	0,0832	747,0	17,92
210,3	0,0825	726,0	17,35
205,7	0,0822	679,3	16,92
200,7	0,0835	649,0	16,77
195,7	0,0831	627,0	16,27
190,6	0,0836	599,7	15,94
185,5	0,0841	576,3	15,61
180,5	0,0848	535,7	15,30
175,7	0,0859	505,3	15,09
170,4	0,0860	477,0	14,66
165,4	0,0870	450,7	14,39
160,7	0,0893	431,7	14,35
155,5	0,0907	421,3	14,10
150,5	0,0918	412,7	13,82
145,7	0,0928	406,3	13,51
140,6	0,0952	404,0	13,37
135,7	0,1011	413,3	13,72
130,7	0,1082	415,0	14,13
125,5	0,1153	409,0	14,48
120,6	0,1068	363,0	12,88
115,7	0,0920	313,0	10,65
110,5	0,0725	296,3	8,02
105,5	0,0492	157,6	5,20
100,4	0,0316	168,2	3,18
95,3	0,0149	84,8	1,42
90,6	0,0047	34,1	0,42
85,3	0,0003	14,1	0,03

Fonte: Próprio autor.

As lâmpadas utilizadas no presente trabalho não contém o dispositivo conhecido como *driver*, portanto, não ocorre a compensação de corrente pela redução de tensão que é entregue a lâmpada, ocasionando uma queda de potência na mesma.

A figura 29 apresenta a variação de corrente em consequência da redução de tensão de entrada da lâmpada de LED.

Figura 29 – Variação de corrente em razão da tensão para lâmpadas de LED

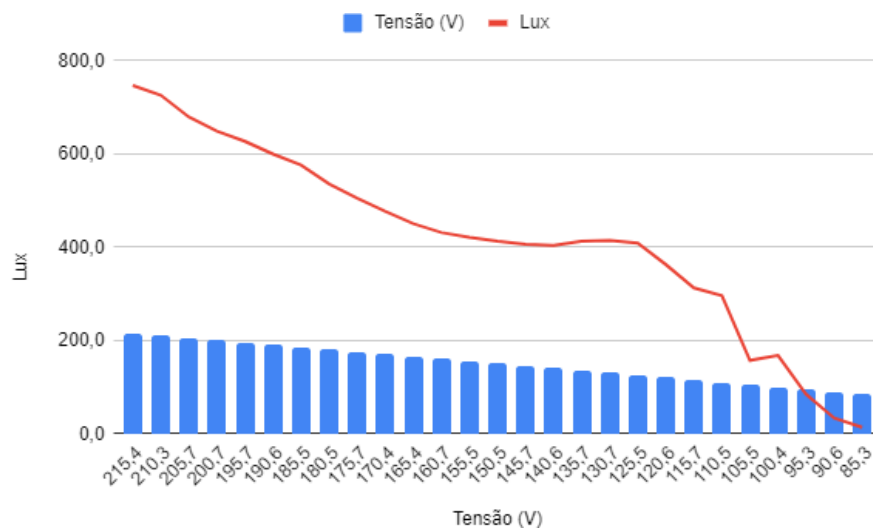


Fonte: Próprio autor.

Observou-se que as lâmpadas para plano de trabalho não contendo o dispositivo *driver* na sua composição, houve um aumento da corrente em decorrência da redução de tensão na entrada, pois o circuito interno fez a compensação aumentando o fluxo de corrente da lâmpada.

Ao reduzir a tensão na Lâmpada de LED, reduz a potência entregue até a mesma, desta forma o fluxo luminoso também é reduzido. Sendo assim, ao se reduzir a tensão entregue a ela, haverá consequente redução de luminosidade o que pode ser observado na figura 30, podendo ser interessante em locais de baixa utilização em determinados momentos, mas que não se pode desligar a lâmpada.

Figura 30 – Redução de luminosidade da lâmpada LED



Fonte: Próprio autor.

Reduzindo-se a tensão de entrada das lâmpadas não era possível analisar uma variação de luminosidade da mesma, desta forma a utilização do luxímetro foi de grande importância para realizar as medições em cada medida. A fim de demonstrar a oscilação luminosa a cada redução de tensão.

A potência está ligada diretamente com a tensão e corrente da lâmpada, de modo em que se reduz a tensão de entrada e a corrente sofre variações de seu estado, a potência também irá reduzir como mostrado na figura 31.

A potência elétrica da lâmpada em cada medição foi determinada pela equação 3:

$$P = V \times I \quad (3)$$

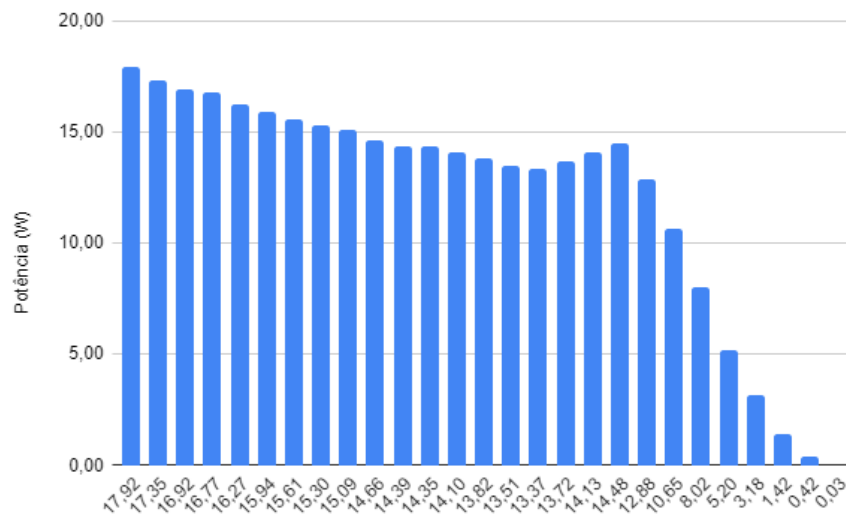
Sendo:

P – Potência em kW;

V – Tensão em V;

I – Corrente em mA.

Figura 31 – Potência elétrica da lâmpada LED



Fonte: Próprio autor.

A partir da figura 31 e com o auxílio da equação 1 para sua obtenção, foi possível analisar que a tensão e corrente está ligada diretamente com a potência da lâmpada de LED, onde a potência oscila de modo a tensão e corrente sofrem variações.

A tabela 15 apresenta os resultados obtidos das médias de tensão, corrente, lux e potência calculada para as lâmpadas Halógenas analisadas.

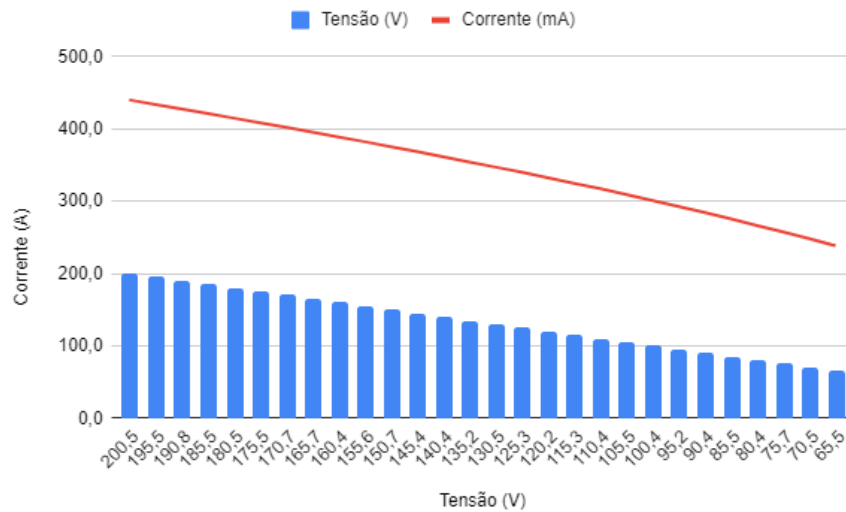
Tabela 15 – Média das três lâmpadas Halógenas

Tensão (V)	Corrente (mA)	Lux	Potência (W)
200,5	0,4402	116,5	88,26
195,5	0,4337	105,9	84,79
190,8	0,4277	98,0	81,60
185,5	0,4214	87,9	78,18
180,5	0,4149	80,7	74,87
175,5	0,4085	73,0	71,68
170,7	0,4023	66,1	68,67
165,7	0,3956	59,2	65,54
160,4	0,3887	52,8	62,33
155,6	0,3824	47,0	59,50
150,7	0,3753	41,9	56,55
145,4	0,3685	36,5	53,60
140,4	0,3614	32,0	50,75
135,2	0,3544	28,0	47,92
130,5	0,3473	24,9	45,32
125,3	0,3403	16,6	42,65
120,2	0,3326	14,1	39,98
115,3	0,3248	12,1	37,44
110,4	0,3174	10,4	35,05
105,5	0,3094	8,9	32,65
100,4	0,3009	7,4	30,21
95,2	0,2928	6,2	27,89
90,4	0,2844	5,2	25,72
85,5	0,2758	4,3	23,58
80,4	0,2664	3,4	21,41
75,7	0,2578	3,0	19,51
70,5	0,2482	2,4	17,49
65,5	0,2386	2,1	15,64

Fonte: Próprio autor.

Na figura 32 é possível analisar uma diferença de comportamento da corrente em relação a figura 29, pois a corrente da lâmpada de LED tem um aumento inicial e reduz-se quando o circuito não consegue manter a lâmpada LED acesa.

Figura 32 – Variação de corrente elétrica da lâmpada Halógena

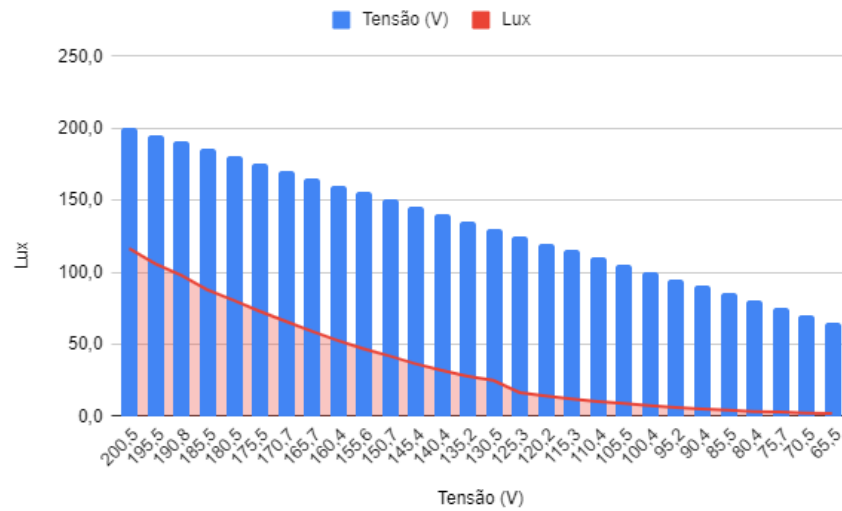


Fonte: Próprio autor.

Entretanto, quando se fala sobre as lâmpadas halógenas elas funcionam de uma forma diferente, quando é feita uma redução na tensão de entrada da lâmpada por consequência proporcional a redução de corrente elétrica que circula pela lâmpada. Isto ocorre devido ao aumento da resistência elétrica do filamento conforme o aumento de sua temperatura. Desta forma, quando se reduz a tensão a corrente elétrica diminui, o que por sua vez diminui a temperatura do filamento.

Quando se reduz a tensão nessas lâmpadas consequentemente a corrente e a temperatura do filamento diminui, prolongando a vida útil da lâmpada. Entretanto, com a redução da tensão, também se reduz a intensidade luminosa da lâmpada, conforme mostra a figura 33.

Figura 33 – Oscilação de luminosidade da lâmpada Halógena

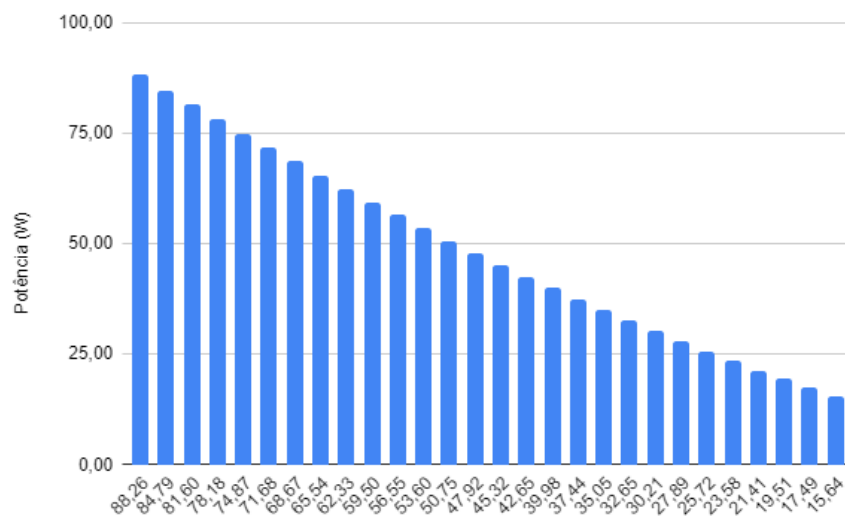


Fonte: Próprio autor.

Deste modo como ilustrado na figura 33, a partir da redução de tensão por consequência se reduzia a corrente enviada para o filamento da lâmpada, assim, a temperatura diminui ocasionando na oscilação luminosa da lâmpada.

Na figura 34 mostra a variação da potência da lâmpada halógena, entretanto sabe-se que a luminosidade está diretamente ligada à potência da lâmpada, pois reduzindo a tensão consequentemente se reduz a luminosidade. Ou seja, quanto menor a luminosidade, menor será a potência elétrica da lâmpada.

Figura 34 – Potência elétrica da lâmpada Halógena



Fonte: Próprio autor.

Logo concluiu-se que a tensão e corrente da lâmpada em decorrência de suas reduções, a potência elétrica da lâmpada diminui a cada medição.

5.1.VIABILIDADE ECONÔMICA

A tabela 16 mostra o valor unitário em dólar dos dispositivos para implantação no sistema de iluminação pública, sendo a cotação do dólar utilizada do dia 07/11/2023, equivalente a \$5,0569.

Tabela 16 – Valor unitário em dólar dos equipamentos

Tipo	Unidade	Quantidade	Valor Unitária	Valor Total
Dispositivos Controladores de Telegestão LED	Un.	633	\$97,00	\$61.401,00
Coordenadores	Un.	2	\$1.026,00	\$2.052,00
TOTAL		635		\$63.453,00

Fonte: Dados do fornecedor EXATI

A tabela 17 apresenta o custo de implementação dos dispositivos proposto, sendo possível analisar o valor unitário e o custo de implementação de cada dispositivo proposto para implantação na iluminação pública. Os cálculos para o Relé Inteligente e da concentradora utilizaram o dólar cotado em \$5,0569 e o valor do chip e da licença foi calculado por um período de 10 anos.

Tabela 17 – Custo de implementação dos dispositivos proposto

Descrição	Quantidade	Valor (R\$)	Custo mão de obra (R\$)	Custo de implementação
Relé Inteligente	63	490,52	50,00	R\$ 34.052,72
Concentradora	1	5.188,38	1.000,00	R\$ 6.188,38
Chip VIVO/TIM	240	120,00	0	R\$ 28.800,00
Licença de Uso Software	10	11.340,00	0	R\$ 11.340,00
Valor total				R\$ 80.381,10

Fonte: Próprio autor.

A partir do valor de investimento apresentado na tabela 17 foi possível realizar a análise da viabilidade econômica, através do valor de presente líquido (VPL) ferramenta que permite avaliar a viabilidade de um investimento ou projeto. Sendo calculado a partir da equação 4.

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}, \quad [4]$$

Sendo:

FC_t – Fluxo de caixa no período t ;

i – Taxa de desconto;

t – Período.

Desta forma, quando o valor do VPL for positivo determina-se que as entradas são maiores em relação à saída de caixa em um momento zero, com isto o retorno supera o investimento. Caso o VPL seja negativo indica que o investimento obtém um retorno menor que o custo de capital, sendo assim inviável.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa exigida de retorno que garante a reposição exata do investimento realizado, e no momento em que é utilizada como taxa de desconto resulta em um VPL igual a zero. A Taxa Interna de Retorno é calculada a partir da equação 5.

$$TIR = (VPL = 0) = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad [5]$$

Sendo:

FCt – Fluxo de caixa no período t ;

$VPL = 0$;

t – Período.

Quando a taxa de desconto for menor que a TIR, o VPL será positivo e pode ser aceito.

Já o *Payback* é o tempo necessário para a empresa obter um retorno do seu investimento inicial aplicado no empreendimento. Tratando-se de uma técnica que pode ser analisada em qualquer periodicidade e que tem a viabilidade definida como positiva, onde durante o período de *Payback*, o empreendedor espera que o retorno do investimento esteja dentro do previsto e que seja menor que o prazo total analisado. Sendo calculado a partir da equação 6.

$$Payback = \text{Investimento inicial total} / \text{Entrada de caixa no período} \quad [6]$$

O Índice de lucratividade é um índice onde demonstra quanto a empresa consegue gerar sobre o trabalho que desenvolve. Através dele é possível realizar a verificação da receita obtida, se é capaz de pagar a operação e tiver alguma sobra. Sendo calculado através da equação 7.

$$\text{Índice de Lucratividade} = (\text{Lucro Líquido} / \text{Receita Bruta}) * 100 \quad [7]$$

De posse do custo de cada dispositivo, foi realizada a análise financeira, determinando-se o Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Índice de Lucratividade (IL) e o Payback. Os valores obtidos são apresentados na tabela 18 onde o projeto requer um investimento inicial de R\$ - 80.381,10 no ano 0, sendo compensado ao longo dos anos pela economia de energia elétrica obtida com a implementação dos novos dispositivos.

Tabela 18 – Viabilidade econômica

		1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano	6º Ano	7º Ano
Investimento Inicial (R\$)	-80.381,10							
Entradas	-80.381,10	29.374,41	30.898,94	32.502,60	34.189,48	35.963,92	37.830,45	39.793,85
Saídas		-11.749,72	-12.359,53	-13.000,99	-13.675,74	-14.385,52	-15.132,12	-15.917,48
Soma de Entradas e Saídas	-80.381,10	17.624,69	18.539,41	19.501,61	20.513,74	21.578,40	22.698,32	23.876,37
VPL	9.331,27	15.631,65	14.583,54	13.605,70	12.693,42	11.842,31	11.048,27	10.307,48
VPL Entradas	149.520,26	26.052,69	24.305,84	22.676,10	21.155,65	19.737,14	18.413,75	17.179,09
VPL Saídas	-140.188,99	-10.421,04	-9.722,30	-9.070,41	-8.462,23	-7.894,83	-7.365,47	-6.871,61
		15.631,65	14.583,54	13.605,70	12.693,42	11.842,31	11.048,27	10.307,48
Cálculo Payback	-80.381,10	-64.749,45	-50.165,91	-36.560,22	-23.866,80	-12.024,48	-976,21	9.331,27
Taxa de Atratividade	12,75%	TIR	16,18%	IL	1,07	Payback	6,10	

Fonte: Próprio autor.

Logo analisando a tabela 18 dado o investimento inicial, o projeto é considerado viável economicamente pois atende aos indicadores de VPL sendo positivo no valor de R\$ 9.331,27, ou seja, as entradas de caixa superaram as saídas de caixa ao longo de um período de 7 anos.

A Taxa Interna de Retorno em 16,18% sendo maior que a taxa de desconto, o projeto obtém um retorno superior ao custo de capital. Já o índice de Lucratividade em 1,07 que é maior do que 1, indica que gera mais receitas do que custos, assim, sendo o projeto lucrativo.

O Payback se tratando do tempo em que a empresa obtém o retorno do seu investimento, onde na tabela 18 é de 6,10, assim recuperando o investimento inicial em um tempo razoável.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a implantação de relés inteligentes com dimmerização, em sistemas de iluminação pública, a fim de reduzir o consumo de energia elétrica, garantir luz artificial no período noturno, sendo esta uma estratégia emergente para os municípios se tornarem sustentáveis e oferecer melhor qualidade de vida aos munícipes, aproveitando melhor os recursos.

De acordo com as medições realizadas, durante o experimento, verifica-se uma condição adequada de luminosidade para escritórios e ambientes fechados, uma vez que se respeitando a luminosidade mínima para um plano de trabalho de acordo com a NBR 8995-1.

Além de visar uma economia de energia elétrica, a dimmerização traz como benefício a redução da poluição luminosa, como pode ser analisado através das medições nas figuras 30 e 33, que mostra a iluminância reduzindo-se em função da redução de tensão na entrada das lâmpadas.

Contribuindo para a redução do consumo de energia elétrica das lâmpadas analisada no trabalho, a partir disto feita uma comparação das duas onde a LED apresentou um melhor desempenho luminotécnico e energético para diferentes tensões, como pode ser analisado a partir das tabelas 5 e 6.

Considerando uma possível implementação de dimerização na Avenida dos Barrageiros, foi estimado uma redução no consumo de energia de 12.141,4 kWh e uma economia de gasto de cerca de 11 mil reais por ano. Esses resultados são vantajosos tanto para o poder público quanto para os consumidores.

Portanto, o trabalho conclui que a redução da tensão na entrada das lâmpadas diminui o consumo de energia elétrica nas lâmpadas de LED e Halógenas, através de ensaios laboratoriais. Abrindo espaço para o desenvolvimento de novos trabalhos nesta mesma linha de pesquisa a fim de reduzir cada vez mais o consumo de energia no sistema de iluminação pública.

REFERÊNCIAS

A ILUMINAÇÃO PÚBLICA. A Iluminação Pública, [S. l.], p. 1, 24 jan. 2023. Disponível em: <http://brasilip.com.br/iluminacao.php>. Acesso em: 6 de maio de 2023.

PROJETO DE LEI N.º 5.612-A, DE 2016. Câmara dos Deputados, [S. l.], p. 7, 15 jun. 2016. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra. Acesso em: 6 de maio de 2023.

BERNADES, Drielly Mazzarim; CELESTE, Wanderley Cardoso; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz. Eficiência energética na iluminação pública urbana: revisão bibliográfica dos equipamentos e tecnologias. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e606973957- e606973957, 2020.

RESENHA Mensal mostra crescimento de 2,7% no consumo de eletricidade.[S. l.], p. 1, 30 jun. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/resenha-mensal-mostra-crescimento-de-2-7-no-consumo-de-eletricidade>. Acesso em: 1 jul. 2023.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PROCEL

ELETROBRAS. **Levantamento cadastral de pontos de iluminação pública instalados no Brasil**. Rio de Janeiro, 2008.

DOMINANDO REDES. Você sabe o que é um concentrador de rede? Disponível em: Você Sabe O Que É Um Concentrador De Rede? - Dominando Redes. Acesso em: 17 nov. 2023.

LED, ENERGÉTICA DE LUMINÁRIAS. **ILUMINAÇÃO URBANA: UM ESTUDO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE LUMINÁRIAS LED CONTROLADAS POR SISTEMA DE TELEGESTÃO**. 2014. Tese de Doutorado. Universidade Metodista de Piracicaba.

Resolução Normativa ANEEL n. 414, de 9 de setembro de 2010 (15 de set. 2010, seção 1, p.115). Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

LOUREIRO, Alex Corrêa; BALESTRIM, Thiago de Souza. SUSTENTABILIDADE NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA. 2021.

O SETOR ELÉTRICO. Desenvolvimento da iluminação pública no Brasil. O setor elétrico,[S.l.], p. 57, nov. 2012. Disponível em: https://www.fne.org.br/upload/documentos/projetos/iluminacao-publica/desenvolvimento_i_p_no_brasil_-_luciano_haas_rosito.pdf. Acesso em: 12 maio 2023.

SILVA, A. Como calcular a quantidade de lâmpadas em cada ambiente1. SlidePlayer, [s.l.], 2023. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/13899196/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

BOVOLenta, Priscila; BERTOLINI, Geysler Rogis. A eficiência energética aplicada na iluminação pública. **Revista Competitividade e Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, p. 39-49, 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Governo do Brasil. Programa de Eficiência Energética. Agência Nacional de Energia Elétrica, [S. l.], p. 1, 23 fev. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/eficiencia-energetica/pee>. Acesso em: 26 maio 2023.

CARLOTO, Filipe Gabriel et al. Sistema de telegestão para iluminação pública usando comunicação LoRaWAN. 2020.

GALLOTTI, Verônica Dias Moreira. Redes de energia elétrica inteligentes (Smart Grids). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e30010918322-e30010918322, 2021.

FRACARI, Fabiano; SANTOS, Iverson; SANCHEZ, Gustavo. Smart Grid: uma nova forma de controle de Energia Elétrica. **Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 15-22, 2015.

DE LA ROCHA, Fábio Rodrigues. Sistema de Iluminação Pública Inteligente. **Anais do Computer on the Beach**, v. 11, n. 1, p. 014-016, 2020.

BALIZA, Émerson Silva. Otimização da iluminação pública utilizando sistemas de controle e automação. 2016.

IMPACTOS da falta de iluminação pública adequada nas cidades. Exati, [S. l.], p. 1, 4 maio de 2022. Disponível em: <https://blog.exati.com.br/falta-de-iluminacao-publica/>. Acesso em: 24 maio 2023.

KOPYCKI, Paulo Cesar de Oliveira. **Controlador inteligente para circuito elétrico de iluminação**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

EUROPEAN COMMISSION. **Lighting the Cities - Accelerating the Deployment of Innovative Lighting in European Cities**. Brussels, Belgium: Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2013.

VITTA, P. et al. Concept of intelligent solid-state street lighting technology. **Elektronika ir Elektrotechnika**, v. 18, n. 10, p. 37-40, 2012.

SANTOS, Mauricio de Carvalho; NUNES, Rafael Policarpo. Redes inteligentes de energia. 2018.

USMAN, Ahmad; SHAMI, Sajjad Haider. Evolution of communication technologies for smart grid applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 191-199, 2013.

CABELLO, Andrea Felipe. Redes elétricas inteligentes no Brasil: A necessidade de uma avaliação adequada de custos e benefícios. 2012.

AGORIA. **Smart street lighting for the city of tomorrow: Smart lighting**. AGORIA Smart Cities, 2018.

CHEN, Shizhong; YAO, Jinmei; WU, Yuhou. Analysis of the power consumption for wireless sensor network node based on Zigbee. **Procedia Engineering**, v. 29, p. 1994-1998, 2012.

PEREIRA, Luana Musso. ILUMINAÇÃO PÚBLICA: efficientização das luminárias. 2021.

VIEIRA, Luan; KÜHL, Roberto Carlos. Efficientização energética na iluminação pública. Engenharia Elétrica-Pedra Branca, **2019**.

MUNDO DA ELÉTRICA, Relé fotoelétrico. Disponível em Acesso em 22 de abril de 2018.

SILVA, Alan Romão et al. Smart city ou cidade inteligente. 2018.

CLEMENTE, Alisson Carlos; PAIVA, Clayton; JUNIOR, Wendell Carlos Martins; CAIXETA, Igor Nunes. Gerenciamento de iluminação pública. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 11, Vol. 05, pp. 107-147 Novembro de 2018.

SABER ELÉTRICA. Relé Fotoelétrico - O que é Características e Funcionamento. Available at: 1. Accessed on: October 3, 2023.

GRUPO AUTCOMP. Resistor: O que é, funções e tipos. Available at: 1. Accessed on: October 3, 2023.

Braga, N. C. (2012). Sensores fotoelétricos. Acessado em 04 de outubro de 2023, de <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/4883-art644>

SIEMENS. SIMOCODE: relés inteligentes para gerenciamento de motores. Siemens, 2023. Disponível em: <https://www.siemens.com/br/pt/produtos/controles-industriais/simocode.html>. Acesso em: 04 out. 2023.

ABB. Relé inteligente: o que é e para que serve?1 ABB Eletrificação, 2023. Disponível em: <https://loja.br.abb.com/blog/post/rele-inteligente>. Acesso em: 04 out. 2023.

MATTEDE, Henrique. Como funciona um dimmer? Mundo da Elétrica, 2023. Disponível

em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-um-dimmer/>. Acesso em: 04 out. 2023.

LIMA, L. C.; GOUVEIA, L. S. Iluminação pública: história, tecnologias e aplicações. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

SILVA, Maria Aparecida et al. A educação ambiental na formação de professores: desafios e perspectivas. Educação e Sociedade, Campinas, v. 31, n. 110, p. 135-160, jan./mar. 2010. Disponível em: SciELO - Brasil - Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais Acesso em: 05 abr. 2023.

ROBERTO, Thais Jeniffer; SCHULTZ, Edson Luiz. Estudo comparativo de sistemas de iluminação pública: lâmpadas LED, lâmpadas de indução e lâmpadas a vapor de sódio¹. Revista Técnico-Científica CREA-PR, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2017. Disponível em: <https://revistatecie.crea-pr.org.br/index.php/revista/article/view/268/149>. Acesso em: 10 out. 2023.

NEW LIGHT. Lâmpada Incandescente, Fluorescente ou LED: Qual utilizar?. New Light, [S. l.], p. 1, 20 fev. 2022. Disponível em: <https://www.newlight.net.br/blog/lampada-incandescente-fluorescente-ou-led-qual-utilizar>. Acesso em: 28 maio 2023.

Luz, J. M. da. (2000). Luminotécnica. Laboratório de Luz e Design. <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/Luminotecnica.pdf>

MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais. 6. ed. São Paulo: LTC, 2017.

Viva Decora. O que é dimmer?¹ Para que serve, como escolher e mais Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/dimmer/>. Acesso em: 27 out. 2023.

MAX. Dimmer: O que é, para que serve, como escolher e mais! Disponível em: Dimmer edimerizadores: o que é e como utilizar (obramax.com.br). Acesso em: 27 out. 2023.

MATTEDE, Henrique. PWM – O que é e para que serve? Mundo da Elétrica, 2023. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/pwm-o-que-e-para-que-serve/>. Acesso em: 25 out. 2023.

Mattede, H. (2023). Dimmer digital: o que é e como funciona. Mundo da Elétrica. Acesso em: 27 out. 2023. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/dimmer-digital-o-que-e-como-funciona/>.

Mattede, H. (2023). Dimerização de lâmpadas: como fazer? Mundo da Elétrica. Acessado em 27 de outubro de 2023, de <https://www.mundodaeletrica.com.br/dimerizacao-de-lampadas-como-fazer/>.

Características para dimerização de luminárias LED em vias públicas. Pro-Inova. 2019. Disponível em: Microsoft Word - Artigo-Elton-Luminarias LED-REVISADO-3 (pro-inova.com). Acesso em: 01 nov. 2023.

WEG. Relé inteligente SRW01 - Unidades de controle. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automação-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Proteção-de-Motores/Relés-Inteligentes> Acesso em: 17 nov. 2023.

Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. (2023). **Transição rápida para a iluminação eficiente em energia: uma abordagem integrada de políticas**. Recuperado de [The rapid transition to energy efficient lighting: an integrated policy approach | UNEP - UN Environment Programme](#)

EPE. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2022. Rio de Janeiro: EPE, 2022. Disponível em: [Apresentação do PowerPoint \(epe.gov.br\)](#). Acesso em: 28 nov. 2023.

Brasil IP. Iluminação pública. Disponível em: [<http://brasilip.com.br/iluminacao.php>]. Acesso em: 28 nov. 2023.

Ministério de Minas e Energia. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020-2029. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/planejamento/plano-decenal-de-expansao-de-energia-pde/pde-2020-2029>. Acesso em: 30 nov. 2023.