



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SYLMARA SUELLEN VIDAL MIRANDA

AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE
LUMINÁRIAS LED EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Fortaleza

2016

SYLMARA SUELLEN VIDAL MIRANDA

**AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE
LUMINÁRIAS LED EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. M.Sc. Tomaz Nunes Cavalcante Neto

Fortaleza

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M645a Miranda, Sylmara Suellen Vidal.
Avaliação de viabilidade técnica no uso de luminárias LED em projetos de iluminação pública / Sylmara Suellen Vidal Miranda. – 2016.
62 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Me. Tomaz Nunes Cavalcante Neto.

1. Iluminação Pública. 2. Luminárias LED. 3. Viabilidade Técnica. I. Título.

CDD 621.3

SYLMARA SUELLEN VIDAL MIRANDA

**AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA NO USO DE
LUMINÁRIAS LED EM PROJETOS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M.Sc. Tomaz Nunes Cavalcante Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Indira Ponte Ribeiro
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus a oportunidade de chegar até aqui. A caminhada não foi fácil, em alguns momentos pensei em desistir, mas quando não tinha mais forças era a Ele a quem recorria. Desde quando iniciei a faculdade até agora Deus tem sido fiel comigo e só tenho a agradecer.

Queria agradecer à minha mãe por todo apoio que me deu nesses anos de faculdade como também em toda a minha vida. Minha educação sempre foi prioridade e mesmo não tendo condições ela sempre me incentivou a dar o melhor de mim. E com muito estudo e muita dedicação hoje completo mais esse objetivo.

Um agradecimento especial ao meu namorado Gabriel. Só nós sabemos o que passamos juntos e como essa jornada foi intensa e muitas vezes bem estressante. Contudo com seu apoio, dedicação, carinho e compreensão consegui terminar mais essa etapa da minha vida, e espero que juntos possamos alcançar muitos outros sonhos. Obrigada por tudo! Te amo.

Agradeço também aos meus amigos de jornada. Tive o privilégio de sempre ser cercada por muitos amigos que me ajudaram desde quando eu iniciei meu curso na UFRJ até hoje na UFC. Muito obrigada Renan Fernandes, Isabela Natal, Thiago Areias, Flávio Martins, Degmar Felgueiras, Mayara Cagido, amigos da UFRJ que guardo sempre no meu coração. Obrigada por iniciarem o curso comigo e não me deixarem desistir! Aos meus amigos da UFC, Samuel Carvalho, Indira Ponte, Cláudio Wagner, Jady Aparecida, Arthur Murta, Tayná Braga, Joao Paulo Figueiredo, Rayssa Stüpp, Anderson Marinho, e muitos outros que de alguma forma contribuíram para minha formação, seja academicamente, pessoalmente ou profissionalmente, meu muito obrigado.

Por fim agradeço à banca avaliadora que se propôs a avaliar esse trabalho. Meu profundo agradecimento por se interessarem pelo tema proposto no trabalho. Obrigada ao Professor Tomaz Nunes por me orientar nesse trabalho. A composição desse estudo foi de grande contribuição para a minha formação acadêmica e profissional. Muito obrigada pela oportunidade.

*“Seja forte e corajoso! Não se apavore,
nem se desanime...”*

Js 1:9

RESUMO

Este trabalho expõe a avaliação técnica dos impactos causados pela troca das luminárias utilizadas em projetos de iluminação pública (IP) existentes em espaços predeterminados da cidade de Fortaleza por luminárias de LED (*Light Emitting Diode*). O intuito principal deste documento é propor o estudo do funcionamento das luminárias de LED e qual o impacto econômico e financeiro do uso deste tipo de luminária em projetos de grande importância para a sociedade que são a revitalização da Praça Portugal, a melhoria da iluminação da Avenida Coronel Miguel Dias e a obra de instalação da nova rotatória da Avenida Raul Barbosa. Além desta avaliação também será feita uma comparação das áreas afetadas por essas obras de melhoria em que foram utilizadas luminárias de LED em detrimento da iluminação convencional anteriormente existente levando em consideração a relação custo benefício entre os tipos de luminária, o impacto na qualidade da iluminação nos locais estudados, o dispêndio para a execução dos projetos, a relação de demanda de potência ativa antes e depois da troca das luminárias, previsão de vida útil e necessidade de manutenção das luminárias LED em relação às suas correspondentes, o *payback* e a TIR esperado com a troca das luminárias e por fim o diagnóstico final do estudo comparando o consumo total de energia.

Palavras-chave: Iluminação Pública, LED, eficiência, orçamento, qualidade, *payback*.

ABSTRACT

This paper exposes the technical analysis of the impacts caused by swapping luminaires commonly used in public lighting projects on predetermined spaces of the city of Fortaleza by LED luminaires. The main goal of this document is to propose the studies on the functioning of LED luminaires and on what is the economic and financial impacts that result from using this type of luminaires in projects of great importance for society, which are the revitalization of the Praça Portugal, the Coronel Miguel Dias Avenue lighting improvement and the work on the installation of the new roundabout of the Raul Barbosa Avenue. Aside from this analysis, a comparison between the areas affected by these improvements, which used LED luminaires instead of the traditional model previously existent, will be made while taking in consideration cost-benefit between both luminaire types, impact in quality on those specific places, cost of executing the projects, active power demand before and after the swapping, service life preview and maintenance needs, the payback, the Internal Rate of Return (IRR) expected and the final diagnostics of the studies by comparing total energy consumption.

Keywords: Public Lighting, LED, efficiency, budget, quality, payback.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Luminária à óleo de baleia e luminária a gás respectivamente.....	19
Figura 2.2 Luminária com lâmpadas de vapor mercúrio e sódio	20
Figura 3.1 Luminária Selkis 2540 (modelo antigo) da Ilumatic e fotometria	25
Figura 3.2 Projetor Terra Maxi da Schredder e fotometria	26
Figura 3.3 Luminária Isla da Schredder	26
Figura 3.4 Luminária Vega A-500 da Almec e fotometria.....	27
Figura 3.5 Luminária Rayra DI-1031 da Repume e fotometria	28
Figura 3.6 Luminária Rayra DI-1030 da Repume.....	28
Figura 3.7 Luminária Beta 3 da Tecnowatt e fotometria.....	29
Figura 3.8 Luminária Akila da Schröder e fotometria.....	30
Figura 3.9 Luminária YOA Midi da Schröder.....	31
Figura 3.10 Luminária Maestra da Ilumatic e fotometrias (100W e 210W respectivamente) .	32
Figura 3.11 Luminária BF5030 da Crown.....	32
Figura 3.12 Luminária Terra Midi da Schröder e fotometria	33
Figura 3.13 Luminária Aqualed 2L da Osram.....	34
Figura 3.14 Luminária Aqualed 2XL da Osram.....	34
Figura 3.15 Luminária LMSL 120 ou 200 da Ledstar.....	35
Figura 5.1 Resumo das Potências Existentes e Instaladas nos Projetos Estudados.....	50
Figura 5.2 Comparativo dos valores da CIP para consumidores residenciais e não residenciais	52
Figura 5.3 Análise gráfica do payback da Praça Portugal.....	55
Figura 5.4 Análise gráfica do payback da Av. Cel Miguel Dias.....	55
Figura 5.5 Análise gráfica do payback do projeto da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa....	56
Figura 6.1 Quantidade de equipamentos utilizados nos projetos	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Dados da luminária Selkis 2540 (antiga) da Ilumatic.....	25
Tabela 3.2 Dados do projetor Terra Maxi da Schredder.	26
Tabela 3.3 Dados da luminária Isla da Schredder.	27
Tabela 3.4 Dados da luminária Vega A-500 da Almec.	27
Tabela 3.5 Dados da luminária Rayra DI-1031 da Repume.....	28
Tabela 3.6 Dados da luminária Rayra DI-1030 da Repume.....	29
Tabela 3.7 Dados da luminária Beta 3 da Tecnowatt.	29
Tabela 3.8 Dados da luminária Akila da Schröder.	31
Tabela 3.9 Dados da luminária YOA Midi da Schröder.	31
Tabela 3.10 Dados da luminária Maestra da Ilumatic.	32
Tabela 3.11 Dados da luminária BF5030 da Crown.	33
Tabela 3.12 Dados da luminária Terra Midi da Schröder.....	33
Tabela 3.13 Dados da luminária Aqualed 2L da Osram.....	34
Tabela 3.14 Dados da luminária Aqualed 2XL da Osram.....	34
Tabela 3.15 Dados da luminária LMSL 120 ou 200 da Ledstar.....	35
Tabela 4.1 Levantamento do equipamento utilizado em projeto da Praça Portugal	36
Tabela 4.2 Requisitos de Luminância e Uniformidade	37
Tabela 4.3 Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.....	37
Tabela 4.4 Equipamentos de LED utilizados no projeto de revitalização da Praça Portugal...	37
Tabela 4.5 Levantamento do material da Av. Coronel Miguel Dias.....	38
Tabela 4.6 Luminária de LED utilizada na melhoria da Av. Coronel Miguel Dias.....	38
Tabela 4.7 Levantamento do material da Rotatória da Av. Governador Raul Barbosa	39
Tabela 4.8 Equipamentos de LED utilizados no projeto de revitalização da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa.....	40
Tabela 5.1 Valor das luminárias existentes na Praça Portugal	41
Tabela 5.2 Valor das luminárias aplicadas no projeto de melhoria da Praça Portugal.....	42
Tabela 5.3 Valor das luminárias existentes na Av. Cel. Miguel Dias	42
Tabela 5.4 Valor das luminárias aplicadas no projeto de melhoria da Av. Cel Miguel Dias...	43
Tabela 5.5 Valor das luminárias existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa	43
Tabela 5.6 Valor das luminárias aplicadas no projeto de melhoria da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa	44
Tabela 5.7 Valores estimados de manutenção para substituição de materiais	45

Tabela 5.8 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Praça Portugal	45
Tabela 5.9 Potência Instalada dos equipamentos instalados com tecnologia LED na Praça Portugal.....	46
Tabela 5.10 Perdas nos reatores das Luminárias VMT.....	47
Tabela 5.11 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Praça Portugal relacionada com as perdas.....	47
Tabela 5.12 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Av. Coronel Miguel Dias	47
Tabela 5.13 Potência Instalada dos equipamentos instalados com tecnologia LED na Av. Coronel Miguel Dias	48
Tabela 5.14 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Av. Cel. Miguel Dias relacionada às perdas	48
Tabela 5.15 Potência Instalada pelos equipamentos existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa.....	49
Tabela 5.16 Potência Instalada dos equipamentos projetados com tecnologia LED para a Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa	49
Tabela 5.17 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa relacionada com as perdas	49
Tabela 5.18 Tabela de Cálculo da CIP: Classe Residencial.....	51
Tabela 5.19 Tabela de Cálculo da CIP: Classe Não Residencial	52
Tabela 5.20 Resumo do consumo dos equipamentos.....	53
Tabela 5.21 Resumo do valor monetário do consumo dos equipamentos.....	53
Tabela 5.22 Análise do payback do projeto da Praça Portugal	54
Tabela 5.23 Análise do payback do projeto da Av. Cel. Miguel Dias	55
Tabela 5.24 Análise do payback do projeto da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa.....	56
Tabela 5.25 Cálculo da TIR para os projetos estudados.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica

CIP- Custeio da Iluminação Pública

COELCE- Companhia Energética do Ceará

E- Iluminância [lx]

ELETROBRAS- Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

E_{max} - Iluminância máxima

E_{med} - Iluminância média

E_{min} - Iluminância mínima

E_{pt} - Economia de Potência Total

IP- Iluminação Pública

LED- Diodos Emissores de Luz (en. *Light Emitting Diode*)

L- Luminância [cd/m^2]

L_{med} - Luminância média

L_{min} - Luminância mínima

Lúmen- Unidade de medida do fluxo luminoso

Lux- Unidade de Iluminância (lx) [lm/m^2]

NBR- Norma Brasileira

NT- Norma Técnica

P1, P2, P3, P4- Classes de iluminação de passeios como definidas pela NBR 5101:2012

P_{ee} - Potência dos equipamentos existentes antes da reforma

P_{ei} - Potência dos equipamentos instalados no projeto de reforma

PROCEL- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RELUZ- Programa de Eficiência Energética na Iluminação Pública do PROCEL

RP- Relação entre as potências

SI- Sistema Internacional de Unidades

SR- Razão das áreas adjacentes à via

TI- Incremento de limiar

TIR- Taxa Interna de Retorno

U- Uniformidade

UC- Unidade Consumidora

U_0 - Uniformidade global

U_L - Uniformidade longitudinal

V1, V2, V3, V4, V5- Classes de iluminação de vias como definidas pela NBR 5101:2012

VMT- Vapor metálico

VS- Vapor de sódio de alta pressão

SUMÁRIO

1	Introdução.....	17
1.1	Objetivos.....	17
1.2	Motivação	17
1.3	Metodologia.....	17
1.4	Estrutura do trabalho.....	18
2	Iluminação Pública: Conceitos e História	19
3	Estudo técnico das Luminárias	24
3.1	Introdução	24
3.2	Luminárias com lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão (VS)	24
3.3	Luminárias com lâmpada de Vapor Metálico (VMT)	25
3.4	Luminárias de LED.....	30
4	Estudos de caso.....	36
4.1	Introdução	36
4.2	Praça Portugal	36
4.3	Avenida Coronel Miguel Dias	38
4.4	Rotatória da Avenida Governador Raul Barbosa	39
5	Análise de Resultados.....	41
5.1	Introdução	41
5.2	Análise comparativa de custo das luminárias	41
5.2.2	Custo das Luminárias: Avenida Coronel Miguel Dias.....	42
5.2.3	Custo das Luminárias: Rotatória da Avenida Governador Raul Barbosa	43
5.3	Análise comparativa de manutenção das luminárias	44
5.4	Análise da potência instalada pelas luminárias.....	45
5.4.1	Potência Instalada: Praça Portugal	45
5.4.2	Potência Instalada: Avenida Coronel Miguel Dias	47

5.4.3	Potência Instalada: Rotatória Avenida Governador Raul Barbosa.....	49
5.5	Análise de comparativa de consumo das luminárias	50
5.6	Análise do <i>payback</i> dos projetos propostos	53
5.7	Análise da Taxa Interna de Retorno (TIR)	57
6	Conclusões e Trabalhos Futuros.....	59
	Bibliografia.....	62

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo a análise financeira detalhada da situação da Iluminação Pública da Praça Portugal, da Avenida Coronel Miguel Dias e da rotatória da Avenida Raul Barbosa antes e depois da utilização de iluminação padrão LED.

1.2 Motivação

Desde muitos anos as comunidades em todas as partes do planeta se dão o trabalho de manter seus espaços de convivência frequentáveis independente de ser dia ou noite. Foi com esse objetivo em mente que foi alcançado o conceito já bastante comum de iluminação pública com a diferença de que hoje se dispensam lâmpadas a óleo, as quais cumpriam esta função, para dar espaço às luminárias a energia elétrica. O debate do momento é a respeito do tipo de luminárias que devem-se utilizar em grande escala para não permitir que as cidades fiquem no escuro.

Depois do desenvolvimento das lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e, mais recentemente, das de sódio de alta pressão, halogenetos e iodetos, foi desenvolvida a tecnologia de luz gerada por LEDs de alta eficiência e luminosidade. No entanto, esta tecnologia é relativamente nova para o nicho da iluminação pública. O momento é de questionamento quanto à rentabilidade do uso de equipamentos que utilizem esta tecnologia em larga escala. Este é o ponto que será discernido.

1.3 Metodologia

A análise dos projetos de melhoria da Iluminação Pública da Praça Portugal, da Avenida Coronel Miguel Dias e da Rotatória da Avenida Raul Barbosa é a base deste trabalho. Nela estarão inclusas referências dos materiais anteriormente existentes e propostas de novos equipamentos a serem implantados.

O equipamento existente no momento é composto de luminárias de vapor de halogeneto metálico e as propostas apresentarão a alteração destas para luminárias que utilizem LEDs como principais fontes luminosas. Os equipamentos serão detalhados para que seja possível fazer uma análise precisa ao fim dos estudos.

Em seguida, após apresentados os dados pertinentes referentes ao modelo originalmente utilizado, a análise da implantação do novo padrão será feita. Por último, as comparações finais são feitas de forma que seja possível concluir quais os resultados mais favoráveis de um ponto de vista financeiro.

1.4 Estrutura do trabalho

No Capítulo 1 é apresentada a introdução do trabalho, bem como seus objetivos, suas motivações e a metodologia a ser utilizada para análise do projeto apresentado, cujos detalhes serão aprofundados adiante.

No Capítulo 2 são apresentados alguns conceitos e regulamentos quanto a iluminação pública no Brasil, bem como um pouco de sua história até o momento

No Capítulo 3 são apresentadas as informações técnicas dos equipamentos em questão, ou seja, das luminárias anteriormente existentes e das que serão utilizadas no padrão novo.

No Capítulo 4 são apresentados os estudos de caso das obras já citadas uma a uma.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados finais relativos aos pontos de interesse do trabalho.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e as considerações para trabalhos futuros.

2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA: HISTÓRIA E CONCEITOS

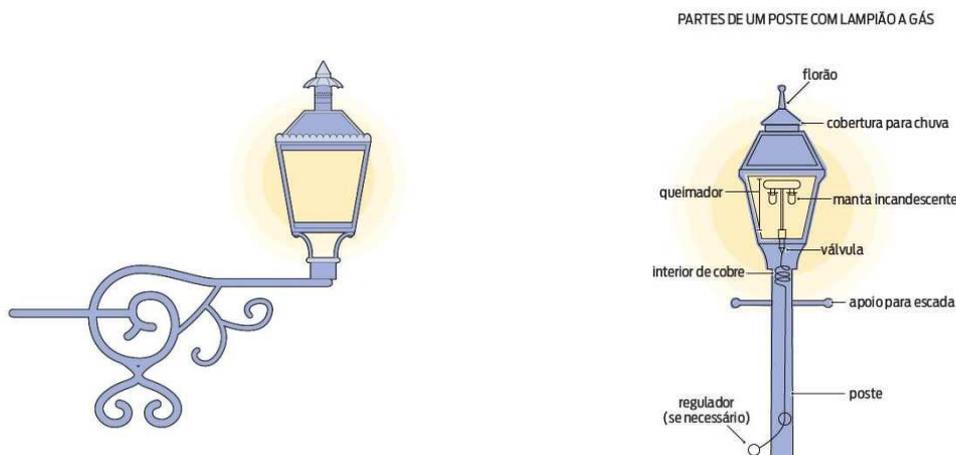
Neste capítulo serão apresentados aspectos históricos que descrevem o advento da iluminação pública chegando até as tecnologias avançadas que fazem parte do processo de iluminação de locais públicos atualmente. Além disso, serão apresentados conceitos técnicos e regulamentos fundamentais para o entendimento do trabalho proposto.

2.1 Iluminação Pública: História

Desde a antiguidade o processo de iluminação está ligado ao uso dos recursos de iluminação natural ou artificial. O desenvolvimento das funções cerebrais está ligado à visão e assim, desde a forma mais primitiva de vida até os humanos, todos os seres usam a iluminação para amplificar essas funções com o objetivo principal desta amplificação sendo a evolução dessas espécies. Além da iluminação natural, povos antigos já haviam deixado vestígios de uso de iluminação artificial usando óleos, e séculos mais tarde essa mesma técnica foi aplicada para o desenvolvimento e aplicação de iluminação usando óleo de baleia, ilustrada na Figura 2.1, como combustível principal para as luminárias (Rosito, 2009).

A origem da iluminação pública teve origem, provavelmente, no início do século XV, na Inglaterra. Foi uma demanda da população, especificamente dos comerciantes, que sentiam necessidade de aumentar a segurança em seus estabelecimentos no período noturno, já que à noite era o período do dia em que havia mais incidência de furtos. As lâmpadas a gás, ilustradas na Figura 2.1, substituíram as de óleo de baleia entre os séculos XIX e XX. A partir do século XX as lâmpadas elétricas vieram suceder as de gás e são utilizadas até hoje.

Figura 2.1 Luminária à óleo de baleia e luminária a gás respectivamente



Fonte: <http://www.gazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/luminarias-urbanas-dos-lampioes-aos-postes-inteligentes>

No Brasil a iluminação pública teve início em meados do século XVIII. A primeira cidade a receber iluminação foi a cidade do Rio de Janeiro, onde foram instaladas cerca de 100 luminárias à óleo de azeite em 1794. No ano de 1887, com o início de operação de uma usina de energia elétrica em Porto Alegre, o primeiro serviço de iluminação pública utilizando energia elétrica é iniciado e assim vai ganhando outras cidades com o passar dos anos (Rosito, 2009).

O sistema de iluminação pública foi primeiramente desenvolvido usando-se luminárias com lâmpadas incandescentes. Infelizmente, estas acabavam por reproduzir mais energia em forma de calor do que em forma luminosa, o que tornava o processo extremamente ineficiente, apesar de suficiente no início do século XX. Novas tecnologias foram sendo desenvolvidas e conseqüentemente essas luminárias foram sendo trocadas por outros modelos mais eficientes. As cidades cresceram, as vias se tornaram largas, o movimento aumentou e se tornou necessária uma qualidade maior de iluminação, tanto pela questão social quanto pela questão energética. Desenvolveram-se as lâmpadas a vapor que foram gradativamente sendo utilizadas nas cidades. A progressão das lâmpadas das luminárias seguiu a seguinte ordem: lâmpadas incandescentes, lâmpadas de luz mista, lâmpadas de vapor mercúrio e lâmpadas de vapor sódio, lâmpadas de vapor metálico ilustradas na Figura 2.2, e lâmpadas de LED (*light emitting diode*), que são as luminárias com tecnologia mais avançada vendidas atualmente no mercado (LOPES, 2014).

Figura 2.2 Lâmpadas de vapor mercúrio, sódio e metálico



Fonte: <http://www.gazetadopovo.com.br/haus/arquitetura/luminarias-urbanas-dos-lampioes-aos-postes-inteligentes>

A iluminação de vias e ambientes urbanos tem sido pensada e projetada com o objetivo de prover à população a oportunidade de transitar em diferentes locais da cidade no período da noite. A Iluminação Pública é definida pela Resolução N° 456/2000 da ANEEL como o *“serviço que tem por objetivo prover de luz, ou claridade artificial, os logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, inclusive aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno”*. Essa definição é bem simplificada se levarmos em consideração a parcela importante que a iluminação tem para a sociedade.

O conceito de Iluminação Pública está intimamente ligado à qualidade de vida da sociedade visto que ajuda que os habitantes possam ocupar o espaço público e desfrutar de toda a estrutura que a cidade possui. É inimaginável pensar em uma cidade de pequeno, médio ou grande porte que não possua iluminação pública. As cidades que ainda não possuem iluminação sentem as consequências dessa defasagem e tem consciência dos benefícios que a iluminação pode trazer para a sociedade.

Cada estado do Brasil tem suas particularidades no que diz respeito à Iluminação Pública. A responsabilidade dos projetos de IP, de acordo com a Resolução N° 414/2010 art. 28 da ANEEL, são das Prefeituras dos Municípios, ficando a cargo dessa instituição a melhoria, expansão e manutenção dos pontos existentes ou a serem iluminados (pontos novos).

Na cidade de Fortaleza graças ao Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente, o PROCEL RELUZ, instituído no ano de 2000 pela ELETROBRAS Centrais Elétricas Brasileiras, as luminárias de vapor sódio estão sendo trocadas por luminárias mais eficientes seja de vapor metálico ou de LED. De acordo com Leonardo Barbosa Lopes, o alvo principal do projeto era:

“Seu objetivo foi de reduzir de maneira considerável o consumo de energia elétrica nos sistemas de iluminação pública das cidades brasileiras, com meta de redução anual de 2.400 GWh, cerca de 20% sobre o consumo de 2000, até 2010. No entanto, em função da abrangência do programa e das metas serem alteradas ao longo dos anos, este programa está ainda em desenvolvimento, com sua finalização prorrogada para 2035”.

Assim, como o programa foi prorrogado, a busca pela economia continua e por isso, as luminárias LED se apresentam como grandes aliadas, já que apresentam grande vida útil, ótima eficiência energética e, portanto, servem bem aos propósitos do programa. Por esses

motivos, a tendência pelo uso de luminárias LED deve alcançar uma escala mundial na próxima década (LOPES, 2014).

O principal ponto negativo que torna ainda discutível a sua larga aplicação é o custo de produção e, portanto, de aquisição. De acordo com dados recentes, enquanto uma lâmpada incandescente custa em torno de R\$ 1,50 e uma lâmpada fluorescente em torno de R\$ 12,00, uma lâmpada de LED custa em torno de R\$ 30,00 (LOPES, 2014). Ainda é preciso que sejam feitos estudos e análises financeiras, usando o *payback*, por exemplo, para que a aplicação deste tipo de luminária possa ser viável economicamente e até mesmo produtivamente, visto que o processo de fabricação dessas lâmpadas e luminárias acaba por ser mais oneroso do que as que usam tecnologias anteriores.

A principal referência normativa em iluminação pública no Brasil é a ABNT NBR 5101:2012 Iluminação pública — Procedimento. Nela são definidos os mais variados conceitos e regulamentações necessárias para a iluminação dos espaços públicos brasileiros. As concessionárias de energia elétrica locais normalmente apresentam também regulamentações em respeito a isto, já que a iluminação pública representa uma parcela considerável de consumo. A COELCE utiliza como referência a sua NT 007:2011 Iluminação Pública, onde são mostrados regulamentos de instalação e de materiais considerados adequados para utilização no parque.

2.2 Iluminação Pública: Conceitos Técnicos

Nesta seção serão apresentados conceitos técnicos principais usados na elaboração do projeto e que serão de ajuda nas análises que serão feitas neste trabalho.

2.2.1 Iluminância

A iluminância é definida pela medição de luz diretamente de sua fonte sobre determinado ponto de incidência em uma área pré-determinada (Nascimento, 2016), como ilustrado na Figura 2.3. Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o lux.

Figura 2.3 Ilustração dos conceitos de Iluminância e Luminância



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfoRYAL/luminotecnica>

2.2.2 Luminância

É definida pela quantidade de luz que passa através ou é refletida a partir de uma superfície em um determinado ângulo de incidência, isto é, a luminância indica o brilho da luz refletida ou emitida de uma superfície. A luminância também indica o quanto de energia luminosa o olho humano pode perceber (Nascimento, 2016). Para melhor percepção deste conceito, ele está ilustrado na Figura 2.3.

2.2.3 Fotometria

É o gráfico que representa a forma de distribuição luminosa de uma luminária. O estudo fotométrico de uma luminária possibilita os seguintes objetivos: a medição do fluxo luminoso da luminária e da lâmpada, a determinação do rendimento óptico da luminária, a classificação das luminárias conforme normas específicas, a quantificação dos índices de ofuscamento e de poluição luminosa, o mapeamento da distribuição angular de intensidade luminosa e disponibilização de dados técnicos para a elaboração de projetos luminotécnicos.

2.2.4 Uniformidade

É definida como a relação entre a iluminância mínima e a média em um determinado local. A resultante dessa relação é um fator que varia de zero até o valor de uma unidade, podendo variar em casas decimais. Ou seja, é o indicativo de como a distribuição da luminosidade pela fonte de luz está na superfície estudada está boa ou ruim dependendo do valor encontrado em que zero indica ausência de uniformidade e um indica que a uniformidade na superfície é muito boa.

3 ESTUDO TÉCNICO DAS LUMINÁRIAS

3.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os dados técnicos pertinentes das luminárias a serem consideradas para este trabalho. Estas informações serão utilizadas nos capítulos adiantes como forma de tornar tão precisos quanto possível os estudos e as análises.

É importante apontar que todas as luminárias utilizadas em novos projetos foram escolhidas por decisão da Prefeitura Municipal de Fortaleza, assim este trabalho reserva-se apenas às suas análises. Assim, alguns dos materiais apresentados não são comumente utilizados em projetos de iluminação pública, como os projetores de piso, por exemplo, mas foram escolhidos pela Prefeitura para que houvesse conceitos de iluminação artística no local, que visa não somente a iluminação dos locais como também a proporcionar aos locais harmonia de cores e tons, eficiência técnica aliada à estética, aumentar a visibilidade de certos pontos a serem ressaltados e valorizar o patrimônio público ou privado.

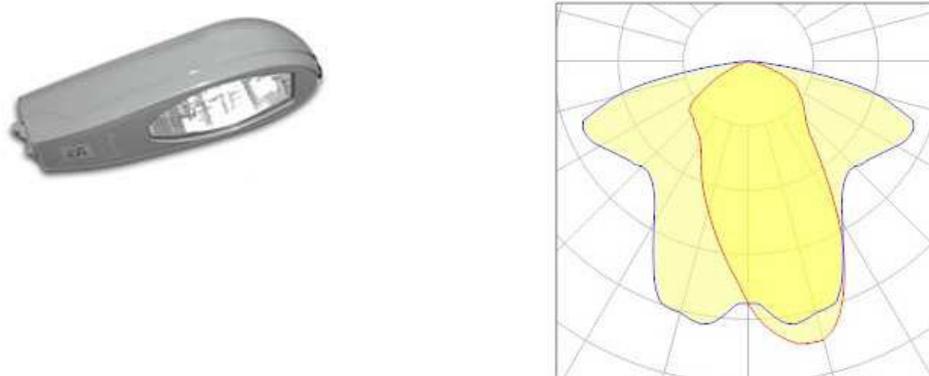
3.2 Luminárias com lâmpada de Vapor de Sódio de Alta Pressão (VS)

A lâmpada VS é caracterizada por sua cor quente amarelada presente na maior parte da cidade de Fortaleza. As luminárias que serão detalhadas neste tópico são as que já estavam anteriormente presentes nos locais de estudo, já que o atual programa de requalificação de iluminação da cidade de Fortaleza não planeja inserir novas luminárias com lâmpadas VS.

As luminárias que existiam previamente e foram devidamente substituídas em projeto estavam presentes somente na Av. Cel. Miguel Dias, são de um modelo antigo da Selkis 2540 da Ilumatic e os seus dados são apresentados na Tabela 3.1. A Figura 3.1 mostra o modelo da luminária e sua fotometria, conforme mostrado nos catálogos de materiais da Ilumatic.

- Selkis 2540 (antiga)

Figura 3.1 Luminária Selkis 2540 (modelo antigo) da Ilumatic e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias Ilumatic

Tabela 3.1 Dados da luminária Selkis 2540 (antiga) da Ilumatic.

Fabricante	Ilumatic
Potência	250 W VMT ou 400 W VMT (existente 400 W VMT)
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Plano
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Possui
Preço	R\$291,82

Fonte: Catálogo de luminárias da Ilumatic

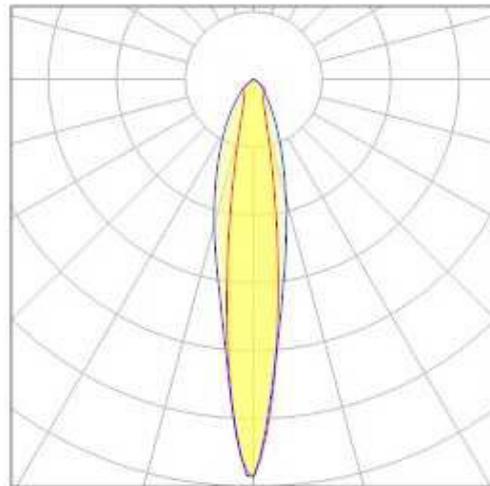
3.3 Luminárias com lâmpada de Vapor Metálico (VMT)

O vapor contido neste tipo de lâmpada pode ser de vários tipos, por exemplo, mercúrio, halogenetos ou iodetos, assim, as lâmpadas de vapor metálico possuem uma coloração branca. O programa de iluminação pública da cidade de Fortaleza promove a substituição de todos os pontos existentes de Vapor Sódio (VS) para VMT, assim as luminárias mais modernas que existem no município estão equipadas com lâmpadas VMT.

Os modelos são apresentados nas Figuras 3.2 a 3.7 e contemplam as luminárias a serem substituídas e as novas projetadas com suas respectivas fotometrias. Além disso, suas especificações técnicas também são mostradas nas Tabelas 3.2 a 3.7.

- Terra Maxi

Figura 3.2 Projetor Terra Maxi da Schreder e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias Schreder- Terra Midi, Maxi e Roma

Tabela 3.2 Dados do projetor Terra Maxi da Schreder.

Fabricante	Schreder
Potência	Até 150 W VMT
Vedação	IP-67
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Plano
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$2.060,90

Fonte: Catálogo de luminárias da Schreder

- Isla

Figura 3.3 Luminária Isla da Schreder



Fonte: Catálogo de luminárias da Schreder

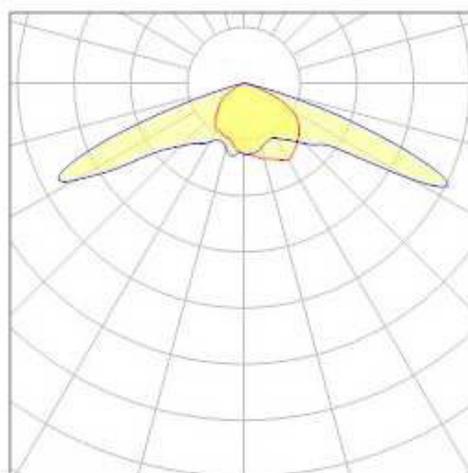
Tabela 3.3 Dados da luminária Isla da Schredder.

Fabricante	Schredder
Potência	150 W VMT
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,8
Difusor	Plano
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$1.420,25

Fonte: Catálogo de luminárias da Schredder

- Vega A-500

Figura 3.4 Luminária Vega A-500 da Almec e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Almec

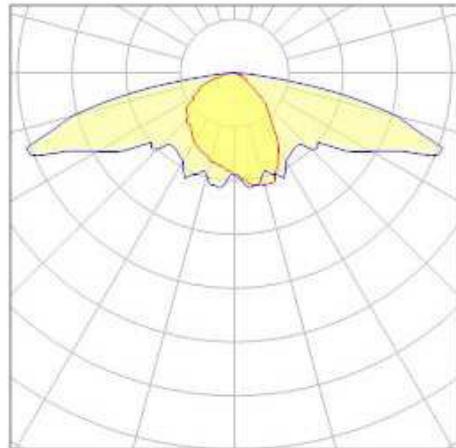
Tabela 3.4 Dados da luminária Vega A-500 da Almec.

Fabricante	Almec
Potência	400 W VMT
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,8
Difusor	Plano
Cor	Cinza RAL 7035
Base para Relé	Possui
Preço	R\$357,00

Fonte: Catálogo de luminárias da Almec

- Rayra DI-1031

Figura 3.5 Luminária Rayra DI-1031 da Repume e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Repume

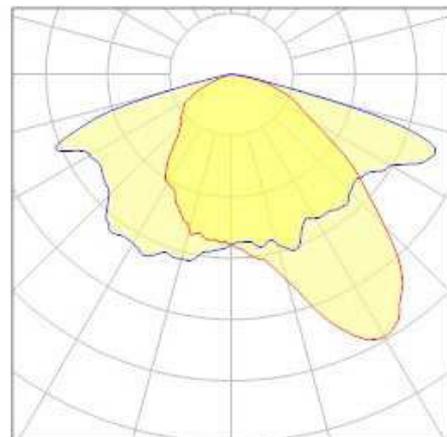
Tabela 3.5 Dados da luminária Rayra DI-1031 da Repume.

Fabricante	Repume
Potência	250 W VMT
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Plano
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Possui
Preço	R\$259,66

Fonte: Catálogo de luminárias da Repume

- Rayra DI-1030

Figura 3.6 Luminária Rayra DI-1030 da Repume e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Repume

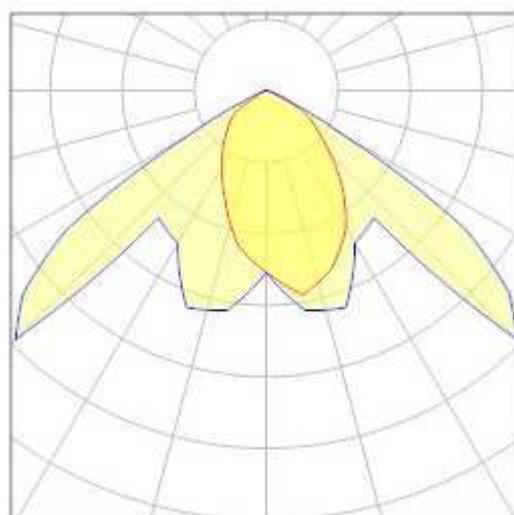
Tabela 3.6 Dados da luminária Rayra DI-1030 da Repume.

Fabricante	Repume
Potência	400 W VMT
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Plano
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Possui
Preço	R\$320,00

Fonte: Catálogo de luminárias da Repume

- Beta 3

Figura 3.7 Luminária Beta 3 da Tecnowatt e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Tecnowatt

Tabela 3.7 Dados da luminária Beta 3 da Tecnowatt.

Fabricante	Tecnowatt
Potência	400 W VMT
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Policurvo
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Possui
Preço	R\$428,48

Fonte: Catálogo de luminárias da Tecnowatt

3.4 Luminárias de LED

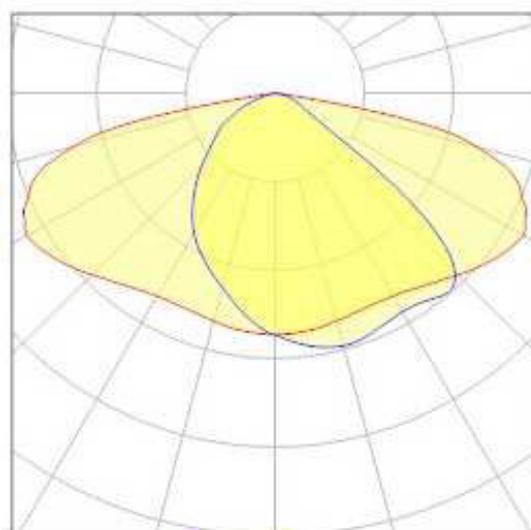
Estas luminárias não utilizam geração de luz por meio de acionamento de vapores sódicos ou metálicos. No lugar disso, utilizam-se diodos emissores de luz alimentados diretamente com energia elétrica resultando em uma redução substancial no seu consumo. Também há um componente muito importante na eficiência das lâmpadas e luminárias de LED, o driver. Este equipamento auxilia e os faz funcionar, ou seja, é a fonte que mantém os LEDs ligados. A eficiência destes dispositivos está intimamente ligada à escolha da melhor fonte para cada instrumento.

Os equipamentos de LED tem dimensões inferiores se comparadas às luminárias de vapor seja ele metálico ou sódio. Os efeitos sentidos pelas vibrações que são sentidas nas luminárias de vapor tem seu efeito diminuto nas luminárias de LED fazendo com que sua vida útil acabe por ser maior. Além disso, o LED possui uma ótima saturação de cor, emite um comprimento de onda que permite gerar luz em uma frequência determinada e específica com uma saturação de cor menor.

Os modelos têm seus detalhes técnicos mostrados nas Tabelas 3.8 a 3.15 e contemplam as luminárias projetadas para substituir as luminárias existentes. Além das especificações técnicas também são mostradas as fotometrias das luminárias e projetores que estão disponíveis para consulta, assim como no caso das luminárias VMT, nas Figuras 3.8 a 3.15.

- Akila

Figura 3.8 Luminária Akila da Schröder e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Schröder

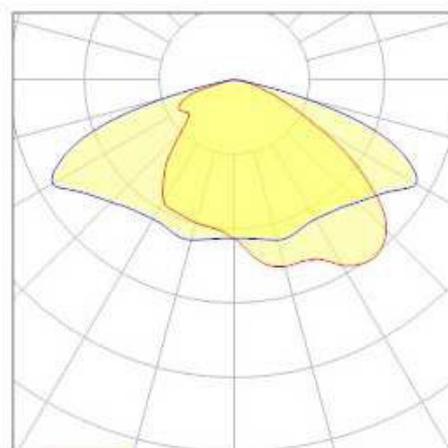
Tabela 3.8 Dados da luminária Akila da Schröder.

Fabricante	Schröder
Número de LEDs	96
Potência	155 W
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,8
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$2.111,19

Fonte: Catálogo de luminárias da Schröder

- YOA Midi

Figura 3.9 Luminária YOA Midi da Schröder e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Schröder

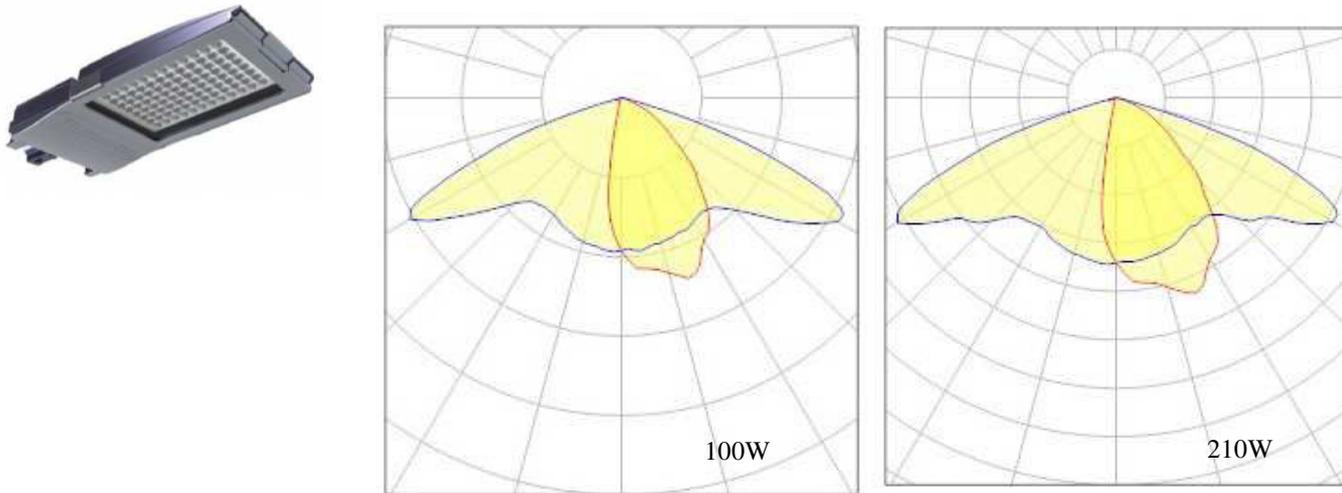
Tabela 3.9 Dados da luminária YOA Midi da Schröder.

Fabricante	Schröder
Número de LEDs	48
Potência	108 W
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,8
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$4.957,07

Fonte: Catálogo de luminárias da Schröder

- Maestra

Figura 3.10 Luminária Maestra da Ilumatic e fotometrias (100W e 210W respectivamente)



Fonte: Catálogo de luminárias da Ilumatic

Tabela 3.10 Dados da luminária Maestra da Ilumatic.

Fabricante	Ilumatic
Número de LEDs	48 ou 96
Potência	100 W ou 210 W
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,8
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 1003 ou 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$1.321,54

Fonte: Catálogo de luminárias da Ilumatic

- BF5030

Figura 3.11 Luminária BF5030 da Crown



Fonte: Catálogo de luminárias da Crown

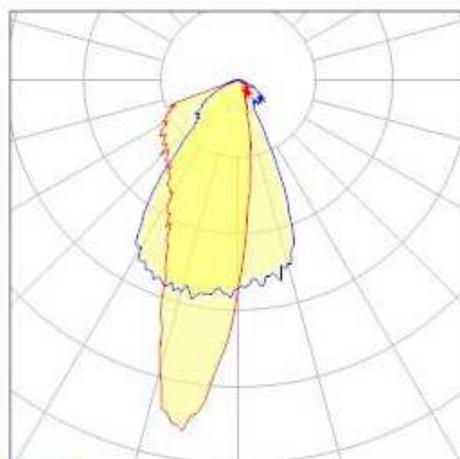
Tabela 3.11 Dados da luminária BF5030 da Crown.

Fabricante	Crown
Número de LEDs	1
Potência	1 W
Vedação	IP-66
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,8
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$95,20

Fonte: Catálogo de luminárias da Crown

- Terra Midi

Figura 3.12 Luminária Terra Midi da Schröder e fotometria



Fonte: Catálogo de luminárias da Schröder

Tabela 3.12 Dados da luminária Terra Midi da Schröder.

Fabricante	Schröder
Número de LEDs	16
Potência	19,2 W
Vedação	IP-67
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$4.763,00

Fonte: Catálogo de luminárias da Schröder

- Aqualed 2L

Figura 3.13 Luminária Aqualed 2L da Osram



Fonte: Catálogo de luminárias da Osram

Tabela 3.13 Dados da luminária Aqualed 2L da Osram.

Fabricante	Osram
Número de LEDs	5
Potência	7,6 W
Vedação	IP-67
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,9
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$1.015,61

Fonte: Catálogo de luminárias da Osram

- Aqualed 2XL

Figura 3.14 Luminária Aqualed 2XL da Osram



Fonte: Catálogo de luminárias da Osram

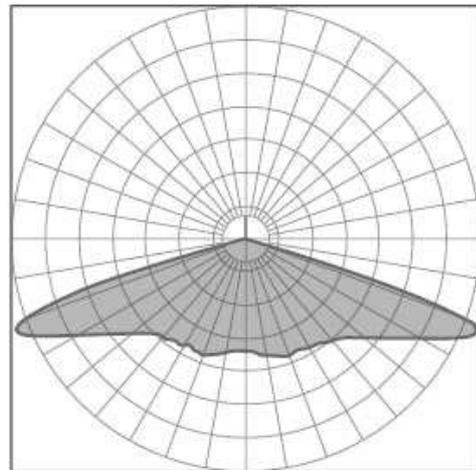
Tabela 3.14 Dados da luminária Aqualed 2XL da Osram.

Fabricante	Osram
Número de LEDs	13
Potência	19,5 W
Vedação	IP-67
Resistência ao choque (vidro)	IK-0,9
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$1.775,14

Fonte: Catálogo de luminárias da Osram

- LMSL 120 ou 200

Figura 3.15 Luminária LMSL 120 ou 200 da Ledstar



Fonte: Catálogo de luminárias da Ledstar

Tabela 3.15 Dados da luminária LMSL 120 ou 200 da Ledstar.

Fabricante	Ledstar
Número de LEDs	24
Potência	120 W ou 200 W
Vedação	IP-67
Resistência ao choque (vidro)	IK-1,0
Difusor	Vidro
Cor	Cinza RAL 7001
Base para Relé	Não possui
Preço	R\$1.160,00 ou R\$2.090,00

Fonte: Catálogo de luminárias da Ledstar

4 ESTUDOS DE CASO

4.1 Introdução

No capítulo que segue será feita a análise do processo de cada projeto visando a melhoria da iluminação nos locais estudados ao ser realizada a troca das luminárias existentes por luminárias de LED.

4.2 Praça Portugal

Na Praça Portugal o primeiro passo para a concepção do projeto foi o levantamento das cargas existentes no local. Esta já havia sofrido uma melhoria anteriormente onde foram trocadas as luminárias de VS existentes no local por luminárias VMT. Nessa ocasião já havia sido contemplada grande parte da praça e assim as luminárias existentes eram em sua maioria VMT. Além das luminárias instaladas em postes, também foi feito um levantamento dos projetores de realce colocados no piso tanto da praça quanto dos quadrantes que a compõem. Nesse levantamento foram inventariados os equipamentos listados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Levantamento do equipamento utilizado em projeto da Praça Portugal

Praça Portugal		
Material	Quantidade	Potência W (un.)
Projektor	14	400
Projektor de Embutir Terra Maxxi	7	150
Projektor de Embutir Terra Maxxi	6	70
Luminária Isla VMT	26	150
Projektor de Fossa	21	250
Luminária Vega	30	400
Total	104	

Fonte: Elaborada pela autora

A elaboração dos projetos arquitetônico e elétrico devem seguir algumas diretrizes conforme a instrução dos órgãos governamentais responsáveis pela iluminação pública e estrutura urbana da cidade de Fortaleza. No caso do projeto da Praça Portugal os requisitos a serem atingidos foram baseados nas Tabelas 3 e 5 da ABNT NBR 5101:2012, conforme mostram as tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente, para a classe de iluminação V1, que é definida pela ABNT como uma categoria de vias largas muito movimentadas, já que seria considerado haver grande fluxo de veículos nas vias que circundam a praça. É importante ressaltar que anteriormente o local não atingia os requisitos mínimos apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Assim, foi optado pelo uso de produtos LED e pelo valor de iluminância média mínima de 50 lx devido à expectativa de grande fluxo tanto de veículos como de pedestres, objetivando, assim, uma melhoria na qualidade de convivência no local, como determinado por responsáveis da Prefeitura Municipal de Fortaleza. A iluminância média é definida como o valor obtido pela média dos valores máximo e mínimo de iluminância em determinado local. Sua unidade no Sistema Internacional (SI) é o lux (lx).

Na Tabela 4.2 são mostrados conceitos utilizados na ABNT NBR 5101:2012. A uniformidade de iluminância é representada por U0, enquanto que UL representa a uniformidade de luminância. O incremento de limiar, representado por TI na norma, indica a porcentagem de ofuscamento devido a luminância de determinada fonte de luz. A razão das áreas adjacentes à via, SR, relaciona a iluminância média das áreas adjacentes à via com uma faixa de 5 metros de largura e a da própria via.

Tabela 4.2 Requisitos de Luminância e Uniformidade

Classe de Iluminação	Lmed	UO ≥	UL ≤	TI %	SR
V1	2,00	0,40	0,70	10	0,5

Fonte: Tabela 3 da ABNT NBR 5101:2012

Tabela 4.3 Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação

Classe de iluminação	Iluminância média mínima Emed,mín lux	Fator de uniformidade mínimo U=Emín/Emed
V1	30	0,40

Fonte: Tabela 5 da ABNT NBR 5101:2012

Assim, um estudo luminotécnico foi feito baseado no arquitetônico, no qual os requisitos mínimos foram alcançados. Neste projeto foram usadas as luminárias listadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 Equipamentos de LED utilizados no projeto de revitalização da Praça Portugal

Material Projetado	Quantidade	Potência (W)
Luminária YOA Midi	41	180
Luminária Maestra	22	100
Luminária Maestra	16	210
Projektor de Piso Terra Midi	16	19,2
Projektor de Piso Aqualed	246	19,5
Projektor de Piso RGB	16	20
Balizador de Piso Crown	99	1
Total	456	

Fonte: Elaborada pela autora

A praça foi totalmente reformada e nela foram feitas instalações em que é preciso um melhor aproveitamento da iluminação, como uma academia a céu aberto, uma estação de bicicletas, espaços destinados a lanchonetes móveis, ciclovias e alguns outros equipamentos. Para cada aparelho foi pensado um tipo de iluminação diferente que contemplasse os requisitos necessários e que mantivesse um ambiente agradável para a população.

4.3 Avenida Coronel Miguel Dias

Na obra de melhoria da Avenida Coronel Miguel Dias foi feito o mesmo processo inicial pensado para o projeto anterior. Foi realizado um levantamento das cargas existentes no local e dos pontos de melhoria a serem instalados, estes estão na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 Levantamento do material da Av. Coronel Miguel Dias

Av. Cel. Miguel Dias		
Material	Quantidade	Potência (W)
Luminária Ilumatic	76	400

Fonte: Elaborada pela autora

Após esse inventário, foi desenvolvido o projeto que visava somente a troca das luminárias existentes para luminárias com tecnologia LED. As luminárias escolhidas para esta troca foram as da fabricante Schröder. A quantidade de luminárias instaladas e o modelo das luminárias substitutas estão alocados na Tabela 4.6. Também é importante ressaltar que anteriormente à melhoria o local não atingia os requisitos mínimos apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.6 Luminária de LED utilizada na melhoria da Av. Coronel Miguel Dias

Av. Cel Miguel Dias		
Material Projetado	Quantidade	Potência (W)
Luminária Akila Road	92	155

Fonte: Elaborada pela autora

Nessa revitalização também foi contemplada uma área de alargamento da avenida, contudo essa obra foge do escopo desse trabalho, pois não foram usadas luminárias de LED e assim não será analisada.

4.4 Rotatória da Avenida Governador Raul Barbosa

O projeto de melhoria da Avenida Governador Raul Barbosa integrou a melhoria da iluminação pública no local da implantação de um viaduto construído e também obras civis visando uma total revitalização da área ocupada pelo cruzamento das Ruas Capitão Aragão, Murilo Borges e da própria Avenida que nomeia o projeto.

Assim como nos outros projetos a concepção inicial é baseada em um levantamento de cargas que indica as luminárias existentes no local. Estes equipamentos estão na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 Levantamento do material da Rotatória da Av. Governador Raul Barbosa

Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa		
Material	Quantidade	Potência (W)
Luminária Rayra	50	250
Luminária Rayra	88	400
Luminária Beta	4	400
Projektor Crown	6	90
Total	148	

Fonte: Elaborada pela autora

Após o estudo das cargas existentes foi feito um estudo luminotécnico para que pudesse ser maximizada a qualidade da iluminação tanto das vias que iriam ser construídas como também daquelas que foram reformadas fazendo uso dos postes existentes e instalando-se novos pontos de iluminação para que o requisito mínimo de iluminância média fosse alcançado. Os parâmetros utilizados para o requisito de iluminância média foram os mesmos estipulados para o projeto de iluminação da Praça Portugal. Apesar de o projeto da rotatória se encaixar na classe V1 de vias estabelecida pela norma ABNT NBR 5101:2012, a iluminância média estabelecida foi de 50 lx em todas as faixas que compõem a rotatória, conforme determinação da Prefeitura. É importante ressaltar que assim como os projetos anteriores, o local onde foi feita a obra de melhoria não atingia os requisitos mínimos apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Assim, com o projeto luminotécnico concebido, foram escolhidos os materiais a serem utilizados. Estes equipamentos estão listados na Tabela 4.8 e seguem o padrão dos projetos anteriores em que todos possuem tecnologia LED em sua composição.

Tabela 4.8 Equipamentos de LED utilizados no projeto de revitalização da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa

Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa		
Material Projetado	Quantidade	Potência
Luminária Maestra	81	100
Luminária Maestra	127	210
Luminária Akila Bay	22	155
Projektor Truck LED	44	23
Projektor Focal LED	40	45
Total	314	

Fonte: Elaborada pela autora

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

5.1 Introdução

Neste capítulo serão avaliados os resultados qualitativos e quantitativos obtidos com a aplicação das luminárias de LED nos projetos propostos. Serão feitas diferentes análises buscando um parecer crítico sobre essa aplicação e se a mesma é viável compensando o investimento realizado com uma possível expectativa de lucro dessas obras de grande porte propostas pela Prefeitura da cidade de Fortaleza. Nesse estudo serão feitas verificações comparativas entre o resultado aplicado ou esperado com a situação anterior ao projeto de melhoria.

5.2 Análise comparativa de custo das luminárias

A comparação de custo entre as luminárias existentes e aplicadas será melhor analisada observando cada caso individualmente e explicitando essa comparação por projeto estudado. Assim, cada projeto será verificado, os preços de cada luminária serão explicitados e no fim será feita uma contraposição entre os valores monetários dos equipamentos.

5.2.1.1 Custo das Luminárias: Praça Portugal

A quantidade de luminárias existente na Praça Portugal antes do projeto de melhoria está listada na Tabela 5.1 com seus valores unitários.

Tabela 5.1 Valor das luminárias existentes na Praça Portugal

Praça Portugal			
Material	Quantidade	Valores unitários	Valor total
Projektor	14	R\$282.91	R\$ 3.960,74
Projektor de Embutir Terra Maxxi	2	R\$2,060.90	R\$ 4.121,80
Projektor de Embutir Terra Maxxi	6	R\$2,060.90	R\$ 12.365,40
Luminária Isla VMT	26	R\$1,040.25	R\$ 27.046,50
Projektor de Fossa	21	R\$401.35	R\$ 8.428,35
Luminária Vega	30	R\$357.00	R\$ 10.710,00
Total	99		R\$66.632,79

Fonte: Elaborada pela autora

As luminárias utilizadas no projeto de melhoria da Praça, bem como seus valores comerciais, estão listadas na Tabela 5.2

Tabela 5.2 Valor das luminárias aplicadas no projeto de melhoria da Praça Portugal

Praça Portugal			
Material	Quantidade	Valores unitários	
Luminária YOA Midi	41	R\$4,957.07	R\$ 203.239,87
Luminária Maestra	22	R\$1,321.54	R\$ 29.073,88
Luminária Maestra	16	R\$2,122.79	R\$ 33.964,64
Projektor de Piso Terra Midi	16	R\$4,763.00	R\$ 76.208,00
Projektor de Piso Aqualed	246	R\$1,775.14	R\$ 436.684,44
Projektor de Piso RGB	16	R\$2,325.62	R\$ 37.209,92
Balizador de Piso Crown	99	R\$95.20	R\$ 9.424,80
Total	456		R\$ 825.805,55

Fonte: Elaborada pela autora

O valor total do material existente na praça baseando-se somente na quantidade das luminárias e projetores existentes no local era de R\$ 66.632,79, já o valor total unitário das luminárias e projetores aplicados na reforma da Praça Portugal é de aproximadamente R\$825.805,55. Comparando exclusivamente os valores monetários das luminárias pode-se notar que as luminárias existentes VMT são expressivamente mais baratas que as luminárias LED aplicadas posteriormente no projeto de melhoria. Contudo serão feitas outras análises referentes à aplicação de luminárias de LED para que se possa constatar a real viabilidade do uso dessas luminárias como alternativa eficiente nos projetos de iluminação pública. Além do que é preciso ressaltar que o projeto novo da Praça Portugal inclui locais que antes eram defasados de iluminação e assim haverá um acréscimo considerável no número de equipamentos a serem aplicados no projeto de melhoria.

5.2.2 Custo das Luminárias: Avenida Coronel Miguel Dias

No projeto da Av. Cel. Miguel Dias a comparação entre o material aplicado e o material existente torna-se mais simples, pois somente foi contemplada nessa obra a troca das luminárias existente no local por luminárias de LED.

A quantidade de luminárias existentes e seus valores estão listados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Valor das luminárias existentes na Av. Cel. Miguel Dias

Av. Cel. Miguel Dias			
Material	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Luminária Ilumatic	76	R\$257.40	R\$ 19.562,40

Fonte: Elaborada pela autora

A quantidade de luminárias de LED que foram utilizadas no projeto de melhoria da Avenida e seu valor unitário estão listados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 Valor das luminárias aplicadas no projeto de melhoria da Av. Cel Miguel Dias

Av. Cel. Miguel Dias			
Material	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Luminária Akila Road	92	R\$2,111.19	R\$ 194.229,48

Fonte: Elaborada pela autora

Novamente ao se comparar os valores totais do material existente e do material aplicado existe uma discrepância grande entre os valores encontrados. O valor total do material existente é de R\$19.562,40 e do material aplicado na melhoria é de R\$194.229,48. Com esse resultado pode-se constatar em um primeiro momento que ao levar em consideração somente o valor unitário das luminárias a solução com equipamentos VMT é mais barata que as luminárias de LED, embora ainda haja mais análises a serem feitas.

5.2.3 Custo das Luminárias: Rotatória da Avenida Governador Raul Barbosa

O projeto da Rotatória, similarmente ao projeto da Praça Portugal, envolve materiais diferentes, luminárias e projetores, sendo assim é preciso levar em consideração o preço unitário dos dois tipos de equipamentos.

A quantidade de luminárias e projetores existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa e seu valor unitário estão listados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Valor das luminárias existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa

Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa			
Material	Quantidade	Valores unitários	Valor total
Luminária Rayra	50	R\$387.55	R\$ 19.377,50
Luminária Rayra	88	R\$392.00	R\$ 34.496,00
Luminária Beta	4	R\$428.48	R\$ 1.713,92
Projetor Crown	6	R\$151.60	R\$ 909,60
Total	148		R\$ 56.497,02

Fonte: Elaborada pela autora

A quantidade de luminárias e projetores de LED que foram utilizados no projeto de melhoria da Rotatória e seu valor unitário estão listados na Tabela 5.6. Essa quantidade já contempla áreas que foram aplicados novos pontos projetados e que não faziam parte da iluminação do local anteriormente fazendo com que haja um acréscimo de equipamentos a serem instalados.

Tabela 5.6 Valor das luminárias aplicadas no projeto de melhoria da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa

Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa			
Material	Quantidade	Valores unitários	Valor total
Luminária Maestra	81	R\$1,321.54	R\$ 107.044,74
Luminária Maestra	127	R\$2,122.79	R\$ 269.594,33
Luminária Akila Bay	22	R\$3,133.68	R\$ 68.940,96
Projeto Truck LED	44	R\$2,680.00	R\$ 117.920,00
Projeto Focal LED	40	R\$1,281.11	R\$ 51.244,40
Total	314		R\$ 563.500,03

Fonte: Elaborada pela autora

Assim como nos projetos anteriores as luminárias VMT tem um valor muito inferior às de LED aplicadas no projeto de melhoria levando-se em consideração somente seus valores unitários. O montante total referente às luminárias existentes é de R\$56.497,02 e o relativo às luminárias de LED é de R\$563.500,03. Esses valores encontrados não são suficientes para uma tomada de decisão a respeito do uso ou não de luminárias LED nos projetos sendo preciso fazer outras análises para encontrar a real viabilidade do uso desses equipamentos.

5.3 Análise comparativa de manutenção das luminárias

Todo equipamento requer manutenção periódica e os que são utilizados na iluminação pública não são exceção. No entanto, devido a diferenças de construção e de funcionamento, as luminárias a vapor e a LED necessitam de períodos diferentes e formas diferentes de manutenção. Longos períodos sem esta atenção podem resultar num aumento do gasto energético e em uma precarização no sistema de iluminação, comprometendo, assim, a eficiência resultante.

A manutenção das luminárias a vapor é normalmente realizada por meio da limpeza ou, se necessário, da completa substituição da lente difusora, da substituição de lâmpada quebrada ou queimada e da substituição de reator queimado ou quebrado. Os custos para tal são baixos, apenas os custos de mão de obra e de possíveis trocas de materiais são considerados.

Como as luminárias a LED possuem inúmeros LEDs, sua confiabilidade acaba por ser maior, pois mesmo que vários quebrem ou queimem, os restantes ainda permanecerão com o sistema de iluminação funcionando, mesmo que resultem numa intensidade menor. Assim, a manutenção é feita na troca destes LEDs comprometidos ou de um driver queimado.

Como observado em estudo realizado pelo Instituto Federal Catarinense-IFC, que teve como objetivo principal investigar o custo de manutenção nos projetos usando lâmpadas de

LED, e divulgado por empresa de produtos e projetos em iluminação Celena Par (PADILHA, JUNG, & RODRIGUES, 2015), apesar do alto custo de instalação, a utilização de lâmpadas LED representaram economia superior a R\$ 28.000,00 em manutenção (Celena Par, 2016).

Na tabela 5.7 encontram-se valores estimados para manutenção em cada caso.

Tabela 5.7 Valores estimados de manutenção para substituição de materiais

Material	Luminárias a Vapor	Luminárias LED
Lente	R\$58,85	-
Lâmpada	R\$75,49	R\$16,00
Reator/Driver	R\$50,93	R\$95,71
Mão de obra (hora)	R\$110,98	R\$110,98
Total	R\$296,25	R\$222,69

Fonte: Elaborada pela autora

5.4 Análise da potência instalada pelas luminárias

O estudo comparativo da potência instalada das luminárias pode ser realizado contrastando a potência das luminárias existentes e a potência das luminárias de LED aplicadas nos projetos de melhoria. Um estudo de cada projeto é necessário para que se possa analisar a potência em cada um dos projetos individualmente.

5.4.1 Potência Instalada: Praça Portugal

A potência instalada dos projetores e luminárias existentes na Praça Portugal anteriormente ao projeto de revitalização está listada na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Praça Portugal

Praça Portugal			
Material Retirado	Quantidade	Potência W (un.)	Potência Total (kW)
Projektor	14	400	5.60
Projektor de Embutir	7	150	1.05
Projektor de Embutir	6	70	0.42
Luminária	26	150	3.90
Projektor de Fossa	21	250	5.25
Luminária	30	400	12.00
Total	104		28.22

Fonte: Elaborada pela autora

A potência instalada dos projetores e luminárias que foram instalados no projeto de melhoria da Praça Portugal está listada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 Potência Instalada dos equipamentos instalados com tecnologia LED na Praça Portugal

Praça Portugal			
Material Instalado	Quantidade	Potência W (un.)	Potência Total (kW)
Luminária YOA Midi	41	108	4.43
Luminária Maestra	22	100	2.20
Luminária Maestra	16	210	3.36
Projektor de Piso Terra Midi	16	19.2	0.31
Projektor de Piso AquaLED	246	19.5	4.80
Projektor de Piso RGB	16	20	0.32
Balizador de Piso Crown	99	1	0.10
Total	456		15.51

Fonte: Elaborada pela autora

Nas Tabelas 5.8 e 5.9 são consideradas somente as potências dos equipamentos e com esses dados é possível fazer um cálculo que relacione as potências para que se possa averiguar a economia resultante da troca das luminárias e projetores da praça.

$$RP = \frac{P_{ei}}{P_{ee}} = \frac{15,51 \text{ kW}}{28,22 \text{ kW}} = 0,55 = 55\% \quad (1)$$

Sendo,

RP: Relação entre as potências;

Pei: Potência dos equipamentos instalados no projeto de reforma;

Pee: Potência dos equipamentos existentes antes da reforma.

Logo, entende-se que houve uma economia de cerca de 45% no consumo de potência com a troca dos materiais VMT para LED, o que é uma economia de potência relevante.

Considerando-se ainda, para efeito de comparação, que a perda causada pelo tipo de instalação dos cabos chegue a 5% do valor total da potência instalada é preciso refazer o cálculo da potência instalada levando-se em consideração esse parâmetro para antes da reforma e após a melhoria.

A perda nos equipamentos VMT é referente ao reator presente nas luminárias e projetores. Essas perdas estão listadas na Tabela 5.10. As luminárias de LED não possuem perdas por reator e, portanto, os valores designados não serão aplicados às mesmas.

Tabela 5.10 Perdas nos reatores das Luminárias VMT

Perdas		
Lâmpada (W)	Reator (W)	Potência Total (W)
70	15	85
150	26	176
250	37	287
400	46	446
600	60	660
1000	70	1070

Fonte: Elaborada pela autora

Refazendo os cálculos com o valor da perda nos tem-se os resultados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Praça Portugal relacionada com as perdas

Praça Portugal					
Material Retirado	Quantidade	Potência (W)	Perdas (W)	Potência (un.) + Perdas (W)	Potência Total (kW)
Projektor	14	400	46	446	6.24
Projektor de Embutir	7	150	26	176	1.23
Projektor de Embutir	6	70	15	85	0.51
Luminária	26	150	26	176	4.58
Projektor de Fossa	21	250	37	287	6.03
Luminária	30	400	46	446	13.38
Total	104				31.97

Fonte: Elaborada pela autora

$$E_{PT} = 1 - \left(\frac{P_{ei} + perdas}{P_{ee} + perdas} \right) = 1 - \left(\frac{15,51 + (0,05 \times 15,51)}{31,97 + (0,05 \times 31,97)} \right) = 1 - 0,485 = 51,5\% \quad (2)$$

Sendo,

E_{PT} : Economia de Potência Total

Assim, a economia final passaria a ser de 51,5% com relação aos equipamentos anteriormente instalados na Praça Portugal.

5.4.2 Potência Instalada: Avenida Coronel Miguel Dias

As potências instaladas das luminárias existentes na Avenida Coronel Miguel Dias estão listadas na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Av. Coronel Miguel Dias

Av. Cel. Miguel Dias			
Material Retirado	Quantidade	Potência W (un.)	Potência Total (kW)
Luminária Ilumatic	76	400	30.40

Fonte: Elaborada pela autora

As potências instaladas dos equipamentos com tecnologia LED na mesma Avenida estão designadas na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 Potência Instalada dos equipamentos instalados com tecnologia LED na Av. Coronel Miguel Dias

Av. Cel Miguel Dias			
Material Instalado	Quantidade	Potência	Potência Total (KW)
Luminária Akila Road	92	155	14,26

Fonte: Elaborada pela autora

Como no projeto anterior, as potências especificadas não levam em consideração as perdas relativas a instalação dos equipamentos bem como as existentes no próprio equipamento.

$$RP = \frac{P_{ei}}{P_{ee}} = \frac{12,87 \text{ kW}}{30,40 \text{ kW}} = 0,469 = 47\% \quad (3)$$

Conseqüentemente com o resultado obtido pode-se notar que a potência instalada com as luminárias de LED é apenas 42% da potência instalada dos equipamentos VMT. Assim é possível atestar economia de cerca de 58% da potência instalada antes da troca das luminárias.

Para uma melhor avaliação do resultado também será levado em consideração uma perda de 5% por questões de instalação e perdas nos equipamentos. Além desse parâmetro também é necessário refazer o cálculo de consumo da potência instalada das luminárias VMT utilizadas anteriormente na Avenida Cel. Miguel Dias. Este resultado está na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Av. Cel. Miguel Dias relacionada às perdas

Av. Cel. Miguel Dias					
Material Retirado	Quantidade	Potência W (un.)	Perdas (W)	Potência (un.) + Perdas (W)	Potência Total (kW)
Luminária Ilumatic	76	400	46	446	33.90

Fonte: Elaborada pela autora

$$E_{PT} = 1 - \left(\frac{P_{ei} + \text{perdas}}{P_{ee} + \text{perdas}} \right) = 1 - \left(\frac{14,26 + (0,05 \times 14,26)}{33,90 + (0,05 \times 33,90)} \right) = 1 - 0,42 = 58\% \quad (4)$$

Dessa maneira a economia passaria a ser de aproximadamente 58% se compararmos os valores de potência instalada atual e à potência instalada antes da obra de revitalização.

5.4.3 Potência Instalada: Rotatória Avenida Governador Raul Barbosa

As potências instaladas dos equipamentos existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa estão listadas na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 Potência Instalada pelos equipamentos existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa

Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa			
Material Retirado	Quantidade	Potência W (un.)	Potência Total (kW)
Luminária Rayra	50	250	12.50
Luminária Rayra	88	400	35.20
Luminária Beta	4	400	1.60
Projeto Crown	6	70	0.54
Total	148		49.84

Fonte: Elaborada pela autora

A potência instalada dos equipamentos que foram projetados com tecnologia LED para a Rotatória e seu entorno estão designadas na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 Potência Instalada dos equipamentos projetados com tecnologia LED para a Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa

Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa			
Material Instalado	Quantidade	Potência W (un.)	Potência Total (kW)
Luminária Maestra	81	100	8.10
Luminária Maestra	127	210	26.67
Luminária Akila Bay	22	155	3.41
Projeto Truck LED	44	23	1.01
Projeto Focal LED	40	45	1.80
Total	314		41

Fonte: Elaborada pela autora

Sabendo-se que as perdas nos reatores das luminárias VMT não foram consideradas inicialmente, é feito o cálculo para que no fim seja feita uma comparação real entre as potências instaladas antes da construção da rotatória e a quando iluminação proposta para o local for totalmente instalada, como mostra a Tabela 5.17.

Tabela 5.17 Potência Instalada dos equipamentos existentes na Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa relacionada com as perdas

Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa					
Material Retirado	Quantidade	Potência W (un.)	Perdas (W)	Potência (un.) + Perdas (W)	Potência Total (kW)
Luminária Rayra	50	250	37	287	14.35
Luminária Rayra	88	400	46	446	39.25
Luminária Beta	4	400	46	446	1.78
Projeto Crown	6	70	15	85	0.51
Total	148				55.9

Fonte: Elaborada pela autora

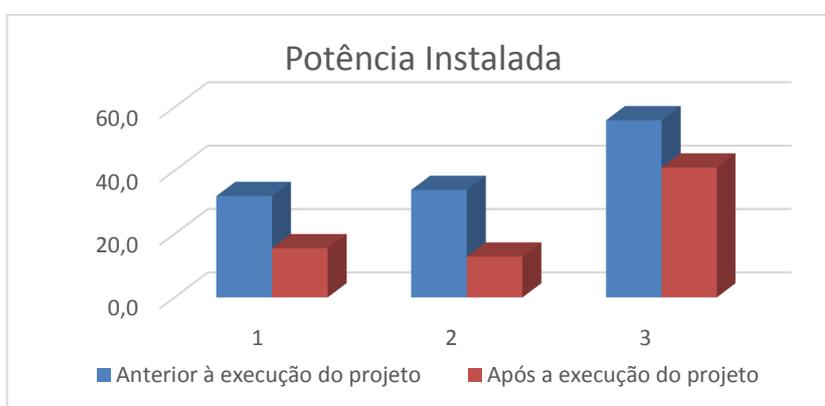
Desta forma, a economia de potência total é dada pela Equação 5.

$$E_{PT} = 1 - \left(\frac{P_{ei} + \text{perdas}}{P_{ee} + \text{perdas}} \right) = 1 - \left(\frac{41 + (0,05 \times 41)}{55,9 + (0,05 \times 55,9)} \right) = 1 - 0,73 = 27\% \quad (5)$$

É importante ressaltar que nesse caso a economia de potência instalada foi inferior à dos projetos anteriores, o que pode ter sido causado pela potência alta dos equipamentos a serem aplicados nesta obra.

Em síntese, o gráfico da Figura 5.1 destaca a economia de potência nos projetos.

Figura 5.1 Resumo das Potências Existentes e Instaladas nos Projetos Estudados



Fonte: Elaborado pela autora

5.5 Análise de comparativa de consumo das luminárias

O imposto pago para o Custeio da Iluminação Pública (CIP) é uma taxa municipal instituída pelo Artigo 149-A da Constituição Federal baseado na Emenda Constitucional nº 39, de 2002. Essa taxa serve para subsidiar os serviços públicos de iluminação sendo eles: instalação de luminárias, consumo de energia, manutenção dos pontos existentes, melhorias em locais onde há deficiência na iluminação, operação e fiscalização e demais serviços relacionados à iluminação pública. No município de Fortaleza a iluminação de praças, campos, avenidas, ruas e locais públicos é custeada pela CIP (SEFIN, 2016).

Todas as unidades consumidoras (UC) pagam a taxa da CIP referente ao seu consumo, seja essa UC residencial, comercial ou industrial que esteja locada dentro do município e que possua ligação autônoma de energia. A contribuição da CIP é lançada mensalmente na conta de energia elétrica cobrada pela concessionária de acordo com o consumo do cliente. A

quantia referente à CIP é calculada aplicando-se o valor da alíquota, levando-se em consideração a faixa de consumo e tipo de consumidor a ser cobrado, no valor da tarifa estipulada pela ANEEL. Portanto, os reajustes deste imposto são feitos toda vez que a ANEEL corrige o valor base da tarifa de energia elétrica. No ano de 2016 o valor base da tarifa, ou seja, o módulo da tarifa de iluminação pública é de R\$424,81, que é o valor referente a 1000kWh (O Povo, 2016). Este valor foi menor nos anos anteriores chegando a ser R\$271,40 no ano de 2014 e R\$407,28 no ano de 2015 quando houve um aumento expressivo no valor das contas de luz que foi refletido no valor do módulo estipulado pela ANEEL.

A arrecadação da CIP tem crescido ao passar dos anos. Na Figura

Figura 5.2 Arrecadações da CIP entre 2013 e 2016

Arrecadação da CIP

2013: R\$112 milhões

2014: R\$130 milhões

2015: R\$ 181 milhões

2016 (até julho): 80,2 milhões

Fonte: Jornal O Povo

A Tabela 5.18 resume as faixas de consumo e a taxa a ser paga em cada uma delas levando-se em consideração o módulo da Tarifa de Iluminação Pública para consumidores residenciais e a Tabela 5.19 traz a mesma correspondência para os outros tipos de consumidores designados pela concessionária.

Tabela 5.18 Tabela de Cálculo da CIP: Classe Residencial

Valor base da taxa de CIP	
	R\$ 424.81
Consumo Residencial	
Tarifa a ser paga na CIP	
Até 30kWh	R\$ 3.06
De 31kWh a 100kWh	R\$ 4.55
De 101kWh a 150kWh	R\$ 10.71
De 151kWh a 200kWh	R\$ 11.38
De 201kWh a 250kWh	R\$ 12.06
De 251kWh a 350kWh	R\$ 28.42
De 351kWh a 400kWh	R\$ 28.50
De 401kWh a 500kWh	R\$ 28.97
De 501kWh a 800kWh	R\$ 58.92
De 801kWh a 1000kWh	R\$ 80.93
De 1001kWh a 2000kWh	R\$ 147.24
Acima de 2000kWh	R\$ 152.51

Fonte: Elaborado pela autora

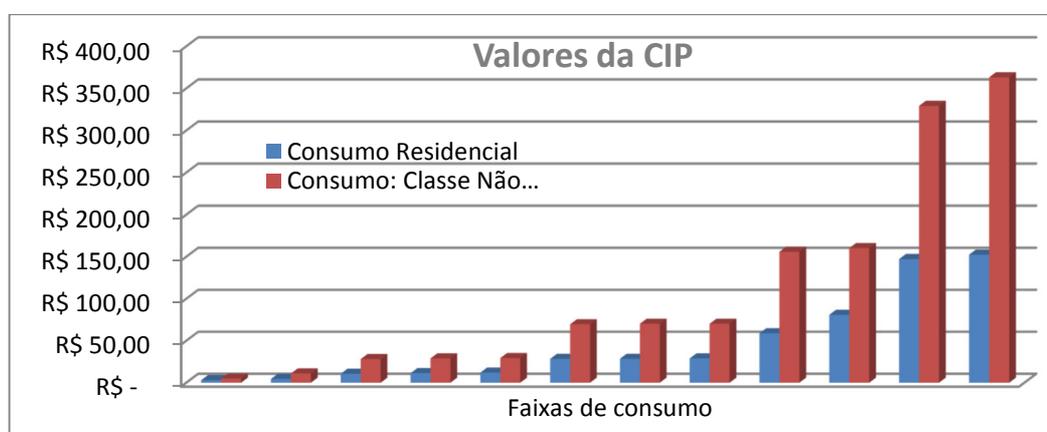
Tabela 5.19 Tabela de Cálculo da CIP: Classe Não Residencial

Valor base da taxa de CIP	
	R\$ 424.81
Consumo: Classe Não Residencial	Tarifa a ser paga na CIP
Até 30kWh	R\$ 4.93
De 31kWh a 100kWh	R\$ 11.00
De 101kWh a 150kWh	R\$ 28.16
De 151kWh a 200kWh	R\$ 28.97
De 201kWh a 250kWh	R\$ 29.35
De 251kWh a 350kWh	R\$ 69.58
De 351kWh a 400kWh	R\$ 70.18
De 401kWh a 500kWh	R\$ 70.26
De 501kWh a 800kWh	R\$ 155.95
De 801kWh a 1000kWh	R\$ 160.24
De 1001kWh a 2000kWh	R\$ 329.23
Acima de 2000kWh	R\$ 363.17

Fonte: Elaborado pela autora

Os valores apresentados pelas Tabelas 5.18 e 5.19 são representados graficamente na Figura 5.2 para uma visualização comparativa entre os valores para as classes residencial e não residencial.

Figura 5.3 Comparativo dos valores da CIP para consumidores residenciais e não residenciais



Fonte: Elaborado pela autora

Para fins de estudo e análise será considerado o valor do módulo da tarifa designado pela ANEEL para o cálculo do custo do consumo das luminárias e projetores, existentes e aplicados, para cada um dos projetos e assim ser feita uma avaliação monetária deste consumo. Também será considerado que as luminárias e projetores ficam ligadas durante 12 horas por dia.

Na Tabela 5.20 está um resumo do consumo dos equipamentos existentes e projetados em cada uma das obras analisadas. Foi feita uma estimativa diária, mensal e anual do

consumo dessas luminárias para que se possa examiná-lo em um período consistente de tempo e esse cálculo está resumido na Tabela 5.21.

Tabela 5.20 Resumo do consumo dos equipamentos

	Potência dos equip. existentes (kW)	Potência dos equip. projetados (kW)	Consumo diário dos equip. existentes (kWh)	Consumo diário dos equip. projetados (kWh)	Consumo mensal dos equip. existentes (kWh)	Consumo mensal dos equip. projetados (kWh)	Consumo anual dos equip. existentes (kWh)	Consumo anual dos equip. projetados (kWh)
Praça Portugal	32.0	15.5	384	186	11509	5584	138106	67008
Av. Cel. Miguel Dias	33.9	12.9	407	154	12203	4631	146431	55577
Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa	55.9	41.0	671	492	20121	14757	241453	177085

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 5.21 Resumo do valor monetário do consumo dos equipamentos

	Potência dos equip. existentes (kW)	Potência dos equip. projetados (kW)	Custo diário dos equip. existentes (R\$)	Custo diário dos equip. projetados (R\$)	Custo mensal dos equip. existentes (R\$)	Custo mensal dos equip. projetados (R\$)	Custo anual dos equip. existentes (R\$)	Custo anual dos equip. projetados (R\$)
Praça Portugal	32.0	15.5	R\$ 162,97	R\$ 79,07	R\$ 4.889,07	R\$ 2.372,15	R\$ 58.668,84	R\$ 28.465,83
Av. Cel. Miguel Dias	33.9	12.9	R\$ 172,79	R\$ 65,58	R\$ 5.183,77	R\$ 1.967,47	R\$ 62.205,23	R\$ 23.609,58
Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa	55.9	41.0	R\$ 284,92	R\$ 208,97	R\$ 8.547,65	R\$ 6.268,97	R\$ 102.571,84	R\$ 75.227,67

Fonte: Elaborado pela autora

Através dos valores mostrados nas Tabelas 5.21 observou-se uma economia no valor do consumo nos três projetos estudados. No projeto da Praça Portugal a economia foi de R\$30.203,01, no projeto da Av. Cel. Miguel Dias foi de R\$38.595,65 e no projeto da rotatória foi de R\$27.344,17.

5.6 Análise do *payback* dos projetos propostos

Esta análise levará em consideração os resultados obtidos anteriormente visando avaliar a viabilidade financeira dos projetos estudados. A ferramenta utilizada para fazer esta análise de viabilidade financeira será o cálculo do *payback*. O *payback* nada mais é que a quantidade de

tempo necessária para que se possa recuperar um investimento feito em determinado projeto. A taxa de retorno é normalmente medida em meses ou anos e depende da aplicação a que se propõe.

Desde o princípio só está sendo avaliado nas obras de melhoria o valor dos equipamentos utilizados e existentes, contudo há outros quesitos de projeto que não foram contemplados como, por exemplo, os cabos utilizados na instalação destes equipamentos, eletrodutos dimensionados, postes, custo de instalação e transporte dos equipamentos etc, e, portanto, não serão avaliados no *payback*. Esses itens que não serão contemplados no fluxo de caixa para o cálculo do tempo de retorno poderão alterar a quantidade de anos em que a compra das luminárias se tornaria economicamente viável, contudo alguns desses fatores não puderam ser matematicamente dimensionados e assim não farão parte do cálculo final.

Neste caso o cálculo do *payback* se dá utilizando o valor inicial do investimento da compra dos equipamentos e como retorno o valor do consumo de energia economizado para cada projeto (Faz a Conta, 2015). Não foi levada em consideração a manutenção das luminárias e projetores visto que esse processo é realizado somente nos equipamentos que se encontram com algum tipo de defeito, que sofreram vandalismo, como por exemplo, a quebra de lente das luminárias, ou que foram furtadas de seus locais de instalação. Como se trata de um parâmetro muito volátil decidiu-se por não calcular o *payback* prevendo intervenções de manutenção. As Tabelas 5.22 a 5.24 e as Figuras 5.3 a 5.5 mostram os períodos para obtenção do *payback*, bem como para a obtenção do retorno de todo o investimento.

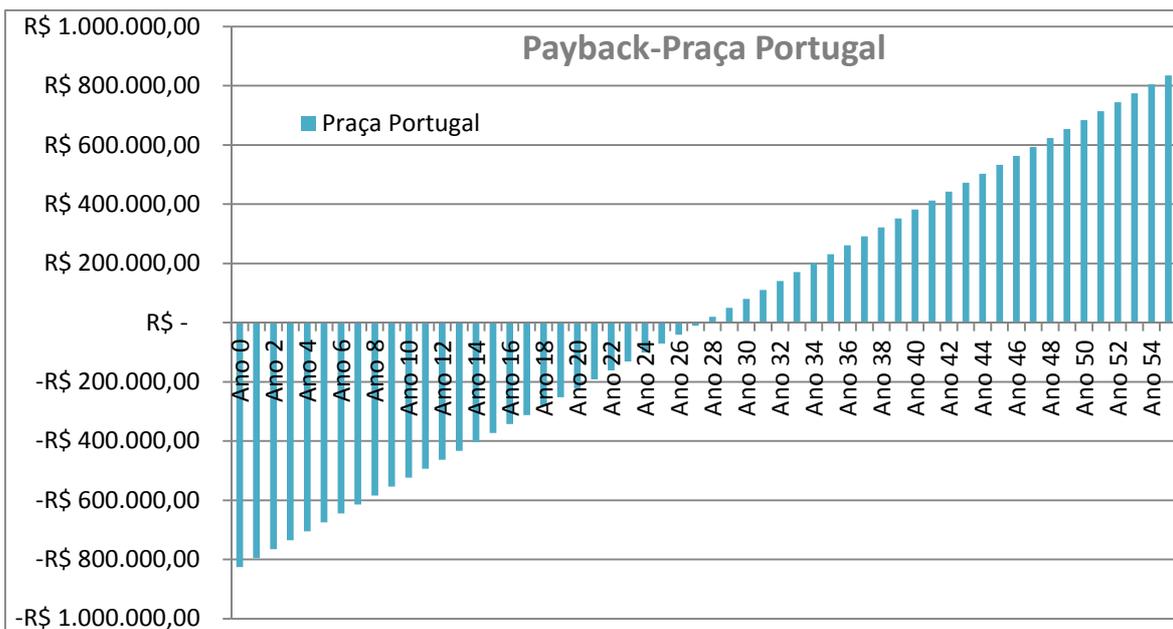
Também é preciso ressaltar que no cálculo do *payback* foi previsto não somente o tempo para que o projeto se pague como também o tempo necessário para que o valor investido inicialmente retorne aos cofres públicos. Para este cálculo não foram levadas em consideração as taxas de juros vigentes como a inflação, pois foge do escopo da proposta do projeto.

Tabela 5.22 Análise do *payback* do projeto da Praça Portugal

Análise do <i>payback</i> -Praça Portugal								
	Ano 0	Ano 1	Ano 10	Ano 20	Ano 30	Ano 40	Ano 50	Ano 55
Investimento	-R\$ 825.805,55							
Retorno		R\$ 30.203,01	R\$ 30.203,01	R\$ 30.203,01	R\$ 30.203,01	R\$ 30.203,01	R\$ 30.203,01	R\$ 30.203,01
Fluxo de Caixa		-R\$ 795.602,54	-R\$ 523.775,43	-R\$ 221.745,31	R\$ 80.284,82	R\$ 382.314,94	R\$ 684.345,06	R\$ 835.360,12

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.4 Análise gráfica do payback da Praça Portugal



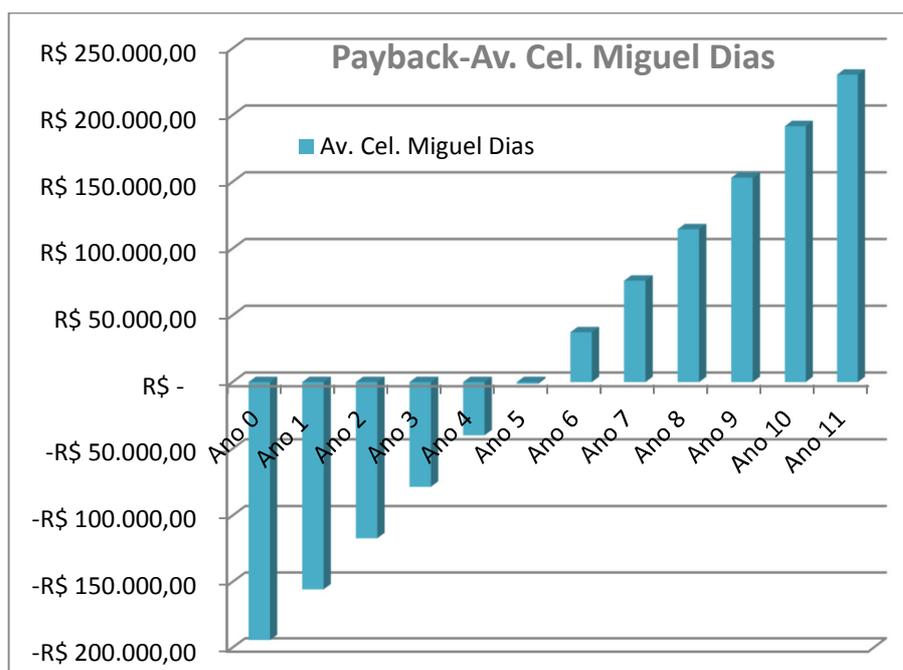
Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 5.23 Análise do payback do projeto da Av. Cel. Miguel Dias

Análise do <i>payback</i> -Av. Cel. Miguel Dias				
	Ano 0	Ano 1	Ano 5	Ano 10
Investimento	-R\$ 194.229,48			
Retorno		R\$ 38.595,65	R\$ 38.595,65	R\$ 38.595,65
Fluxo de Caixa		-R\$ 155.633,83	-R\$ 1.251,21	R\$ 191.727,06

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.5 Análise gráfica do payback da Av. Cel Miguel Dias



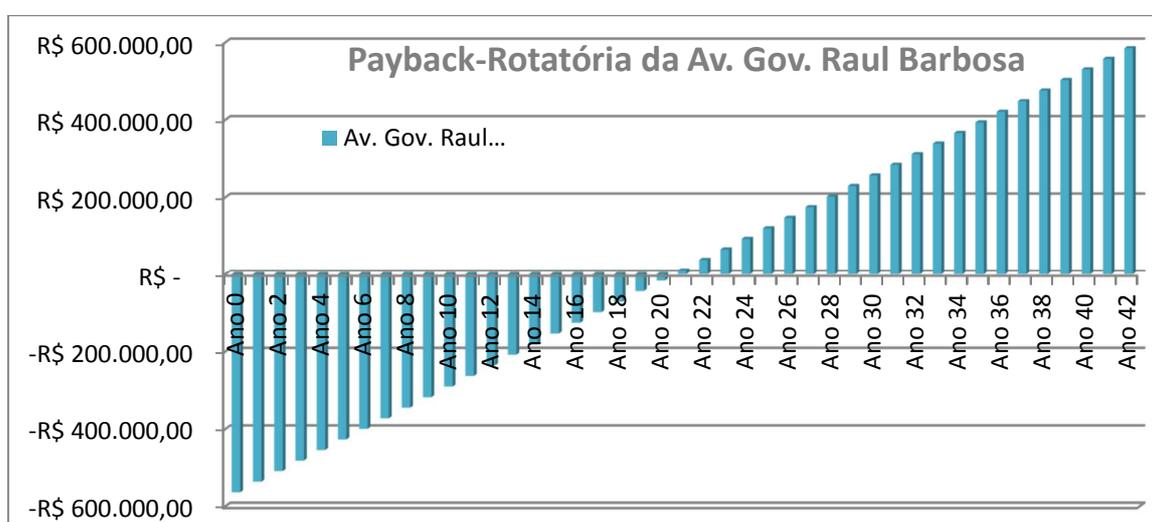
Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 5.24 Análise do payback do projeto da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa

Análise do <i>payback</i> -Rotatória Av. Gov. Raul Barbosa							
	Ano 0	Ano 10	Ano 20	Ano 30	Ano 40	Ano 41	Ano 42
Investimento	-R\$ 563.500,03						
Retorno		R\$ 27.344,17	R\$ 27.344,17	R\$ 27.344,17	R\$ 27.344,17	R\$ 27.344,17	R\$ 27.344,17
Fluxo de Caixa		-R\$ 290.058,33	-R\$ 16.616,63	R\$ 256.825,07	R\$ 530.266,77	R\$ 557.610,94	R\$ 584.955,11

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 5.6 Análise gráfica do payback do projeto da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa



Fonte: Elaborado pela autora

É possível notar com os resultados obtidos que os projetos possuem tempo de retorno de aproximadamente 28 anos para a Praça Portugal, 5 anos para a Av. Cel. Miguel Dias e de 21 anos para a Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa. Logo, é possível concluir que o tempo de retorno do investimento feito com a compra dos equipamentos de LED para os projetos da Praça Portugal e da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa é muito superior ao tempo de operação desses equipamentos que hoje é estimado em 50 mil horas, ou seja, aproximadamente, 11 anos e meio (LOPES, 2014), sendo o projeto da Av. Cel Miguel Dias o único que possui *payback* favorável.

Em projetos com um maior tempo de execução o método do *payback* não é aconselhável, pois não leva em consideração os fluxos de caixa advindos dos anos após o ano de recuperação do investimento como também não se baseia nos em períodos diversos em que o

fluxo de caixa muda só sendo aplicado de modo simplista em que existe o antes e depois do *payback* e não períodos de tempo intercalados.

5.7 Análise da Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno tem como objetivo estabelecer o valor que determinado investimento é capaz de ter lucro ou prejuízo dado um período predeterminado. Ela é um cálculo simples que avalia se determinado investimento será atrativo para uma empresa, auxiliando na decisão de aplicação de capital fazendo com que seja analisado o quanto que uma empresa gera de receita através de seus ativos. Um projeto deveria ser aceito quando o valor presente do fluxo de caixa (VPL) quando descontados os recebimentos superasse o das despesas. Se considerarmos os investimentos como valores negativos e recebimentos como valores positivos, os projetos que seriam economicamente viáveis são aqueles que possuem VPL maior ou igual a zero, ou seja, $VPL \geq 0$. A TIR é a taxa de juros que anula o VPL do fluxo de caixa de investimentos. A Equação 6 define o cálculo da TIR.

$$VPL = 0 = Investimento\ Inicial + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + TR)^t} \quad (6)$$

Sendo,

F: Fluxo de Caixa

T: período em questão

A taxa de retorno tem sido desde o princípio, interpretada como a taxa que, de alguma forma, reembolsaria o investimento inicial realizado para a concepção do projeto (Álvares, Barbieri, & Machile, 2007). Alguns autores se referem à TIR como sendo a medida de remuneração de um projeto. Encontrar a TIR de um investimento é o mesmo que encontrar a potência máxima, ou seja, o potencial de máximo rendimento (Pilão & Hummel, 2003).

O modelo de cálculo da TIR proposto inicialmente sugere que os fluxos de caixa intermediários que são usados no cálculo da taxa, se forem positivos, devem ser remunerados com a mesma taxa de juros da TIR, assim como os fluxos de caixa negativos. Por causa disso, quando a TIR difere de forma substancial das taxas de mercado, a interpretação da mesma como taxa de retorno acaba sendo prejudicada visto que se ela está muito distante das taxas

aplicadas no mercado a possibilidade de indicar a verdadeira rentabilidade do investimento em determinado projeto é quase nula (Kassai, Kassai, Santos, & Assaf Neto, 1999).

Para fins de aplicação nos projetos estudados a TIR será calculada levando-se em consideração o valor do investimento inicial com a compra dos equipamentos e a economia de energia obtida através da troca desses materiais, como feito anteriormente no estudo do *payback*. Além disso, foi estabelecido um período de seis anos para o cálculo da TIR visto que essa é a média de tempo de vida útil de uma luminária de LED (LOPES, 2014).

Com os resultados obtidos no item anterior, foi calculado a TIR para todos os projetos estudados utilizando-se a função TIR (taxa interna de retornos) no programa Excel®. Os valores da TIR encontrados estão na Tabela 5.25.

Tabela 5.25 Cálculo da TIR para os projetos estudados

Projeto	Investimento	Retorno- Ano 1	Retorno- Ano 2	Retorno- Ano 3	Retorno- Ano 4	Retorno- Ano 5	Retorno- Ano 6	TIR
Praça Portugal	-R\$ 825.805,55	R\$ 30.203,01	-31%					
Av. Cel. Miguel Dias	-R\$ 194.229,48	R\$ 38.595,65	5%					
Rotatória Av. Gov Raul Barbosa	-R\$ 563.500,03	R\$ 27.344,17	-27%					

Fonte: Elaborado pela autora

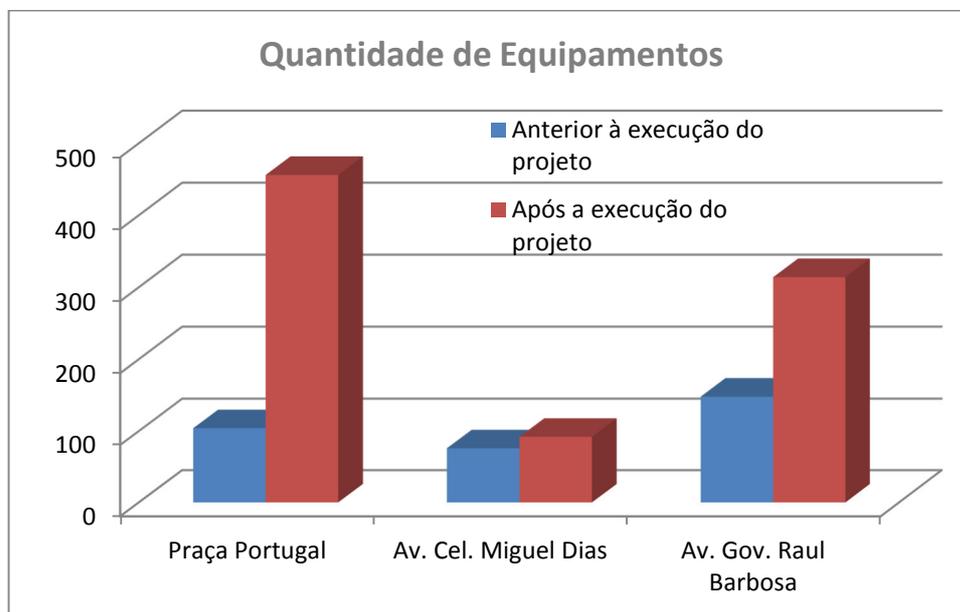
Através do cálculo da TIR é possível concluir que os projetos da Praça Portugal e da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa precisam de um tempo maior que o tempo de vida útil das luminárias para que seja economicamente viável fazendo com que seja difícil de o investimento ser totalmente recompensado levando-se em conta somente o valor da economia de energia fornecida pelas luminárias. O projeto da Av. Cel. Miguel Dias possui uma taxa de retorno de 5% no tempo de análise pré-determinado.

6 Conclusões e Trabalhos Futuros

O trabalho cumpriu seu objetivo de analisar economicamente a aplicação de materiais novos baseados na tecnologia LED em detrimento de outros de tecnologias mais antigas e menos eficientes. As luminárias LED possuem demasiados pontos positivos para os usuários e para a rede elétrica para que não seja considerada sua aplicação em larga escala.

Antes é preciso ressaltar que, em respeito às análises realizadas, é necessário levar em consideração que boa parte das obras de iluminação pública executadas atualmente no município de Fortaleza é realizada diminuindo os pontos escuros anteriormente existentes, fazendo com que a melhoria possa contemplar os lugares em que a iluminação seja deficiente. Em outras palavras, pontos mais críticos precisaram ser encobertos e, por isso, é preciso instalar uma quantidade superior de materiais causando assim um custo ainda maior ao custo de uma simples substituição dos equipamentos que originalmente haviam no local a ser feito o projeto. A Figura 6.1 ilustra com um gráfico o crescimento do número de equipamentos a serem instalados em comparação ao número de equipamentos existentes para cada um dos projetos estudados.

Figura 6.1 Quantidade de equipamentos utilizados nos projetos



Fonte: Elaborado pela autora

As análises mostraram que uma obra em larga escala utilizando os materiais de tecnologia LED geram muitos benefícios ao seu local de implantação, entre eles uma melhor qualidade de iluminação, um custo menor e um período maior de manutenção e um menor

consumo energético. No entanto, elas também mostraram que o investimento inicial deve ser muito alto para a instalação das mesmas.

Foram realizadas duas avaliações econômicas usualmente utilizadas em empresas para tomar decisões quanto a um futuro investimento, o *payback* e a TIR. Foi possível verificar que entre as três obras analisadas, a que obteve melhores resultados por larga margem foi a realizada na Av. Coronel Miguel Dias, que apresentou um *payback* de 5 anos, enquanto que a TIR em um período de 6 anos, o qual é similar à vida útil de uma luminária LED, foi de 5%. Já para as obras da Praça Portugal e da Rotatória da Av. Gov. Raul Barbosa, pelo investimento inicial ser muito alto, o retorno financeiro para esses projetos acaba não sendo alcançado em nenhuma das análises econômicas.

Contudo, não é possível avaliar a viabilidade econômica integralmente utilizando somente os valores unitários dos equipamentos e seu retorno financeiro. Em obras como as estudadas o impacto social e ambiental é muito relevante na hora de escolher qual material que será usado na melhoria. Os materiais com tecnologia LED possuem características técnicas e estéticas relevantes que fazem com que, mesmo com o preço elevado de mercado das luminárias usadas, ainda sim sejam opção para a realização de obras como as que foram expostas nesse trabalho. Além disso, seria interessante um estudo criterioso a respeito dos outros materiais usados na execução do projeto e o quão oneroso eles podem acabar se tornando para a realização da obra.

Sendo assim, mesmo que os equipamentos empregados nos projetos acabem por se tornar inviáveis economicamente, para a execução de uma melhoria utilizando luminárias e projetores usando tecnologia LED, é necessário que se faça um estudo criterioso de todos os impactos que esse tipo de material pode trazer para o local onde está sendo proposta a implantação desse projeto fazendo com que sejam usados somente quando haja uma real melhoria no local causando um resultado realmente satisfatório para a sociedade como um todo.

Como trabalhos futuros são sugeridos os seguintes tópicos:

- Realizar a análise dos outros materiais utilizados nessas obras de melhoria, como por exemplo, cabos e postes, que possuem uma grande influência no resultado luminotécnico do projeto;

- Existem outras luminárias que podem ser usadas nesse tipo de projeto que possuem um valor de mercado inferior das dimensionadas na análise proposta para os projetos e assim usando-as o valor das taxas calculadas poderia ser menor fazendo com que o projeto tenha um custo total menor do que o encontrado;
- Analisar com outras ferramentas de cálculo de engenharia econômica para estudar a viabilidade financeira desses projetos levando em consideração as variáveis que não foram estudadas como, por exemplo, a satisfação da sociedade com o resultado do projeto executado.
- Fazer um estudo de campo de forma a avaliar o resultado dos projetos e comparar a eficiência dos equipamentos LED em comparação aos materiais VMT.

BIBLIOGRAFIA

- ABNT. (30 de Abril de 1985). Norma Brasileira 8837/1985: Iluminação esportiva. (A. B. Técnicas, Ed.) Brasil. Fonte: <http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=003989>
- ABNT. (2004). Norma Brasileira NBR 5410/2014: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Brasil.
- ABNT. (04 de Abril de 2012). Norma NBR 5101/2012: Iluminação Pública-Procedimento. Brasil.
- ABNT. (sd). Voluntariedade das Normas. Brasil. Acesso em 04 de Maio de 2016, disponível em <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>
- Álvares, A., Barbieri, J., & Machile, C. (2007). Taxa Interna de Retorno: Um parâmetro do Projeto e Não Uma Medida de Retorno do Investimento. *GEPROS*, v.2,v.5, pp. p.131-142.
- ANEEL. (29 de Novembro de 2000). Resolução Normativa 456/2000. (A. N. Elétrica, Ed.) Brasil.
- ANEEL. (09 de Setembro de 2010). Resolução Normativa nº 414/2010. (A. N. Elétrica, Ed.) Brasil. Acesso em 12 de Junho de 2016, disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>
- ANEEL. (08 de Maio de 2015). *ANEEL divulga novo balanço da transferência de ativos de iluminação pública* . Acesso em 13 de Junho de 2016, disponível em ANEEL-Agência Nacional de Energia Elétrica: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/output_noticias.cfm?identidade=8520&id_area
- Celena Par. (27 de Abril de 2016). Os baixos custos de manutenção em projetos de led. São Paulo, São Paulo, Brasil. Fonte: <http://www.celenapar.com.br/blog/os-baixos-custos-de-manutencao-em-projetos-de-led/>
- COELCE. (18 de Julho de 2012). Norma Técnica NT 007/2012 R-04: Fornecimento de Energia Elétrica para Iluminação Pública. Fortaleza, CE, Brasil. Fonte: www.coelce.com.br/SobreaCoelce/NormasTécnicas/NormasTécnicas

- COELCE. (08 de Julho de 2013). Critério de Projeto CP-001/2013: Rede de Distribuição Aérea de Média e Baixa Tensão. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- EUROPEAN STANDARD. (Novembro de 2003). EN 13201-2: Road lighting - Part 2: Performance requirements. Europa (Região do Euro). Acesso em 4 de Junho de 2016, disponível em https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/en_13201-2_.pdf
- Faz a Conta. (2015). *Tempo de Payback*. Acesso em 05 de Dezembro de 2016, disponível em <http://fazaconta.com/payback.htm>
- Fróes da Silva, L. L. (Março de 2006). Iluminação Pública no Brasil: Aspectos. p. 172.
- Greno Barbosa, L. A. (Maio de 2007). História e Conceitos de Iluminação. p. 16.
- Kassai, J., Kassai, S., Santos, A., & Assaf Neto, A. (1999). *Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial*. São Paulo: Atlas.
- Lancelle, P. L. (Junho de 2006). Iluminância x Luminância. *LUME Arquitetura*.
- LOPES, L. B. (2014). *Uma Avaliação da Tecnologia LED na Iluminação Pública*. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Nascimento, G. M. (24 de Junho de 2016). *MELHORIA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO CAMPUS DO PICI: ESTUDO, PROJETO E ORÇAMENTO*. Fortaleza, Ceará, Brasil.
- O Estado CE. (02 de abril de 2015). Prefeitura investirá R\$ 85 mi em iluminação. Fortaleza, Ceará, Brasil. Fonte: <http://www.oestadoce.com.br/geral/prefeitura-investira-r-85-mi-em-iluminacao>
- O Povo. (12 de Fevereiro de 2016). Iluminação pública subiu 56,5% no ano passado. (Á. Varela, Ed.) Fortaleza, CE, Brasil. Acesso em 2016, disponível em <http://www.opovo.com.br/app/economia/2016/02/12/noticiaseconomia,3574473/iluminacao-publica-subiu-56-5-no-ano-passado.shtml>
- PADILHA, M., JUNG, F., & RODRIGUES, E. (12 de Novembro de 2015). ESTUDO COMPARATIVO ENTRE LÂMPADAS FLUORESCENTES E LED APLICADO NO IFC – CAMPUS LUZERNA. Blumenau, Santa Catarina, Brasil. Fonte: <http://eventos.ifc.edu.br/wp-content/uploads/sites/5/2015/10/ESTUDO->

COMPARATIVO-ENTRE-LAMPADAS-FLUORESCENTES-E-LED-
APLICADO-NO-IFC-CAMPUS-LUZERNA.pdf

Pilão, N., & Hummel, R. V. (2003). *Matemática Financeira e Engenharia Econômica: a teoria e a prática da análise de projetos e investimentos*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning.

Rosito, L. H. (2009). As origens da iluminação pública no Brasil. *O setor elétrico*, 32-34.

SEFIN. (Novembro de 2016). CIP. Fortaleza, CE, Brasil. Fonte:
<http://www.sefin.fortaleza.ce.gov.br/tributos/cip>

Eu, Sylmara Suellen Vidal Miranda, autora da monografia intitulada Avaliação de Viabilidade Técnica no Uso de Luminárias LED em Projetos de Iluminação Pública, declaro que, salvo fontes devidamente citadas e referidas, o presente documento é fruto do meu trabalho pessoal, individual e original.

Fortaleza, 14 de dezembro de 2016

Sylmara Suellen Vidal Miranda

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.