



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

JOSÉ EDILAN PONCIANO COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA – FINANCEIRA DO RETROFIT DO PARQUE DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE CARIDADE-CE**

FORTALEZA – CE

2020

JOSÉ EDILAN PONCIANO COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA – FINANCEIRA DO RETROFIT DO PARQUE DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE CARIDADE**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica

Orientadora: Prof^a. Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão

FORTALEZA – CE

2020

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)

C873a Costa, José Edilan Ponciano.
ANÁLISE ECONÔMICA – FINANCEIRA DO RETROFIT DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO
PÚBLICA DA CIDADE DE CARIDADE / José Edilan Ponciano Costa. – 2020.
137 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro
de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Ruth Pastôra Saraiva Leão .

1. Iluminação Pública. 2. Análise de Investimento. 3. Retrofit. I. Título.

CDD 621.3

JOSÉ EDILAN PONCIANO COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA – FINANCEIRA DO RETROFIT DO PARQUE DE
ILUMINAÇÃO PÚBLICA DA CIDADE DE CARIDADE**

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

Aprovado em: ___/___/___.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Ph.D. Ruth Pastôra Saraiva Leão (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Eng. Odailton Silva de Arruda
Engenheiro Eletricista

Dedico este trabalho aos meus pais Edimar Oliveira e Graça Ponciano, aos meus irmãos, irmãs e namorada por acreditarem, sonharem e realizarem junto comigo esse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pelo dom da vida e por me manter são durante a vida acadêmica.

Agradeço ao meu pai Edimar e minha mãe Graça por me proporcionarem a vida e estarem presentes sempre em todos os momentos da minha trajetória acadêmica.

Agradeço aos meus irmãos Edivar, Edmar e minhas irmãs Edna, Edneiz, Edivania e Edllane por servirem de inspiração e me fazerem conquistar o que eu sempre quis, fazer graduação na UFC. Agradeço muito pelo apoio emocional e por entenderem as minhas ausências nos momentos em família.

Agradeço a minha namorada Sabrina Muniz pelas inúmeras vezes que me fez acreditar no meu potencial, pelo companheirismo nos estudos, pela paciência, pelas noites acordadas estudando e projetando, por me fazer um homem melhor.

Agradeço a minha orientadora Professora Ruth Leão, por ter aceitado me orientar e colaborar com sugestões e esclarecimentos para a construção desse trabalho.

Agradeço aos meus amigos da faculdade, Samara, Maurisson, Mayane, Sérgio e Rafael, pela amizade e parceria nos estudos durante o período da graduação.

Agradeço aos companheiros da área de sustentabilidade da Enel Distribuição Ceará por todo o conhecimento adquirido durante o período de estágio na empresa e pela colaboração de todos os profissionais que cooperaram para que eu tivesse conhecimento sobre fases dos projetos de eficiência energética da empresa.

Agradeço também a todos que contribuíram direto ou indiretamente para a elaboração desse trabalho.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso de *retrofit* do sistema de iluminação pública da cidade de Caridade, no Estado do Ceará. O objetivo do trabalho é adequar a iluminação da cidade aos padrões adotados na NBR 5101:2018, e realizar um estudo da viabilidade do investimento para troca dos modelos atuais por novos e mais eficientes. A análise dos padrões adotados na norma é realizada em software para a constatação dos padrões definidos e posteriormente é feita a comparação do desempenho do sistema proposto em relação ao sistema atual, mensurando a economia de energia e a redução de demanda no horário de ponta. As análises de investimentos são realizadas usando os modelos de tomada de decisão VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), já o outro método usado, é adotado pelas concessionárias de energia em suas chamadas pública de projeto, regido pelo Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE). Os resultados obtidos pelos modelos de tomada de decisão e pela metodologia adotada pelas distribuidoras, mostram que a viabilidade do *retrofit* é possível para a situação em que todas as lâmpadas da cidade são trocadas por luminárias com uma única faixa de potência.

Palavras Chaves: Iluminação Pública, *retrofit*, NBR 5101:2018, análise de investimento.

ABSTRACT

This monography presents a case study of retrofit of the public lighting system in the city of Caridade, in the State of Ceara. The objective of the work is to adapt the city lighting to the standards adopted in NBR 5101: 2018 and carry out a study of the investment feasibility to exchange the current models for new and more efficient ones. The analysis of the standards adopted in the standard is performed in software for the verification of the standards defined and later the performance of the proposed system is compared with the current system, measuring energy savings and reduced demand during peak hours. Investment analyzes are performed using the decision making models NPV (Net Present Value) and IRR (Internal Rate of Return), the other method used, is adopted by energy concessionaires in their public project calls, governed by the Procedures of the Energy Efficiency Program (PROPEE). The results obtained by the decision-making models and the methodology adopted by the distributors, show that retrofit feasibility is possible for the situation in which all lamps in the city are replaced by luminaires with a single power range.

Keywords: Street lighting, retrofit, NBR 5101:2018, investment analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro Eletromagnético	4
Figura 2 - Representação do Fluxo Luminoso.....	5
Figura 3 - Representação da Intensidade Luminosa.....	6
Figura 4 - Representação da Iluminância.....	6
Figura 5 - Representação da Luminância	7
Figura 6 - Fontes de Luz e suas Temperaturas de Cor.....	9
Figura 7 - IRC de Tecnologias de Fontes de Luz Diferentes.....	10
Figura 8 - Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa.....	11
Figura 9 - Lâmpada Incandescente.....	15
Figura 10 - Lâmpada Fluorescente	17
Figura 11 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	18
Figura 12 - Lâmpada de Vapor Metálico	19
Figura 13 - Lâmpada Mista.....	20
Figura 14 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Baixa Pressão	20
Figura 15 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Alta Pressão Tipo Oval.....	21
Figura 16 - Polarização Direta do Diodo	23
Figura 17 - LED de Alta Potência.....	24
Figura 18 - Fatores que Influenciam a Vida Útil dos Módulos de LED	25
Figura 19 - Cidade de Caridade	31
Figura 20 – Cidade de Caridade	31
Figura 21 - Cidade de Caridade	32
Figura 22 - Perímetro analisado	32
Figura 23 - Iluminação Ineficiente (A luminária não direciona o fluxo luminoso).....	33
Figura 24 - Iluminação com Efeito Zebra e com Problema com a Arborização.....	34
Figura 25 - Sequência de Lâmpadas sem Padrão	34
Figura 26 - Luminária Mal Direcionada	35
Figura 27 - Geo-Referenciamento dos Postes de Iluminação	40
Figura 28 - Distribuição Fotométrica	42
Figura 29 - Dimensões	43
Figura 30 - Luminária LED	43
Figura 31 - Etapas dos Projetos do PEE	45

Figura 32 - Diagrama de Fluxo de Caixa.....	63
Figura 33 - Projeto da Av. Coronel Francisco Linhares (Postes no canteiro central)	78
Figura 34 - Projeto da Av. Coronel Francisco Linhares (Poste na margem da Avenida)	79
Figura 35 - Projeto da Av. Coronel Francisco Linhares (Apenas uma pista de rodagem)	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tráfego Motorizado	36
Tabela 2 -Tráfego de Pedestre.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3 – Classes de Iluminação para Cada Tipo de Via.....	37
Tabela 4 - Requisitos de Luminância e Uniformidade	38
Tabela 5 - Iluminância Média e Uniforme para Cada Classe de Iluminação	38
Tabela 6 - Coeficientes das Equações para $k=0,15$	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Tecnologias Usadas no Parque de IP de Caridade.....	30
Quadro 2 - Classificação das Vias	36
Quadro 3 – Classificação de Iluminação	37
Quadro 4 - Tipos de Pavimentação das Ruas.....	39
Quadro 5 - Dimensões Físicas	42
Quadro 6 - Parâmetros Elétricos	42
Quadro 7 - Sistema Atual	47
Quadro 8 - Sistema Proposto e Resultados Esperados	48
Quadro 9 - Descrição dos Termos da Equação (10)	49
Quadro 10 - Descrição dos Termos da Equação (11)	49
Quadro 11 - Tarifas do Subgrupo B3 Modalidade Branca.....	54
Quadro 12 - Custo Unitário Evitado de Energia (R\$/MWh)	55
Quadro 13 - Custo Unitário Evitado de Demanda (R\$/kW.ano)	55
Quadro 14 - Custos Anualizados dos Equipamentos	59
Quadro 15 - Relação Custo Benefício.....	61
Quadro 16 - Energia Economizada, Tarifa de Energia e Benefício Monetário Mensal	64
Quadro 17 - Resultados dos Parâmetros Simulados no <i>DIALux</i>	68
Quadro 18 - Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos	72
Quadro 19 - Plano de Investimento (Situação 1).....	74
Quadro 20 - Plano de Investimento (Situação 2).....	75
Quadro 21 - Resultados dos Parâmetros Simulados no <i>DIALux</i> (Proposição 2).....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRASI	Associação Brasileira de Empresas de Serviços de Iluminação Pública
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CED	Custo Evitado de Demanda
CEE	Custo da Energia Evitada
CPP	Chamada Pública de Projetos
DHT	Distorção Harmônica Total
EE	Energia Economizada
FRC	Fator de Recuperação de Capital
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IP	Iluminação Pública
IPI	Impostos sobre Produtos Industrializados
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
M&V	Medição e Verificação
NBR	Norma Brasileira
PEE	Programa de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo Benefício
RDP	Redução de Demanda na Ponta
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
TI	Incremento Limiar
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1. Introdução	1
1.1. Justificativa	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Estrutura do Trabalho	3
2. Terminologia e Tecnologia de Iluminação	4
2.1. Luz	4
2.2. Fluxo Luminoso	5
2.3. Intensidade Luminosa	5
2.4. Iluminância (Iluminamento)	6
2.5. Luminância	7
2.6. Eficiência Luminosa	8
2.7. Temperatura de Cor	8
2.8. Índice de Reprodução de Cor (IRC)	9
2.9. Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa	10
2.10. Fator de Potência	11
2.11. Distorção Harmônica Total (DHT)	12
2.12. Ofuscamento	13
2.13. Fator de uniformidade da iluminância (em determinado plano) U	13
2.14. Fator de uniformidade da luminância (uniformidade global)	13
2.15. Fator de uniformidade da luminância (uniformidade longitudinal) UL	14
2.16. Incremento Limiar TI	14
2.17. Lâmpadas Incandescentes	14
2.18. Lâmpadas de Descarga	16
2.18.1. Lâmpadas Fluorescentes	16
2.18.2. Lâmpadas a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão	18
2.18.3. Lâmpadas a Vapor Metálico	19

2.18.4.	Lâmpadas Mistas.....	19
2.18.5.	Lâmpadas a Vapor de Sódio.....	20
2.19.	Diodos Emissores de Luz (LED).....	22
2.20.	Considerações Finais	25
3.	Programas de efficientização energética	26
3.1.	Programa Reluz.....	26
3.2.	Programa ANEEL Distribuidoras - PEE	27
3.3.	Considerações Finais	28
4.	Estudo de Caso da ILuminação Pública do município de Caridade.....	29
4.1.	Situação atual.....	29
4.2.	Problemas Encontrados.....	33
4.3.	Análise da Norma de IP 5101/2018 para a cidade de Caridade.....	35
4.4.	<i>DIALux</i>	41
4.5.	Luminárias LEDs.....	41
4.6.	Projeto Luminotécnico – <i>DIALux</i>	43
4.7.	Análise Econômico Financeira.....	44
4.7.1.	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE	44
4.7.2.	Recursos da Prefeitura.....	62
4.7.2.1.	Método do Valor Presente Líquido (VPL).....	62
4.7.2.2.	Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)	65
4.8.	Considerações Finais	66
5.	Resultados	67
5.1.	Considerações Finais	81
6.	Conclusões e Trabalhos Futuros	82
6.1.	Conclusão.....	82
6.2.	Trabalhos Futuros.....	83

Bibliografia.....	84
ANEXO I – Características dos logradouros analisados para vias de veículos.....	88
ANEXO II – Tabela R (Refletância)	91
ANEXO III – Potência das lâmpadas em áreas de circulação exclusiva de pedestres 92	
ANEXO IV – Especificação técnica nº 134 - Instalações de Iluminação Pública.....	93
ANEXO V – Origem dos recursos	94
ANEXO VI – Custos por categoria contábil e limitadores.....	98
ANEXO VII – Distâncias máxima, médias e mínimas dos postes das ruas catalogadas 100	
ANEXO VIII – Custos para situação 2.....	103
ANEXO IX – Documentos Gerados Pelo Dialux Evo	110

1. INTRODUÇÃO

A história da iluminação pública nos grandes centros urbanos mundiais iniciou entre os séculos XIX e XX (ELETROBRAS PROCEL, 2013). Países como a França e a Inglaterra foram os primeiros a implantarem em seus logradouros pontos de luz com o objetivo de oferecer aos moradores mais segurança para circularem durante a noite e evitar ataques de marginais.

Hoje a iluminação pública continua a beneficiar os moradores das cidades, mas, agora também com mais propósitos como cita a NBR 5101:2018. A iluminação pública tem como principal objetivo proporcionar visibilidade para a segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida e confortável.

O grande avanço da iluminação se deu com a descoberta da eletricidade na virada do século XIX. O melhoramento da tecnologia da lâmpada incandescente por Thomas Edison impulsionou o uso da iluminação nas residências e sua comercialização (ELETROBRAS PROCEL, 2013).

Com a utilização da energia elétrica para iluminação, outras tecnologias foram sendo desenvolvidas ao longo do tempo. Os avanços na ciência permitiram que novas lâmpadas fossem criadas e ainda mais eficientes, tanto do ponto de vista de consumo quanto de fluxo luminoso.

A modernização de parques de iluminação pública também pode ser feita em chamadas públicas oferecidas pelas distribuidoras de energia elétrica do país através de CPP (Chamadas Públicas de Projetos), que são regidas pelas diretrizes do PROPEE (Procedimentos do Programa de Eficiência Energética) (ANEEL, 2018).

As CPPs e o programa RELUZ buscam tornar mais eficiente a iluminação pública, realizando a substituição de equipamentos velhos e com baixa eficiência por equipamentos mais eficientes e com maior vida útil, o que é considerado como um processo de *retrofit* cujo significado é 'adaptação para o novo' (ELETROBRAS, 2019) (ENEL DISTRIBUIÇÃO CEARÁ, 2019).

Nesse contexto, é importante que o *retrofit* das tecnologias de iluminação pública aconteça, seja pela melhoria da qualidade da iluminação, seja pela redução do consumo de energia.

1.1. Justificativa

As implantações de tecnologias modernas de iluminação pública geralmente acontecem em forma projetos pilotos em grandes centros urbanos. Com base nos resultados apresentados, após a implantação, as ações são disseminadas para outras regiões como uma prática viável. É possível constatar resultados positivos também com a realização de projetos pilotos em pequenas localidades.

A cidade de Caridade, no interior cearense, é uma excelente opção de teste de viabilidade econômica/financeira para a implantação de um projeto de *retrofit* de iluminação pública utilizando a tecnologia LED. Por se tratar de uma cidade pequena é possível ver de forma mais expressiva os ganhos sociais para a comunidade impactada com esse processo.

1.2. Objetivos

O trabalho tem como objetivo principal apresentar um estudo de viabilidade técnica e financeira do processo de *retrofit* da iluminação pública da cidade de Caridade-CE, baseado na NBR 5101:2018 que trata da qualidade da visibilidade dos logradouros das cidades.

Como objetivos específicos pode-se citar:

- Realizar a análise do consumo de energia atual do parque de iluminação da localidade, com base nas tarifas aplicadas pela concessionária de energia, através do levantamento das potências das lâmpadas e reatores instalados nos postes da cidade.
- Criar um projeto de iluminação pública com a aplicação de lâmpadas LED fundamentado nos requisitos mínimos exigidos pela NBR 5101:2018, com a utilização de *software* para a averiguação dos cálculos luminotécnicos e adequação a norma.
- Realizar o estudo de viabilidade do projeto de acordo com PROPEE (Procedimentos do Programa de Eficiência Energética) normatizado pela ANEEL.

- Divulgar a metodologia de estudo proposta para aplicação na prefeitura da cidade de Caridade e de outras cidades do estado do Ceará.
- Apresentar uma metodologia pautada em modelo de negócio para projeto de iluminação pública.

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos, sendo o Capítulo 1 – Introdução, composto pela justificativa, objetivo e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 - Terminologia e Tecnologia de Iluminação, são apresentados conceitos importantes da luminotécnica, que servem de embasamento teórico para a compreensão das análises desenvolvidas neste trabalho. Além disso é discorrido sobre as tecnologias das lâmpadas usadas na iluminação públicas, em que é feita uma cronologia dos modelos lançados no mercado.

No Capítulo 3 - Programas de Eficientização Energética, são apresentados dois programas de eficiência energética desenvolvidos por concessionárias de energia elétrica, Procel Reluz e PEE (Programa de Eficiência Energética).

No Capítulo 4 - Estudo de Caso da Iluminação Pública do Município de Caridade, é apresentado uma análise geográfica e econômica da cidade, além de expor os quantitativos das lâmpadas usadas nos logradouros, no qual é apresentado a situação atual do parque de iluminação da cidade. Nesse capítulo é feita a classificação das vias da cidade perante a diretrizes da NBR 5101:2018 e realizadas análises de investimentos com recursos proveniente de concessionárias e com recursos da própria prefeitura, fundamentadas na eficiência energética.

No Capítulo 5 – Resultados, são apresentados os resultados das simulações feitas em *software* especializado, assim como os resultados das análises de investimentos, sendo apresentadas todas as possibilidades, viáveis e inviáveis.

No Capítulo 6 – Conclusão são apresentadas as conclusões dos resultados das análises econômicas financeiras baseadas na eficiência energética da troca de equipamentos.

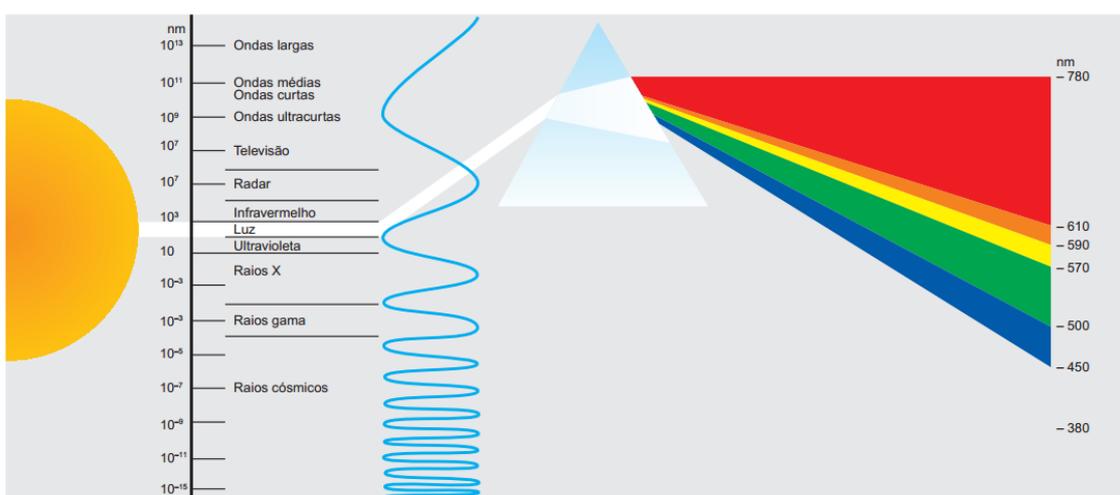
2. TERMINOLOGIA E TECNOLOGIA DE ILUMINAÇÃO

Para a elaboração e análise do estudo de caso aplicado neste trabalho foram necessários compreender termos técnicos amplamente usados em estudos luminotécnicos. Os termos explicitados adiante são usados tanto na literatura, quanto na NBR 5101:2018, usada como ferramenta principal nesse trabalho. Além disso, nesse capítulo é apresentado algumas das principais tecnologias de iluminação, desde os modelos mais antigos aos mais recentes, mostrando as suas principais características e evidenciando a evolução das tecnologias.

2.1. Luz

A luz é uma forma de energia radiante que se propaga no ambiente através de ondas eletromagnéticas, sendo esta formada por partículas de energia denominadas fótons. Há diferentes comprimentos de onda do espectro de radiação eletromagnético. O intervalo em que a luz está inserida, se estende de 380 a 770 nanômetros, sendo apenas essa faixa de radiação percebida pelos olhos humanos (OSRAM, 2019). Na Figura 1 é mostrado a composição do espectro eletromagnético no qual a luz está inserida.

Figura 1 - Espectro Eletromagnético



Fonte: (OSRAM, 2019)

O intervalo do espectro da luz visível é composto por faixas de comprimentos de onda que emitem diferentes cores segundo o respectivo comprimento de onda. A cor que o olho humano enxerga dos objetos trata-se da faixa de onda que o material é capaz de refletir quando uma fonte de luz é incidida sobre ele, as outras formas de onda são absorvidas e não espelhadas. Desta forma, é possível associar o objeto à faixa de onda a qual ele é capaz de refletir. Quando essa faixa do espectro não é emitida pela fonte luminosa, o material assume um tom negro.

2.2. Fluxo Luminoso

O fluxo luminoso é mensurado na unidade de grandeza *lúmens* (lm), e representa a quantidade de radiação total que a fonte luminosa é capaz de emitir ao ambiente em todas as direções por unidade de tempo. O símbolo adotado para representá-lo é a letra grega φ (fi) (AALOK, 2019). Na Figura 2 é mostrado esse comportamento.

Figura 2 - Representação do Fluxo Luminoso

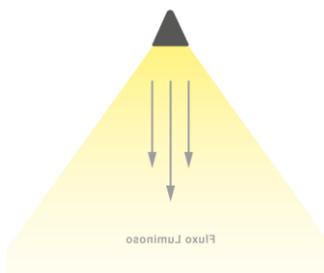


Fonte: (AALOK, 2019)

2.3. Intensidade Luminosa

A intensidade luminosa representa a forma como o fluxo luminoso está direcionado a um determinado ponto, podendo ser aplicado dentro de um ângulo fixo, e tem como unidade de medida a candela (cd) (PAULO CANDURA, 2009). Na Figura 3 é mostrado o comportamento do fluxo luminoso quando é direcionado.

Figura 3 - Representação da Intensidade Luminosa



Fonte: (AALOK, 2019)

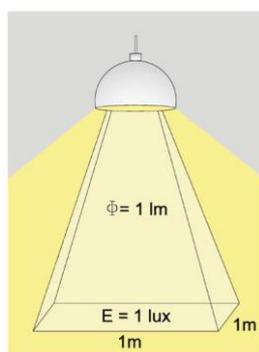
2.4. Iluminância (Iluminamento)

A iluminância ou iluminamento representa a quantidade de fluxo luminoso que incide sobre uma superfície por metro quadrado. A relação usada para definir essa grandeza está descrita na equação (1).

$$E = \frac{\varphi}{A} \quad (1)$$

em que φ representa o fluxo luminoso que incide sobre a superfície, A é a área da região que concentra a radiação luminosa, mensurada em m^2 e E representa a grandeza de iluminância datada como *lux*. O equipamento usado para mensurar essa grandeza é o luxímetro. Deve-se sempre levar em consideração as médias das medições realizadas, pois o fluxo luminoso não se distribui de forma igualitária no ambiente (OSRAM, 2019). Na Figura 4 é mostrado esse comportamento.

Figura 4 - Representação da Iluminância



Fonte: (PROCEL, 2011)

2.5. Luminância

O conceito de luminância é diretamente vinculada à intensidade luminosa que chega ao observador, seja de forma direta, quando uma fonte luminosa o ilumina ou por reflexão da luz de uma superfície que chega aos olhos do observador. Pode-se denominar luminância como a claridade que é perceptível aos olhos ou o brilho de um objeto visto pelo olho humano (PROCEL, 2011).

A unidade de medida da luminância é candela por metro quadrado (cd/m^2), e com base na equação (2) é possível determinar o nível de luminância do ambiente.

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

em que,

L : representa a luminância, medida em cd/m^2 ;

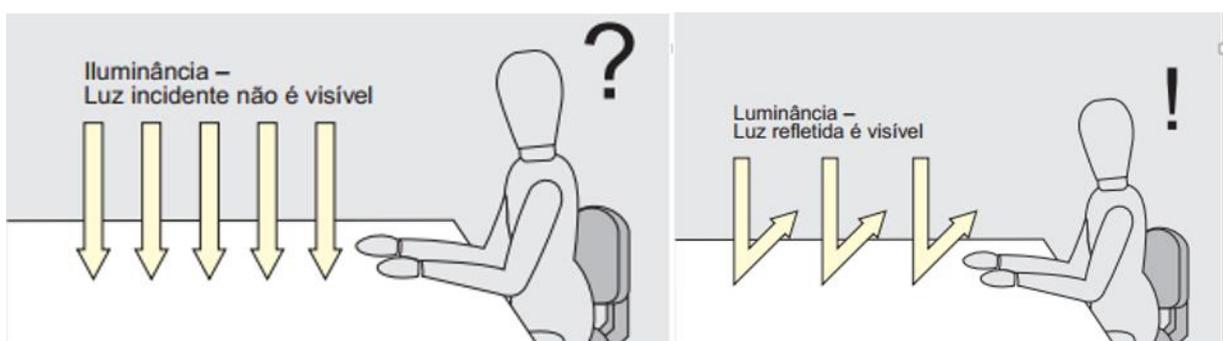
I : representa a intensidade luminosa, candela (cd);

A : representa a área projetada, em m^2 ;

α : representa o ângulo considerado, em grau.

Na Figura 5 é ilustrado o comportamento dessa grandeza e como ela é percebida.

Figura 5 - Representação da Luminância



Fonte: (OSRAM, 2019)

2.6. Eficiência Luminosa

Eficiência luminosa trata-se da relação entre o fluxo luminoso irradiado pela fonte e a energia elétrica consumida na forma de potência elétrica. A unidade usada para mensurar essa grandeza é lúmens por *watt*, como mostra a equação (3) (PROCEL, 2011).

$$\eta = \frac{\varphi}{W} \quad (3)$$

em que,

η : representa a eficiência luminosa

φ : representa o fluxo luminoso

W : potência da fonte luminosa

2.7. Temperatura de Cor

O termo temperatura de cor é usado para classificar o tipo de cor da luz. A base para determinação dessa cor está na analogia realizada com a cor apresentada por um metal quando aquecido desde o estágio inicial, quando apresenta uma cor avermelhada até a cor mais branca. Quanto maior o aspecto do material na cor branca maior sua temperatura e pode-se dizer também que maior é a sua temperatura de cor (OSRAM, 2019).

A temperatura de cor das lâmpadas é mensurada em Kelvin (K), dentro de uma escala aproximada que vai de 2.700K até 6.500K. A associação da cor da luz em quente ou fria é feita da seguinte forma: os tons amarelados e alaranjados são classificados como cores quentes e tons mais claros e azulados são classificados como cores frias. No que se refere a luz, as cores frias são geradas por lâmpadas com temperatura de cor alta, já as cores quentes são emitidas por lâmpadas com temperatura de cor baixa, com valor mínimo em torno de 2.700K (OSRAM, 2019).

A escolha da tonalidade de cor a ser usada no ambiente está intimamente ligada às sensações que ela causa no ambiente e por isso os fatores psicológicos devem ser levados em consideração. Luzes quentes geram sensação de bem-estar e aconchego e luzes frias são recomendadas para ambientes em que se propunha a realização de atividades e haja a necessidade de estímulo visual (OSRAM, 2019). Na Figura 6 é mostrado diferentes fontes de luz e suas temperaturas de cor.

Figura 6 - Fontes de Luz e suas Temperaturas de Cor

Temperatura	Fonte de Luz
1.200 K	Luz do fogo
1.700 K	Candeeiro/Luz de vela
2.000 K	Lâmpada de vapor de sódio (iluminação pública)
2.680 K	Lâmpada incandescente comum de 40W
3.000 K	Lâmpada incandescente comum de 200W
3.000 K	Lâmpada fluorescente "branca quente"
3.200 K	Nascer/Pôr do Sol
3.200 K	Lâmpada de estúdio photoflood tipo B (halógena)
3.400 K	Lâmpada de estúdio photoflood tipo A
4.000 K	Lâmpada de flash (bulbo)
4.100 K	Luz do luar em noite de lua cheia
4.500 K	Arco voltáico (projetores antigos de cinema)
5.000 K	Lâmpadas de xenônio (projetores atuais de cinema)
5.000 a 5.500 K	Luz do sol ao amanhecer ou entardecer
5.500 a 5.600 K	Flash eletrônico
5.500 a 6.000 K	Luz do sol durante a maior parte do dia
5.800 K	Céu aberto ao meio-dia
6.000 K	Lâmpada fluorescente "branca fria"
6.000 K	Lâmpada de mercúrio
6.500 K	Lâmpada fluorescente "luz do dia"
6.500 a 7.500 K	Céu encoberto

Fonte: (PROCEL, 2011)

2.8. Índice de Reprodução de Cor (IRC)

O índice de reprodução de cor é usado para mensurar o quanto a cor do objeto está sendo fiel a sua cor real quando é imposta a ela uma luz artificial (AALOK, 2019). O parâmetro de classificação do IRC é a cor que o objeto apresenta quando está sobre a incidência da luz natural, isto é, a cor que o cérebro está acostumado a captar.

A escala de medição do IRC é feita de forma qualitativa, a qual varia de 0 a 100 %. A classificação desse percentual é realizada contrapondo a luz artificial com a luz natural, comparando-a sob o efeito de algumas cores e a partir dessas, medir as diferenças, que quanto maior, menor o IRC (AALOK, 2019).

A classificação do IRC é feita da seguinte forma: 50 – 80, reprodução de cor razoável; 80 – 90, reprodução de cor boa e 90 – 100, reprodução de cor muito boa (FELDMAN, 2014). Na Figura 7 é mostrado o índice de reprodução de cor de algumas tecnologias de luz artificial e seus percentuais de IRC.

Figura 7 - IRC de Tecnologias de Fontes de Luz Diferentes

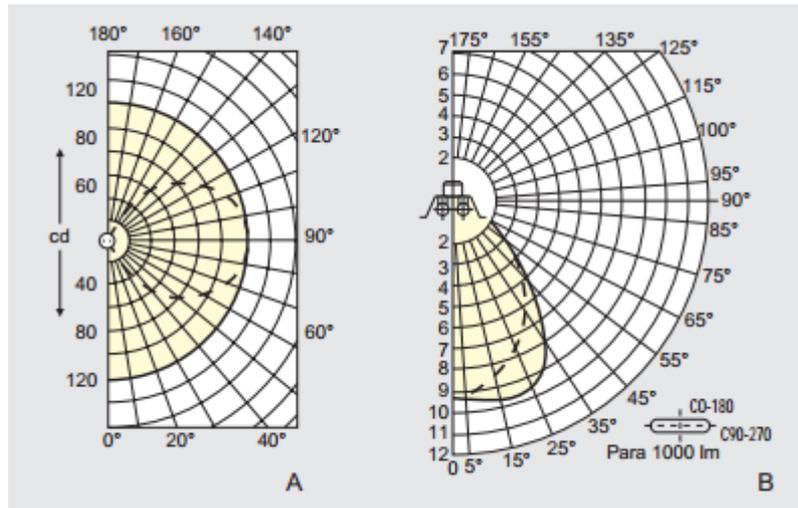


Fonte: (CLIQUE ARQUITETURA, 2019)

2.9. Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa

A curva de distribuição de intensidade luminosa é a ferramenta utilizada pelos fabricantes de lâmpadas e luminárias para apresentar a forma como a intensidade luminosa é distribuída no ambiente. Geralmente essa distribuição é apresentada em gráficos no plano cartesiano, que mostram a intensidade luminosa em todos os ângulos (PAULO CANDURA, 2009). Na Figura 8 é apresentado um modelo de Curvas de Distribuição de Intensidade Luminosa. A intensidade luminosa é geralmente em candela.

Figura 8 - Curva de Distribuição de Intensidade Luminosa



Fonte: (OSRAM, 2019)

2.10. Fator de Potência

O fator de potência é determinado pela relação entre potência ativa pela potência aparente ou nominal. O mesmo valor pode ser encontrado pelo cosseno do ângulo de defasagem entre as ondas senoidais de corrente e de tensão em um sistema, como também pode ser obtido pelo cosseno do ângulo da impedância da carga (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2012). A equação (4) mostra todas as formas de obtenção desse parâmetro.

$$\text{Fator de Potência} = \frac{\text{Potência Ativa}}{\text{Potência Aparente}} = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (4)$$

em que

θ_v : representa o ângulo da onda de tensão

θ_i : representa o ângulo da onda de corrente

O fator de potência é uma grandeza adimensional que é medido entre zero e um (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2012). A relevância do fator de potência é determinada na resolução normativa nº 414/2010 da Aneel, a qual prevê

que o valor mínimo desejável para uma instalação elétrica é de 0,92; valores abaixo deste, deverão ser tarifados por excederem o valor previsto em norma.

O objetivo de obter um fator de potência como definido na legislação é tornar o sistema o mais eficiente possível no que diz respeito ao sistema elétrico, garantindo que a energia ativa prevaleça em relação a energia reativa e não haja inserção excessiva de reativo na rede (ANEEL, 2010).

2.11. Distorção Harmônica Total (DHT)

As distorções harmônicas são fenômenos associados à deformação nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. (ANEEL, 2018)

A distorção harmônica tem como uma de suas origens o uso de equipamentos não lineares, tais como eletroeletrônicos usados nas lâmpadas LED.

A DHT é feita para analisar o resultado de todas as distorções individuais presentes no sistema em uma só grandeza, denominada como distorção eficaz resultante. A análise pode ser feita tanto do ponto de vista da tensão, quanto da corrente elétrica, como mostra a equação (5) (GARCIA, 2019).

$$\text{Distorção Harmônica Total de Corrente} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\text{máx}}} I_h^2}}{I_1} \quad (5)$$

em que

I_h : representa a corrente harmônica individual de ordem h, expressa em Ampére ou pu (por unidade);

h : representa a ordem da harmônica considerada;

$h_{\text{máx}}$: máxima ordem harmônica considerada;

I_1 : Corrente fundamental, expressa em Ampére ou pu.

A taxa de distorção harmônica na rede é mensurada em porcentagem, sendo apresentado os seus limites de inserção na rede de distribuição também dessa forma (GARCIA, 2019).

2.12. Ofuscamento

O ofuscamento é consequência do excesso de luz no campo de visão do observador (TEIXEIRA, 2015). Essa quantidade de luz exagerada gera desconforto visual e acaba por impedir a execução de atividades de forma simples e fácil.

Ofuscamento pode acontecer de algumas formas, direta, quando a fonte de luz incide diretamente no campo visual do observador; quando esse processo ocorre por reflexão, isto é, a luz é redirecionada por objetos ou superfícies ao campo de visão do observador ela é dita por reflexão. O ofuscamento indireto ocorre por uma fonte luminosa diferente do campo visual do observador (TEIXEIRA, 2015).

2.13. Fator de uniformidade da iluminância (em determinado plano) U

É a razão entre a iluminância mínima e a iluminância média em um plano especificado. A equação (6) mostra esse fator (ABNT, 2018).

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (6)$$

em que

E_{min} : representa a iluminância mínima;

E_{med} : representa a iluminância média.

2.14. Fator de uniformidade da luminância (uniformidade global)

É a razão entre a luminância mínima e a luminância média em um plano especificado (ABNT, 2018). A equação (7) mostra esse parâmetro.

$$U_o = \frac{L_{min}}{L_{med}} \quad (7)$$

em que

L_{min} : representa a luminância mínima;

L_{med} : representa luminância média.

2.15. Fator de uniformidade da luminância (uniformidade longitudinal) U_L

É a razão entre a luminância mínima e a luminância máxima ao longo das linhas paralelas ao eixo longitudinal da via em um plano especificado. A equação (8) apresenta essa razão (ABNT, 2018).

$$U_L = \frac{L_{mín}}{L_{máx}} \quad (8)$$

em que,

$L_{mín}$: representa a luminância mínima;

$L_{máx}$: representa a luminância máxima;

2.16. Incremento Limiar TI

É a limitação do ofuscamento perturbador ou inabilitador nas vias públicas, que afeta a visibilidade dos objetos. O valor de TI % é baseado no incremento necessário da luminância de uma via para tornar visível um objeto que se tornou invisível devido ao ofuscamento inabilitador provocado pelas luminárias (ABNT, 2018). A equação (9) determina essa grandeza.

$$TI \% = 65 * \frac{L_V}{(L_{med})^{0,8}} \quad (9)$$

em que,

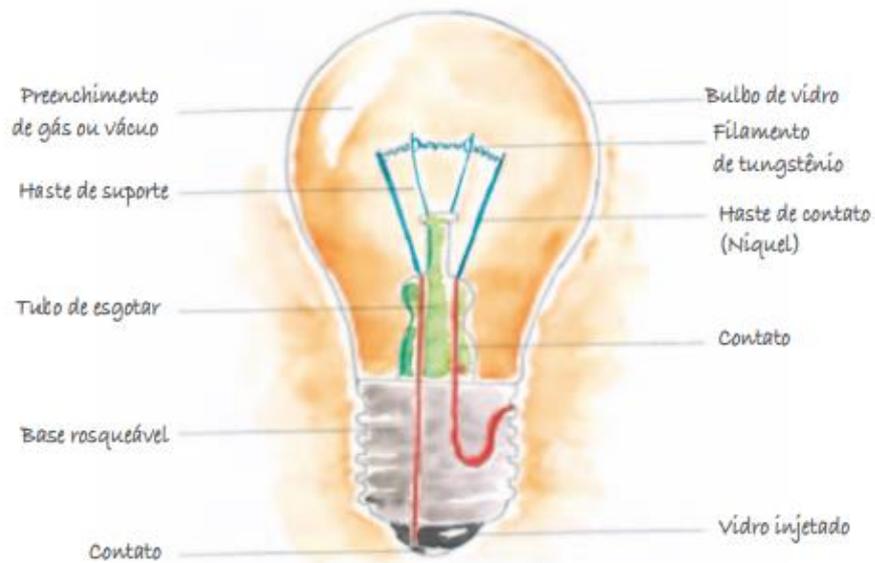
L_{med} : representa a luminância média da via;

L_V : representa a luminância de velamento;

2.17. Lâmpadas Incandescentes

As lâmpadas incandescentes foram as primeiras lâmpadas elétricas a serem usadas no mundo. No século XIX, o americano Thomas Edison melhorou a invenção já patenteada por outros inventores e tornou-a a primeira lâmpada elétrica comercialmente bem-sucedida (PAULO CANDURA, 2009). A composição da lâmpada incandescente é apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Lâmpada Incandescente



Fonte: (PAULO CANDURA, 2009)

As lâmpadas incandescentes são compostas de fio de *tungstênio* que conduz eletricidade, a passagem de corrente nesse filamento produz luz e calor. A eficiência da mesma eleva-se proporcionalmente com a temperatura. Para fins de conservação do *tungstênio* foram adicionados no bulbo gases como argônio e nitrogênio presentes no modelo atual da lâmpada incandescente. A proposta do bulbo é isolar o filamento do contato com o ar e acondicioná-lo num ambiente a vácuo aumentando a vida útil do material. (PAULO CANDURA, 2009)

A lâmpada incandescente possui uma temperatura de cor na faixa de 2700K, um tom mais amarelado e um índice de reprodução de cor de 100%. (FELICISSIMO, 2004). Seu rendimento (lm/W) gira em torno de 17lm/W, considerado baixo em relação às tecnologias mais modernas e uma vida útil média de 1.000 horas. (ARAÚJO, 2019). A depreciação luminosa das lâmpadas incandescentes pode variar entre 10 e 15% da quantidade inicial de lúmens ao longo de mil horas de vida. (PAULO CANDURA, 2009)

A portaria Interministerial MME/MCT/MDIC nº 1.007/2010 de 31.12.2010 restringiu a comercialização de lâmpadas incandescentes desde 2012, com a retirada de faixas de potência de forma gradativa do comércio. A ideia principal é evitar o desperdício de energia elétrica. (GANDRA, 2016)

2.18. Lâmpadas de Descarga

A produção de luz nas lâmpadas de descarga acontece em decorrência de uma descarga elétrica contínua em um gás ou vapor ionizado, em alguns casos com a presença de fósforo encrostado no bulbo, que se excita com a radiação provocando luminescência (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012).

Esses modelos de lâmpadas utilizam equipamentos auxiliares para o seu funcionamento adequado, que são os reatores¹ e ignitores². A classificação desse tipo de tecnologia é feita em lâmpadas de alta pressão, que incluem os modelos de mercúrio, sódio, mista e vapores metálicos, e as de baixa pressão que são os modelos de mercúrio (fluorescentes) e sódio de baixa pressão.

Os detalhes construtivos desses modelos de tecnologia são similares, eles possuem internamente gases ou vapores, sendo os gases mais utilizados o argônio, xenônio, hélio ou criptônio e os vapores de mercúrio e de sódio. Além disso, há sempre um tubo de descarga onde é realizada a composição dos gases e vapores e onde acontece as descargas elétricas. Nessas tecnologias existem eletrodos que são normalmente feitos de tungstênio espiralado, contendo um material emissivo que facilita a emissão dos elétrons. Os eletrodos são fixados à base da lâmpada através de uma ligação hermética e por fim ao bulbo, que é a parte que protege o tubo de descarga e possui em seu interior um gás inerte ou vácuo e pode conter em sua parede interna uma camada difusora ou fósforo que melhora a reprodução de cores e serve também para absorver a radiação ultravioleta emitida pelas lâmpadas. (ELETROBRAS PROCEL, 2013)

2.18.1. Lâmpadas Fluorescentes

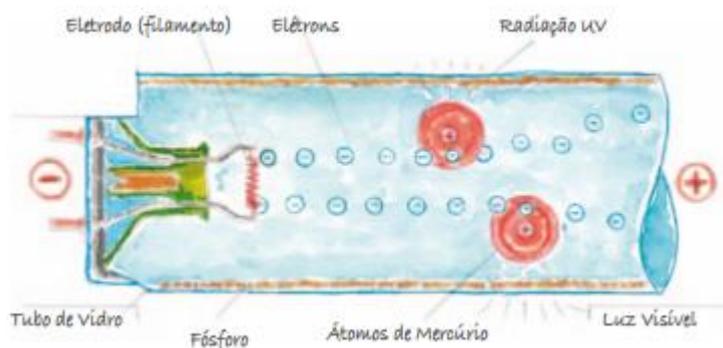
São lâmpadas de descarga de baixa pressão, seu funcionamento se dá através de uma descarga elétrica como já mencionado anteriormente. O pó

¹ Reatores são equipamentos que tem a função de limitar a corrente elétrica a ser fornecida para a lâmpada. Existem os modelos eletrônicos e eletromagnéticos, o primeiro são fontes chaveadas em alta frequência que controlam a corrente de alimentação e dispensam o uso de ignitores, o segundo, são indutores construídos para operar na frequência da rede, além disso esse modelo vem composto também por um ignitor e um capacitor para a correção do fator de potência. (COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA, 2012)

² São os equipamentos responsáveis por produzir a descarga de acionamento das lâmpadas de vapor de sódio e multi-vapor metálico, sua função é provocar picos de tensão para a ionização dos gases no interior das lâmpadas.

fluorescente ou fósforo fixado na parede interna do bulbo da lâmpada é capaz de transformar as ondas ultravioletas em ondas visíveis, que é o efeito da fluorescência, a quantidade desse material determina a temperatura de cor e a quantidade de luz emitida. Na Figura 10 é apresentada a composição da lâmpada fluorescente.

Figura 10 - Lâmpada Fluorescente



Fonte: (PAULO CANDURA, 2009)

Essas lâmpadas podem possuir também eletrodos (catodos) quentes com ou sem pré-aquecimento. Para lâmpadas de catodos quentes com pré-aquecimento, será necessário a utilização de um reator ou um *starter*, no caso de um catodo quente sem pré-aquecimento será necessário um reator de construção especial.

Hoje no mercado são comercializadas as lâmpadas fluorescentes compactas que já trazem em sua maioria reatores eletrônicos em sua composição. Os reatores eletrônicos são largamente aplicados, pois trazem uma série de melhorias como redução das perdas, emissão de luz visível em alta frequência, não produção de ruídos audíveis, possibilidade de dimerização³ das lâmpadas, filtragem das harmônicas⁴, e sua função principal que é limitar a corrente a fim de evitar um curto circuito no gás presente no bulbo da lâmpada. (PAULO CANDURA, 2009)

As lâmpadas fluorescentes compactas são comercializadas em várias potências e possuem em sua maior vantagem de utilização o consumo energético, com redução de até 80% se comparada com lâmpadas incandescentes de mesmas características de fluxo luminoso. Além disso, a vida útil pode variar de 3.000 a 12.000

³ É a possibilidade de controlar o fluxo de corrente que alimenta uma lâmpada, com o objetivo de controlar o seu fluxo luminoso.

⁴ São ondas que possuem múltiplas frequências, diferentes da frequência da onda fundamental (60Hz), que causam distorções na qualidade de energia e geram ondas de tensão e corrente não senoidais.

horas. As lâmpadas fluorescentes compactas perdem cerca 20% da sua taxa de lúmens inicial durante sua vida útil.

2.18.2. Lâmpadas a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão

Esse modelo de lâmpada é muito utilizado na iluminação pública, ela é composta basicamente de um bulbo menor que está posicionado no interior de um bulbo maior. O bulbo menor é o involucro onde ocorre as descargas responsáveis pela geração do fluxo luminoso, sendo feito de quartzo para suportar as altas temperaturas. Dentro desse bulbo há argônio e mercúrio responsáveis pela geração da luz visível.

No bulbo maior há gás inerte (nitrogênio) para manter a lâmpada na temperatura adequada quando estiver em pleno funcionamento, reduzir a oxidação de partes metálicas contendo ainda fósforo em sua parede interna a fim de melhorar a qualidade da luz gerada, transformando ondas ultravioletas em luz vermelha que não são geradas pela vaporização do mercúrio e argônio. Na Figura 11 é mostrada a estrutura dessa tecnologia.

A lâmpada de vapor de mercúrio possui três eletrodos, dois em cada extremidade do bulbo de descarga feitos de fio de tungstênio e o terceiro ligado em série com o resistor de partida. (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

Figura 11 - Lâmpada a Vapor de Mercúrio de Alta Pressão



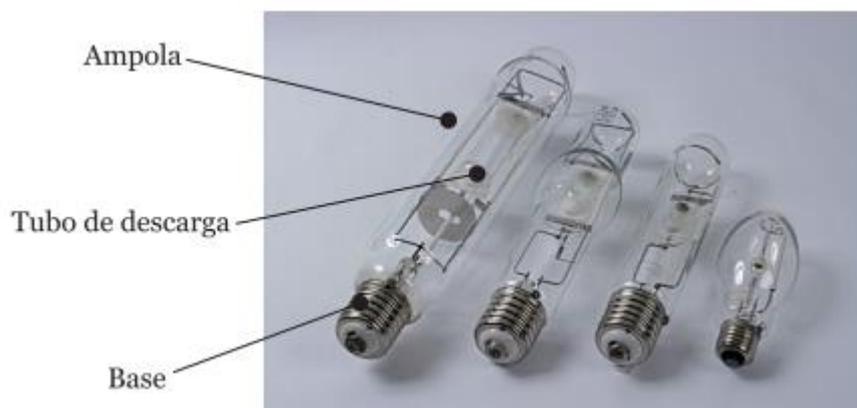
Fonte: (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

A vida média dessa tecnologia é em torno de 15.000 horas e sua eficiência luminosa é de 55 lm/W para uma lâmpada de 400 W com 22.000 lúmens.

2.18.3. Lâmpadas a Vapor Metálico

As lâmpadas a vapor metálico são similares na estrutura física às lâmpadas a vapor de mercúrio, a distinção principal é a presença de iodetos metálicos dentro do invólucro de descarga. A presença de iodetos apresenta vantagens como o aumento de raios do espectro, que melhoram o índice de reprodução de cores. Na Figura 12 é mostrada modelos de lâmpadas de vapor metálico. (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

Figura 12 - Lâmpada de Vapor Metálico



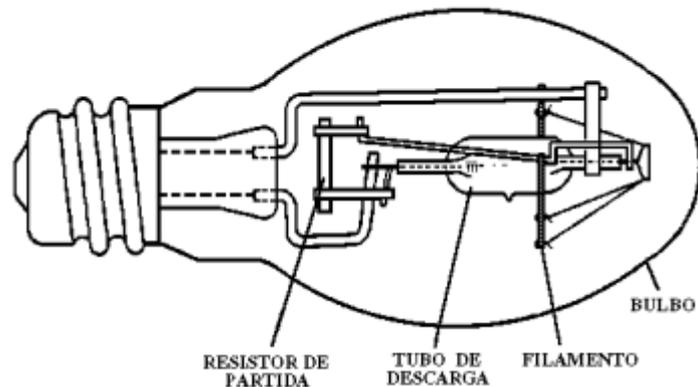
Fonte: (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

São tecnologias utilizadas em locais onde há a necessidade de uma boa reprodução de cor, sendo usada em vitrines, estádios e na indústria. (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2019)

2.18.4. Lâmpadas Mistas

As lâmpadas mistas são tecnologias similares às lâmpadas de vapor de mercúrio, mas que não necessitam de reator para seu funcionamento, pois existe um filamento conectado em série com o bulbo de descarga, que realiza a estabilização da lâmpada e que emite o fluxo luminoso. (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012). Na Figura 13 é mostrado o modelo de uma lâmpada mista.

Figura 13 - Lâmpada Mista



Fonte: (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2019)

2.18.5. Lâmpadas a Vapor de Sódio

Essas lâmpadas são fabricadas tanto em baixa pressão quanto em alta pressão. São lâmpadas muito utilizadas em áreas externas, sendo o modelo de alta pressão frequente na iluminação pública. Tem uma temperatura de cor quente, geralmente produz uma luz de cor alaranjada.

Ambos modelos utilizam o princípio da descarga para geração da luz. O modelo de baixa pressão consta de um tubo em forma de U, com eletrodos em cada extremidade, e cheios de gás argônio e neônio em baixa pressão para facilitar a partida, contendo também sódio metálico que irá se vaporizar durante o funcionamento (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012). Na Figura 14 é mostrado o modelo dessa tecnologia.

Figura 14 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Baixa Pressão



Fonte: (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

Além do tubo onde acontece a descarga, há o bulbo que protege o interno, o qual possui vácuo em seu interior com uma camada de óxido de índio que ajuda a manter a temperatura de funcionamento apropriado do tubo de descarga. (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

A vida mediana de lâmpadas a vapor de sódio de baixa pressão é aproximadamente 15.000 horas e sua eficiência luminosa é em torno de 200 lm/W, um valor bastante significativo.

O modelo de alta pressão conta com um bulbo de descarga capaz de suportar elevadas temperaturas, feito de cerâmica de alumínio oxidado. Dentro do invólucro existe xenônio para ajudar na partida, mercúrio para ajudar a vaporizar o sódio em alta pressão, havendo em cada uma das extremidades um eletrodo principal feito de nióbio. Na Figura 15 é mostrada uma lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

Figura 15 - Lâmpada a Vapor de Sódio de Alta Pressão Tipo Oval



Fonte: (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

O bulbo externo é preenchido com o vácuo a fim de manter o isolamento térmico do bulbo interno com o ambiente, melhorar a eficiência luminosa e aumentar a pressão do tubo de descarga. (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

A vida média desse modelo de lâmpada é superior a 24.000 horas e possui uma eficiência luminosa em torno de 120 lm/W. (ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A., 2012)

2.19. Diodos Emissores de Luz (LED)

As lâmpadas LED (*light emitting diode*), que traduzindo do inglês significa diodo emissor de luz, são consideradas a terceira geração das lâmpadas.

O LED é um diodo semicondutor. Os semicondutores são materiais que têm nível de condutividade entre os extremos de um isolante e de um condutor (BOYLESTAD, 2005). O germânio (Ge) e o silício (Si) são os materiais mais estudados para fins de construção de semicondutores em função de se poder alcançar um alto nível de pureza desses materiais (BOYLESTAD, 2005). Outro ponto importante desses semicondutores é a possibilidade de dopagem que consiste na adição de impurezas químicas a um elemento semicondutor para transformá-lo num elemento mais condutor, porém, de forma controlada.

Antes de falar sobre a dopagem, é importante entender um pouco da estrutura atômica dos semicondutores. Os átomos de silício e germânio possuem respectivamente 14 e 32 elétrons, dos quais em ambas as estruturas 4 elétrons estão na camada de valência (última camada de energia em um átomo).

Esses elétrons podem ser liberados de suas ligações eletrônicas através da absorção de energia cinética proveniente de fatores naturais como a energia da luz e a temperatura ambiente, e quando estão livres, são altamente sensíveis a campos elétricos, e com a dopagem as propriedades elétricas se ampliam.

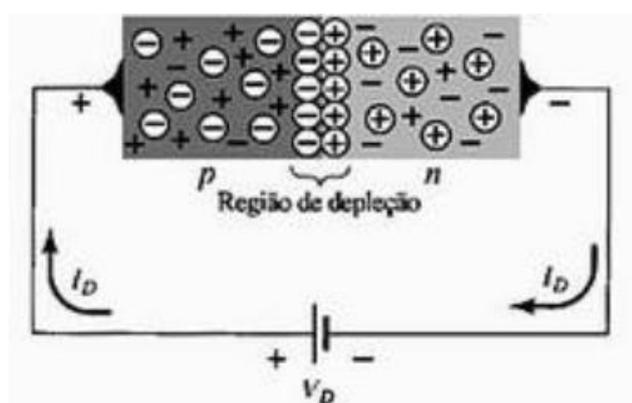
Existem dopantes doadores e receptores, que produzem os semicondutores tipo n e tipo p , respectivamente. A dopagem tipo n ocorre com a adição de fósforo ou arsênico ao silício. Tanto o arsênico quanto o fósforo possuem cinco elétrons na camada de valência. Ocorrem ligações covalentes entre quatro elétrons e um deles fica livre, ou seja, é o chamado elétron livre, que ganha movimento e gera corrente elétrica. O nome n provém da negatividade gerada da carga negativa existente. Na dopagem tipo p , há adição de boro ou gálio ao silício. Ambos possuem três elétrons na camada de valência. Quando são adicionados ao silício, criam lacunas, que conduzem corrente, e a ausência de um elétron cria uma carga positiva, por isso o nome p .

Quando combinados, esses materiais geram a base dos semicondutores construídos com silício ou germânio. Na junção de materiais tipo n e tipo p forma-se uma região, chamada zona de depleção, na qual se forma um campo elétrico inibindo a difusão de cargas entre os dois materiais (BOYLESTAD, 2005).

A polaridade da tensão aplicada aos terminais do dispositivo determina se há corrente transitando ou não em seu interior. Para que haja fluxo de corrente nesse dispositivo é necessário aplicar o potencial positivo no material do tipo p e potencial negativo no material do tipo n , a essa condição dá-se o nome de polarização direta. Quando os potenciais são invertidos não a circulação de corrente.

A aplicação de um potencial de polarização direta forçará os elétrons livres do material do tipo n e as lacunas no material do tipo p a se recombinarem com os íons próximos da fronteira e a reduzirem a largura da região de depleção. Essa condição de combinação forçada reduzirá a região de depleção e o fluxo de corrente no material acontecerá. Na Figura 16 é mostrada esse fenômeno.

Figura 16 - Polarização Direta do Diodo



Fonte: (BOYLESTAD, 2005)

Quando ocorre a recombinação dos elétrons que saem de uma órbita mais alta para uma mais baixa, a energia dessa transferência é emitida na forma de fótons. O processo de transformar a eletricidade para gerar luz é chamado de eletroluminescência, e o comprimento da radiação emitida por esse processo depende das camadas de energia de onde o elétron sai dos materiais semicondutores usados, quando mais distante o elétron estiver do núcleo maior será a energia e sua frequência.

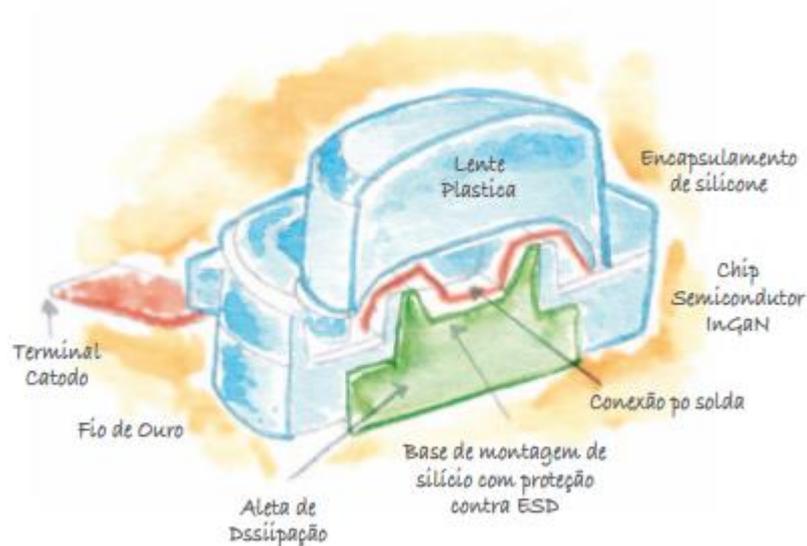
Para geração de luz visível não são utilizados os mesmos semicondutores que na eletrônica, tais como o silício e o germânio, pois os fótons emitidos por eles são insignificantes. Para fins de criação de luz visível são usados materiais como Arseneto de Gálio (GaAs) e variações como o Arsenato de Gálio com Índio (GaAsIn). (PEREIRA, 2017)

Algumas características importantes da tecnologia é possibilidade de dissipação do calor gerado, por um dissipador, e a não emissão de radiação infravermelha ou ultravioleta na luz visível. Além disso é possível alcançar diferentes temperaturas de cor com LED. (PAULO CANDURA, 2009)

Os LEDs podem ser classificados em duas categorias, os de baixa potência e os de alta potência. Será frisado os de alta potência aqui em decorrência de sua importância para o trabalho.

O detalhe construtivo de um LED de alta potência é mostrado na Figura 17. O principal componente dessa arquitetura é um chip semiconductor que é fixado numa base de silício por uma solda e protegido por um invólucro de silicone. Além disso, possui fio de ouro para a condução da corrente elétrica, aletas para dissipação do calor e os terminais chamados de ânodo (material tipo p) e catodo (material tipo n), toda a estrutura é envolvida por uma lente plástica. (PAULO CANDURA, 2009)

Figura 17 - LED de Alta Potência



Fonte: (PAULO CANDURA, 2009)

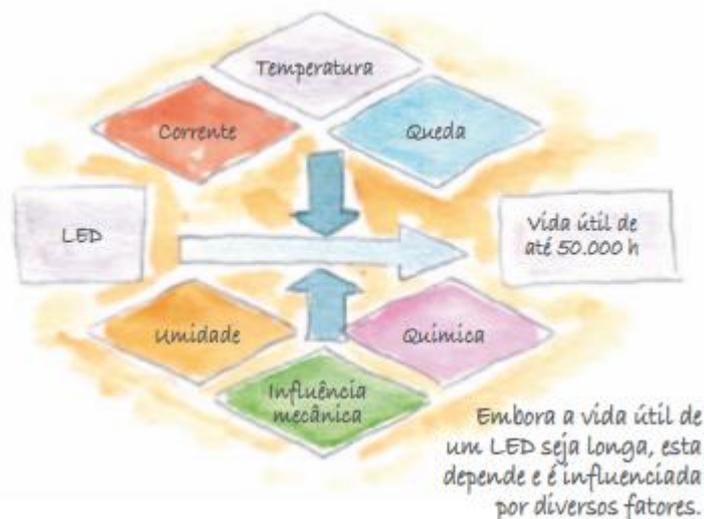
A corrente que atravessa o semicondutor é determinante para o fluxo luminoso gerado e, conseqüentemente, sua eficiência luminosa. O controle dessa corrente é feita por meio de um *driver* que é um dispositivo que serve para regular a potência e transformar a corrente CA (corrente alternada) em CC (corrente contínua).

A vida útil dos LED pode variar entre 25.000 e 100.000 horas, porém a qualidade da iluminação quando o equipamento opera próximo das 100.000 horas a já não é tão satisfatória.

A depreciação do fluxo luminoso depende muito das características de operação e o meio em que equipamento está operando, se em situações extremas, como altas correntes de operação e temperaturas elevadas em suas junções, o LED pode perder em média 30% do seu valor de fluxo luminoso inicial depois de operar por 60.000 horas. (PAULO CANDURA, 2009)

Na Figura 18 é mostrada algumas variáveis que influenciam nas perdas de fluxo luminoso do LED.

Figura 18 - Fatores que Influenciam a Vida Útil dos Módulos de LED



Fonte: (PAULO CANDURA, 2009)

2.20. Considerações Finais

Nesse capítulo foram abordados termos luminotécnicos importante para a compreensão do leitor nos capítulos subsequentes, que servem de base para o entendimento dos parâmetros analisados nas simulações realizadas no estudo de caso e na especificação das lâmpadas adotadas nas simulações. Foi feita uma apresentação cronológica das tecnologias de lâmpadas usadas na iluminação pública, finalizando com o modelo adotado no estudo de caso, o LED.

3. PROGRAMAS DE EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA

Neste capítulo são apresentados dois programas de eficiência energética desenvolvidos pelas concessionárias de energia elétrica. É apresentado um breve descritivo dos programas, seus objetivos e por fim o elo desses programas com o estudo de caso realizado.

3.1. Programa Reluz

O Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica Eficientes, também chamado de PROCEL RELUZ, foi criado no ano de 2000 e é desenvolvido desde então com apoio das prefeituras e governos estaduais, sendo implementado pelas distribuidoras de energia. (PROCEL INFO, 2020)

O programa, criado pelo Ministério de Minas e Energia, tem como objetivo promover o desenvolvimento de sistemas eficientes de iluminação pública e sinalização semafórica, bem como a valorização dos espaços públicos urbanos, melhorando a segurança da população. (PROCEL INFO, 2020)

Os projetos de eficiência energética realizados se limitam a áreas externas, visando melhorias no sistema existente, seja iluminação ou sinalização semafórica, podendo ter também um caráter de inovação tecnológica. (ELETROBRAS, 2020)

O programa em sua última edição, no ano de 2019, lançou um edital, no qual os clientes (prefeituras e consórcios) puderam submeter seus projetos em chamada pública. A proposta era escolher os projetos que melhor apresentassem condições de aplicabilidade aos diversos municípios brasileiros, objetivando a melhoria da eficiência da iluminação das cidades com uso da tecnologia LED obrigatoriamente.

O estudo de caso elaborado nesse trabalho apresenta alguns dos requisitos necessários para participar da chamada pública do programa PROCEL RELUZ, sendo o mesmo uma simulação de proposta técnica.

3.2. Programa ANEEL Distribuidoras - PEE

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é uma autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia criada para regular o setor elétrico brasileiro. (ANEEL, 2020)

A empresa é responsável por diversas atribuições tais como regular a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; estabelecer tarifas; fiscalizar, diretamente ou mediante convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica, dentre outras atribuições. (ANEEL, 2020)

Atualmente a agência também é responsável por acompanhar e fiscalizar os projetos de eficiência energética desenvolvidos pelas distribuidoras de energia elétrica vinculadas ao setor elétrico. Existe a obrigatoriedade das empresas concessionárias em realizar investimentos anuais em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética, estabelecido na lei Nº 9.991 de 24 de Julho de 2000, artigo 1º.

Art. 1º As concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, setenta e cinco centésimos por cento de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico e, no mínimo, vinte e cinco centésimos por cento em programas de eficiência energética no uso final, observado o seguinte: até 31 de dezembro de 2022, os percentuais mínimos definidos no caput deste artigo serão de 0,50% (cinquenta centésimos por cento), tanto para pesquisa e desenvolvimento como para programas de eficiência energética na oferta e no uso final da energia. (ANEEL, 2018)

O programa de eficiência energética (PEE) definido pela ANEEL, tem como objetivo promover o uso eficiente da energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstram a importância e a viabilidade econômica de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia.

O PEE é regido pela resolução normativa nº 830 de 23 de outubro de 2018, que determina como os processos de eficiência energética devem ser realizados pelas distribuidoras de energia elétrica. A resolução nº 830 é definida como Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE).

O estudo de caso feito nesse trabalho utiliza a metodologia do PROPEE como ferramenta de análise de eficiência energética. Algumas etapas descritas na

resolução são apresentadas nesse trabalho e estão descritas no tópico 4.7.1., Procedimentos do Programa de Eficiência Energética.

3.3. Considerações Finais

Nesse capítulo foi apresentado programas de eficiência energética desenvolvidos pelas distribuidoras de energia elétrica do país. O estudo de caso apresentado no capítulo 4 apresenta metodologias de análise de eficiência energética apresentado nas chamadas públicas de projetos desses dois programas, sendo mais usado o modelo aplicado pelo PEE.

4. ESTUDO DE CASO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE CARIDADE

Este capítulo trata das análises de investimento do *retrofit*, do consumo e economia de energia e da análise do parque de iluminação pública da cidade de Caridade, as principais tecnologias usadas na IP, assim como os problemas encontrados nas visitas *in loco*.

4.1. Situação atual

O município de Caridade está situado na macro-região do Sertão Central do estado do Ceará, a 92 km da capital, Fortaleza. A cidade possui 20.020 mil habitantes, com uma densidade demográfica de 23,65 hab/km², composto por três distritos, Inhumporanga, São Domingos e Caridade. (IBGE, 2017)

Segundo o IBGE, em 2017 o salário médio mensal era de 1,7 salários mínimos e apenas 5,1% da população estava ocupada. A cidade possuía um PIB per capita de R\$ 5.264,33, ocupando a 181^o dos 184 municípios cearenses. As principais fontes de renda do município são baseadas na administração, defesa, educação, saúde pública e seguridade social, segundo a última pesquisa realizada pelo IBGE em 2016. O município em 2018, segundo o IBGE, possuía 4.519 veículos, o que implica dizer que a iluminação pública da cidade tem caráter majoritariamente de segurança pública, uma vez que parte desses veículos estão nos distritos e zonas rurais.

A infraestrutura sanitária e urbanística do município é ruim, com apenas 10,1% de esgotamento sanitário adequado e 0,8% das vias públicas são urbanizadas (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). (IBGE, 2017)

O estudo sobre a iluminação pública se restringiu apenas ao distrito sede do município que possui um parque de iluminação gerido pela secretaria de infraestrutura do município, como determina a legislação 414/2010, artigo 21.

A elaboração de projeto, a implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública são de responsabilidade do poder público municipal ou distrital, ou ainda de quem tenha recebido deste a delegação para prestar tais serviços. (ANEEL, 2010)

Foram analisados um total de 59 logradouros que compõem a cidade, desde os bairros com boa urbanização até os que estão em processo de estruturação, sendo contabilizados 344 pontos de iluminação nas ruas, travessas e avenidas. No

levantamento realizado *in loco*, foi constatado que a composição desse parque é feita majoritariamente por lâmpadas do tipo vapor de sódio, representado por 84,88% do total de lâmpadas presentes no sistema, os outros 15,12% são lâmpadas de vapor metálico. Não foram contabilizados nesse levantamento os refletores de LED presentes na praça Coração de Jesus, uma vez que estes já estão inclusos no objetivo do trabalho. O levantamento é válido até a data de 20/01/2020, dia em que foi feito o último levantamento, o parque pode ter sofrido mudanças dessa data até o dia da apresentação do trabalho. No Quadro 1 é apresentado de forma resumida os quantitativos das tecnologias aplicadas no parque de iluminação pública da cidade.

Quadro 1- Tecnologias Usadas no Parque de IP de Caridade

Tecnologia	Quantidade
70 W - Vapor de Sódio	267
70 W - Vapor Metálico	33
150 W - Vapor de Sódio	1
150 W - Vapor Metálico	1
250 W - Vapor de Sódio	24
250 W - Vapor Metálico	6
400 W - Vapor de Sódio	12

Fonte: O próprio autor

O sistema de IP abrange cerca de 0,94 km² de área urbana com um perímetro de 13,65 km e com 14,32 km de ruas, travessas e avenida iluminadas. A extensão dos logradouros foi realizada no *google Earth*, com o uso da ferramenta régua. As dimensões e proporção da cidade são apresentadas na Figura 19, na Figura 20 e na Figura 21, já o perímetro analisado, é mostrado na Figura 22.

Figura 19 - Cidade de Caridade



Fonte: O próprio autor

Figura 20 – Cidade de Caridade



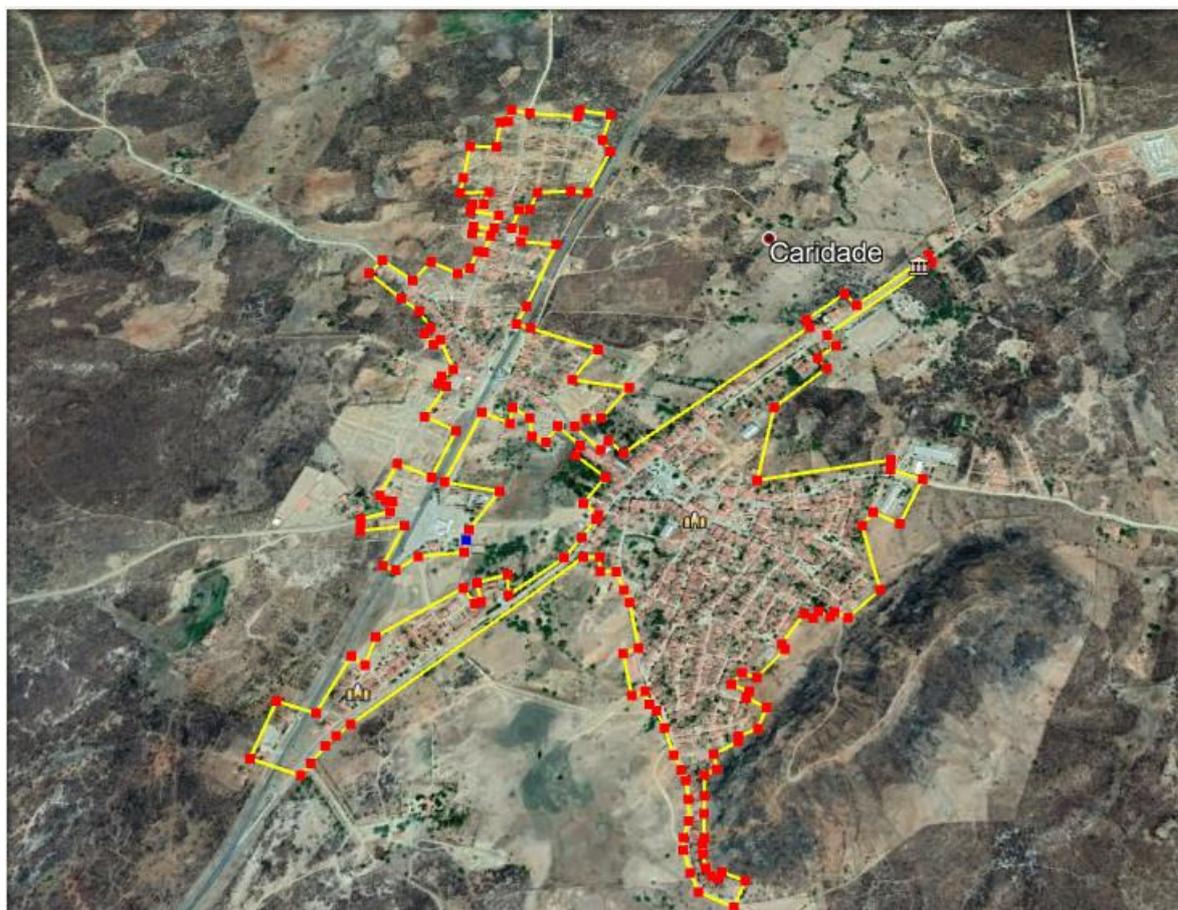
Fonte: O próprio autor

Figura 21 - Cidade de Caridade



Fonte: O próprio autor

Figura 22 - Perímetro analisado



Fonte: O próprio autor a partir do *software Google Earth*

4.2. Problemas Encontrados

O parque de IP atual sofre com alguns problemas, os mais evidentes são a iluminação ineficiente, em que não há direcionamento do fluxo luminoso, como é mostrado na Figura 23; iluminação com o efeito zebra, onde uma parte da rua fica bem iluminada e outra fica escura, como é mostrado a Figura 24. A não padronização do uso de braços, de modelos de lâmpadas e luminárias, na Figura 25 e na Figura 23 são mostrados parte desse problema. É possível encontrar ainda algumas lâmpadas que não são acionadas no período noturno, o que mostra a necessidade de manutenção periódica no parque, além de direcionamento inadequado de luminária, conforme é apresentado na Figura 25. Os problemas encontrados acontecem em diversas localidades da cidade.

Figura 23 - Iluminação Ineficiente (A luminária não direciona o fluxo luminoso)



Fonte: O próprio autor

Figura 24 - Iluminação com Efeito Zebra e com Problema com a Arborização



Fonte: O próprio autor

Figura 25 - Sequência de Lâmpadas sem Padrão



Fonte: O próprio autor

Figura 26 - Luminária Mal Direcionada



Fonte: O próprio autor

4.3. Análise da Norma de IP 5101/2018 para a cidade de Caridade

A realização de um projeto de iluminação pública parte basicamente da adequação da iluminação pública existente aos requisitos exigidos na norma vigente, NBR 5101:2018. O documento estabelece os valores mínimos para uma iluminação adequada de forma rápida, precisa e confortável, tanto para o tráfego de veículos quanto para pedestres. (ABNT, 2018)

A norma cita benefícios de sua utilização como a redução de acidentes noturnos; melhoria das condições de vida, principalmente nas comunidades carentes; auxílio à proteção policial, com ênfase na segurança dos indivíduos e propriedades; facilidade do fluxo do tráfego; eficiência energética e etc. (ABNT, 2018)

A primeira etapa para a elaboração do projeto luminotécnico é a classificação das ruas. Foram analisadas todas as ruas da cidade e classificadas de acordo com as descrições feitas na norma 5101:2018, seção 4.1 Classificação das vias. No Quadro 2 é apresentado o resumo quantitativo das ruas da cidade, todas as

ruas foram classificadas como vias urbanas. A análise completa das ruas está presente no Anexo I.

Quadro 2 - Classificação das Vias

Ruas	Quantidade
Via de Trânsito rápido	0
Via Arterial	0
Via Coletora	11
Via Local	48

Fonte: O próprio autor

As ruas averiguadas foram classificadas como vias de tráfego leve, tanto para a situação de tráfego motorizado, quanto para o tráfego de pedestres, como é mostrado na Tabela 1 e na Tabela 2 da norma 5101:2018, apresentadas também como Tabela 1 e Tabela 2.

Tabela 1 – Tráfego Motorizado

Tráfego motorizado	
Classificação	Volume de tráfego noturno a de veículos por hora, em ambos os sentidos b , em pista única
Leve (L)	150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

a Valor máximo das médias horários obtidos nos períodos compreendidos entre 18h e 21h

b Valores para velocidades regulamentadas por lei

NOTA Para vias com tráfego menor do que 150 veículos por hora, consideram-se as exigências mínimas do grupo leve (L) e para, vias com tráfego muito intenso, superior a 2400 veículos por hora, consideram-se as exigências máximas do grupo de tráfego intenso (I).

Fonte: NBR 5101: 2018

Tabela 2 -Tráfego de Pedestre

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

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

Fonte: NBR 5101: 2018

A classe de iluminação das vias foi realizada com base na tabela 4 da NBR 5101:2018, apresentada como Tabela 3.

Tabela 3 – Classes de Iluminação para Cada Tipo de Via

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

Fonte: NBR 5101: 2018

Com base na constatação *in loco*, as ruas foram observadas e classificadas de acordo com a Tabela 3. No Quadro 3 é apresentado a classificação e os quantitativos dos logradouros analisados.

Quadro 3 – Classificação de Iluminação

Ruas	Quantidade
V1	0
V2	0
V3	0
V4	11
V5	48

Fonte: O próprio autor

De acordo com as classificações realizadas, as adequações aos níveis mínimos de iluminação foram realizadas seguindo as tabelas 5 e 7 da NBR 5101:2018, apresentadas como Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4 - Requisitos de Luminância e Uniformidade

Requisitos de luminância e uniformidade					
Classe de iluminação	Lmed	Uo ≥	UI ≥	TI % ≤	SR ≥
V1 ^a	2,00	0,4	0,7	10	0,5
V2 ^a	1,50	0,4	0,7	10	0,5
V3 ^a	1,00	0,4	0,7	10	0,5
V4	0,75	0,4	0,6	15	
V5	0,50	0,4	0,6	15	

Legenda

Lmed	luminância média
Uo	uniformidade global
UL	uniformidade longitudinal
TI	incremento de limiar
SR	razão das áreas adjacentes à via

NOTA Os critérios de TI e SR são orientativos assim como as classes V4 e V5

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

Fonte: NBR 5101: 2018

Tabela 5 - Iluminância Média e Uniforme para Cada Classe de Iluminação

Iluminância média mínima e uniforme para cada classe de iluminação		
Classe de iluminação	Iluminância média mínima Emed, mín lux	Fator de uniformidade mínimo U=Emin/Emed
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: NBR 5101: 2018

Outras informações também foram analisadas para tornar o projeto luminotécnico o mais próximo do real, como a verificação do tipo de pavimentação

das ruas, número de faixas de rodagem, largura média da via, tipo de posteação, distância média entre os postes e comprimento médio do canteiro central quando existir.

O tipo de pavimentação foi observado em visitas às ruas da cidade, em que se pode constatar a presença de três tipos de pavimentação das ruas, como é mostrado no Quadro 4. Algumas ruas possuíam mais de um tipo de pavimentação, as quais foram classificadas de acordo com o tipo de pavimento mais presente em sua extensão. O impacto desse levantamento foi pensado para o desenvolvimento do projeto no *DIALux*, que oferece a opção de adequar a pavimentação à situação original.

Quadro 4 - Tipos de Pavimentação das Ruas

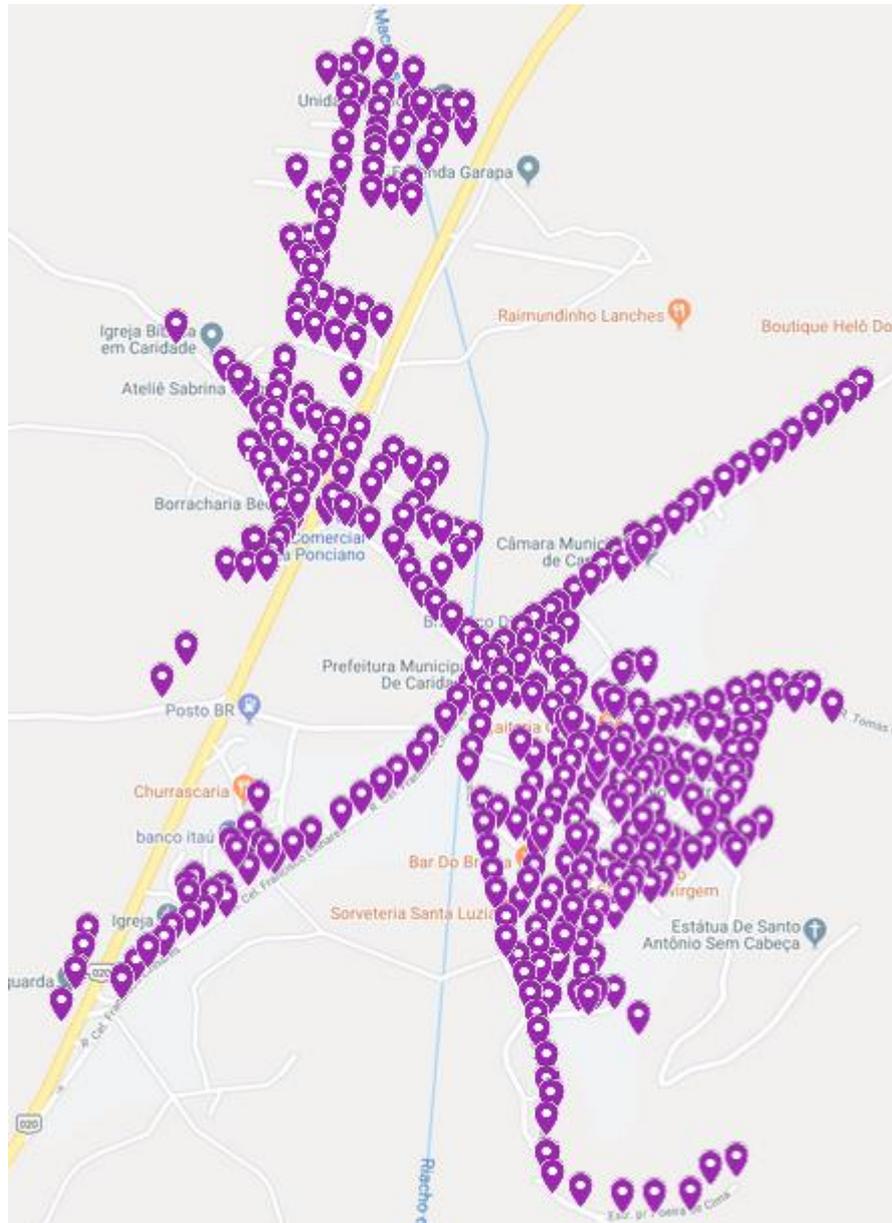
Ruas	Quantidade
Asfalto	7
Terra	17
Calçamento	35

Fonte: O próprio autor

A largura média das vias foi obtida com auxílio do *google Earth*. A cada 50 metros de extensão de rua, foram realizadas as medições de largura a fim de encontrar um tamanho médio dos logradouros, uma vez que a maioria não possui padronização de tamanho. A medição da extensão das vias foi realizada com a utilização da mesma ferramenta. As médias das medições são apresentadas no Anexo I.

A iluminação pública dos logradouros da cidade usa a posteação de baixa e média tensão da concessionária de distribuição de energia, sendo o tipo de posteação majoritariamente unilateral, havendo poucos casos de mudança de posição das estruturas. Na Figura 27 é apresentada a localização da maioria dos postes de iluminação na cidade.

Figura 27 - Geo-Referenciamento dos Postes de Iluminação



Fonte: Enel Distribuição Ceará (Google Maps)

De posse do posicionamento dos postes, pode-se verificar a distância média das estruturas a fim de usá-los para o projeto luminotécnico em *software*. Como apenas uma via apresenta canteiro central, foi mensurado o comprimento médio deste *in loco*.

4.4. DIALux

Para a elaboração do projeto luminotécnico utilizou-se o programa *DIALux* EVO. Com o *software* foi possível mensurar os parâmetros da Tabela 4 exigidos pela NBR 5101:2018.

O *DIALux* é um *software* desenvolvido pela DIAL para elaboração de projetos luminotécnicos. A ferramenta auxilia o projetista no planejamento, cálculos e visualização da iluminação em ambientes internos e externos. É uma ferramenta gratuita disponível em 25 idiomas, com versões para desktop e aplicativos móveis. (DIALUX, 2020)

Os principais fabricantes de luminárias e lâmpadas do mercado disponibilizam em seus sites, *plug-ins* de seus equipamentos que podem ser importados pelo *DIALux* para os cálculos luminotécnicos dos ambientes. Os arquivos introduzidos possuem dados fotométricos dos produtos adotados que são utilizados nos projetos.

4.5. Luminárias LEDs

Nas simulações realizadas foram utilizadas dois modelos de luminárias LED, as tecnologias fazem parte da família ESPSAT Luminária ESAT PLUS, tamanho S, fixação lateral 48,3 a 60,3mm com tamanho para relé fotocontrolador. O modelo de 60W possui fluxo luminoso de 7.808 lúmens e o modelo de 115W com fluxo luminoso 15.098 lúmens, ambos com temperatura de cor de 5.000K, índice de reprodução de cor maiores que 70, vida útil de 66.000 horas e fator de potência maior que 0,95.

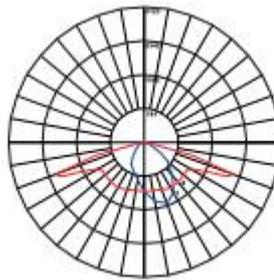
As dimensões físicas dos modelos simulados são apresentados no Quadro 5, já a distribuição fotométrica é mostrada na Figura 28. Os parâmetros elétricos das luminárias adotadas são mostrados no Quadro 6 e suas dimensões são apresentadas na Figura 29. A imagem do modelo escolhido é apresentada na Figura 30.

Quadro 5 - Dimensões Físicas

Fixação	48,3 mm a 60,3 mm
Grau de proteção	IP66
Resistência a impactos	IK08
Peso	5,54 kg/5,91kg

Fonte: (TENOWATT ILUMINAÇÃO, 2019)

Figura 28 - Distribuição Fotométrica



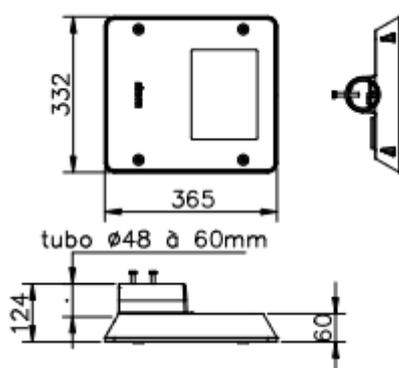
Fonte: (TENOWATT ILUMINAÇÃO, 2019)

Quadro 6 - Parâmetros Elétricos

Potência segundo o modelo	60W, 80W, 90W, 115W, 140W, 150W, 165W, 175W, 190W e 200W
Temperatura de trabalho	-30°C a +50°C
Regulação	1N_ _ 1-10V
Tensão de alimentação	90 a 305 VAC
Frequência	50/60Hz
Proteção contra sobretensão	10kV/12kA
Fator de potência	0,95
Proteção elétrica da luminária	Classe I

Fonte: (TENOWATT ILUMINAÇÃO, 2019)

Figura 29 - Dimensões



Fonte: (TENOWATT ILUMINAÇÃO, 2019)

Figura 30 - Luminária LED



Fonte: (TENOWATT ILUMINAÇÃO, 2019)

4.6. Projeto Luminotécnico – *DIALux*

As validações dos valores determinados em norma foram averiguadas no software *DIALux*. A análise das ruas foi realizada com base nas informações de georeferenciamento dos postes apresentado na Figura 27.

A simulação dos logradouros foi realizada na opção iluminação de rua do *software*, em que se pode adequar as características da via aos campos presentes no *DIALux* conforme os padrões determinados no tópico 4.3, mas com as referências da norma europeia EN 13201:2015, uma vez que o software não possui a norma brasileira em sua biblioteca, porém os padrões luminotécnicos são similares.

Foram utilizados três tipos de pavimento de pista de rodagem, CIE R1, CIE R3 e N1 *very diffuse*, as descrições dessas superfícies e o nível de refletância que elas produzem encontram-se no Anexo II.

Foram realizadas simulações para todos os 59 logradouros catalogados, sendo aplicados neles um braço de 2,00 metros⁵, uma altura de 8,00 metros para as luminárias e uma distância do poste para a pista de rodagem de 0,5 metros. Foi aplicado uma inclinação para o braço extensor em 5°, já para o fator de manutenção foi aplicado o padrão do software de 0,670.

As simulações foram realizadas tanto com o maior distanciamento dos postes, a fim de se certificar de que nas situações mais adversas terão os padrões da norma atendidos, assim como os menores distanciamentos e distâncias médias dos postes, este último criado para fins comparativos.

Para as ruas com características V4 foram utilizados os modelos de 115W na simulação, já nas ruas com características V5 foram utilizadas as tecnologias de 60W.

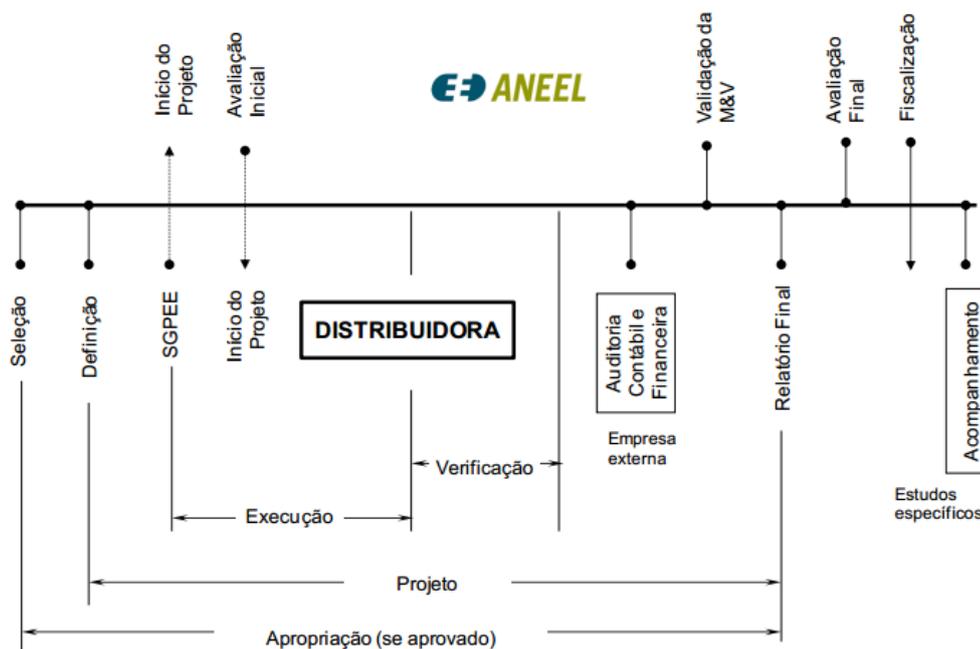
4.7. Análise Econômico Financeira

4.7.1. Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE

O PROPEE é dividido em dez módulos que trata das mais diferentes abrangências dos procedimentos para efficientização. Além disso, a resolução segue algumas etapas que vão desde a escolha do projeto de eficiência energética até a avaliação e acompanhamento dos projetos perante a ANEEL. Na Figura 31 é mostrada a cronologia de ações desenvolvidas pelas concessionárias de energia.

⁵ Distância referente a base de sustentação do braço, fixado no poste até o seu extremo, ponto de fixação da luminária, comprimento esse correspondente ao cateto do triângulo retângulo formado pelo desenho do poste.

Figura 31 - Etapas dos Projetos do PEE



Fonte: (ANEEL, 2018)

A etapa de seleção refere-se à escolha do projeto de eficiência energética que será desenvolvido pela permissionária, seja ele selecionado por chamada pública ou diretamente pela distribuidora.

A segunda etapa trata das ações de eficiência energética que serão realizadas no projeto selecionado, assim como a análise-econômica do projeto e as definições de como serão realizadas as atividades de medição de verificação.

O cadastro trata do carregamento do projeto na base de PEE da ANEEL, também chamado de duto da ANEEL. A avaliação inicial só cabe a projetos que necessitam de aprovação da agência para serem executados. A etapa Execução se restringe a execução do projeto, que é iniciado a partir da data de envio do XML do projeto, sendo essa, a mesma data da etapa de cadastro.

A etapa de M&V (Medição e Verificação) trata da elaboração do relatório técnico que apresenta o consumo de energia e demanda na ponta antes e após a implementação das ações de eficiência energética. A validação da M&V é feita por uma empresa devidamente capacitada e isenta a critério da ANEEL. A auditoria contábil e financeira refere-se à elaboração do relatório dos gastos com a execução do projeto. Em sequência a essa etapa, há a elaboração do relatório final que apresenta todos os resultados alcançados e metodologias adotadas no projeto.

As etapas avaliação final e acompanhamento tratam de etapas realizadas pela ANEEL para validarem as informações enviadas pela concessionária e aprovar a continuidade do projeto, caso o projeto ainda seja implementado pela distribuidora.

Para esse trabalho, a chamada pública é a opção que se adequa no processo de seleção dos projetos do PROPEE, sendo utilizados os módulos 1 (Introdução), 3 (Seleção e Implantação de Projetos), 4 (Tipologias de Projetos), 7 (Cálculo de viabilidade) e 8 (Medição e Verificação) para a sua criação.

Os módulos 9 (Avaliação dos Projetos e Programa) e 10 (Controle e Prestação de Contas) não se aplicam à simulação elaborada nesse trabalho, pois trata-se apenas de um pré-diagnóstico.

As chamadas públicas são realizadas pelas concessionárias de energia por meio de editais, a fim de captar junto às unidades consumidoras projetos de eficiência energética sob prévia avaliação técnico-econômica da distribuidora, seguindo as diretrizes estabelecidas pela ANEEL. (ANEEL, 2018)

Para concorrer à chamada pública de projetos, é necessário classificá-lo em algumas diretrizes, tais como, classe de consumo e tipologia, que determinam qual o tipo de consumidor e o setor da economia que serão atendidos pelo projeto.

Segundo o módulo 3 e módulo 4 do (ANEEL, 2018), a classe de consumo e a tipologia adotada para esse estudo devem ser Iluminação Pública. Além dessas duas diretrizes citadas anteriormente, outro ponto a ser definido no projeto é a definição do uso final, que abrange a iluminação, condicionamento ambiental, sistemas motrizes, sistemas de refrigeração, aquecimento solar de água, gestão energética, bônus para equipamentos eficientes e reciclagem de resíduos. A simulação realizada tem como uso final apenas a iluminação.

As ações de eficiência energética para iluminação artificial se restringem a substituição de equipamentos como lâmpadas, reatores, luminárias e a substituição dos braços das luminárias para adequação a NBR 5101:2018.

O dimensionamento do consumo de energia elétrica como preconiza o PROPEE estão presentes no Quadro 7 e no Quadro 8 onde são mensurados o consumo de energia elétrica e a demanda média no horário de ponta. A análise é feita para o sistema atual, que são as lâmpadas e reatores usados atualmente e para o sistema proposto, que são os equipamentos dimensionados segundo a NBR 5101 e simulados no *DIALux*.

Quadro 7 - Sistema Atual

Benefícios Iluminação										
Sistema Atual										
	LÂMPADA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Total
1	Tipo de lâmpada		Vapor de Sódio 70W	Vapor Metálico 70W	Vapor de Sódio 150W	Vapor Metálica 150W	Vapor de Sódio 250W	Vapor Metálica 250W	Vapor Metálica 400W	
2	Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1	84	85	172	173	280	273	440	
3	Quantidade	qa_1	267	33	1	1	24	6	12	344
4	Potência Instalada (kW)	Pa_1	22,43	2,81	0,17	0,17	6,72	1,64	5,28	39,22
5	Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	
	Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/ano)		365	365	365	365	365	365	365	
	Funcionamento (h/ano)	ha_1	4.205	4.205	4.205	4.205	4.205	4.205	4.205	
6	Meses no ano, de utilização do Sistema no horário de Ponta (meses)	12	12	12	12	12	12	12	12	
	Dias úteis no mês, de utilização do Sistema no horário de Ponta (dias)	22	22	22	22	22	22	22,0	22,0	
	Horas por dia, de utilização do Sistema no horário de Ponta (horas)	3	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	
	Potência média na ponta (kW)		21,16	2,65	0,16	0,16	6,34	1,55	4,98	
	FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1$	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
7	Energia Consumida (MWh/ano)	Ea_1	94,31	11,79	0,72	0,73	28,26	6,89	22,20	164,90
8	Demanda média na ponta (kW)	Da_1	21,16	2,65	0,16	0,16	6,34	1,55	4,98	36,99

Fonte: O próprio autor

Quadro 8 - Sistema Proposto e Resultados Esperados

Sistema Proposto										
	LÂMPADA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Total
11	Tipo de lâmpada		LED	LED						
12	Potência (lâmpadas + reatores) (W)	pp_1	60	115						
13	Quantidade	qp_1	174	170						344
14	Potência Instalada (kW)	Pp_1	10,44	19,55						29,99
15	Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		11,52	11,52						
	Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/ano)		365	365						
	Funcionamento (h/ano)	hp_1	4.205	4.205						
16	Meses no ano, de utilização do Sistema no horário de Ponta (meses)	12	12	12						
	Dias úteis no mês, de utilização do Sistema no horário de Ponta (dias)	22	22	22						
	Horas por dia, de utilização do Sistema no horário de Ponta (horas)	3	2,83	2,83						
	Potência média na ponta (kW)		8,07	15,12						
	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_1	0,94	0,94						
17	Energia Consumida (MWh/ano)	Ep_1	43,90	82,20						126,10
18	Demanda média na ponta (kW)	Dp_1	9,85	18,44						28,29
Resultados Esperados										
			Sistema Final							Total
21	Redução de Demanda na Ponta (kW)	RDP_1	8,70							8,70
22	Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\%$	24%							24%
23	Energia Economizada (MWh/ano)	EE_1	38,79							38,79
24	Energia Economizada (%)	$EE_1\%$	24%							24%

Fonte: O próprio autor

A energia economizada é mensurada com o uso da equação (10),

$$EE = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \times pa_i \times ha_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \times pp_i \times hp_i) \right] \times 10^{-3} \quad (10)$$

Os termos que compõem a equação (10) estão descritos no Quadro 9,

Quadro 9 - Descrição dos Termos da Equação (10)

<i>EE</i>	Energia Economizada	MWh/ano
<i>qa_i</i>	Número de lâmpadas no Sistema i atual	Unidade
<i>pa_i</i>	Potência da lâmpada e reator no Sistema i atual	W
<i>ha_i</i>	Tempo de funcionamento do sistema i atual	h/ano
<i>qp_i</i>	Número de lâmpadas no sistema i proposto	Unidade
<i>pp_i</i>	Potência da lâmpada e reator no sistema i proposto	W
<i>hp_i</i>	Tempo de funcionamento do sistema i proposto	h/ano

Fonte: (ANEEL, 2018)

A equação (11) mensura a redução de demanda na ponta para o sistema proposto.

$$RDP = \left[\sum_{\text{Sistema } i} (qa_i \times pa_i \times FCPa_i) - \sum_{\text{Sistema } i} (qp_i \times pp_i \times FCPp_i) \right] \quad (11)$$

Os termos que compõem a equação (11) estão descritos no Quadro 10.

Quadro 10 - Descrição dos Termos da Equação (11)

<i>RDP</i>	Redução de demanda na ponta	kW
<i>FCPa_i</i>	Fator de coincidência na ponta no Sistema i atual	Unidade
<i>FCPp_i</i>	Fator de coincidência na ponta no Sistema i atual	Unidade

Fonte: (ANEEL, 2018)

Os tipos de lâmpadas ou tecnologias do sistema atual foram quantificados *in loco*. O levantamento foi realizado por um eletrotécnico especializado em iluminação pública, as tecnologias catalogadas estão descritas no Quadro 7.

As lâmpadas e luminárias alocadas em ruas, travessas e avenida estão instaladas em estruturas de baixa e média tensão pertencentes à distribuidora de energia elétrica.

No Anexo III são apresentados os modelos de lâmpadas encontradas em praças, áreas de lazer e regiões específicas da cidade, que comportam postes que são de responsabilidade da própria prefeitura, mas que não foram usados no estudo de caso.

Os valores das potências média dos reatores não foram quantificados *in loco*, sendo utilizado valores médios determinados na Especificação Técnica nº 134 da Enel Distribuição Ceará, que trata de perdas de reatores. O Anexo IV apresenta a tabela da Especificação Técnica que mostra as perdas dos reatores para cada modelo e potência de lâmpada utilizada. A unidade de medida usada para determinar o consumo de energia dos equipamentos elétricos foi o watt (W).

A potência instalada do sistema é resultado apenas da multiplicação da soma das potências das lâmpadas com os seus respectivos reatores pela quantidade de modelos de cada sistema, mensurado em kW.

O tempo de utilização do sistema foi mensurado de acordo com o estabelecido no artigo 24 da resolução nº 414/2010 da ANEEL, que diz,

Para fins de faturamento da energia elétrica destinada à iluminação pública ou à iluminação de vias internas de condomínios, o tempo a ser considerado para consumo diário deve ser de 11 (onze) horas e 52 (cinquenta e dois) minutos, ressalvado o caso de logradouros que necessitem de iluminação permanente, em que o tempo é de 24 (vinte e quatro) horas por dia do período de fornecimento. (ANEEL, 2010)

Assim foi utilizado o tempo de 11 horas e 52 minutos como tempo de uso do sistema. Como todos os dias do ano as lâmpadas são acessas pelo efeito da fotocélula, então adotou-se os 365 dias do ano para a energização dos equipamentos. O funcionamento foi mensurado pela multiplicação do tempo de utilização do sistema durante o dia, pela quantidade de dias de utilização do sistema durante o ano.

Para a quantidade de meses de utilização foram contemplados os doze meses do ano, já os dias uteis do mês no horário de ponta foram contabilizados os vinte e dois dias do mês em que há tarifação do horário de ponta. As horas diárias de utilização do sistema na ponta foram considerados 94,3% por cento do sistema

energizado no horário de ponta, assumindo que a concessionária tem seu horário de ponta no intervalo compreendido entre 17:30 a 20:30.

O INPE estabelece que o horário de pôr do sol na cidade é as 17:58 no dia (04/02/2020), o que torna o percentual de horas diárias do sistema no horário de ponta válido, porém optou-se por utilizar o horário de 17:40 por entender que essa hora sofre variações durante o ano.

A potência média na ponta trata do valor da soma das potências das lâmpadas e reatores no horário de ponta. O valor dessa potência dar-se-á através da multiplicação da potência instalada do sistema com a divisão do tempo de utilização do sistema no horário de ponta pelo tempo máximo do sistema no horário de ponta. O fator de coincidência na ponta representa o quanto o sistema atua no horário de ponta, sendo 1 o valor máximo.

A energia consumida é mensurada em MWh/ano sendo obtida através da multiplicação da potência instalada pelas horas de funcionamento do sistema e posteriormente dividido por 10^3 para a grandeza ser apresentada em Mega.

A demanda no horário de ponta é obtida através da multiplicação da potência instalada pelo fator de coincidência na ponta.

Esses equacionamentos apresentados são realizados tanto nos cálculos do sistema atual quanto do sistema proposto.

Para constatar a viabilidade técnico-financeira do projeto, o módulo 7 do PROPEE estabelece algumas diretrizes que os projetos devem seguir e alcançar para que o mesmo seja considerado viável à luz do sistema elétrico.

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a relação custo benefício (RCB) que ele proporciona. O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto para o sistema elétrico. O custo são os aportes feitos para a sua realização (do PEE, do consumidor ou de terceiros). (ANEEL, 2018)

Para esse estudo foi realizado uma avaliação do tipo *ex ante*, onde são realizados cálculos fundamentados em valores estimados, tomando como referências experiências anteriores de trabalhos já executados, cálculos de engenharia e avaliações de preços de mercado.

A análise do estudo de caso é feita sob o ponto de vista do PEE, onde os benefícios são comparados aos custos aportados pelo PEE, sendo os custos realizados por terceiros (prefeitura) não contabilizados na relação custo benefício.

A avaliação do projeto pode ser feita sobre dois pontos de vista, um sob a ótica do sistema elétrico (sociedade) ou pela ótica do consumidor, sendo aplicado nesse tópico a ótica do sistema elétrico. A viabilidade técnico-financeira do projeto sob o ponto de vista do consumidor é realizada nos tópicos 4.7.2.1. VPL e 4.7.2.2.TIR.

A avaliação principal do PROPEE é verificar se é mais vantajoso para a ANEEL investir em eficiência energética do que realizar a expansão do sistema elétrico. O parâmetro principal para verificar essa vantagem é a relação custo-benefício que deve ter um valor menor ou igual a 0,8 (oito décimos), para garantir que o investimento em eficiência energética seja mais benéfico do que expandir o sistema elétrico nacional. No caso da CPP da Enel Distribuição Ceará, para o edital de 2019 o valor máximo da RCB é de 0,75 para a modalidade a fundo perdido.

Em situações em que há o uso de contratos de desempenho energético, no qual existem pagamentos futuros por parte do projeto em execução resultantes da economia gerada, admite-se uma relação custo-benefício menor ou igual a 0,9 (nove décimos).

Para quantificar a valoração dos benefícios a serem alcançados, são necessários além da energia economizada e demanda reduzida no horário de ponta, calcular o custo evitado de demanda (CED) e o custo da energia evitada (CEE).

Esse método de análise está descrito no PROPEE no item 3.10.2 do módulo 7.

O método se baseia no cálculo do custo unitário de perdas técnicas no sistema elétrico, que pode ser visto no relatório CODI 19-34 (ABRADEE, 1996) – a energia e demanda evitadas correspondem a uma redução de perdas no sistema e o benefício “de evitar uma unidade de perdas é numericamente igual ao custo de fornecer uma unidade adicional de carga”. (ANEEL, 2018)

O item 3.10.3 do módulo 7 do PROPEE estabelece a seguinte afirmação:

O cálculo se baseia no impacto para o sistema da carga evitada, supondo-se um perfil de carga típico e caracterizado pelo fator de carga (F_c). As perdas evitadas no sistema são calculadas a partir da redução de 1 kW na ponta, seu reflexo na demanda fora de ponta (LP) através do fator de carga, e pelos fatores de perda (F_p , que levam ao cálculo de $LE1$, $LE2$, $LE3$ e $LE4$, juntamente com a permanência de cada posto horário no ano – 450, 315, 4.686 e 3.309 h/ano respectivamente), que medem o reflexo desta redução no horário fora de ponta e na energia consumida nos diferentes postos tarifários. (ANEEL, 2018)

O fator de carga usado na simulação apresentada nesse trabalho foi de 0,75, valor esse o mais próximo da média da distribuidora dos últimos 12 meses. Na Tabela 6 é apresentada os coeficientes para $k=0,15$, valor recomendado no PROPEE.

Tabela 6 - Coeficientes das Equações para k=0,15

Coeficientes das equações para K = 0,15					
Fator de Carga	MWh/kW.ano				
	LP	LE1	LE2	LE3	LE4
0,10	0,1444	0,23139	0,16197	-0,10990	-0,07760
0,15	0,1681	0,24102	0,16871	-0,02643	-0,01867
0,20	0,1936	0,25119	0,17583	0,07832	0,05530
0,25	0,2209	0,26190	0,18333	0,20435	0,14430
0,30	0,2500	0,27315	0,19121	0,35166	0,24832
0,35	0,2809	0,28494	0,19946	0,52026	0,36738
0,40	0,3136	0,29727	0,20809	0,71014	0,50146
0,45	0,3481	0,31014	0,21710	0,92130	0,65057
0,50	0,3844	0,32355	0,22649	1,15375	0,81472
0,55	0,4225	0,33750	0,23625	1,40748	0,99389
0,60	0,4624	0,35199	0,24639	1,68249	1,18808
0,65	0,5041	0,36950	0,25865	1,97632	1,39557
0,70	0,5476	0,38516	0,26961	2,29381	1,61977
0,75	0,5929	0,40136	0,28095	2,63258	1,85899
0,80	0,6400	0,41810	0,29267	2,99264	2,11324
0,85	0,6889	0,43538	0,30476	3,37398	2,38252
0,90	0,7396	0,45320	0,31724	3,77660	2,66683

Fonte: (ANEEL, 2018)

Para os cálculos do CEE e CED são utilizados os valores de tarifa de energia no horário de ponta, fora ponta e de uso dos sistemas elétricos no horário de ponta e fora ponta.

A resolução homologatória da concessionária de energia elétrica é o documento que dispõe das informações de tarifa para todos os tipos de clientes atendidos pela distribuidora.

A resolução de número 2.530 de 16 de abril de 2019 foi usada para a base de cálculo do CEE e CED, sendo utilizado a modalidade tarifária branca, subgrupo B3 – demais classes, como determina o subitem b do item 3.10.9 do módulo 7 do PROPEE. Os valores utilizados estão presentes no Quadro 11.

Quadro 11 - Tarifas do Subgrupo B3 Modalidade Branca

SUBGRUPO	MODALIDADE	CLASSE	SUBCLASSE	POSTO	TARIFAS DE APLICAÇÃO		
					TUSD		TE
					R\$/kW	R\$/MWh	R\$/MWh
B3	BRANCA	NA	NA	P	0,00	719,48	404,72
				INT	0,00	461,87	242,34
				FP	0,00	204,27	242,34

Fonte: (ANEEL, 2019)

Para o cálculo dos valores de CEE e CED é necessário calcular os custos unitários da energia no horário de ponta e fora da ponta na bandeira verde e as constantes de perda de energia de ponta e fora ponta, apresentadas nas equações (12), (13), (14) e (15), respectivamente.

$$C_p = TE_{p(BDV)} + TUSD_p \quad (12)$$

$$C_{fp} = TE_{fp(BDV)} + TUSD_{fp} \quad (13)$$

$$LE_p = \frac{(7 \times LE_1) + (5 \times LE_2)}{12} \quad (14)$$

$$LE_p = \frac{(7 \times LE_3) + (5 \times LE_4)}{12} \quad (15)$$

A equações que determinam os valores de CEE e CED são apresentadas nas equações (16) e (17).

$$CEE: \frac{(C_p \times LE_p) + (C_{fp} \times LE_{fp})}{LE_p + LE_{fp}} \quad (16)$$

$$CED: (12 \times C_1 \times h_p \times F_c \times 10^{-3}) + (12 \times C_2 \times h_{fc} \times F_c \times 10^{-3} \times LP) \quad (17)$$

No Quadro 12 e no Quadro 13 são mostrados os valores de CEE e CED.

Quadro 12 - Custo Unitário Evitado de Energia (R\$/MWh)

Custo Unitário Evitado de Energia (CEE) (R\$/MWh)		
Sigla	Descrição	Valor
<i>Cp</i>	Custo unitário da energia no horário de ponta na bandeira verde (R\$/MWh)	1.124,20
<i>Cfp</i>	Custo unitário da energia no horário fora de ponta na bandeira verde (R\$/MWh)	446,61
<i>LE1</i>	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos secos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta	0,40
<i>LE2</i>	Constante de perda de energia no posto de ponta de períodos úmidos considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta	0,28
<i>LE3</i>	Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos secos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta	2,63
<i>LE4</i>	Constante de perda de energia no posto fora de ponta de períodos úmidos considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta	1,86
<i>LEp</i>	Constante de perda de energia no posto de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário de ponta	0,35
<i>LEfp</i>	Constante de perda de energia no posto de fora de ponta considerando 1 kW de perda de demanda no horário fora de ponta	2,31
<i>TEp(BDV)</i>	Tarifa de Energia (TE) na ponta, Bandeira Verde	404,72
<i>TEfp(BDV)</i>	Tarifa de Energia (TE) fora da ponta, Bandeira Verde	242,34
<i>TUSDp</i>	Parcela da TUSD faturada na ponta em R\$/MWh	719,48
<i>TUSDfp</i>	Parcela da TUSD faturada fora ponta em R\$/MWh	204,27
CEE		536,02

Fonte: O próprio autor

Quadro 13 - Custo Unitário Evitado de Demanda (R\$/kW.ano)

Custo Unitário Evitado de Demanda (R\$/kW ano)		
Valor	Descrição	Valor
12	Meses (mês/ano)	12,00
<i>C1</i>	Custo unitário do uso do Sistema de Distribuição no horário de ponta (R\$/MWh)	719,48
<i>C2</i>	Custo unitário do uso do Sistema de Distribuição no horário fora de ponta (R\$/MWh)	204,27
<i>LP</i>	Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, considerando 1kW de perda de demanda no horário de ponta	0,59
<i>hp</i>	Número de horas da ponta em um mês, considerando somente os dias úteis (horas)	63,75
<i>hpf</i>	Número de horas fora da ponta em um mês (horas)	666,25
<i>Fc</i>		0,75

Fator de carga do segmento elétrico imediatamente a montante daquele considerado ou que sofreu a intervenção, ou ainda, na falta deste, admitir-se-á o médio da distribuidora dos últimos 12 meses.

CED

1.139,02

Fonte: O próprio autor

Para encontrar os ganhos de energia economizada e redução de demanda na ponta é necessário realizar medições de consumo de energia dos equipamentos que serão retirados e dos novos que serão implementados. Essa ação de medir o consumo dos equipamentos dá-se o nome de Medição e Verificação (M&V), apresentado no PROPEE, no módulo 8.

Todas as ações de M&V são baseadas no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (EFICIENCY VALUATION ORGANIZATION, 2012), que apresenta as metodologias mais usadas atualmente para realizar medições e verificar resultados de eficiência energética.

Como já mostrado na equação (10), a economia de energia é realizada através da subtração do consumo dos equipamentos antigos, pelo consumo dos equipamentos novos. Diz-se que a eficiência energética não é medida diretamente, pois as medições dos equipamentos antigos e novos são feitas em tempos diferentes.

O método mais adequado de medição a ser utilizado no estudo é o de economia normalizada como propõe o PROPEE, no qual há a possibilidade de se averiguar outros padrões e não somente energia, como por exemplo o clima.

Para o processo de Medição e Verificação são realizadas duas avaliações, denominadas no PROPEE de avaliação *ex ante* e avaliação *ex post*. Os processos referem-se, respectivamente, à realização de estimativas de ganhos energéticos e constatação da economia de energia e redução de demanda na ponta baseados na medição e verificação realizada.

O estudo descrito nesse trabalho refere-se apenas ao processo de *ex ante*, no qual não há previsão de análise de variáveis independentes⁶, e a fronteira de medição⁷ mais indicada para mensurar a potência instantânea das lâmpadas e reatores é o próprio equipamento. A opção mais adequada do PIMVP para a medição

⁶ Variável independente é um parâmetro que pode mudar regularmente e causar impacto mensurável no consumo de energia de um sistema ou instalação, os exemplos mais comuns são o clima, o volume de produção e a ocupação. (EFICIENCY VALUATION ORGANIZATION, 2012)

⁷ A fronteira de medição é o local de parte da instalação ou do equipamento que serão feitas as medições de consumo de energia.

é a opção A, no qual o parâmetro principal (potência) sofre medição sendo os outros parâmetros estimados.

Para a prática de medição e verificação do estudo ou de qualquer projeto que segue as diretrizes do PROPEE, são realizadas apenas medições de amostras dos sistemas analisados, como preconiza a (EFICIENCY VALUATION ORGANIZATION, 2012).

Técnicas de amostragem poderão ser utilizadas para projetos com trocas de muitos equipamentos. Cuidados deverão ser tomados com a incerteza introduzida, pois a "amostragem cria erros, porque nem todas as unidades em estudos são medidas". (EFICIENCY VALUATION ORGANIZATION, 2012)

Para a definição das quantidades de amostras a serem analisadas é necessário definir uma população homogênea, isto é, calcular amostras de sistemas que possuam as mesmas características. Nesse estudo de caso, para cada potência e modelo de lâmpada diferente foi definido um sistema ou uma população.

Como a utilização de amostras para definição das economias gera incerteza, o PROPEE estabelece que a incerteza máxima que as amostras devem apresentar mediante as medições é de 10% com uma confiança de 95%.

A equação (18) determina a quantidade de amostras por população.

$$n_0 = \frac{z^2 \times cv^2}{e^2} \quad (18)$$

em que,

n_0 : tamanho inicial da amostra;

z : valor padrão da distribuição normal (confiabilidade de 95%) =1,96;

cv : coeficiente de variação das medidas;

e : precisão desejada (=0,1)

Quando não houver um valor típico de coeficiente de variação, deve-se adotar um valor de 0,5, como determina o item 3.3.1 do Módulo 8 do PROPEE.

Quando as populações são pequenas pode-se ajustar a estimativa do tamanho das amostras através da equação (19),

$$n = \frac{n_0 \times N}{n_0 + N} \quad (19)$$

em que,

n : tamanho reduzido da amostra;

n_0 : tamanho inicial da amostra;

N : tamanho da população;

O tamanho reduzido da amostra deve ser adotado quando este for menor que o tamanho da amostra inicial, como mostra a inequação ($n < n_0$). A metodologia de cálculo para determinar o tamanho da amostra foi adotada e mensurada para cada sistema levantado *in loco*. Os quadros com os valores das amostras para cada sistema estão presentes no Anexo V.

A análise final do projeto é feita a partir da Relação Custo Benefício (RCB) do projeto, que é a diretriz principal do PROPEE para aprovação de um projeto de eficiência energética. No Quadro 15 é apresentado valor da RCB para o uso final de iluminação. No Quadro 14 é mostrado todos os custos com os equipamentos utilizados para o processo de efficientização da iluminação pública. O Anexo VI apresenta os custos por categoria contábil do projeto.

Quadro 14 - Custos Anualizados dos Equipamentos

Custos Equipamentos									
Item	Equipamento	Custo	Qtd.	Custo Total	Vida útil	Fator de recup. Capital $FRC_u = \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1}$	Custo anualizado com indireto $CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u$	Subgrupo Tarifário	
1	LED 60 W	CE_1 R\$ 840,68	174	R\$ 146.278,57	u_1 15,70	0,1141	CA_1 R\$ 18.739,71	B4-IP	
2	LED 115 W	CE_2 R\$ 1.022,71	170	R\$ 173.860,83	u_2 15,70	0,1141	CA_2 R\$ 22.273,27	B4-IP	
3	Braços	CE_3 R\$ 150,00	344	R\$ 51.600,00	u_3 20,00	0,1019	CA_3 R\$ 6.806,84	B4-IP	
4	Cabo PP 2x1,5mm	CE_4 R\$ 2,09	860	R\$ 1.797,40	u_4 20,00	0,1019	CA_4 R\$ 237,09	B4-IP	
Total equipamentos		$CE_T = \sum_n CE_n$		R\$ 373.536,80			Custo anualizado PEE Iluminação	$CA_{T_PEE_ILUM} = \sum_n CA_n$	R\$ 40.999,21
							Custo anualizado total iluminação	$CA_{T_ILUM} = \sum_n CA_n$	R\$ 54.344,84

Fonte: O próprio autor

Alguns parâmetros são analisados dentro do quadro de custos dos equipamentos, tais como, vida útil do material, que diz respeito ao tempo de uso futuro a partir de sua fabricação, o fator de recuperação de capital (FRC) e o custo anualizado do equipamento.

Para encontrar o FRC é necessário usar uma taxa de desconto especificada no Plano Nacional de energia vigente na data de submissão do projeto, como determina o PROPEE. O valor usado para a taxa de desconto desse projeto foi de 8,00%, sendo o FRC mensurado em anos.

A equação (20) é usada para calcular o FRC.

$$FRC_u = \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1} \quad (20)$$

em que,

FRC_u : Fator de recuperação do capital para u anos;

i : representa a taxa de desconto considerada;

u : vida útil dos equipamentos em anos;

As equações (21), (22) e (23) são referentes aos custos anualizados dos equipamentos.

$$CA_T = \sum_n CA_n \quad (21)$$

em que,

CA_T : representa o custo anualizado total

CA_n : Custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados

$$CE_T = \sum_n CE_n \quad (22)$$

em que,

CE_T : Custo total em equipamentos

CE_n : Custo de cada equipamento

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u \quad (23)$$

em que,

CT : representa o custo total do projeto

CE_T : Custo total em equipamentos

A equação (24) mostra como os benefícios do projeto são mensurados.

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP + CED) \quad (24)$$

em que,

BA_T : Benefício anualizado;

EE : Energia anual economizada;

CEE : Custo unitário da energia;

RDP : Demanda evitada na ponta;

CED : Custo unitário evitado da demanda.

Por fim a equação (25) determina a RCB do projeto,

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T} \quad (25)$$

em que,

CA_T : Custo anualizado total;

BA_T : Benefício anualizado.

A Relação Custo Benefício do estudo de caso realizado é uma grandeza adimensional e está apresentada no Quadro 15.

Quadro 15 - Relação Custo Benefício

Benefícios PEE									
1	Energia economizada	38,79	MWh/ano	Custo unitário energia	536,02	R\$/MWh	Benefício energia	BA_E	20.794,13
2	Demanda reduzida na ponta	8,70	kW	Custo unitário demanda	1.139,02	R\$/KW.ano	Benefício demanda	BA_D	9.913,09
							Benefício total		30.707,22
							RCB		1,335

Fonte: O próprio autor

4.7.2. Recursos da Prefeitura

As análises realizadas nesse tópico referem-se a duas metodologias de análise de investimento para processo de troca de equipamento, como é o caso do *retrofit*, metodologia realizada nesse trabalho.

Apesar de serem métodos de verificação de viabilidade econômica com fins lucrativos, as análises a seguir buscam evidenciar se com a receita gerada pela economia de energia é possível pagar os custos com troca de equipamentos. A partir dessa análise, constatar em quanto tempo a prefeitura poderá pagar o investimento com base na economia realizada.

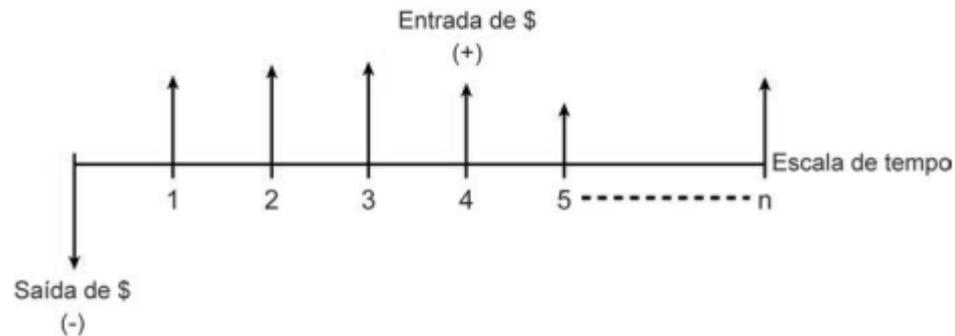
4.7.2.1. Método do Valor Presente Líquido (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) tem como finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimentos. Ele mede o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil, (SAMANEZ, 2009) isto é, a análise realizada traz para a data inicial todos os desembolsos realizados com a execução do projeto, sendo estes descontados a partir de uma taxa de juros, que pode ser chamada também de taxa mínima de atratividade (NOGUEIRA, 2013).

O fluxo de caixa é a quantia resultante das estimativas de entradas e saídas do caixa da empresa durante um intervalo de tempo. Em análise de investimentos e na matemática financeira, em geral, esse termo é apresentado como diagrama.

O diagrama é constituído basicamente de uma linha horizontal, utilizada como escala de tempo e por vetores verticais que representam as entradas e saídas de caixa (NOGUEIRA, 2013), na Figura 32 é mostrado um modelo.

Figura 32 - Diagrama de Fluxo de Caixa



Fonte: (NOGUEIRA, 2013)

A equação (26) determina o VPL.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + K)^t} \quad (26)$$

em que,

FC : determina o fluxo de caixa no t-ésimo período;

I : determina o investimento inicial;

K : determina o custo do capital ou taxa mínima

O resultado da equação (26) é quem determina se o projeto é viável ou não. Quando o seu resultado é positivo, admite-se que o investimento é satisfatório, caso contrário não é uma boa escolha fazer o investimento. Para a situação em que o VPL for igual a zero tem-se que o retorno do projeto será igual à taxa mínima de atratividade, não sendo uma boa opção de investimento.

Para a análise financeira do investimento adotou-se como taxa mínima de atratividade o mesmo valor adotado pela SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia, que durante a elaboração desse trabalho possuía um valor de 3,65% a.a. (13/04/2020).

O valor do fluxo de caixa gerado mensalmente para a verificação da viabilidade desse projeto foi mensurado a partir da economia gerada com a instalação dos novos padrões de luminárias.

Foram analisadas duas situações de economia de energia, a primeira em que a norma NBR 5101:2018 foi usada como premissa, sendo utilizadas no *retrofit*, lâmpadas de 115W e 60W, já na segunda, foi realizada apenas a troca de luminárias antigas por de 60W. No Quadro 16 é mostrado os valores de benefícios financeiros mensais e anuais para as duas situações.

Quadro 16 - Energia Economizada, Tarifa de Energia e Benefício Monetário Mensal

Benefícios							
1	Energia economizada	3.188,51 kWh/mês	Tarifa de Energia B4a	0,414 R\$/kWh		Benefício Mês	R\$ 1.321,41
						Benefício Ano	R\$ 15.856,95
Benefícios							
2	Energia economizada	6.419,87 kWh/mês	Tarifa de Energia B4a	0,414 R\$/kWh		Benefício Mês	R\$ 2.660,58
						Benefício Ano	R\$ 31.927,02

Fonte: O próprio autor

O fato dos modelos permutados terem um percentual de troca de 50,58% (60W) e 49,42 % (115W) e a diferença de potência entre as luminárias usadas ser de 52,17%, resultou em benefícios mensais e anuais quase dobrados entre a situação 1 e a 2.

O investimento inicial foi mensurado com a compra das luminárias LED, aquisição de novos braços e a troca de cabos elétricos. Para a precificação dos LEDs, foram embutidos valores de frete até o município analisado e as cobranças de impostos de IPI e ICMS. Para a situação 1, o valor total ficou R\$ 320.139,40 e para situação 2, R\$ 289.195,47. O orçamento dos braços foi de R\$ 51.600,00 e os cabos de R\$ 1.797,40. O valor total do investimento foi de R\$ 373.536,80 e R\$ 342.592,87 para a situação 1 e 2, respectivamente.

O VPL encontrado para a situação 1 dentro de um intervalo de 30 anos foi de -R\$ 87.299,63, que o torna o projeto inviável, assumindo que o fluxo de caixa do projeto se restringiria a apenas aos valores alcançados com a economia de energia.

Para a situação 2, utilizou-se da metade de tempo para pagamento do projeto, 15 anos, tendo como resultado um VPL de R\$ 21.231,73, que a torna viável.

4.7.2.2. Método da Taxa Interna de Retorno (TIR)

O método da Taxa Interna de Retorno não tem como finalidade a avaliação da rentabilidade absoluta a determinado custo do capital, ela busca encontrar uma taxa intrínseca de rendimento, sendo também chamada de taxa de retorno do investimento. (SAMANEZ, 2009)

O método tem como premissa a anulação do VPL (Valor Presente Líquido), pois desta forma o somatório dos valores de entrada do fluxo de caixa será igual ao investimento inicial e será possível encontrar uma taxa que resulta na anulação do VPL.

Esse método usa a mesma equação do VPL, porém a taxa mínima de atratividade é transformada no termo que se deseja encontrar, no caso, a TIR, como mostra a equação (27).

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (27)$$

em que,

FC : determina o fluxo de caixa no t-ésimo período;

I : determina o investimento inicial;

i : determina a taxa interna de retorno (TIR).

A análise a ser feita nesse método é a seguinte: caso a TIR seja maior do que a taxa de atratividade mínima, usada no cálculo do VPL, considera-se um projeto viável a ser investido, caso contrário, deve-se desconsiderar o investimento.

Com base no VPL e fluxo de caixa calculados na seção anterior, obteve-se os valores da TIR. Para a situação 1 e 2, respectivamente, os valores encontrados foram 1,64% a.a. e 4,51% a.a. Assim, é possível comprovar a inviabilidade da situação 1 e a viabilidade da situação 2, pois a primeira é menor do que a taxa de atratividade mínima usada para o cálculo do VPL e a segunda é maior.

4.8. Considerações Finais

Neste capítulo pode-se observar extensão da cidade, a quantidade de ruas atendidas no estudo de caso, a situação atual do parque de iluminação da cidade, a localização das luminárias que podem sofrer o *retrofit*, caso a proposta venha a ser implementada, assim como as características físicas e técnicas das luminárias LED usadas na simulação.

Todos os logradouros foram enquadrados em parâmetros estabelecidos em norma para afim de usa-los em simulações computacionais apresentadas no capítulo 5. Foram apresentadas ao leitor duas metodologias de análise de investimento para a situação em que a prefeitura tenha interesse em investir recursos próprios, e outra análise, fundamentada no edital de chamada pública da distribuidora.

5. RESULTADOS

De acordo com os padrões estabelecidos no tópico 4.3 para cada classe de iluminação e as simulações realizadas em software, encontrou-se uma economia de energia total de 38,79 MWh/ano e uma redução de demanda na ponta de 8,70 kW que representam 24% de energia e demanda economizados em relação ao valor atual. Como foram utilizadas potências de lâmpadas de 115W, valor superior à maioria dos modelos instalados atualmente no parque, os ganhos energéticos não foram tão significativos.

Mesmo com esse déficit, ainda foi possível obter valores positivos em ganhos energéticos na maioria das ruas da cidade. A troca das luminárias foi pensada em atender os padrões estipulados na norma NBR 5101:2018 descritos no tópico 4.3 e não apenas fazer a troca sem uma parametrização.

No Quadro 17 são apresentados os resultados obtidos nas simulações para cada rua, com amostras para os distanciamentos mínimos, médios e máximos. As células na cor azul representam valores atendidos, já as células na cor vermelha, valores que ficaram abaixo da diretriz da norma. As células na cor branca são os padrões determinados na NBR 5101:2018.

Quadro 17 - Resultados dos Parâmetros Simulados no *DIALux*

Logradouro	Classe de Iluminação					Distância Média				Distância Máxima				Distância Mínima			
		Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI
Avenida Coronel Francisco Linhares	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,05	0,76	0,62	10	0,57	0,31	0,16	15	2,44	0,9	0,93	7
Avenida Coronel Francisco Linhares	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,05	0,76	0,62	10	0,57	0,31	0,16	15	2,44	0,9	0,93	7
Avenida Coronel Francisco Linhares	V4	0,75	0,4	0,6	15	0,47	0,13	0,05	22	0,87	0,58	0,59	13	1,14	0,58	0,8	13
Avenida Coronel Francisco Linhares	V4	0,75	0,4	0,6	15	0,68	0,06	0,03	22	1,24	0,55	0,41	14	2,88	0,67	0,68	8
Avenida Coronel Francisco Linhares	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,33	0,6	0,46	12	0,76	0,47	0,35	19	2,21	0,54	0,82	10
Rua Joana Bittencourt	V4	0,75	0,4	0,6	15	0,99	0,55	0,53	16	0,83	0,46	0,37	18	2,37	0,62	0,83	10
Rua Gabriela Alencar Santiago	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,06	0,56	0,62	15	0,66	0,33	0,18	21	3,22	0,66	0,88	9
Rua Tomaz Catunda	V4	0,75	0,4	0,6	15	0,89	0,52	0,47	17	0,71	0,37	0,22	20	1,74	0,57	0,71	11
Rua Doutor Plácido Pinho	V4	0,75	0,4	0,6	15	0,93	0,49	0,52	17	0,71	0,42	0,28	20	2,19	0,53	0,82	10
Rua Carmelita de Queiroz	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,59	0,56	0,53	8	1,59	0,56	0,53	8	1,59	0,56	0,53	8
Rua Raimundo Aires	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,24	0,44	0,28	13	1,06	0,34	0,2	15	1,73	0,58	0,51	10
Tv. Tomaz Catunda	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,43	0,62	0,56	9	1,43	0,62	0,56	9	1,43	0,62	0,56	9
Rua Padre José Antonio	V4	0,75	0,4	0,6	15	0,94	0,54	0,48	16	0,75	0,38	0,26	19	1,28	0,63	0,73	13
Rua Antonio Marrocos	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,93	0,56	0,45	12	0,8	0,55	0,37	13	1,18	0,66	0,54	10
Rua do Laceiro	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,1	0,61	0,56	11	1,1	0,61	0,56	11	1,1	0,61	0,56	11
Rua Largo Santo Antônio	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,87	0,55	0,61	13	0,62	0,34	0,31	16	1,32	0,61	0,75	10
Rua Joao de Souza Leal	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,01	0,57	0,49	11	0,68	0,37	0,21	14	1,51	0,58	0,58	8
Rua Ana Dias	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,2	0,64	0,54	10	0,82	0,54	0,36	12	1,57	0,58	0,6	8
Tv. José Ribeiro	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,81	0,53	0,35	12	0,72	0,45	0,26	13	0,93	0,53	0,43	11
Rua José Ribeiro	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,51	0,6	0,52	12	1,09	0,53	0,37	15	2,88	0,67	0,68	8
Tv. José Carlos Bittencourt	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,96	0,54	0,46	11	0,82	0,53	0,36	13	1,09	0,61	0,54	10

Logradouro	Classe de Iluminação	Lmed	Uo	UL	TI	Distância Média				Distância Máxima				Distância Mínima			
						Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI
Rua José Carlos Bittencourt	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,17	0,61	0,53	10	0,79	0,53	0,33	13	2,26	0,62	0,81	7
Rua Francisco Tavares	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,08	0,59	0,52	10	0,77	0,53	0,32	13	4,02	0,7	0,96	0
Tv. Francisco Tavares 1	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,1	0,61	0,53	10	1,1	0,61	0,53	10	1,1	0,61	0,53	10
Tv. Francisco Tavares 2	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,82	0,53	0,36	12	0,82	0,53	0,36	12	0,82	0,53	0,36	12
Tv. Francisco Tavares 3	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,26	0,62	0,56	9	0,95	0,54	0,45	11	2	0,56	0,7	8
Rua Joana Bittencourt 2 (Travessa José Ribeiro)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,93	0,53	0,43	11	0,74	0,48	0,28	13	1,09	0,6	0,53	10
Tv. Raimundo Ribeiro Filho	V5	0,5	0,4	0,6	15	2,76	0,7	0,93	7	2,76	0,7	0,93	7	2,76	0,7	0,93	7
Tv. Joaquim de Sousa	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,12	0,61	0,53	10	1,03	0,58	0,5	10	1,39	0,61	0,56	9
Rua José Luís	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,83	0,53	0,36	12	0,74	0,48	0,28	13	0,95	0,54	0,45	11
Rua Joaquim Agostinho	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,89	0,53	0,4	12	0,79	0,53	0,33	13	1,03	0,58	0,5	11
Rua Cem	V5	0,5	0,4	0,6	15	2,14	0,64	0,77	8	1,46	0,62	0,58	9	8,76	0,74	0,99	0
Rua Cento e Dois	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,62	0,57	0,61	8	1,44	0,6	0,57	9	1,9	0,56	0,69	8
Rua Cento e Um	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,45	0,59	0,57	9	1,45	0,59	0,57	9	1,45	0,59	0,57	9
Rua Cento e Três	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,63	0,58	0,61	8	1,63	0,58	0,61	8	1,63	0,58	0,61	8
Rua Cento e Quatro	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,45	0,6	0,57	9	1,45	0,6	0,57	9	1,45	0,6	0,57	9
Rua Cento e Cinco	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,45	0,6	0,57	9	1,45	0,6	0,57	9	1,45	0,6	0,57	9
Tv. Cento e três	V5	0,5	0,4	0,6	15	3,29	0,7	0,96	6	3,29	0,7	0,96	6	3,29	0,7	0,96	6
Rua Sem Nome 6 (Rua do Tio Zé)	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,2	0,55	0,4	14	1	0,41	0,27	16	1,96	0,62	0,59	10
Rua Sem Nome 7 (Rua do Tio Chico Ponciano)	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,31	0,56	0,43	13	0,93	0,33	0,19	17	2,33	0,63	0,59	9
Rua Sem Nome 8 (Rua da Marlene)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,19	0,61	0,54	10	0,97	0,54	0,47	11	1,5	0,58	0,59	9
Rua Sem Nome 9 (Rua Lorim Pai do Nilsim)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,01	0,54	0,44	11	1,01	0,54	0,44	11	1,01	0,54	0,44	11
Rua Sem Nome 10 (Rua do Alfredo)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,47	0,57	0,52	9	1,47	0,57	0,52	9	1,47	0,57	0,52	9

Logradouro	Classe de Iluminação	Distância Média				Distância Máxima				Distância Mínima							
		Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI				
Rua Sem Nome 11 (Rua Maze do Antonio Dias)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,96	0,5	0,31	11	0,93	0,5	0,31	11	0,98	0,5	0,33	11
Rua Sem Nome 12 (Rua do Zê Anilsio)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,93	0,5	0,31	11	0,83	0,49	0,25	12	1,06	0,52	0,37	10
Travessa BR020_1	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,93	0,5	0,3	11	0,74	0,34	0,17	13	1,74	0,54	0,58	8
Travessa BR020_2	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,17	0,55	0,42	10	0,75	0,36	0,19	13	2,73	0,66	0,88	6
Rua Plácido Domingos	V4	0,75	0,4	0,6	15	1,55	0,65	0,58	11	1,4	0,6	0,49	11	1,7	0,68	0,62	10
Tv. Coração de Jesus	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,71	0,48	0,52	15	0,71	0,48	0,52	15	0,71	0,48	0,52	15
Tv. Cento e um	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,44	0,6	0,57	9	1,44	0,6	0,57	9	1,44	0,6	0,57	9
Tv. Portelinha Campo	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,76	0,37	0,19	13	0,75	0,36	0,19	13	0,77	0,38	0,2	13
Tv. Portelinha	V5	0,5	0,4	0,6	15	2,01	0,57	0,71	7	2,01	0,57	0,71	7	2,01	0,57	0,71	7
Tv. Portelinha Presídio	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,22	0,57	0,44	9	0,75	0,36	0,18	13	2,24	0,59	0,75	7
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua do João Doido)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,53	0,56	0,51	8	1,53	0,56	0,51	8	1,53	0,56	0,51	8
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua da Socorro)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,99	0,52	0,38	11	0,99	0,52	0,38	11	0,99	0,52	0,38	11
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua da Socorrinha)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,19	0,56	0,45	10	0,94	0,5	0,33	12	2,08	0,56	0,68	7
Tv. Joana Bittencourt (Rua da Delegacia)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,96	0,52	0,32	11	0,7	0,3	0,15	14	1,3	0,6	0,46	9
Rua do Japão	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,88	0,5	0,27	12	0,65	0,21	0,1	14	1,27	0,58	0,45	9
Tv. Plácido Pinho	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,9	0,52	0,41	11	0,88	0,52	0,4	12	0,93	0,53	0,43	11
Tv. Da Goretinha (Goretinha da Fabinha)	V5	0,5	0,4	0,6	15	2,39	0,61	0,79	7	2,39	0,61	0,79	7	2,39	0,61	0,79	7
Travessa BR020 (Tônico Marreiro)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,81	0,4	0,31	13	0,75	0,37	0,27	14	0,89	0,45	0,37	12
Travessa BR020 (Motel)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,53	0,56	0,51	8	1,53	0,56	0,51	8	1,53	0,56	0,51	8
Travessa BR020 (Casas do Carlão)	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,43	0,61	0,56	9	1,43	0,61	0,56	9	1,43	0,61	0,56	9

Fonte: O próprio autor

Conforme apresentado para a maioria das ruas, o parâmetro fator de uniformidade da luminância não foi atendido. As causas para a não adequação ao valor solicitado foram a distância elevada entre alguns postes e a não padronização de distância. O Anexo VII apresenta todas as distâncias usadas nas simulações.

Com base nos modelos trocados, foi realizado o orçamento do projeto para as 344 luminárias, 344 novos braços de 2,28 metros e 860 metros de cabos PP 2x1,5mm, resultando numa quantia de R\$ 373.536,80 em equipamentos. Esses valores foram usados tanto na metodologia de investimentos com recursos da prefeitura, como na metodologia de chamada pública realizada pela Enel. Os preços das luminárias foram orçados em empresas atuantes no mercado, assim como os cabos, já o valor do braço de luminária foi baseado em média de preços.

Para a metodologia de chamada pública, na rubrica de descarte de materiais, os valores foram orçados por uma empresa que realiza o processo de descarte. Para os serviços de diagnóstico energético, elaboração do relatório final, a rubrica de medição e verificação, a rubrica de treinamento e capacitação foram usados valores de projetos que participaram da chamada pública da Enel já encerradas. Os valores precificados estão presentes no Quadro 18.

Os serviços para a troca dos equipamentos foram precificados de acordo com o salário de um funcionário da manutenção do parque de iluminação pública da cidade, sendo quantificado serviços de dois funcionários e também os encargos sociais pagos pela prefeitura.

O tempo de troca dos equipamentos velhos pelos novos foi estimado em uma hora cada poste, contabilizando um valor de 344 horas para troca, o que corresponde a um mês e 13 dias de trabalho. O tempo de deslocamento foi desconsiderado uma vez que o perímetro da cidade é pequeno para fazer tal consideração para deslocamento.

Os valores das rubricas de Marketing, Outros custos indiretos e Transporte foram realizados conforme determinação do edital de CPP da Enel de 2019; 5% do valor total do projeto deve ser destinado para Marketing e também para Outros custos indiretos e 0,5% do valor total do projeto para Transporte.

Quadro 18 - Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos

Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos – Previsão								
Tipo de Custo		Custos Totais			Origem dos Recursos			
		R\$	%	Recursos Próprios (PEE)	Recursos de Terceiros	Recursos do Consumidor		
Custos Diretos								
Materiais/Equipamentos	Previsto	R\$ 320.139,40	76,35%	R\$ 320.139,40	R\$ -	R\$ 53.272,00		
Mão de Obra Própria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Mão de Obra de Terceiros	Previsto	R\$ 22.800,00	5,44%	R\$ 22.800,00	R\$ -	R\$ 11.055,85		
Transporte	Previsto	R\$ 2.096,51	0,50%	R\$ 2.096,51	R\$ -	R\$ -		
Custos Indiretos								
Administração Própria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Marketing	Previsto	R\$ 20.965,08	5,00%	R\$ 20.965,08	R\$ -	R\$ -		
Treinamento e Capacitação	Previsto	R\$ 12.000,00	2,86%	R\$ 12.000,00	R\$ -	R\$ -		
Descarte de Materiais	Previsto	R\$ 1.626,40	0,39%	R\$ 1.626,40	R\$ -	R\$ -		
Medição & Verificação	Previsto	R\$ 18.709,19	4,46%	R\$ 18.709,19	R\$ -	R\$ -		
Outros Custos Indiretos	Previsto	R\$ 20.965,08	5,00%	R\$ 20.965,08	R\$ -	R\$ -		
Auditoria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
TOTAL		R\$ 419.301,67	100,00%	R\$ 419.301,67	R\$ 0,00	R\$ 64.327,85		

Fonte: O próprio autor

Com base nesses valores, realizou-se as análises financeiras do projeto. Para a metodologia usada pela Enel em sua chamada pública de projetos, obteve-se um valor para a Relação Custo Benefício (RCB) de 1,335. A partir desse resultado o projeto torna-se inviável para participar de uma CPP, uma vez que o valor mínimo desejado para projetos na modalidade a fundo perdido é 0,75.

Com o objetivo de buscar uma RCB menor possível, foi proposto que a prefeitura do município arcaria com os custos dos braços de iluminação, cabos e serviços de troca de equipamentos, não sendo usado os valores destes nos custos anualizados do projeto para fins de cálculo da RCB para a CPP.

Para as análises de investimento com recursos da prefeitura, foram propostas duas análises de possíveis investimentos. Na primeira situação o fluxo de caixa da prefeitura é gerado com base na economia de energia, tanto das lâmpadas de 60W quanto das 115W. Já a segunda análise é baseada no fluxo de caixa gerado apenas pela economia de energia das luminárias de 60W, em que todas as ruas das cidades são classificadas na categoria V5.

A receita de cada mês foi calculada com base na tarifa de iluminação pública da Enel, no valor de 0,414 R\$/kWh, gerado a partir da resolução homologatória 2.530. A tarifa multiplicada ao valor de economia de energia para a primeira situação, no valor de 3.188,51kWh/mês, resultaria numa redução de custos para prefeitura no valor de R\$ 1.321,41 ao mês e uma economia de R\$ 15.856,95 no ano. Para a segunda situação, encontrou-se uma economia de energia de 6.419,87kWh/mês e um benefício mensal de R\$ 2.660,58 e R\$ 31.927,02 ao ano.

Para a análise do Valor Presente Líquido (VPL), o valor encontrado para a primeira situação não viabiliza o investimento uma vez que se encontrou um número negativo, já para a segunda análise a viabilidade foi positiva. Para a análise da TIR obteve-se uma taxa de 1,64% a.a. o que determina uma viabilidade negativa, tornando o projeto inviável economicamente na primeira situação. Para a segunda situação encontrou-se uma perspectiva positiva, com uma taxa de 4,51% a.a..

No Quadro 19 e no Quadro 20 são apresentados os resultados obtidos em *software* de ambos os casos.

Quadro 19 - Plano de Investimento (Situação 1)

Investimento Inicial	R\$ 373.536,80		
Taxa de Desconto	3,65%		
Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 373.536,80	-R\$ 373.536,80	-R\$ 373.536,80
1	R\$ 15.856,95	R\$ 15.298,55	-R\$ 358.238,25
2	R\$ 15.856,95	R\$ 14.759,82	-R\$ 343.478,43
3	R\$ 15.856,95	R\$ 14.240,06	-R\$ 329.238,37
4	R\$ 15.856,95	R\$ 13.738,60	-R\$ 315.499,78
5	R\$ 15.856,95	R\$ 13.254,80	-R\$ 302.244,98
6	R\$ 15.856,95	R\$ 12.788,03	-R\$ 289.456,95
7	R\$ 15.856,95	R\$ 12.337,71	-R\$ 277.119,24
8	R\$ 15.856,95	R\$ 11.903,24	-R\$ 265.216,00
9	R\$ 15.856,95	R\$ 11.484,07	-R\$ 253.731,93
10	R\$ 15.856,95	R\$ 11.079,66	-R\$ 242.652,27
11	R\$ 15.856,95	R\$ 10.689,50	-R\$ 231.962,77
12	R\$ 15.856,95	R\$ 10.313,07	-R\$ 221.649,70
13	R\$ 15.856,95	R\$ 9.949,90	-R\$ 211.699,80
14	R\$ 15.856,95	R\$ 9.599,52	-R\$ 202.100,29
15	R\$ 15.856,95	R\$ 9.261,47	-R\$ 192.838,81
16	R\$ 15.856,95	R\$ 8.935,33	-R\$ 183.903,48
17	R\$ 15.856,95	R\$ 8.620,68	-R\$ 175.282,80
18	R\$ 15.856,95	R\$ 8.317,10	-R\$ 166.965,70
19	R\$ 15.856,95	R\$ 8.024,22	-R\$ 158.941,48
20	R\$ 15.856,95	R\$ 7.741,65	-R\$ 151.199,83
21	R\$ 15.856,95	R\$ 7.469,03	-R\$ 143.730,80
22	R\$ 15.856,95	R\$ 7.206,01	-R\$ 136.524,79
23	R\$ 15.856,95	R\$ 6.952,25	-R\$ 129.572,54
24	R\$ 15.856,95	R\$ 6.707,43	-R\$ 122.865,11
25	R\$ 15.856,95	R\$ 6.471,23	-R\$ 116.393,88
26	R\$ 15.856,95	R\$ 6.243,35	-R\$ 110.150,53
27	R\$ 15.856,95	R\$ 6.023,49	-R\$ 104.127,03
28	R\$ 15.856,95	R\$ 5.811,38	-R\$ 98.315,66
29	R\$ 15.856,95	R\$ 5.606,73	-R\$ 92.708,93
30	R\$ 15.856,95	R\$ 5.409,29	-R\$ 87.299,63
Soma VP's (Ano 1 a 30)	R\$286.237,17		
VPL do Projeto	-R\$87.299,63		
Taxa de Interna de Retorno (TIR)	1,64%		

Fonte: O próprio autor

Quadro 20 - Plano de Investimento (Situação 2)

Investimento Inicial	R\$ 342.592,87		
Taxa de Desconto	3,65%		
Período (Ano)	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 342.592,87	-R\$ 342.592,87	-R\$ 342.592,87
1	R\$ 31.927,02	R\$ 30.802,72	-R\$ 311.790,15
2	R\$ 31.927,02	R\$ 29.718,01	-R\$ 282.072,14
3	R\$ 31.927,02	R\$ 28.671,50	-R\$ 253.400,63
4	R\$ 31.927,02	R\$ 27.661,84	-R\$ 225.738,79
5	R\$ 31.927,02	R\$ 26.687,74	-R\$ 199.051,05
6	R\$ 31.927,02	R\$ 25.747,94	-R\$ 173.303,10
7	R\$ 31.927,02	R\$ 24.841,24	-R\$ 148.461,87
8	R\$ 31.927,02	R\$ 23.966,46	-R\$ 124.495,41
9	R\$ 31.927,02	R\$ 23.122,49	-R\$ 101.372,92
10	R\$ 31.927,02	R\$ 22.308,24	-R\$ 79.064,68
11	R\$ 31.927,02	R\$ 21.522,66	-R\$ 57.542,01
12	R\$ 31.927,02	R\$ 20.764,75	-R\$ 36.777,26
13	R\$ 31.927,02	R\$ 20.033,53	-R\$ 16.743,74
14	R\$ 31.927,02	R\$ 19.328,05	R\$ 2.584,31
15	R\$ 31.927,02	R\$ 18.647,42	R\$ 21.231,73
Soma VPs (Ano 1 a 15)	R\$363.824,60		
VPL do Projeto	R\$21.231,73		
Taxa de Interna de Retorno (TIR)	4,51%		

Fonte: O próprio autor

Em razão da RCB não ter sido favorável com a proposta de readequar o parque de iluminação da cidade segundo a NBR 5101:2018, optou-se por fazer a análise da RCB fazendo o *retrofit* apenas com luminárias de potência de 60W, garantindo assim uma economia de energia mais significativa de 78,11 MWh/ano e uma redução de demanda na ponta de 17,52 kW.ano, uma diminuição de 47% em relação ao valor atual do parque. Com esse número, a RCB alcançou uma marca de 0,599, tornando o projeto apto a participar de uma CPP. Nessa proposição a prefeitura também destina recursos próprios para a troca de equipamentos, compra de cabos e braços de iluminação. Os valores usados para o cálculo da economia de energia, redução de demanda na ponta, custo anualizados dos equipamentos, custos por categoria contábil, custos com descarte, medição e verificação para essa situação estão presentes no Anexo VIII. Os outros custos com as outras rubricas permanecem com os mesmos valores da situação 1.

Com a opção de implantar todas as luminárias de 60W no parque, foram analisados os parâmetros luminotécnicos das ruas que haviam sido implantadas com

as luminárias de 115W, o detalhamento está no Quadro 21. As ruas nessa proposição 2 foram classificadas como V5, assumindo que se continuassem como V4 a maioria delas não teriam seus parâmetros atendidos.

Assim como na proposição 1, o parâmetro UL também não foi atendido na maioria das ruas, pelo mesmo motivo da situação 1, o distanciamento dos postes é muito grande e não há uma padronização de distâncias.

Quadro 21 - Resultados dos Parâmetros Simulados no *DIALux* (Proposição 2)

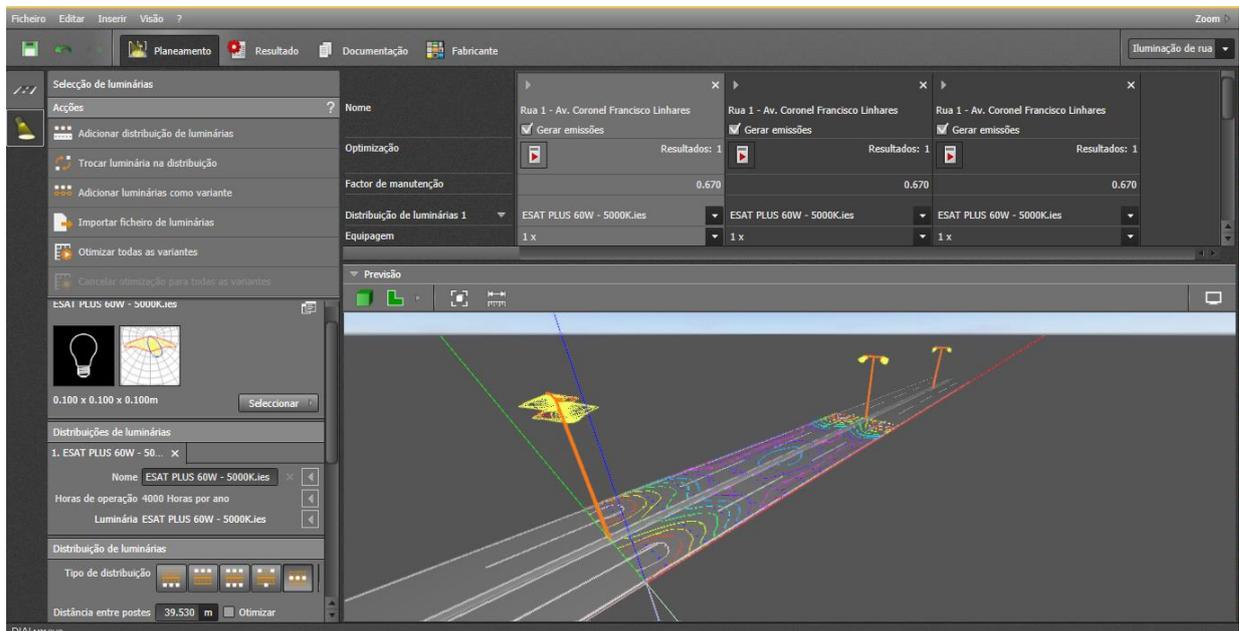
Logradouro	Classe de Iluminação	Distância Média				Distância Máxima				Distância Mínima							
		Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI	Lmed	Uo	UL	TI				
Avenida Coronel Francisco Linhares	V5	0,5	0,4	0,6	10												
Avenida Coronel Francisco Linhares	V5	0,5	0,4	0,6	10												
Avenida Coronel Francisco Linhares	V5	0,5	0,4	0,6	10	0,59	0,49	0,47	10	0,32	0,15	0,05	15	1,24	0,52	0,74	7
Avenida Coronel Francisco Linhares	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,92	0,52	0,42	11	0,5	0,11	0,05	17	2,13	0,59	0,75	7
Avenida Coronel Francisco Linhares	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,97	0,6	0,51	12	0,78	0,56	0,38	13	2,28	0,7	0,82	8
Rua Joana Bittencourt	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,73	0,47	0,5	15	0,62	0,36	0,34	17	2,01	0,61	0,94	9
Rua Gabriela Alencar Santiago	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,78	0,53	0,58	14	0,48	0,31	0,2	19	2,37	0,62	0,97	9
Rua Tomaz Catunda	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,68	0,38	0,43	16	0,54	0,32	0,26	19	1,34	0,46	0,76	11
Rua Doutor Plácido Pinho	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,7	0,38	0,57	16	0,53	0,29	0,3	19	1,66	0,43	0,89	11
Rua Raimundo Aires	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,87	0,53	0,39	12	0,74	0,48	0,28	13	1,2	0,64	0,54	10
Rua Padre José Antonio	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,69	0,43	0,44	15	0,55	0,33	0,27	18	0,94	0,58	0,72	13
Rua José Ribeiro	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,22	0,63	0,53	10	0,88	0,53	0,34	12	2,33	0,68	0,72	7
Rua Sem Nome 6 (Rua do Tio Zé)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,94	0,55	0,4	12	0,78	0,43	0,27	13	1,53	0,58	0,57	9
Rua Sem Nome 7 (Rua do Tio Chico Ponciano)	V5	0,5	0,4	0,6	15	0,97	0,54	0,46	11	0,68	0,37	0,21	14	1,72	0,56	0,63	8
Rua Plácido Domingos	V5	0,5	0,4	0,6	15	1,14	0,65	0,52	10	1,03	0,62	0,5	11	1,25	0,66	0,55	10

Fonte: O próprio autor

Para a Avenida Coronel Francisco Linhares, a única avenida da cidade, foram propostas 3 situações diferentes de estudo. A avenida tem 1,9 km e um trecho tem apenas duas vias de rodagem, enquanto que os trechos iniciais e finais possuem quatro faixas de rodagem. É possível observar no Quadro 17 e Quadro 21 que há cinco linhas que possuem a mesma rua, as duas primeiras linhas referem-se à observação das diretrizes da norma, caso houvesse postes no canteiro central da avenida e cada um com duas luminárias de 60W.

A primeira e a segunda linha representam faixas de rodagem da avenida, lado esquerdo e direito. Essa análise não se aplica à situação atual da avenida, pois não há estruturas aloçadas no canteiro central da avenida. A altura das luminárias em relação ao solo foi projetada com 10 metros, sendo instaladas em estruturas somente para fins de iluminação pública. Para o canteiro central foi proposto 0,5 metro de largura e 10 centímetros de altura. Na Figura 33 é mostrado o resultado do projeto.

Figura 33 - Projeto da Av. Coronel Francisco Linhares (Postes no canteiro central)

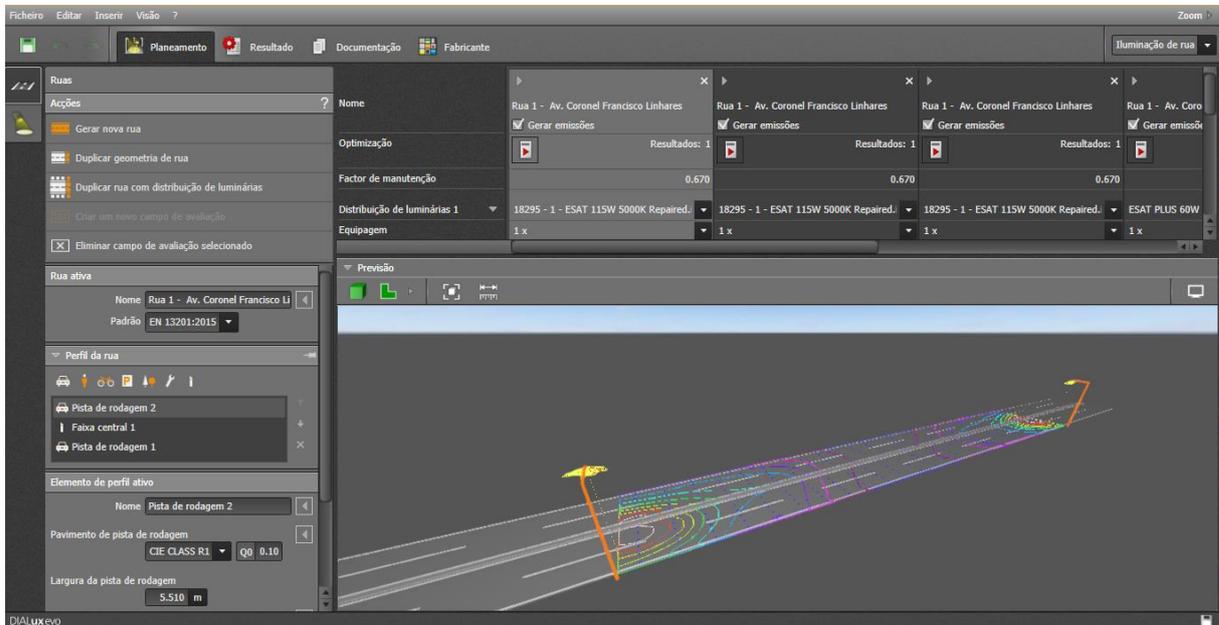


Fonte: O próprio autor

As linhas 3 e 4 do Quadro 17 e Quadro 21 apresentam os resultados para mesma avenida, mas com os postes instalados na margem direita da via. A linha 3 mostra os resultados para a faixa de rodagem do lado oposto à instalação do poste e a quarta linha apresenta os valores da faixa de rodagem onde poste está instalado. A

Figura 34 mostra o resultado do projeto, tanto para situação 1 quanto para a situação 2, luminárias de 115W e 60W, respectivamente.

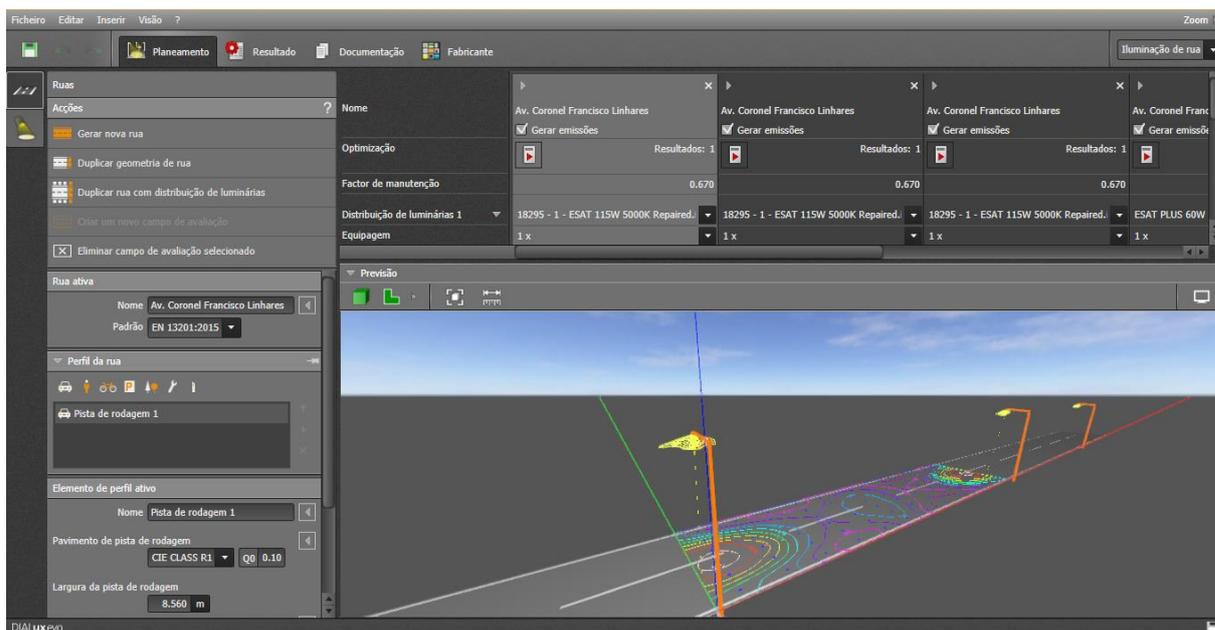
Figura 34 - Projeto da Av. Coronel Francisco Linhares (Poste na margem da Avenida)



Fonte: O próprio autor

A linha 5 do Quadro 17 e Quadro 21 apresenta o resultado da Av. Coronel Francisco Linhares para situação em que o trecho da avenida possui apenas uma pista de rodagem. Na Figura 35 é mostrado o resultado do projeto, tanto para a situação 1 quanto para a 2. Na Figura 35 também é evidenciada a mesma estrutura de instalação dos postes e luminárias das outras ruas simuladas no *DIALux*.

Figura 35 - Projeto da Av. Coronel Francisco Linhares (Apenas uma pista de rodagem)



Fonte: O próprio autor

Assumindo que os parâmetros da NBR 5101:2018 não foram satisfeitos em sua totalidade para a maioria das ruas, o ideal seria a instalação de mais postes para alocação de luminárias onde o parâmetro UL está inferior ao padrão da norma, porém a viabilidade econômica do projeto seria comprometida. Tal medida reduziria as zonas de zebração. Apesar dos custos de instalação de postes, as potências das luminárias poderiam ser reduzidas e uma nova análise poderia ser realizada.

No Anexo IX são apresentadas informações geradas pelo *DIALux* após a finalização da simulação de uma rua. É dado destaque ao resultado apenas de um logradouro por entender que os resultados relevantes dos projetos estão presentes no Quadro 17 e no Quadro 21.

Os cabos a serem trocados na instalação foram dimensionados de acordo com a NBR 5410:2004, referenciados pela tabela 47 da norma. O modelo adotado foi o cabo flexível PP 2x1,5mm preto Megatron, PVC, classe de isolamento de 750V. A metragem estabelecida foi de 860 metros, assumindo que cada braço tem 2,28 metros de comprimento e uma sobra de 22 centímetros para conexão com a rede de baixa tensão, chegou-se a 2,5 metros multiplicados pela quantidade de 344 luminárias trocadas.

A precificação desses cabos foi feita com base no preço do metro, o qual custava R\$ 2,09, totalizando R\$ 1.797,40 de cabos. O preço foi orçado com base em loja de material de construção da cidade de Fortaleza.

A precificação dos braços das luminárias foi feita com base em preços médios de mercado, o valor unitário de cada equipamento foi de R\$ 150,00 o que contabiliza R\$ 51.600,00 para as 344 luminárias trocadas.

5.1. Considerações Finais

Nesse capítulo foram apresentados os resultados das simulações feitas no *software DIALux*, para as ruas da cidade, baseados dos parâmetros da norma 5101:2018, descritos no capítulo 4. Foram expostos os resultados das metodologias de análise de investimentos com recursos da prefeitura e também da metodologia adotada no edital de chamada pública da distribuidora, sendo propostas soluções para viabilizar a implementação do projeto.

6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1. Conclusão

Este trabalho utilizou metodologias de análise de investimentos para verificar a viabilidade do *retrofit* dos equipamentos de iluminação pública da cidade de Caridade-CE, tendo como principal prerrogativa a eficiência energética.

O trabalho apresentado cumpriu os objetivos de verificar com simulações, os padrões técnicos estabelecidos na norma 5101:2018; de mensurar o consumo atual de energia da IP da cidade e realizar análises econômica/financeira com recursos da prefeitura e com recursos provenientes da distribuidora de energia. Além disso, foi possível divulgar a metodologia de estudo, tanto para aplicação em Caridade-CE, quanto, para qualquer outra cidade do estado, sendo possível criar uma metodologia de análise de investimentos de eficiência energética capaz de gerar um modelo de negócio.

Uma observação bastante importante verificada nesse projeto foi a impossibilidade de adequação do parâmetro fator de uniformidade da luminância (Uniformidade longitudinal - UL) que pouco foi atendido nas simulações realizadas, em virtude de os postes da concessionária de energia não terem padrão de distanciamento. Tal fato faz perdurar as zonas de zebração nas vias mesmo com luminárias mais eficientes. A implantação de mais postes e luminárias para diminuição ou extinção das zonas de zebração tornaria o projeto mais oneroso o que possivelmente comprometeria a viabilidade favorável do projeto.

Constatou-se que além da redução do consumo de energia com iluminação pública, nos custos mensais da prefeitura, o estudo pode proporcionar melhores ambientes de convivência, pois a efficientização da iluminação traz maior sensação de segurança, tanto para pedestres, quanto motoristas.

Para a situação em que a prefeitura decide investir recursos próprios para a execução do projeto, atendendo a situação 2, em que são utilizadas apenas luminárias LED de 60W e as metodologias de investimento VPL e TIR são favoráveis é possível fazer o *retrofit* de IP da cidade. Nesse contexto, para ter retornos financeiros mais céleres, a prefeitura necessitaria aportar mais recursos financeiros, além dos obtidos com os ganhos de eficiência energética.

Para condição em que a prefeitura se proponha a pleitear uma chamada pública de projetos da distribuidora, a mesma encontraria condições favoráveis dentro das condições elencadas no último edital publicado pela concessionária. Uma vez atendidas as condições estabelecidas na situação 2, em que são utilizadas apenas luminárias LED de 60W, é possível fazer o *retrofit* de IP da cidade, tendo o principal parâmetro avaliativo do edital, a RCB, favorável. Além da RCB dentro dos limites estabelecidos no edital, o projeto acumularia mais pontos positivos por investir recursos próprios para a execução do projeto.

Sendo assim, a população da cidade pode ser contemplada com uma iluminação pública com maior eficiência e qualidade luminosa.

6.2. Trabalhos Futuros

Propõe-se como sugestões para trabalhos futuros o seguinte:

- Realizar a viabilidade econômico-financeira para as praças e outros locais destinados à circulação exclusiva de pedestres, utilizando as mesmas metodologias aplicadas nesse trabalho.
- Fazer uma simulação desse mesmo projeto em uma chamada pública do projeto Reluz desenvolvido pela Eletrobras.
- Desenvolver um projeto para a avenida Coronel Francisco Linhares, prevendo a implantação de postes no canteiro central da via e verificar os comportamentos luminotécnicos e viabilidade econômica financeira para o projeto.
- Realizar a precificação de braços, cabos e lâmpadas retiradas para posterior comercialização, caso o processo fosse analisado apenas com recursos da prefeitura.

BIBLIOGRAFIA

- AALOK. **Fotometria**: também conhecida como ângulo de fecho, ângulo de abertura do fecho luminoso. [S.l.]: [s.n.], 2019.
- ABNT. **Iluminação Pública - Procedimento NBR 5101**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ANEEL. **Resolução Normativa Nº 414**. Brasília: [s.n.], 2010.
- ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - Prodist - Módulo 8**. Brasília: ANEEL, 2018.
- ANEEL. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética - PROPEE**. Brasília: ANEEL, 2018.
- ANEEL. Resolução Homologatória Nº 2.530. **Biblioteca ANEEL**, 29 jan. 2019. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20192530ti.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2019.
- ANEEL. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL**, 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em: 26 jan. 2020.
- ANTUNES, L. E. D. **ILUMINAÇÃO PÚBLICA: NORMATIZAÇÃO DE VIAS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ESTUDO DE CASO- LOTEAMENTO NILO GONÇALVES- ALEGRETE-RS**. Alegrete: Universidade Federal do Pampa, 2015.
- ARAÚJO, L. P. D. Tipos e características de lâmpadas: Sistemas de iluminação. **Lâmpadas**, 2019. Disponível em: <https://hosting.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%e2mpadas/tipos_caracteristicas_das_lampadas.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE SERVIÇO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA. Cadastro Nacional de Pontos de Iluminação Pública. **Associação Brasileira de Empresas de Serviço de Iluminação Pública**. Disponível em: <<http://www.abrasi.org.br/iluminacao-urbana/2/dados-do-setor#>>. Acesso em: 04 fev. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações elétricas de baixa tensão 5410**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), 2008.
- BOYLESTAD, R. L. **Dispositivos Eletrônicos e teoria de circuitos**. São Paulo: Pearson, 2005.

CLIQUE ARQUITETURA. O que é Índice de Reprodução de Cores (IRC)? **Clique Arquitetura**, 12 dez. 2019. Disponível em: <[https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/o-que-e-indice-de-reproducao-de-cores-\(irc\)?html](https://www.cliquearquitetura.com.br/artigo/o-que-e-indice-de-reproducao-de-cores-(irc)?html)>. Acesso em: 04 fev. 2020.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Manual de Iluminação Pública**. [S.l.]: COPEL Distribuição, 2012.

CONSÓRCIO HOUER/RSI/MACIEL ROCHA/ALBINO. **Relatório de Engenharia**. Belo Horizonte. 2018.

DIALUX. DIALux. **Família Dialux Para lighting designer e fabricante**, 2020. Disponível em: <<https://www.dial.de/en/dialux/>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

EFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performace**. [S.l.]: Efficiency Valuation Organization, 2012.

ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S.A. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**. Campinas: ANEEL, 2012.

ELETOBRAS. **Edital de chamada pública - 01/2019 Projetos de Iluminação Pública - LED PROCEL Reluz**. Eletrobras. Rio de Janeiro. 2019.

ELETOBRAS. Programa Reluz. **Programa Reluz**, 2020. Disponível em: <http://www.eletobras.gov.br/EM_Programas_Reluz/default.asp>. Acesso em: 26 jan. 2020.

ELETOBRAS PROCEL. **Iluminação Eficiente: Iniciativas da Eletrobras Procel e Parceiros**. Rio de Janeiro: Eletrobras Procel, 2013.

ENEL DISTRIBUIÇÃO CEARÁ. **Especificação Técnica nº 134: Instalações de Iluminação Pública**. Fortaleza: Enel Distribuição Ceará, 2018.

ENEL DISTRIBUIÇÃO CEARÁ. **CHAMADA PÚBLICA DE PROJETOS CPP 001/2019**. Enel Distribuição Ceará. Fortaleza. 2019.

FELDMAN, D. C. Índice de Reprodução de Cor. **Lume Arquitetura**, n. 70, p. 66 -71, out. 2014.

FELICISSIMO, A. Lâmpada incandescente. **Lume Arquitetura**, n. 08, p. 52-57, jul. 2004.

GANDRA, A. Venda de lâmpadas incandescentes está proibida no país a partir de hoje. **Agência Brasil**, 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-06/inmetro-inicia-fiscalizacao-no-varejo-de-lampadas-incandescentes-de-41-w-60-w>>. Acesso em: 26 jan. 2020.

GARCIA, F. R. **Harmônicos em sistemas elétricos de potência**. [S.l.]. 2019.

IBGE. Brasil/Ceará/Caridade. **IBGE**, 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/caridade/panorama>>. Acesso em: 27 jan. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro de Previsão de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<https://tempo.cptec.inpe.br/ce/caridade>>. Acesso em: 04 fev. 2020.

LUIZ, C. C. **ESTUDO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM LUMINÁRIAS DESTINADAS À ILUMINAÇÃO PÚBLICA NA CIDADE DE JAGUARUNA-SC**. Joinville: UDESC, 2016.

MAIA, E. D. S. **ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-FINANCEIRA DO RETROFIT DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE POTIRETAMA/CE**. Fortaleza. 2018.

MENDONÇA, C. B. P. D. **Eficiência Energética através do Uso da Tecnologia LED em Iluminação Pública: Desafios e Oportunidades**. Rio de Janeiro: PUCRio, 2016.

NOGUEIRA, E. **Introdução à Engenharia Econômica**. São Carlos: UFSCar, 2013.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático**. [S.l.]: [s.n.], 2019.

PAULO CANDURA, P. G. **Iluminação Urbana: Conceitos e Análise de Casos**. São Paulo: VJ Marketing Institucional, 2009.

PEREIRA, M. R. A. **Estudo de Iluminação Eficiente para a rodovia Duca Serra na cidade de Macapá**. Macapá: Universidade Federal do Amapá, 2017.

PROCEL - ELETROBRAS. **Guia Técnico Gestão Energética**. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2005.

PROCEL. **Manual de Iluminação**. [S.l.]: Procel, 2011.

PROCEL INFO. Iluminação Pública. **Procel Info Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética**, 2020. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID=>

ROSITO, L. H. Desenvolvimento da Iluminação Pública no Brasil. **O setor elétrico**, 2009.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia Econômica**. São Paulo: Pearson, 2009.

TEIXEIRA, G. A. Índice de ofuscamento unificado. **Lume Arquitetura**, n. 75, p. 62-67, 2015.

TENOWATT ILUMINAÇÃO. ESAT PLUS Iluminação para vias públicas e áreas externas. **Tenowatt Iluminação**, Contagem, Dezembro 2019. Disponível em: <https://tecnowatt.com.br/wp-content/uploads/2019/12/TEC_008_Catalogo_Esat_Web.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2020.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Lâmpadas Elétricas e Luminotécnica. **Lâmpadas Elétricas e Luminotécnica**, p. 301-341, 2019. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/136671/mod_resource/content/2/teo_luminotecnica.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2019.

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DOS LOGRADOUROS ANALISADOS PARA VIAS DE VEÍCULOS

Logradouro	Extensão (m)	Classe Viária	Classe de iluminação	Tipo de Pavimentação	Refletância	Tipo de iluminação	Número de faixas de rodagem	Largura da média da Via [m]	Tipo de posteação	Distância média entre postes [m]	Canteiro Central [m]	Observação
Avenida Coronel Francisco Linhares	1.904,88	Coletora	V4	Calçamento	R1	IV	4	11,52	Unilateral	39,53	0,5	
Rua Joana Bittencourt	429,27	Coletora	V4	Asfalto	R3	IV	2	7,20	Unilateral	36,20	0	
Rua Gabriela Alencar Santiago	471,27	Coletora	V4	Asfalto	R3	IV	2	7,23	Unilateral	33,60	0	
Rua Tomaz Catunda	499,73	Coletora	V4	Asfalto	R3	IV	2	7,63	Unilateral	39,57	0	
Rua Doutor Plácido Pinho	629,97	Coletora	V4	Asfalto	R3	IV	2	8,78	Unilateral	35,67	0	
Rua Carmelita de Queiroz	217,92	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,06	Unilateral	24,00	0	
Rua Raimundo Aires	625,55	Coletora	V4	Calçamento	R1	IV	2	6,30	Unilateral	41,75	0	
Tv. Tomaz Catunda	43,16	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	4,60	Unilateral	0,00	0	Rua sem posteação
Rua Padre José Antonio	580,16	Coletora	V4	Asfalto	R3	IV	2	7,14	Unilateral	38,18	0	
Rua Antonio Marrocos	138,34	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	7,48	Unilateral	38,00	0	
Rua do Laceiro	149,58	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	4,38	Unilateral	32,00	0	
Rua Largo Santo Antônio	223,16	Local	V5	Asfalto	R3	IV	2	6,21	Unilateral	32,00	0	
Rua Joao de Souza Leal	148,61	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,76	Unilateral	35,67	0	
Rua Ana Dias	292,95	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	6,30	Unilateral	30,00	0	
Tv. José Ribeiro	134,35	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,43	Unilateral	44,67	0	
Rua José Ribeiro	502,44	Coletora	V4	Calçamento	R1	IV	2	5,30	Unilateral	32,50	0	
Tv. José Carlos Bittencourt	166,32	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	4,96	Unilateral	37,50	0	
Rua José Carlos Bittencourt	251,09	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,68	Unilateral	31,00	0	
Rua Francisco Tavares	325,06	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,54	Unilateral	33,50	0	
Tv. Francisco Tavares 1	130,25	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,51	Unilateral	33,00	0	

Logradouro	Extensão (m)	Classe Viária	Classe de iluminação	Tipo de Pavimentação	Refletância	Tipo de iluminação	Número de faixas de rodagem	Largura da média da Via [m]	Tipo de posteação	Distância média entre postes [m]	Canteiro Central [m]	Observação
Tv. Francisco Tavares 2	99,26	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,98	Unilateral	44,00	0	
Tv. Francisco Tavares 3	183,56	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,18	Unilateral	28,50	0	
Rua Joana Bittencourt 2 (Travessa José Ribeiro)	175,57	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,35	Unilateral	39,00	0	
Tv. Raimundo Ribeiro Filho	129,33	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	4,84	Unilateral	13,00	0	
Tv. Joaquim de Sousa	191,71	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,62	Unilateral	32,20	0	
Rua José Luís	163,91	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,13	Unilateral	43,50	0	
Rua Joaquim Agostinho	282,54	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,95	Unilateral	40,83	0	
Rua Cem	90,22	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	7,77	Unilateral	16,40	0	
Rua Cento e Dois	95,05	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	6,36	Unilateral	22,33	0	
Rua Cento e Um	38,17	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,65	Unilateral	0,00	0	Não há postes no georeferenciamento
Rua Cento e Três	154,14	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	6,73	Unilateral	22,00	0	
Rua Cento e Quatro	85,13	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,71	Unilateral	0,00	0	Não há postes no georeferenciamento
Rua Cento e Cinco	42,14	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	6,00	Unilateral	0,00	0	Só há um poste
Tv. Cento e três	53,71	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,98	Unilateral	11,00	0	
Rua Sem Nome 6 (Rua do Tio Zé)	471,44	Coletora	V4	Calçamento	R1	IV	2	6,04	Unilateral	40,86	0	
Rua Sem Nome 7 (Rua do Tio Chico Ponciano)	758,67	Coletora	V4	Calçamento	R1	IV	2	5,48	Unilateral	37,47	0	
Rua Sem Nome 8 (Rua da Marlene)	212,76	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,11	Unilateral	30,40	0	
Rua Sem Nome 9 (Rua Lorim Pai do Nilsim)	119,47	Local	V5	Terra	N1	IV	2	3,33	Unilateral	35,00	0	
Rua Sem Nome 10 (Rua do Alfredo)	41,84	Local	V5	Terra	N1	IV	2	3,92	Unilateral	0,00	0	Só há um poste
Rua Sem Nome 11 (Rua Maze do Antonio Dias)	144,82	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,01	Unilateral	40,00	0	
Rua Sem Nome 12 (Rua do Zé Anísio)	156,76	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,20	Unilateral	41,00	0	

Logradouro	Extensão (m)	Classe Viária	Classe de iluminação	Tipo de Pavimentação	Refletância	Tipo de iluminação	Número de faixas de rodagem	Largura da média da Via [m]	Tipo de posteação	Distância média entre postes [m]	Canteiro Central [m]	Observação
Travessa BR020_1	257,38	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,00	Unilateral	41,25	0	
Travessa BR020_2	275,34	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,00	Unilateral	32,75	0	
Rua Plácido Domingos	119,61	Coletora	V4	Calçamento	R1	IV	2	7,84	Unilateral	30,67	0	
Tv. Coração de Jesus	80,62	Local	V5	Asfalto	R3	IV	2	7,73	Unilateral	36,00	0	
Tv. Cento e um	64,20	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	6,42	Unilateral	0,00	0	Só há um poste no georeferenciamento
Tv. Portelinha Campo	120,66	Local	V5	Terra	N1	IV	2	5,86	Unilateral	50,50	0	
Tv. Portelinha	51,34	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	8,26	Unilateral	18,00	0	
Tv. Portelinha Presídio	274,59	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,28	Unilateral	31,20	0	
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua do João Doido)	152,17	Local	V5	Terra	N1	IV	2	5,72	Unilateral	0,00	0	
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua da Socorro)	50,32	Local	V5	Terra	N1	IV	2	3,82	Unilateral	37,00	0	
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua da Socorrinha)	190,55	Local	V5	Terra	N1	IV	2	4,52	Unilateral	31,50	0	
Tv. Joana Bittencourt (Rua da Delegacia)	350,42	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,85	Unilateral	39,30	0	
Rua do Japão	551,39	Local	V5	Terra	N1	IV	2	6,04	Unilateral	43,36	0	
Tv. Plácido Pinho	80,72	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	5,40	Unilateral	40,00	0	
Tv. Da Goretinha (Goretinha da Fabinha)	62,54	Local	V5	Terra	N1	IV	2	5,68	Unilateral	16,00	0	
Travessa BR020 (Tônico Marreiro)	87,59	Local	V5	Terra	N1	IV	2	9,67	Unilateral	42,50	0	
Travessa BR020 (Motel)	70,01	Local	V5	Terra	N1	IV	2	5,47	Unilateral	0,00	0	Não há postes no georeferenciamento
Travessa BR020 (Casas do Carlão)	78,71	Local	V5	Calçamento	R1	IV	2	6,93	Unilateral	0,00	0	Não há postes no georeferenciamento

ANEXO II – TABELA R (REFLETÂNCIA)

R-Table	Q0	Descrição
C1	0,1	CIE C1 – Concreto
C2	0,07	CIE C2 – Asfalto
N1	0,1	Classe CIE = 1, muito difusa
N2	0,07	Classe CIE =1, Concreto
N3	0,07	Classe CIE =3, Asfalto
N4	0,08	Classe CIE=4, Asfalto Brilhante
NZN2	0,09	Nova Zelândia - Superfície asfáltica polida brilhante
NZN4	0,09	Nova Zelândia - Superfície de vedação de cavacos difusa
R1	0,1	IES RP-8- Propriedades de refletância principalmente difusas, características do cimento Portland ou da superfície do asfalto, com um mínimo de 15% dos agregados de branqueadores artificiais
R2	0,07	IES RP-8- Uma combinação de refletâncias difusas e especulares características de superfícies de asfalto com agregados compostos por um cascalho mínimo de 60% de tamanho maior que 10nm. Também Superfícies de asfalto compostas de 10% a 15% de abrillantador artificial em mistura agregada.
R3	0,07	IES RP-8- Refletância levemente especular típica de superfícies de asfalto com agregados escuros, textura áspera e alguns meses de uso. Essa Superfície é comum nos Estados Unidos.
R4	0,08	IES RP-8- Superfície principalmente especular, típica de textura asfáltica muito suave.
UKPA	0,05	Reino Unido - Asfalto Poroso
W1	0,11	CIE W1 - piso molhado
W2	0,15	CIE W2 - piso molhado
W3	0,21	CIE W3 - Superfície molhada da estrada
W4	0,25	CIE W4 - Superfície molhada da estrada
ZOAB	0,1	Classe CIE =2, asfalto poroso holandês

ANEXO III – POTÊNCIA DAS LÂMPADAS EM ÁREAS DE CIRCULAÇÃO EXCLUSIVA DE PEDESTRES

Praça	Postes	Lâmpadas	Potência (W)	Modelo	Total (W)	VS	MT	VS	MT
						150	150	250	250
CALÇADA DO MERCADO MUNICIPAL	6	2	150	VS	1.800	12			
CASA DA VÓ DA PREFEITA	1	4	250	VS	1.000			4	
CORAÇÃO DE JESUS	5	4	150	VS	3.000	20			
MATRIZ (Jardel)	3	4	250	MT	3.000				12
MATRIZ	7	4	150	MT	4.200		28		
CAMPO DA FACA	3	4	250	VS	3.000			12	
PRAÇA DOS CONJUNTO	5	4	150	VS	3.000	20			
PRAÇA DA IGREJA DOS CRENTES	3	4	250	VS	3.000			12	
ENTRADA DA CIDADE	4	4	250	MT	4.000				16
TRIÂNGULO TIO CHICO	1	3	250	VS	750			3	
ENTRADA DO SÃO DOMINGOS	1	4	250	VS	1.000			4	
POSTO DE GASOLINA	2	4	250	VS	2.000			8	
TRIÂNGULO DA RÁDIO	2	4	250	VS	2.000			8	
CALÇADA DA PREFEITURA	2	2	150	MT	600		4		
					32.350	52	32	51	28
						7.800	4.800	12.750	7.000

ANEXO IV – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA Nº 134 - INSTALAÇÕES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Especificação Técnica nº 134						
Tabela 5: Potência das Lâmpadas e Perdas nos Reatores						
Potência das Lâmpadas	Vapor de Sódio		Vapor de Mercúrio		Vapor Metálico	
	Perdas Máximas no Reator (W)	Conjunto Lâmpadas e Reator (W)	Perdas Máximas no Reator (W)	Conjunto Lâmpada e Reator (W)	Perdas Máximas no Reator (W)	Conjunto Lâmpada e Reator (W)
35	-	-	-	-	10	45
50	12	62	-	-	-	-
70	14	84	-	-	15	85
80	-	-	9,6	89,6	-	-
100	17	117	-	-	18	118
125	-	-	13,75	138,75	-	-
150	22	172	-	-	23	173
250	30	280	25	275	23	273
350	-	-	-	-	-	-
400	38	438	36	436	40	440
600	55	655	-	-	-	-
700	-	-	49	749	-	-
1000	90	1090	70	1070	50	1050
1500	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	100	2100	80	2080

ANEXO V – ORIGEM DOS RECURSOS

Elaboração do Projeto						Origem dos Recursos		
	Descrição do item	Quantidade	Horas	Valor da hora	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	Engenheiro Sênior	1	160	R\$ 95,00	R\$ 15.200,00	R\$ 15.200,00		
2		0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
3		0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub total - Custos com a Elaboração do Projeto						R\$ 15.200,00	R\$ -	R\$ -

Descarte de Materiais					Origem dos Recursos		
	Descrição do item	Quantidade	Preço unitário	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	Vapor de Sódio 70W	267	R\$ 3,10	R\$ 827,70	R\$ 827,70		
2	Vapor Metálico 70W	33	R\$ 3,10	R\$ 102,30	R\$ 102,30		
3	Vapor de Sódio 150W	1	R\$ 3,10	R\$ 3,10	R\$ 3,10		
4	Vapor Metálica 150W	1	R\$ 3,10	R\$ 3,10	R\$ 3,10		
5	Vapor de Sódio 250W	24	R\$ 3,10	R\$ 74,40	R\$ 74,40		
6	Vapor Metálica 250W	6	R\$ 3,10	R\$ 18,60	R\$ 18,60		
7	Vapor Metálica 400W	12	R\$ 3,10	R\$ 37,20	R\$ 37,20		
8		1	R\$ 560,00	R\$ 560,00	R\$ 560,00		
9		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
10		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
11		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
12		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub total - Custos descarte de equipamentos iluminação					R\$ 1.626,40	R\$ -	R\$ -

Medição e Verificação									
Período de Referência							Origem dos Recursos		
	Descrição do Equipamento	CV	População	Amostragem	Preço Unitário	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	Vapor de Sódio 70W	0,50	267	71	R\$ 70,50	R\$ 4.979,64	R\$ 4.979,64		
2	Vapor Metálico 70W	0,50	33	25	R\$ 70,50	R\$ 1.731,53	R\$ 1.731,53		
3	Vapor de Sódio 150W	0,50	1	1	R\$ 70,50	R\$ 69,77	R\$ 69,77		
4	Vapor Metálica 150W	0,50	1	1	R\$ 70,50	R\$ 69,77	R\$ 69,77		
5	Vapor de Sódio 250W	0,50	24	19	R\$ 70,50	R\$ 1.353,71	R\$ 1.353,71		
6	Vapor Metálica 250W	0,50	6	6	R\$ 70,50	R\$ 398,13	R\$ 398,13		
7	Vapor Metálica 400W	0,50	12	11	R\$ 70,50	R\$ 752,03	R\$ 752,03		
8									
Sub total - Custos medição e verificação iluminação - Período de Referência							R\$ 9.354,60	R\$ -	R\$ -
Período Pós – Retrofit							Origem dos Recursos		
	Descrição do Equipamento	CV	População	Amostragem	Preço Unitário	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	LED 60 W	0,5	174	62	R\$ 70,50	R\$ 4.362,77	R\$ 4.362,77		
2	LED 115 W	0,5	170	61	R\$ 70,50	R\$ 4.326,57	R\$ 4.326,57		
3		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
6		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
7		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
8									
Sub total - Custos medição e verificação iluminação - Período de Pós Retrofit							R\$ 8.689,34	R\$ -	R\$ -

Treinamento e Capacitação					Origem dos Recursos		
	Descrição do item	Quantidade	Preço unitário	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	Treinamento e Capacitação	1	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00	R\$ 12.000,00		
2		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
3		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub total - Custos descarte de equipamentos iluminação					R\$ 12.000,00	R\$ -	R\$ -

Materiais e Equipamentos						Origem dos Recursos		
	Descrição do equipamento	Vida útil	Quantidade	Preço Unitário	Custo Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	LED 60 W	15,70	174	R\$ 840,68	R\$ 146.278,57	R\$ 146.278,57		
2	LED 115 W	15,70	170	R\$ 1.022,71	R\$ 173.860,83	R\$ 173.860,83		
3		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
6		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
7		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
8	Braços	20,00	344	R\$ 150,00	R\$ 51.600,00	R\$ -		R\$ 51.600,00
9	Cabo PP 2x1,5mm	20,00	860	R\$ 2,09	R\$ 1.797,40	R\$ -		R\$ 1.797,40
10		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
11		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
12		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
13		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
14		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
15		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub total - Materiais e equipamentos – iluminação						R\$ 320.139,40	R\$ -	R\$ 53.397,40

Mão de Obra de Terceiros						Origem dos Recursos		
	Descrição do item	Quantidade	Horas	Valor da hora	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	Equipe de Substituição de IP	2,00	344,00	R\$ 16,07	R\$ 11.055,85	R\$ -		R\$ 11.055,85
2	Engenheiro Sênior (Relatório Final de Projeto)	1,00	80,00	R\$ 95,00	R\$ 7.600,00	R\$ 7.600,00		
3		0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0,00	0,00	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub total - Custos com Mão de Obra						R\$ 7.600,00	R\$ -	R\$ 11.055,85

Transporte e Outros Custos Diretos					Origem dos Recursos		
	Descrição do item	Quantidade	Valor	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
2		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
3		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub Total - Custos com transporte e outros custos diretos					R\$ -	R\$ -	R\$ -

Outros Custos Indiretos					Origem dos Recursos		
	Descrição do item	Quantidade	Valor	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
2		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
3		0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub Total - Outros Custos Indiretos					R\$ -	R\$ -	R\$ -

ANEXO VI – CUSTOS POR CATEGORIA CONTÁBIL E LIMITADORES

Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos – Previsão								
Tipo de Custo		Custos Totais			Origem dos Recursos			
		R\$	%	Recursos Próprios (PEE)	Recursos de Terceiros	Recursos do Consumidor		
Custos Diretos								
Materiais/Equipamentos	Previsto	R\$ 320.139,40	76,35%	R\$ 320.139,40	R\$ -	R\$ 53.397,40		
Mão de Obra Própria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Mão de Obra de Terceiros	Previsto	R\$ 22.800,00	5,44%	R\$ 22.800,00	R\$ -	R\$ 11.055,85		
Transporte	Previsto	R\$ 2.096,51	0,50%	R\$ 2.096,51	R\$ -	R\$ -		
Custos Indiretos								
Administração Própria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Marketing	Previsto	R\$ 20.965,08	5,00%	R\$ 20.965,08	R\$ -	R\$ -		
Treinamento e Capacitação	Previsto	R\$ 12.000,00	2,86%	R\$ 12.000,00	R\$ -	R\$ -		
Descarte de Materiais	Previsto	R\$ 1.626,40	0,39%	R\$ 1.626,40	R\$ -	R\$ -		
Medição & Verificação	Previsto	R\$ 18.709,19	4,46%	R\$ 18.709,19	R\$ -	R\$ -		
Outros Custos Indiretos	Previsto	R\$ 20.965,08	5,00%	R\$ 20.965,08	R\$ -	R\$ -		
Auditoria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
TOTAL		R\$ 419.301,67	100,00%	R\$ 419.301,67	R\$ 0,00	R\$ 64.453,25		

LIMITADORES		
Descrição	Limites	Calculado
Acessórios (acessórios/materiais e equipamentos)	2%	0%
Marketing / Custo da Parcela de Recursos PEE	5%	5%
M&V/Custo da Parcela de Recursos PEE	5%	4%
Treinamento e Capacitação / Custo da Parcela de Recursos PEE	3%	3%

ANEXO VII – DISTÂNCIAS MÁXIMA, MÉDIAS E MÍNIMAS DOS POSTES DAS RUAS CATALOGADAS

Logradouro	Distância máxima	Distância mínima	Distância média
Avenida Coronel Francisco Linhares	73	17	39,53
Rua Joana Bittencourt	43	13	36,20
Rua Gabriela Alencar Santiago	55	11	33,60
Rua Tomaz Catunda	50	20	39,57
Rua Doutor Plácido Pinho	47	15	35,67
Rua Carmelita de Queiroz	24	24	24,00
Rua Raimundo Aires	49	30	41,75
Tv. Tomaz Catunda	0	0	0,00
Rua Padre José Antonio	48	28	38,18
Rua Antonio Marrocos	44	30	38,00
Rua do Laceiro	32	32	32,00
Rua Largo Santo Antônio	45	21	32,00
Rua Joao de Souza Leal	53	24	35,67
Rua Ana Dias	44	23	30,00
Tv. José Ribeiro	50	39	44,67
Rua José Ribeiro	45	17	32,50
Tv. José Carlos Bittencourt	44	33	37,50
Rua José Carlos Bittencourt	46	16	31,00
Rua Francisco Tavares	47	9	33,50
Tv. Francisco Tavares 1	33	33	33,00
Tv. Francisco Tavares 2	44	44	44,00
Tv. Francisco Tavares 3	38	18	28,50
Rua Joana Bittencourt 2 (Travessa José Ribeiro)	49	33	39,00
Tv. Raimundo Ribeiro Filho	13	13	13,00

Logradouro	Distância máxima	Distância mínima	Distância média
Tv. Joaquim de Sousa	35	26	32,20
Rua José Luís	49	38	43,50
Rua Joaquim Agostinho	46	35	40,83
Rua Cem	24	4	16,40
Rua Cento e Dois	25	19	22,33
Rua Cento e Um	0	0	0,00
Rua Cento e Três	22	22	22,00
Rua Cento e Quatro	0	0	0,00
Rua Cento e Cinco	0	0	0,00
Tv. Cento e três	11	11	11,00
Rua Sem Nome 6 (Rua do Tio Zé)	49	25	40,86
Rua Sem Nome 7 (Rua do Tio Chico Ponciano)	53	21	37,47
Rua Sem Nome 8 (Rua da Marlene)	37	24	30,40
Rua Sem Nome 9 (Rua Lorim Pai do Nilsim)	35	35	35,00
Rua Sem Nome 10 (Rua do Alfredo)	0	0	0,00
Rua Sem Nome 11 (Rua Maze do Antonio Dias)	41	39	40,00
Rua Sem Nome 12 (Rua do Zé Anilsio)	46	36	41,00
Travessa BR020_1	52	22	41,25
Travessa BR020_2	51	14	32,75
Rua Plácido Domingos	34	28	30,67
Tv. Coração de Jesus	36	36	36,00
Tv. Cento e um	0	0	0,00
Tv. Portelinha Campo	51	50	50,50
Tv. Portelinha	18	18	18,00
Tv. Portelinha Presídio	51	17	31,20
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua do João Doido)	0	0	0,00
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua da Socorro)	37	37	37,00

Logradouro	Distância máxima	Distância mínima	Distância média
Tv. Tio Chico Ponciano (Rua da Socorrinha - Tia Zilmar)	40	18	31,50
Tv. Joana Bittencourt (Rua da Delegacia)	54	29	39,30
Rua do Japão	59	30	43,36
Tv. Plácido Pinho	41	39	40,00
Tv. Da Goretinha (Goretinha da Fabinha)	16	16	16,00
Travessa BR020 (Tônico Marreiro)	46	39	42,50
Travessa BR020 (Motel)	0	0	0,00
Travessa BR020 (Casas do Carlão)	0	0	0,00

ANEXO VIII – CUSTOS PARA SITUAÇÃO 2

Benefícios Iluminação									
Sistema Atual									
LÂMPADA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Total
1 Tipo de lâmpada		Vapor de Sódio 70W	Vapor Metálico 70W	Vapor de Sódio 150W	Vapor Metálica 150W	Vapor de Sódio 250W	Vapor Metálica 250W	Vapor Metálica 400W	
2 Potência (lâmpada + reator) (W)	pa_1	84	85	172	173	280	273	440	
3 Quantidade	qa_1	267	33	1	1	24	6	12	344
4 Potência Instalada (kW)	Pa_1	22,43	2,81	0,17	0,17	6,72	1,64	5,28	39,22
Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	11,52	
5 Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/ano)		365	365	365	365	365	365	365	
Funcionamento (h/ano)	ha_1	4.205	4.205	4.205	4.205	4.205	4.205	4.205	
Meses no ano, de utilização do Sistema no horário de Ponta (meses)	12	12	12	12	12	12	12	12	
Dias úteis no mês, de utilização do Sistema no horário de Ponta (dias)	22	22	22	22	22	22	22,0	22,0	
6 Horas por dia, de utilização do Sistema no horário de Ponta (horas)	3	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	
Potência média na ponta (kW)		21,16	2,65	0,16	0,16	6,34	1,55	4,98	
FCP (fator de coincidência na ponta)	$FCPa_1$	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	
7 Energia Consumida (MWh/ano)	Ea_1	94,31	11,79	0,72	0,73	28,26	6,89	22,20	164,90
8 Demanda média na ponta (kW)	Da_1	21,16	2,65	0,16	0,16	6,34	1,55	4,98	36,99

Sistema Proposto										
	LÂMPADA		Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3	Sistema 4	Sistema 5	Sistema 6	Sistema 7	Total
11	Tipo de lâmpada		LED 60 W							
12	Potência (lâmpadas + reatores) (W)	pp_1	60							
13	Quantidade	qp_1	344							344
14	Potência Instalada (kW)	Pp_1	20,64							20,64
15	Tempo de utilização do sistema, em um dia (h/dia)		11,52							
	Dias de utilização do sistema, em um ano (dia/ano)		365							
	Funcionamento (h/ano)	hp_1	4.205							
16	Meses no ano, de utilização do Sistema no horário de Ponta (meses)	12	12							
	Dias úteis no mês, de utilização do Sistema no horário de Ponta (dias)	22	22							
	Horas por dia, de utilização do Sistema no horário de Ponta (horas)	3	2,83							
	Potência média na ponta (kW)		19,47							
	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_1	0,94							
17	Energia Consumida (MWh/ano)	Ep_1	86,79							86,79
18	Demanda média na ponta (kW)	Dp_1	19,47							19,47
Resultados Esperados										
			Sistema Final							Total
21	Redução de Demanda na Ponta (kW)	RDP_1	17,52							17,52
22	Redução de Demanda na Ponta (%)	$RDP_1\%$	47%							47%
23	Energia Economizada (MWh/ano)	EE_1	78,11							78,11
24	Energia Economizada (%)	$EE_1\%$	47%							47%

Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos – Previsão – Situação 2								
Tipo de Custo		Custos Totais		Origem dos Recursos				
		R\$	%	Recursos Próprios (PEE)	Recursos de Terceiros	Recursos do Consumidor		
Custos Diretos								
Materiais/Equipamentos	Previsto	R\$ 289.195,47	75,17%	R\$ 289.195,47	R\$ -	R\$ 53.397,40		
Mão de Obra Própria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Mão de Obra de Terceiros	Previsto	R\$ 22.800,00	5,93%	R\$ 22.800,00	R\$ -	R\$ 11.055,85		
Transporte	Previsto	R\$ 1.923,64	0,50%	R\$ 1.923,64	R\$ -	R\$ -		
Custos Indiretos								
Administração Própria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Marketing	Previsto	R\$ 19.236,37	5,00%	R\$ 19.236,37	R\$ -	R\$ -		
Treinamento e Capacitação	Previsto	R\$ 12.000,00	3,12%	R\$ 12.000,00	R\$ -	R\$ -		
Descarte de Materiais	Previsto	R\$ 1.626,40	0,42%	R\$ 1.626,40	R\$ -	R\$ -		
Medição & Verificação	Previsto	R\$ 18.709,19	4,86%	R\$ 18.709,19	R\$ -	R\$ -		
Outros Custos Indiretos	Previsto	R\$ 19.236,37	5,00%	R\$ 19.236,37	R\$ -	R\$ -		
Auditoria	Previsto	R\$ -	0,00%	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
TOTAL		R\$ 384.727,44	100,00%	R\$ 384.727,44	R\$ 0,00	R\$ 64.453,25		

LIMITADORES		
Descrição	Limites	Calculado
Acessórios (acessórios/materiais e equipamentos)	2%	0%
Marketing / Custo da Parcela de Recursos PEE	5%	5%

M&V/Custo da Parcela de Recursos PEE						5%	5%	
Treinamento e Capacitação / Custo da Parcela de Recursos PEE						3%	3%	
	Materiais e Equipamentos – Situação 2					Origem dos Recursos		
	Descrição do equipamento	Vida útil	Quantidade	Preço Unitário	Custo Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	LED 60 W	15,70	344	R\$ 840,68	R\$ 289.195,47	R\$ 289.195,47		
2		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
3		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
6		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
7		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
8	Braços	20,00	344	R\$ 150,00	R\$ 51.600,00	R\$ -		R\$ 51.600,00
9	Cabo PP 2x1,5mm	20,00	860	R\$ 2,09	R\$ 1.797,40	R\$ -		R\$ 1.797,40
10		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
11		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
12		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
13		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
14		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
15		0,00	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
Sub total - Materiais e equipamentos – iluminação						R\$ 289.195,47	R\$ -	R\$ 53.397,40

Custos									
Equipamentos									
Item	Equipamento	Custo	Qtd.	Custo Total	Vida útil	Fator de recup. Capital $FRC_u = \frac{i(1+i)^u}{(1+i)^u - 1}$	Custo anualizado com indireto $CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u$	Subgrupo Tarifário	
1	LED 60 W	CE_1 R\$ 840,68	344	R\$ 289.195,47	u_1 15,70	0,1141	CA_1 R\$ 37.051,82	B4-IP	
2	Braços	CE_2 R\$ 150,00	344	R\$ 51.600,00	u_2 20,00	0,1019	CA_2 R\$ 5.413,02	B4-IP	
3	Cabo PP 2x1,5mm	CE_3 R\$ 2,09	860	R\$ 1.797,40	u_3 20,00	0,1019	CA_3 R\$ 188,55	B4-IP	
Total equipamentos		$CE_T = \sum_n CE_n$		R\$ 342.592,87			Custo anualizado PEE Iluminação $CA_{T_PEE_ILUM} = \sum_n CA_n$ R\$ 37.051,82		
							Custo anualizado total iluminação $CA_{T_ILUM} = \sum_n CA_n$ R\$ 42.653,40		

Medição e Verificação – Situação 2									
Período de Referência						Origem dos Recursos			
	Descrição do Equipamento	CV	População	Amostragem	Preço Unitário	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	Vapor de Sódio 70W	0,50	267	71	R\$ 70,50	R\$ 4.979,64	R\$ 4.979,64		
2	Vapor Metálico 70W	0,50	33	25	R\$ 70,50	R\$ 1.731,53	R\$ 1.731,53		
3	Vapor de Sódio 150W	0,50	1	1	R\$ 70,50	R\$ 69,77	R\$ 69,77		
4	Vapor Metálica 150W	0,50	1	1	R\$ 70,50	R\$ 69,77	R\$ 69,77		
5	Vapor de Sódio 250W	0,50	24	19	R\$ 70,50	R\$ 1.353,71	R\$ 1.353,71		
6	Vapor Metálica 250W	0,50	6	6	R\$ 70,50	R\$ 398,13	R\$ 398,13		
7	Vapor Metálica 400W	0,50	12	11	R\$ 70,50	R\$ 752,03	R\$ 752,03		
8									
Sub total - Custos medição e verificação iluminação - Período de Referência							R\$ 9.354,60	R\$ -	R\$ -
Período Pós – Retrofit						Origem dos Recursos			
	Descrição do Equipamento	CV	População	Amostragem	Preço Unitário	Total	PEE	Terceiros	Consumidor
1	LED 60 W	0,5	344	75	R\$ 70,50	R\$ 5.293,07	R\$ 5.293,07		
2		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
3		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
4		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
5		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
6		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
7		0,5	0	0	R\$ -	R\$ -	R\$ -		
8									
Sub total - Custos medição e verificação iluminação - Período de Pós Retrofit							R\$ 5.293,07	R\$ -	R\$ -

Benefícios PEE									
1	Energia economizada	78,11	MWh/ano	Custo unitário energia	536,02	R\$/MWh	Benefício energia	<i>BA_E</i>	41.867,73
2	Demanda reduzida na ponta	17,52	kW	Custo unitário demanda	1.139,02	R\$/KW.ano	Benefício demanda	<i>BA_D</i>	19.959,42
							Benefício total		61.827,15
							RCB		0,559

ANEXO IX – DOCUMENTOS GERADOS PELO DIALUX EVO

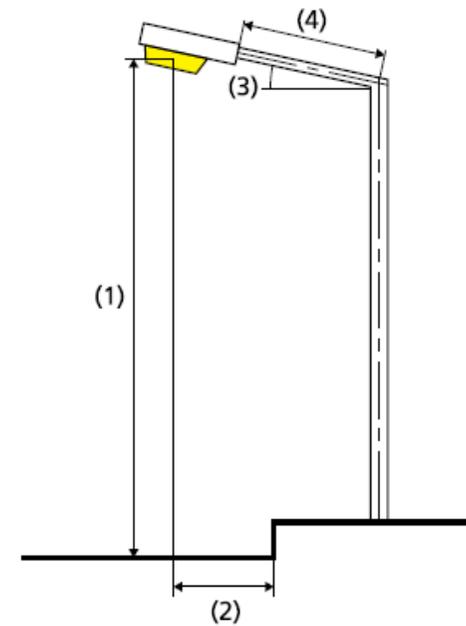
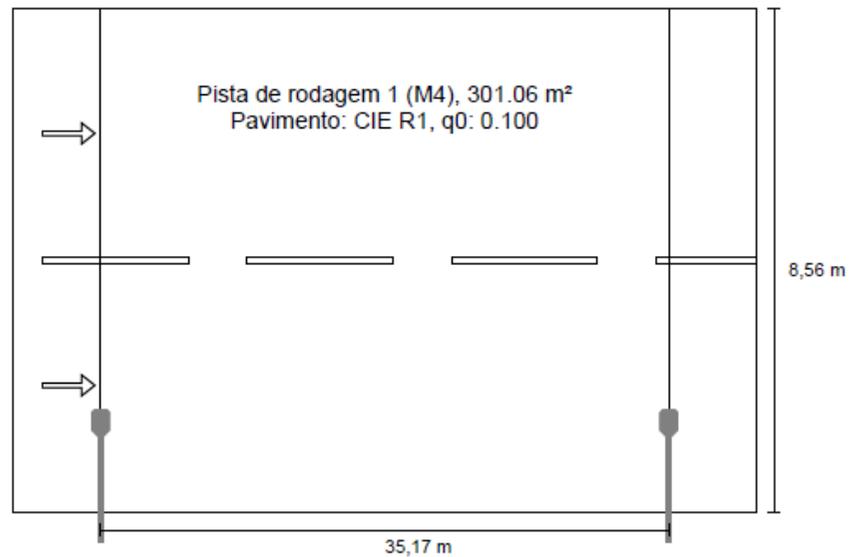
Rua 1 - Av. Coronel Francisco Linhares

22/03/2020

Av. Coronel Francisco Linhares: Alternativa 1 / Resultados de planeamento

DIALux

Av. Coronel Francisco Linhares em direcção EN 13201:2015 **Tecnowatt(Simon) - TW4001527 - DL115150IABRS1N**



Resultados para os campos de avaliação

Factor de manutenção: 0.67

Pista de rodagem 1 (M4)

Lm [cd/m ²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.60	✗ 0.46	✓ 12	✓ 0.52

Resultados para indicadores de eficiência energética

Indicador de Densidade de potência (Dp)	0.027 W/lxm ²
Densidade de consumo de energia	
Distribuição: 18295 - 1 - ESAT 115W 5000K Repaired.ies (454.0 kWh/yr)	1.5 kWh/m ² yr

Lâmpada:	1x
Fluxo luminoso (luminária):	11231.32 lm
Fluxo luminoso (lâmpada):	11231.00 lm
Horas de operação	
4000 h:	100.0 %, 113.5 W
W/km:	3178.0
Distribuição:	unilateral em baixo
Distância entre postes:	35.170 m
Inclinação de braço extensor (3):	5.0°
Comprimento braço extensor (4):	2.000 m
Altura do ponto de luz (1):	8.000 m
Pendor do ponto de luz (2):	1.500 m

ULR:	0.00
ULOR:	0.00
Valor máximo da potência luminosa	
com 70° e acima:	739 cd/klm *
com 80° e acima:	153 cd/klm *
com 90° e acima:	1.37 cd/klm *
Classe de potência luminosa:	G*1

Em todas as direcções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.

* Os valores de intensidade luminosa em [cd/klm] para o cálculo da classe de intensidade luminosa referem se ao fluxo luminoso das luminárias de acordo com EN 13201:2015.

A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.4

Pista de rodagem 1 (M4)

Factor de manutenção: 0.67
Trama: 12 x 6 Pontos

Lm [cd/m ²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.60	✗ 0.46	✓ 12	✓ 0.52

Observadores correspondentes (2):

Observador	Posição [m]	Lm [cd/m ²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15
Observador 1	(-60.000, 2.140, 1.500)	1.33	0.63	0.46	12
Observador 2	(-60.000, 6.420, 1.500)	1.35	0.60	0.58	11

Pista de rodagem 1 (M4)

Potência luminosa horizontal [lx]

7.847	16.0	13.6	11.6	10.0	9.74	9.68	8.88	7.94	8.68	10.6	13.0	16.4
6.420	22.9	18.0	13.5	10.8	10.4	10.5	9.21	8.35	9.53	12.6	17.6	23.3
4.993	30.0	23.1	15.0	11.2	10.2	10.3	8.87	8.10	9.85	14.5	22.3	30.0
3.567	32.4	25.2	15.4	10.4	9.21	9.50	7.93	7.25	9.32	14.8	24.2	31.8
2.140	29.1	22.2	13.9	9.08	8.02	8.54	6.90	6.27	8.34	13.1	21.4	28.6
0.713	21.8	17.3	11.7	8.03	7.17	8.07	6.10	5.58	7.26	10.6	16.4	21.9
m	1.465	4.396	7.327	10.258	13.189	16.120	19.050	21.981	24.912	27.843	30.774	33.705

Trama: 12 x 6 Pontos

Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	g1	g2
14.0	5.58	32.4	0.397	0.172

Observador 1

Densidade de luminância com pista de rodagem seca [cd/m²]

7.847	1.23	1.09	1.01	1.00	1.12	1.19	1.11	0.92	0.87	0.91	1.05	1.26
6.420	1.70	1.41	1.19	1.11	1.25	1.36	1.21	1.00	0.99	1.11	1.41	1.73
4.993	2.16	1.80	1.32	1.19	1.32	1.45	1.23	1.04	1.09	1.31	1.88	2.16
3.567	2.26	1.98	1.40	1.19	1.32	1.46	1.22	1.03	1.08	1.41	1.93	2.22
2.140	2.02	1.77	1.31	1.10	1.23	1.41	1.14	0.94	1.00	1.28	1.72	1.97
0.713	1.53	1.39	1.10	0.96	1.09	1.32	1.01	0.84	0.87	1.04	1.32	1.52
m	1.465	4.396	7.327	10.258	13.189	16.120	19.050	21.981	24.912	27.843	30.774	33.705

Trama: 12 x 6 Pontos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
1.33	0.84	2.26	0.630	0.369

Densidade de luminância com nova lâmpada [cd/m²]

7.847	1.83	1.63	1.50	1.50	1.67	1.78	1.65	1.37	1.30	1.36	1.57	1.88
6.420	2.54	2.11	1.77	1.65	1.86	2.03	1.80	1.50	1.48	1.66	2.10	2.57
4.993	3.23	2.69	1.97	1.78	1.98	2.16	1.84	1.56	1.62	1.96	2.80	3.22
3.567	3.38	2.95	2.08	1.77	1.97	2.18	1.81	1.54	1.62	2.10	2.89	3.31
2.140	3.02	2.64	1.95	1.65	1.84	2.10	1.71	1.40	1.50	1.91	2.56	2.94
0.713	2.28	2.07	1.64	1.44	1.62	1.97	1.50	1.25	1.30	1.55	1.97	2.27
m	1.465	4.396	7.327	10.258	13.189	16.120	19.050	21.981	24.912	27.843	30.774	33.705

Trama: 12 x 6 Pontos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
1.98	1.25	3.38	0.630	0.369

Observador 2

Densidade de luminância com pista de rodagem seca [cd/m²]

7.847	1.25	1.12	1.02	1.02	1.16	1.23	1.13	0.94	0.89	0.92	1.07	1.27
6.420	1.74	1.45	1.22	1.16	1.31	1.42	1.24	1.03	1.02	1.13	1.44	1.75
4.993	2.21	1.85	1.38	1.26	1.41	1.52	1.29	1.09	1.12	1.35	1.90	2.18
3.567	2.30	2.02	1.45	1.23	1.37	1.53	1.28	1.06	1.11	1.42	1.96	2.25
2.140	2.01	1.76	1.30	1.09	1.22	1.39	1.14	0.93	1.00	1.28	1.71	1.97
0.713	1.49	1.34	1.05	0.93	1.04	1.26	0.96	0.81	0.85	1.03	1.31	1.50
m	1.465	4.396	7.327	10.258	13.189	16.120	19.050	21.981	24.912	27.843	30.774	33.705

Trama: 12 x 6 Pontos

Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
1.35	0.81	2.30	0.602	0.352

Densidade de luminância com nova lâmpada [cd/m²]

7.847	1.86	1.67	1.53	1.53	1.73	1.83	1.69	1.40	1.33	1.37	1.59	1.90
6.420	2.60	2.17	1.83	1.74	1.96	2.12	1.85	1.54	1.52	1.69	2.15	2.61
4.993	3.30	2.76	2.07	1.88	2.10	2.27	1.92	1.62	1.67	2.01	2.84	3.26
3.567	3.44	3.02	2.17	1.83	2.05	2.28	1.91	1.59	1.65	2.13	2.93	3.35
2.140	3.00	2.62	1.95	1.62	1.82	2.08	1.70	1.39	1.49	1.91	2.56	2.94
0.713	2.22	2.01	1.57	1.39	1.55	1.89	1.43	1.21	1.27	1.54	1.95	2.24
m	1.465	4.396	7.327	10.258	13.189	16.120	19.050	21.981	24.912	27.843	30.774	33.705

Trama: 12 x 6 Pontos

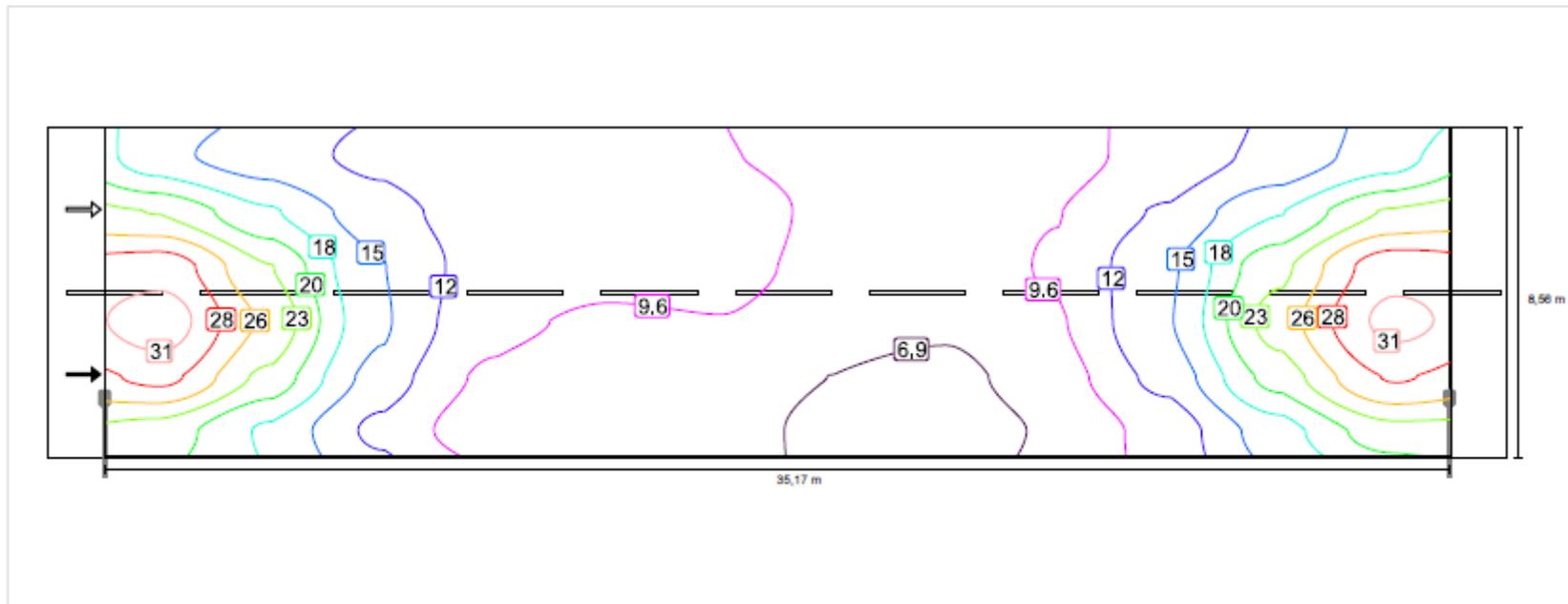
Lm [cd/m ²]	Lmin [cd/m ²]	Lmax [cd/m ²]	g1	g2
2.01	1.21	3.44	0.602	0.352

Pista de rodagem 1 (M4)

Factor de manutenção: 0.67
Trama: 12 x 6 Pontos

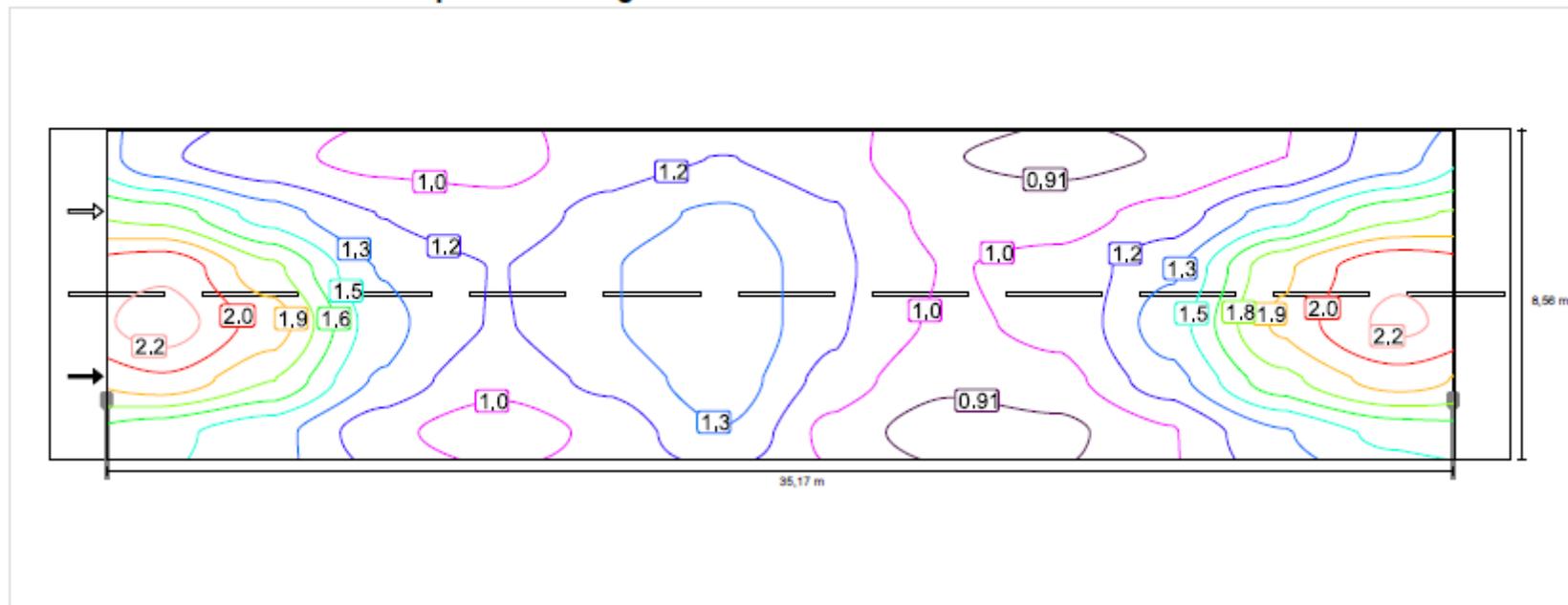
Lm [cd/m ²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.60	✗ 0.46	✓ 12	✓ 0.52

Potência luminosa horizontal

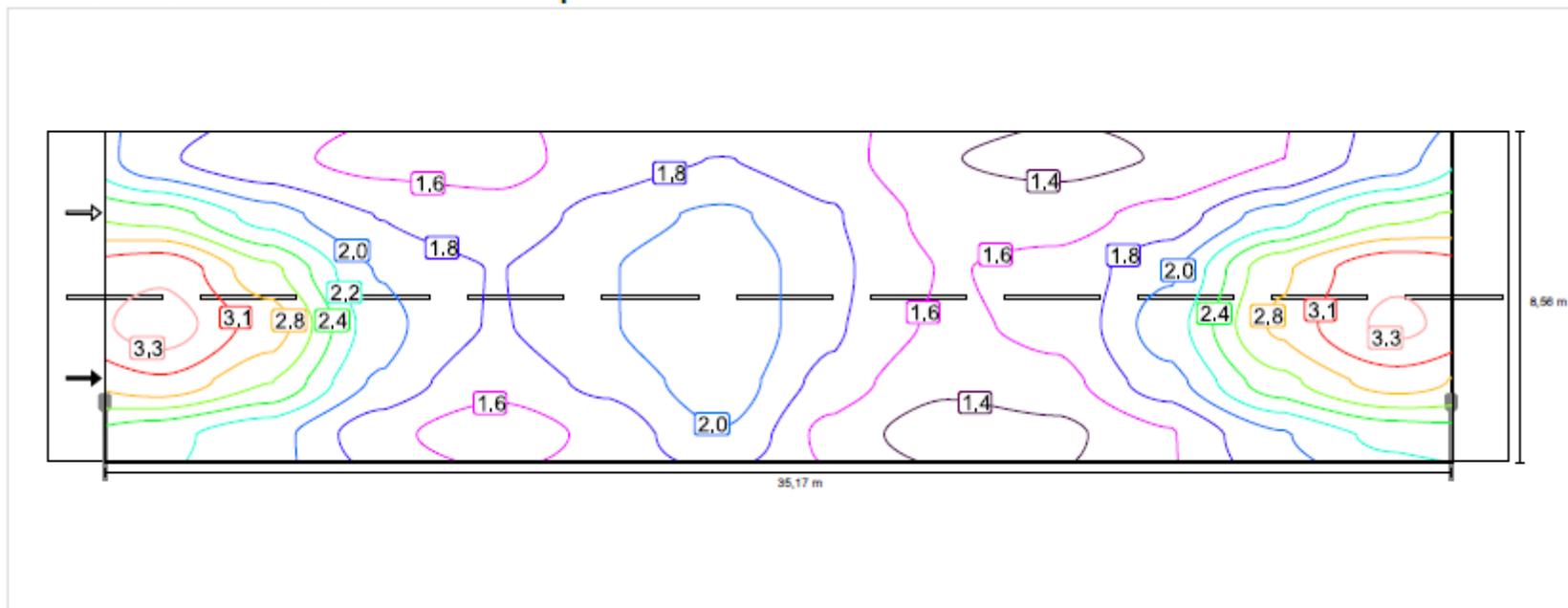


Observador 1

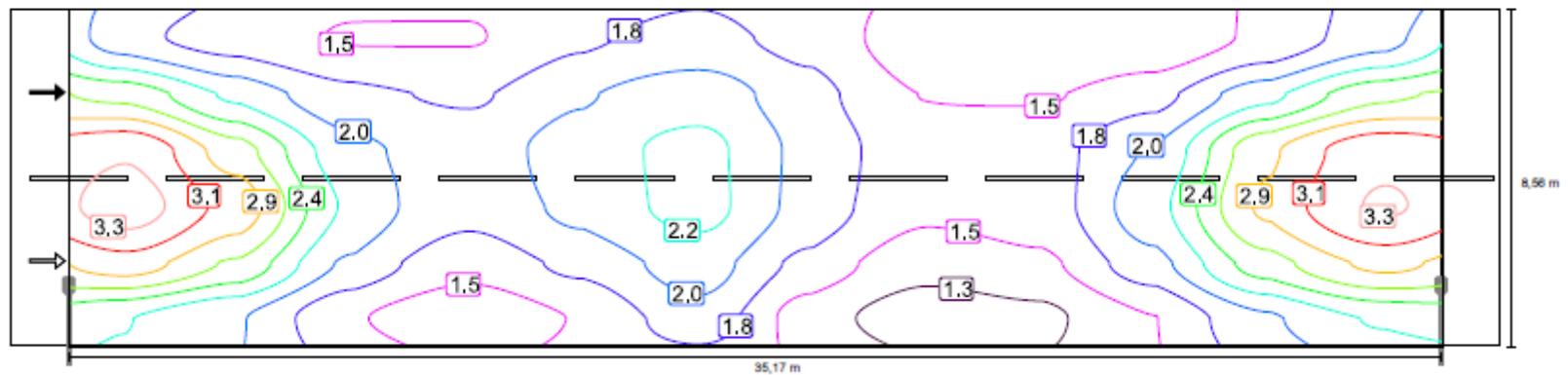
Densidade de luminância com pista de rodagem seca



Densidade de luminância com nova lâmpada



Densidade de luminância com nova lâmpada



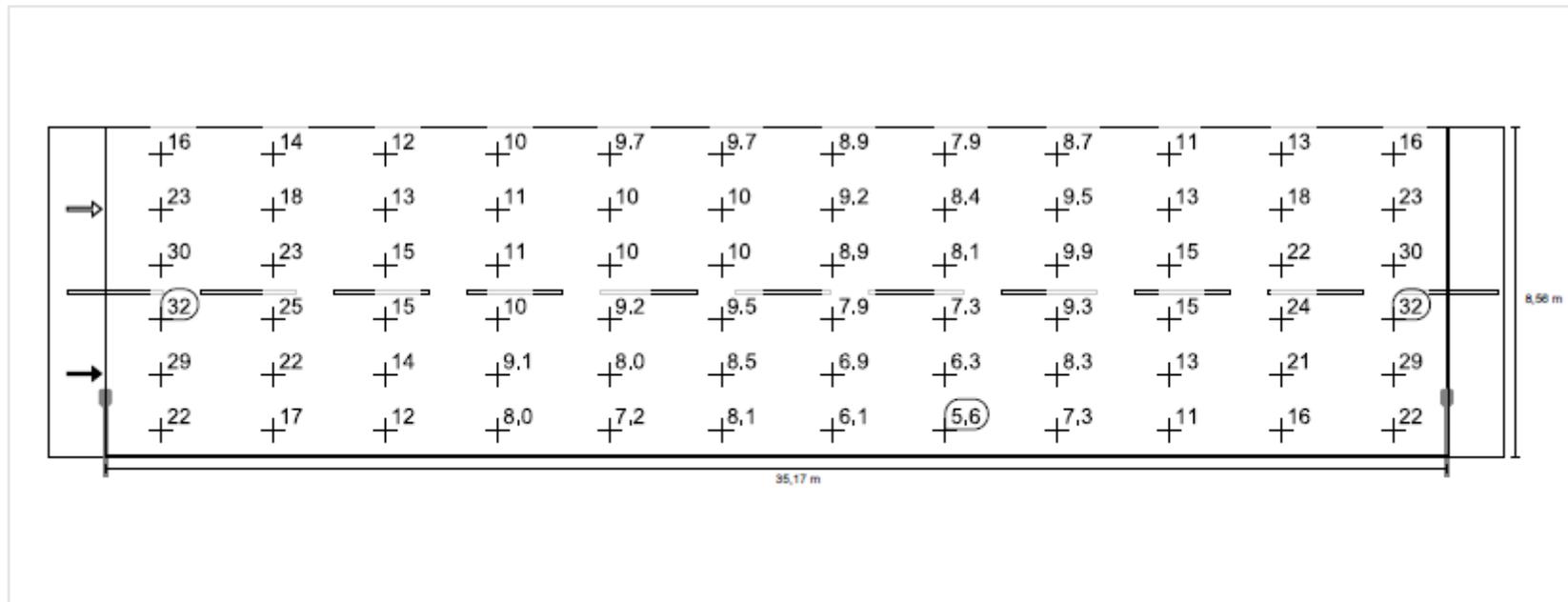
Pista de rodagem 1 (M4)

Factor de manutenção: 0.67

Trama: 12 x 6 Pontos

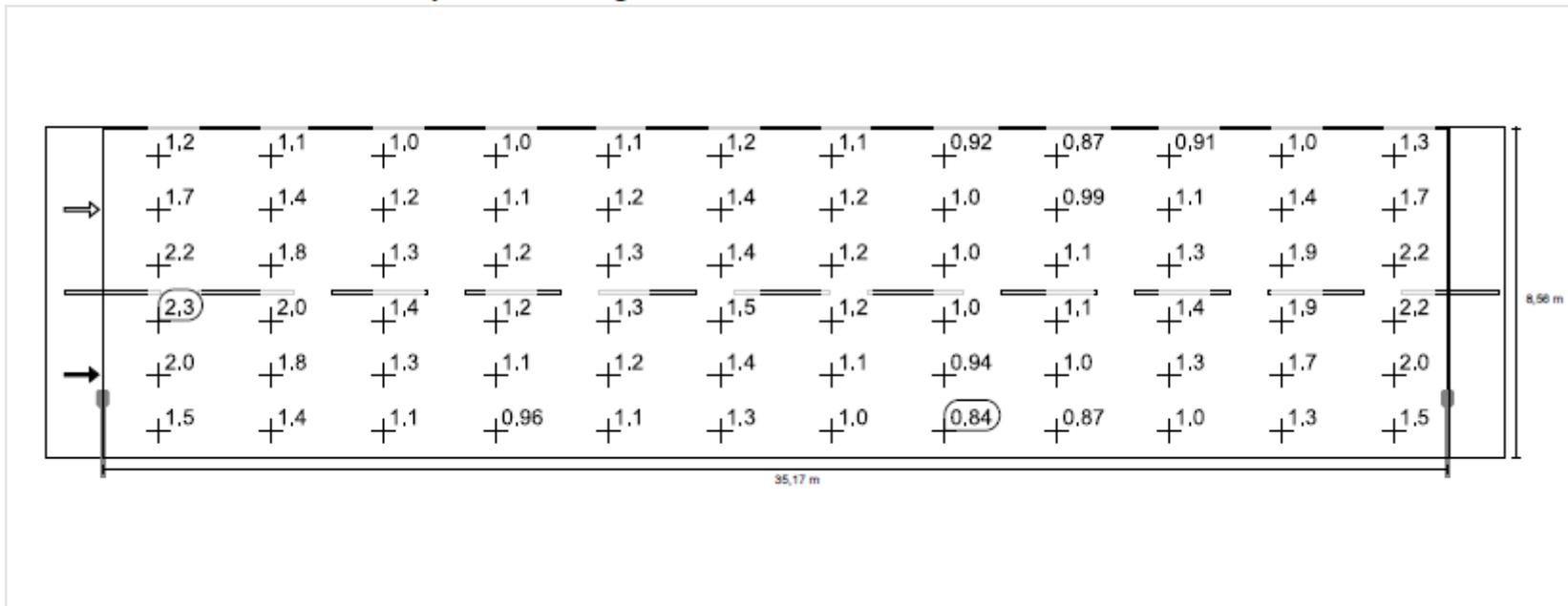
Lm [cd/m ²] ≥ 0.75	Uo ≥ 0.40	UI ≥ 0.60	TI [%] ≤ 15	EIR ≥ 0.30
✓ 1.33	✓ 0.60	✗ 0.46	✓ 12	✓ 0.52

Potência luminosa horizontal

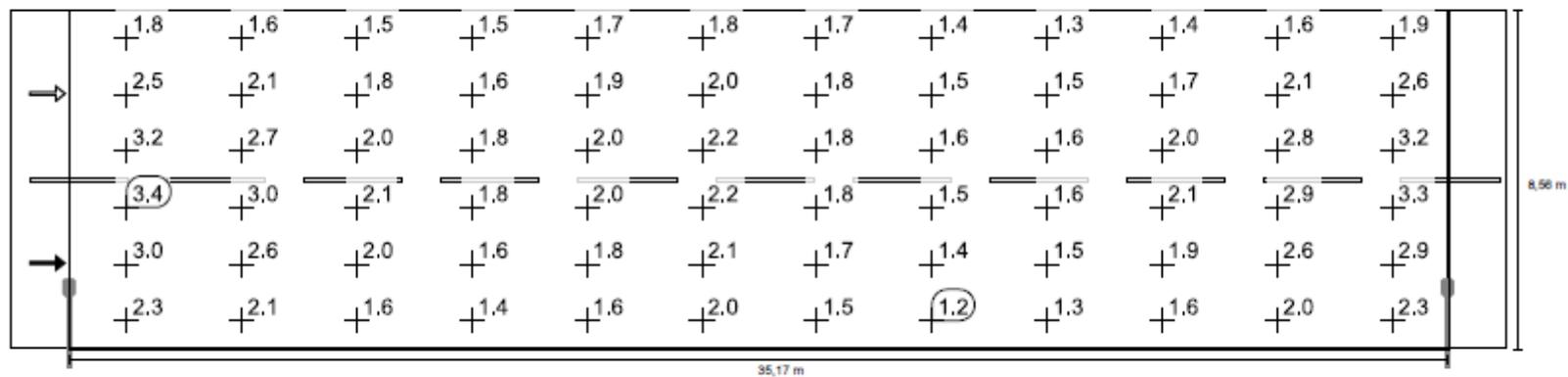


Observador 1

Densidade de luminância com pista de rodagem seca

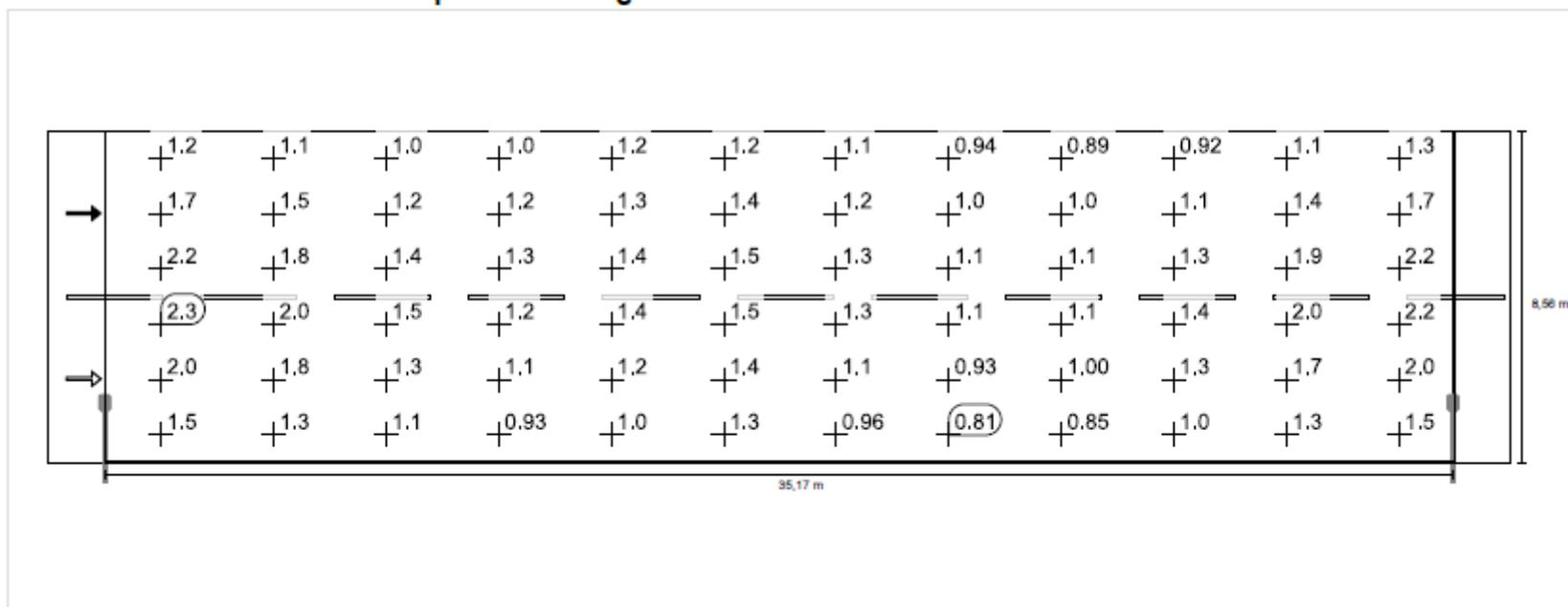


Densidade de luminância com nova lâmpada



Observador 2

Densidade de luminância com pista de rodagem seca



Densidade de luminância com nova lâmpada

