

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**FELIPE DELFIM DE PAULA  
JOSÉ HUMBERTO DE ARAÚJO NEVES  
RENAN DANIEL DE SOUZA SILVA**

**REESTRUTURAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE  
ANGRA DOS REIS**

**VOLTA REDONDA  
2018**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**REESTRUTURAÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO MUNICÍPIO DE  
ANGRA DOS REIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do UniFOA como requisito à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Alunos:

Felipe Delfim de Paula

José Humberto de Araújo Neves

Renan Daniel de Souza Silva

Orientador:

Prof. M. Sc. Mauricio Ferreira Haddad

Coorientadores:

Prof. Adilson Gustavo do Espírito Santo

Prof. Maria Amália Sarmiento Rocha de  
Carvalho

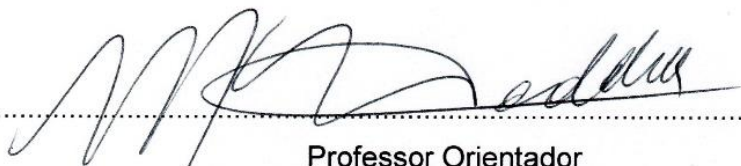
Prof. Renato Donato Viana

**VOLTA REDONDA**

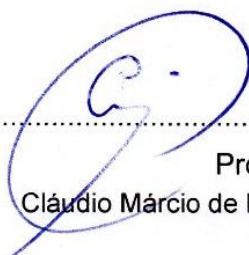
**2018**

**FOLHA DE APROVAÇÃO****Curso:** Engenharia Elétrica**Acadêmico: Matrícula:** Felipe Delfim de Paula 201220334; José Humberto de Araújo Neves 201310091; Renan Daniel de Souza Silva 201111068**Título do TCC:** Reestruturação da iluminação publica no município de Angra do Reis

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Elétrica

Aprovada em 10 de NOVEMBRO de 2018**Banca Avaliadora:****Professor Orientador**

Maurício Ferreira Haddad, Mestre, UniFOA

**Professor Avaliador**

Cláudio Márcio de Freitas da Silva, Mestre, UniFOA

**Professor Avaliador**

Bruno Moreira da Silva, Especialista, UniFOA

Dedicamos este trabalho à Deus, às nossas famílias, que em todas as dificuldades nos apoiaram e nos incentivaram a chegar no final desse objetivo, e aos amigos que estiveram sempre ao nosso lado durante essa longa jornada.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois sem Sua bênção não estaríamos aqui, aos nossos familiares por terem nos proporcionado sustento, saúde, educação e a oportunidade de melhorarmos como pessoas e como profissionais. Agradecemos também à Prefeitura Municipal de Angra dos Reis, que nos permitiu utilizar seu projeto e nos forneceu os dados para este trabalho de conclusão de curso e aos professores que direta ou indiretamente contribuíram na realização do nosso projeto.

## RESUMO

A iluminação pública constitui-se em um elemento de essencial importância para a vida urbana, pois, entre outras coisas, nos permite circular pelas ruas à noite com maior nível de segurança, desfrutar de um ambiente confortável e bonito, em um período da falta de luz natural. Diante do atual panorama energético do Brasil, cada vez mais se faz necessária a busca por meios de conservação do sistema energético, e de estabelecer um consumo consciente, visando contribuir com a eficiência energética do nosso país, cuja participação das fontes renováveis de energia vem crescendo com o tempo. Tecnologias que contribuem para o uso mais eficaz dos recursos energéticos disponíveis têm sido priorizadas e cada vez mais implantadas, em diversos segmentos. Entre as tecnologias mais exploradas atualmente relacionadas à energia elétrica, está a do uso das luminárias do tipo LED, que possuem muitas vantagens em relação às lâmpadas incandescentes e fluorescentes, pois, além de garantirem um consumo muito menor entregando a mesma iluminância, contribuem para a preservação do meio-ambiente. Este trabalho visa validar, tecnicamente e economicamente, a substituição do sistema de iluminação pública no município de Angra dos Reis (RJ), que atualmente dispõe, em sua ampla maioria, de lâmpadas do tipo vapor de sódio, para luminárias LED. Estudos preliminares foram feitos pela secretaria de obras e há uma oportunidade de ganho significativo em termos de economia de energia e eficiência energética, visando uma redução de custos para a prefeitura, diante da crise econômica pela qual o país vem passando.

**PALAVRAS-CHAVE:** Iluminação, pública, LED, eficiência, energia.

## ABSTRACT

Public lighting is an element of essential importance for urban life, among some things, it allows us to walk on the streets at night with a higher safety level, enjoy a comfortable and beautiful environment in a period of lack of natural light. In the face of Brazil's current energy situation, it is necessary to look for ways to conserve the energy system, and to establish a conscious consumption, thinking ways to contribute to the energy efficiency of the country, whose share of renewable energy sources is growing as time goes. Technologies that contribute to improve the efficient use of available resources have been prioritized and increasingly deployed in several segments. Among the most exploited technologies currently related to electricity, is the use of LED type luminaires, which have many advantages compared to incandescent and fluorescent lamps, as well as ensuring a much lower consumption by delivering the same (or better), helping to preserve the environment. This work aims to validate, technically and economically, the replacement of the public lighting system of Angra dos Reis city, which currently has, in its majority, sodium vapor lamps, for LED luminaires. Preliminary studies have been done by the construction secretary and there is a significant gain in terms of energy savings and energy efficiency, aiming at reducing costs for the city hall in the face of the economic crisis that the country is experiencing.

**Key Words:** Lighting, public, LED, efficiency, energy.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Problema abordado e justificativa .....	2
1.2. Objetivos gerais .....	3
1.3. Objetivos específicos .....	3
2. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA .....	5
2.1. Vias públicas .....	7
2.2. Conceitos e definições em luminotécnica .....	8
2.2.1. Fluxo luminoso ( $\Phi$ ) .....	8
2.2.2. Rendimento luminoso ( $\eta$ ).....	8
2.2.3. Iluminamento (ou Iluminância).....	9
2.2.4. Fator de uniformidade.....	9
2.2.5. Temperatura de cor .....	10
2.2.6. Índice de Reprodução de Cores (IRC).....	11
2.2.7. Vida média.....	11
2.2.8. Distorção Harmônica Total .....	11
2.2.9. Fator de Potência .....	12
2.3. Componentes da Iluminação Pública .....	13
2.3.1. Luminárias públicas .....	13
2.3.2. Principais características construtivas .....	15
2.3.3. Tipos de lâmpadas .....	17
2.4. A tecnologia LED .....	25
2.4.1. O Diodo Semicondutor .....	25
2.4.2. O LED na iluminação em geral.....	28
2.4.3. Estrutura da lâmpada LED .....	30
2.4.4. Certificação de lâmpadas de LED .....	31
2.4.5. Requisitos técnicos referentes à eficiência energética .....	32

3.	A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA.....	34
3.1.	Perturbações Harmônicas.....	34
3.1.1.	Definição e surgimento das harmônicas.....	34
3.1.2.	Tipos de harmônicas .....	36
3.1.3.	Efeitos das harmônicas na iluminação pública .....	36
3.1.4.	Cabos de Alimentação.....	36
3.1.5.	Iluminação .....	37
3.1.6.	Cargas Não-Lineares.....	37
3.2.	Transitórios .....	38
3.3.	Interrupções de energia elétrica.....	39
3.3.1.	Indicadores de qualidade e monitoramento .....	40
3.3.2.	O custo da interrupção para o consumidor e a sociedade.....	43
3.3.3.	Compensação para o consumidor afetado .....	44
3.3.4.	Custo da confiabilidade para a distribuidora.....	46
3.3.5.	Mecanismos de incentivo à melhoria da qualidade do fornecimento.....	46
4.	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	49
4.1.	Fluxo de caixa .....	50
4.2.	Valor presente líquido (VPL) .....	50
4.3.	Análise do custo benefício .....	51
5.	CONCEPÇÃO DO PROJETO.....	53
5.1.	Estimativa de demanda e consumo .....	55
6.	AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO.....	58
6.1.	Vida útil das lâmpadas .....	58
6.2.	Dados técnicos dos equipamentos .....	59
6.3.	Avaliação econômica do projeto .....	59
6.4.	Cálculo da relação Custo x Benefício.....	78
6.4.1.	Demanda na ponta e Energia Economizada .....	78

6.4.2.	Fator de Recuperação de Capital (FRC) .....	79
6.4.3.	Custo de Investimento do Projeto.....	80
6.4.4.	Custo anualizado do valor investido .....	86
6.4.5.	Custo evitado de demanda e consumo de energia elétrica ativa .....	86
6.4.6.	Cálculo do Valor do Benefício Anualizado (CA).....	88
6.4.7.	Relação Custo Benefício (RCB) .....	88
7.	SIMULAÇÃO NO DIALUX.....	90
8.	CONCLUSÃO .....	96
8.1.	Sugestão para trabalhos futuros .....	97
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98
10.	ANEXO A .....	101
11.	ANEXO B .....	115

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Iluminação pública com LED na cidade de Belo Horizonte, MG. ....	5
Figura 2 - Comparação entre duas fontes luminosas de IRC's diferentes.....	11
Figura 3 - Triângulo de potência.....	13
Figura 4 - Luminárias antigas descartadas no Rio de Janeiro.....	14
Figura 5 - Exemplo de luminária pública integrada .....	14
Figura 6 - Lâmpada incandescente .....	17
Figura 7 - Tipos diferentes de lâmpadas halógenas.....	18
Figura 8 - Diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes .....	20
Figura 9 - Lâmpada mercúrio de alta pressão.....	21
Figura 10 - Lâmpadas de vapor de sódio dos tipos ovoide e tubular .....	22
Figura 11 - Construção macro de uma lâmpada de luz mista .....	23
Figura 12 - Lâmpadas de vapor metálico .....	24
Figura 13 - Reator para lâmpadas de descarga .....	24
Figura 14 - Simbologia de um diodo semiconductor .....	25
Figura 15 - Tensões de entrada e saída em um diodo semiconductor. ....	26
Figura 16 - Polarização direta de um LED para emissão de luz.....	27
Figura 17 - Lâmpadas LED dos tipos compacta, bulbo e tubular.....	29
Figura 18 - Esquema elétrico de ligação de lâmpadas tubulares fluorescente e LED .....	30
Figura 19 - Etiqueta de certificação do Inmetro para lâmpadas LED .....	32
Figura 20 - Representação das harmônicas .....	35
Figura 21 - Influência da 3ª harmônica na fundamental .....	35
Figura 22 - Transitório Impulsional.....	38
Figura 23 - Transitório Oscilatório .....	39
Figura 24 - Evolução dos indicadores de continuidade no Brasil. ....	43
Figura 25 - Vista aérea da Rua Coronel Carvalho.....	55
Figura 26 - Níveis de demanda estimados para a IP do Município 57	
Figura 27 – Infográfico das células e nervos de um olho humano .....	92
Figura 28 – Comprimentos de onda e a sensibilidade relativa dos olhos humanos ..	92
Figura 29 - Comprimentos de onda de iluminação com lâmpadas VSAP .....	93
Figura 30 - Área de luz útil do comprimento de onda de uma lâmpada VSAP .....	93
Figura 31 - Comprimentos de onda de iluminação com lâmpadas LED Alto Brilho ..	94

Figura 32 - Área de luz útil do comprimento de onda de uma lâmpada LED .....	94
Figura 33 - Comparativo entre as áreas de luz efetivas das lâmpadas VSAP e LED95	

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Equação do Fator de Potência.....	12
Equação 2 - Valor Presente Líquido.....	50
Equação 3 - Índice Custo-Benefício (IBC).....	52
Equação 4 - Cálculo da vida útil da lâmpada LED para o estudo.....	58
Equação 5 - Equação do VPL (Valor Presente Líquido) .....	72
Equação 6 - Equação da Redução da Demanda de Ponta (RDP) .....	78
Equação 7 - Equação para cálculo da Energia Economizada (EE).....	78
Equação 8 - Equação para cálculo de Fator de Recuperação de Capital .....	80
Equação 9 - Equação do Custo Total dos Equipamentos .....	80
Equação 10 - Custo Anualizado .....	86
Equação 11 - Custo Unitário Evitado de Demanda .....	86
Equação 12 - Custo Unitário Evitado de Energia .....	86
Equação 13 - Relação Custo Benefício.....	89

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores aproximados de iluminâncias sob diferentes condições de luz. ....	9
Tabela 2 - Temperaturas de cor .....	10
Tabela 3: Tipos de luminárias de acordo com o fluxo luminoso .....	15
Tabela 4 - Indicadores Coletivos no Brasil – Duração e quantidade de interrupções .....	41
Tabela 5 - Indicadores Individuais para qualidade do serviço de energia .....	42
Tabela 6 - Quantidade de lâmpadas Vapor de Sódio e seus valores de potência (W) usados atualmente em cada rua da cidade de Angra dos Reis .....	53
Tabela 7 - Valores estimados de demanda e consumo para o Município .....	56
Tabela 8 - Estimativa de redução do consumo de energia elétrica .....	57
Tabela 9 - Informações técnicas das lâmpadas .....	59
Tabela 10 – Estimativa do investimento para a implantação do sistema VSAP .....	60
Tabela 11 – Estimativa do investimento para a implantação do sistema LED .....	63
Tabela 12 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 70W .....	67
Tabela 13 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 70W .....	67
Tabela 14 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 100W .....	67
Tabela 15 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 100W .....	67
Tabela 16 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 150W .....	68
Tabela 17 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 150W .....	68
Tabela 18 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 250W .....	68
Tabela 19 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 250W .....	68
Tabela 20 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 400W .....	69

Tabela 21 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 400W .....	69
Tabela 22 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 70 W .....	70
Tabela 23 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 100 W .....	70
Tabela 24 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 150 W .....	70
Tabela 25 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 250 W .....	71
Tabela 26 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 400 W .....	71
Tabela 27 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 70 W .....	73
Tabela 28 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 100 W .....	74
Tabela 29 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 150 W .....	75
Tabela 30 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 250 W .....	76
Tabela 31 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 400 W .....	77
Tabela 32 - Cálculos de RDP e EE para as substituições de lâmpadas .....	79
Tabela 33 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 70 W .....	81
Tabela 34 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 100 W .....	82
Tabela 35 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 150 W .....	83
Tabela 36 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 250 W .....	84
Tabela 37 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 400 W .....	85
Tabela 38 - Coeficientes das Equações .....	87
Tabela 39 - Custo Unitário de Demandas .....	88
Tabela 40 - Resultados de CED e CEE para os diferentes fatores de carga .....	88
Tabela 41 - Cálculos dos benefícios e das relações custo-benefício para as trocas das lâmpadas .....	89
Tabela 42 – Lâmpadas utilizadas nas simulações .....	91

## **LISTA DE SIGLAS**

IP – Iluminação Pública

VSAP – Vapor de Sódio de Alta Pressão

IRC – Índice de Reprodução de Cores

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

VM – Vapor Metálico

LED – Light Emitting Diode

RJ – Rio de Janeiro

PROCEL – Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica

IESNA - Illuminating Engineering Society

CF – Constituição Federal

CIP – Contribuição de Iluminação Pública

CTB – Código de Trânsito Brasileiro

DO – Diário Oficial da União

THD – Total Harmonic Distortion

FP – Fator de Potência

UV – Ultravioleta

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

QEE – Qualidade de Energia Elétrica

IEEE – Institute of Electrical and Electronic Engineers

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

## 1. INTRODUÇÃO

Os períodos onde há a falta da luz solar, como o noturno, a penumbra ou climas que antecedem temporais, sempre foram, e continuam a ser, um transtorno. Porém, com o passar dos tempos e o avanço da tecnologia, os sistemas de iluminação, que antes dependiam do fogo, tais como tochas, lampiões, e outros artifícios mais arcaicos foram substituídos por sistemas elétricos.

A iluminação pública merece mais atenção em relação ao potencial oferecido em termos de otimização de recursos e redução de gastos, pois é um fator primordialmente inerente à segurança pública, previne a ação de meliantes, valoriza e destaca a beleza de áreas da civilização, monumentos, prédios e paisagens, facilita a locomoção, orienta percursos e promove melhor utilização das áreas de lazer. Portanto os constantes avanços dos sistemas de iluminação pública contribuem de forma direta para o desenvolvimento da sociedade em todas as suas esferas.

As crises energéticas têm-se feito presentes, vide os apagões em 2001, 2002 e 2009, a crise do petróleo nos anos 70 e as recentes oscilações tarifárias no custo da energia elétrica devido aos baixos níveis dos reservatórios hídricos, e cada vez mais exige-se um modelo de uso eficiente e consciente dos nossos recursos, não apenas para atender às demandas de mercado e para equilíbrio das economias brasileira e mundial, mas por ser, cada vez mais, uma questão de sobrevivência humana, no sentido de garantir que a matriz energética seja favorável ao meio ambiente e sustentável para as próximas gerações que usufruirão das tecnologias que vêm sendo desenvolvidas.

O presente trabalho visa projetar e construir um modelo de sistema de iluminação pública-IP, mais otimizado e eficiente no Município de Angra dos Reis (RJ), onde foi implementado recentemente um programa de recuperação e manutenção em toda a sua rede, que possui lâmpadas de dois tipos: vapor de sódio de alta pressão, VSAP, e vapor metálico, VM. Porém, acompanhando-se a evolução das tecnologias que surgem como oportunidades e tendências para o setor elétrico, as luminárias LED, *light emitting diode*, têm obtido destaque relacionado ao seu grande potencial de redução no consumo de energia elétrica e na luta contra a poluição do meio-ambiente, uma vez que não são utilizados metais pesados em sua construção, ao contrário do que acontece com as lâmpadas de descarga.

As lâmpadas LED branco, possuem uma vida útil maior quando comparadas aos outros tipos de tecnologia, são mais econômicas e seu sistema, quando bem projetado, permite um funcionamento em maior tempo sem necessidade de manutenção. Também possibilitam um considerável aumento na qualidade da iluminação pelo fato da luz do LED branco possuir um Índice de reprodução de cores-IRC, de mínimo 70, em uma escala de 0 a 100, em relação às lâmpadas de vapor de sódio, cujo maior valor é 25. As de vapor metálico possuem um IRC similar às de LED, porém precisam de reatores para ignição e funcionamento, possuem menos resistência às vibrações e sua iluminação é comprometida com menos tempo de utilização. Este aumento em eficiência representa uma oportunidade interessante para o Município na busca por economia de custos, as lâmpadas LED consomem cerca de 75% menos energias do que as lâmpadas de descarga, e utilização mais racional da energia elétrica. Outro modo de verificar a eficácia da tecnologia de iluminação LED será realizando uma avaliação na situação atual da iluminação em uma determinada área da cidade que usa da tecnologia VSAP, com levantamento de informações e estruturação de um projeto de melhoria adequando a instalação local à tecnologia LED, com o objetivo de proporcionar uma iluminação de intensidade similar, porém com maior qualidade, com foco em redução de custos e aumento na eficiência.

### **1.1. Problema abordado e justificativa**

Com o tempo, se tornou indispensável pensar e agir sobre conservação de energia. Para tanto, a fim de reduzir os custos com geração e transmissão, o governo federal tem promovido a implantação de programas como forma de ter-se um consumo mais assertivo da energia elétrica, como o Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica-PROCEL, cuja gama de iluminação pública é dada pelo Programa Nacional De Iluminação Pública Eficiente-RELUZ, que tem como objetivo a implantação de sistemas mais eficientes pela utilização de tecnologias de iluminação com maiores relações lúmens/Watts, proporcionando mais qualidade na iluminação com significativa economia. O RELUZ, no ano de 2017, lançou uma chamada pública para seleção de projetos com tecnologia LED.

O LED oferece um potencial de aplicação valioso em função de ser um sistema mais eficiente e que contribui com o meio ambiente. Então, a expectativa é que os

sistemas de iluminação pública brasileiros acompanhem esta tendência, uma vez que esta tecnologia cada vez mais ganha espaço, não apenas na iluminação pública brasileira e mundial, mas também com aplicações residenciais e prediais, mostrando eficácia semelhante.

As fontes de energia renováveis têm cada vez uma maior contribuição na matriz energética brasileira, mas é fato que a maior parte dos recursos primários para geração de energia são finitos, inclusive a água, que sofre variações pluviométricas constantes, fazendo com que por vezes os níveis dos reservatórios fiquem reduzidos, sendo necessária a ativação das usinas termelétricas, o que acaba elevando o preço da conta de energia elétrica das residências brasileiras, por meio da cobrança da taxa conhecida como “Bandeira Vermelha”. Isso mostra mais um motivo pelo qual é necessária a atenção a projetos de eficiência energética, sendo o foco deste trabalho os sistemas de iluminação pública, como ações para alcançar uma relação técnico-econômica mais assertiva, de maneira a proporcionar maior aproveitamento e rendimento desta fonte de energia.

## **1.2. Objetivos gerais**

O trabalho teve como objetivo avaliar a viabilidade da substituição da lâmpada de vapor de sódio pela tecnologia LED na cidade de Angra Dos Reis, verificando a possibilidade de redução nos gastos com iluminação pública, de modo a analisar os potenciais ganhos com a qualidade da iluminação.

## **1.3. Objetivos específicos**

Além das avaliações macro, pretendeu-se também avaliar os seguintes itens:

- Tendo em vista que as lâmpadas de LED consomem até 75% a menos de energia que as lâmpadas atualmente dispostas, foram comparados valores de demanda e consumo exigidos pelo sistema com e sem a implantação da tecnologia, além dos valores monetários, a fim de quantificar os possíveis ganhos;

- A verificação/simulação dos ganhos relacionados à manutenção, pois o sistema LED possui menor desgaste, fazendo com que seja necessário um menor número de intervenções para garantir o sistema funcionando por mais tempo;

- A comparação dos níveis de degradação ambiental gerado pelo descarte inadequado das lâmpadas de descarga e as de LED (tendo em vista que o LED não figura na Lei de Resíduos Sólidos, nº 12.305/10), avaliando as melhorias que ele oferece e verificando seu comportamento;

- Simulação da iluminação por ponto, de modo a propiciar níveis de luminosidade assertivos e equilibrados, de forma que a iluminação seja distribuída da melhor forma possível.

## 2. A ILUMINAÇÃO PÚBLICA

O serviço de iluminação pública tem como finalidade proporcionar a possibilidade de transitar por uma área em horários de escuridão natural, com conforto visual e segurança aos pedestres. De acordo com a Eletrobrás (2013), esta gama corresponde a cerca de 4,5% da demanda e a 3% do consumo total de energia elétrica no Brasil, o que equivale a uma demanda de 2,2 GW e consumo de 9,7 bilhões de kWh anuais. Foi essencial ao longo das décadas em função do crescimento da urbanização e dos contratempos gerados por conta deste crescimento, como a precariedade da infraestrutura das cidades, falta de saneamento básico, tratamento de água e limpeza urbana.



Figura 1 - Iluminação pública com LED na cidade de Belo Horizonte, MG.  
Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2016)

A ANEEL é o órgão regulador e fiscalizador dos serviços de energia elétrica, e a ABNT NBR 5101 é a norma brasileira responsável por determinar as especificações mínimas a serem levadas em consideração em um projeto de IP e na sua verificação em campo após sua implementação. Esta norma é baseada em documentos da Illuminating Engineering Society- IESNA, que são normas americanas que foram atuali-

zadas pela última vez no ano de 1992. Neste tempo, ainda era predominante a tecnologia das lâmpadas a Vapor de Mercúrio, sendo que nesse período houve a expansão da tecnologia das lâmpadas do tipo Vapor de Sódio (VSAP), a criação do PROCEL RELUZ e a normatização deste segmento em outros países.

A ABNT NBR 5101 conceitua a iluminação pública da seguinte maneira:

Serviço que tem por objetivo prover de luz, ou claridade artificial, os logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, inclusive aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno. (NBR 5101: Iluminação pública — Procedimento. Rio de Janeiro, 2012).

“Prover luz ou claridade” pode ser compreendido como iluminar de maneira adequada e eficaz os logradouros públicos de acordo com suas particularidades de ocupação, trânsito e importância, atendendo as normas técnicas vigentes.

A falta da IP nas ruas contribui diretamente para a falta de segurança e a prática de delitos, além de prejudicar os cidadãos que necessitam, em função de seus trabalhos, estudos ou outros compromissos, transitar à noite pelas ruas.

Reza a resolução normativa 414/2010 da ANEEL:

A classe iluminação pública, de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público ou por esta delegada mediante concessão ou autorização, caracteriza-se pelo fornecimento para iluminação de ruas, praças, avenidas, túneis, passagens subterrâneas, jardins, vias, estradas, passarelas, abrigos de usuários de transportes coletivos, logradouros de uso comum e livre acesso, inclusive a iluminação de monumentos, fachadas, fontes luminosas e obras de arte de valor histórico, cultural ou ambiental, localizadas em áreas públicas e definidas por meio de legislação específica, exceto o fornecimento de energia elétrica que tenha por objetivo qualquer forma de propaganda ou publicidade, ou para realização de atividades que visem a interesses econômicos. (Resolução normativa 414/2010. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Brasil, ANEEL.)

De acordo com o artigo 30 da Constituição Federal, a responsabilidade pela gestão dos ativos da iluminação pública corresponde aos municípios correspondentes, com estes podendo instituir sobre o sistema de IP uma contribuição denominada Contribuição de Iluminação Pública, CIP, que pode ser recolhida por meio da fatura de energia elétrica. Ela deve ser tratada e gerida de maneira técnica, sistemática e

assertiva, pois os recursos vêm destes impostos e contribuições pagos pela população. Pode-se afirmar que somos todos provedores dos recursos utilizados para a provisão destes sistemas e usuários do produto final, que é uma IP com qualidade e baixo índice de interrupção.

## 2.1. Vias públicas

De acordo com a norma, as vias são classificadas como arteriais, coletoras, especiais, de ligação, locais, normais principais, rurais, secundárias e urbanas. Esta classificação tem origem nas práticas recomendadas pela IESNA através da RP-8 – Roadway Lighting. Segundo o Código de Trânsito Brasileiro - CTB, as vias são classificadas como:

Vias urbanas:

- **Vias de trânsito rápido**, exclusivas para tráfego motorizado, com baixo fluxo de pedestres e intenso fluxo de veículos;
- **Via arterial**, exclusiva para tráfego motorizado, caracterizada por grande volume e baixo acesso de tráfego, servindo de forma mais específica a grandes produtores de tráfegos de distâncias longas;
- **Via coletora**, exclusiva para tráfego motorizado, mas que, ao contrário da via arterial, é caracterizada por menor volume de tráfego e acesso superior;
- **Via local**, que são as vias que permitem acesso às edificações, possuem baixo tráfego de veículos e maior fluxo de pedestres.

Vias rurais:

- **Rodovias**, destinadas ao tráfego motorizado, pavimentadas, com ou sem acostamentos, podendo haver tráfego de pedestres;
- **Estradas**, possuindo aspectos semelhantes aos das rodovias, porém não pavimentadas, e com menor velocidade máxima, como será exposto a seguir.

Além disso, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) dita a velocidade máxima para todos os tipos de via, conforme as características técnicas e condições de trânsito.

Vias urbanas:

- Vias de trânsito rápido: 80 km/h;
- Vias arteriais: 60 km/h;
- Vias coletoras: 40 km/h;
- Vias locais: 30 km/h

Vias rurais:

- Rodovias: 110 km/h para carros de passeio e caminhonetes; 90 km/h para veículos de transporte de passageiros; 80 km/h para os outros automóveis;
- Estradas: 60 km/h.

Por essas características de vias do atual CTB, é possível readequar a Norma NBR 5101 à classificação vigente e estabelecer os critérios primários de qualidade de iluminação para garantir a segurança no trânsito de veículos e pessoas.

## **2.2. Conceitos e definições em luminotécnica**

### **2.2.1. Fluxo luminoso ( $\Phi$ )**

Medido em lúmens (lm), o fluxo luminoso pode ser compreendido como a quantidade de energia radiada em todas as direções, emitida em uma unidade temporal, cuja avaliação vem da sua sensação luminosa. É a quantidade de energia radiante capaz de causar alguma sensibilidade ao olho humano durante um segundo.

### **2.2.2. Rendimento luminoso ( $\eta$ )**

Sua unidade de medida é o lúmen por watt (lm/W), e expressa o quociente entre o fluxo luminoso gerado e a potência elétrica absorvida no processo. Usa-se

este conceito para comparação de diversas fontes de luz. Um melhor rendimento luminoso quer dizer mais iluminação com menor consumo de energia.

### 2.2.3. Iluminamento (ou Iluminância)

Define-se como a relação entre o fluxo luminoso que incide na direção perpendicular a uma superfície e a sua área, ou seja, é a quantidade de luz dentro de um ambiente. É medido pela unidade lúmen por metro quadrado ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), também chamada de lux. É essencial a verificação deste parâmetro para avaliar a qualidade da iluminação em determinado ponto, e o instrumento usado para sua medição é o luxímetro. Abaixo podem ser verificadas, para efeito de ilustração, alguns níveis de iluminância em situações do cotidiano:

Tabela 1 - Valores aproximados de iluminâncias sob diferentes condições de luz.

Situação	Iluminância
Meio dia de verão, céu claro	100000 lux
Meio dia de verão, céu encoberto	20000 lux
Iluminação artificial em um escritório	500 lux
Boa iluminação pública	20 a 40 lux
Noite de luz cheia	0,25 lux
Noite de lua nova (luz das estrelas)	0,01 lux

Fonte: Autores (2018)

### 2.2.4. Fator de uniformidade

A relação entre o valor mínimo de iluminância mínima em um plano especificado e a iluminância média calculada pela média aritmética das iluminâncias em um ambiente. Seu resultado é um valor que varia entre zero e um, indicando o nível de distribuição da luminosidade na superfície calculada.




### 2.2.5. Temperatura de cor

A temperatura de cor expressa a aparência da cor emitida pela fonte luminosa, sendo relacionada diretamente com a sensação de conforto que esta propicia em um ambiente. Ela é medida na escala Kelvin (K) e assim, temos que quanto mais alta for esta temperatura, mais clara será a cor. Os termos “cores quentes” ou “cores frias” não estão ligados à temperatura da luminária, mas sim à tonalidade da cor expressa.

As lâmpadas “quentes”, tomando como exemplo as lâmpadas incandescentes, têm uma temperatura de cor em cerca de 2700 K. E as lâmpadas “frias”, como as fluorescentes, têm uma temperatura de cor por volta de 6500 K.

Esta informação é importante no momento de definir a temperatura de cor utilizada em um dado ambiente. A luz de tonalidade mais quente, por exemplo, é usada em dormitórios e salas de estar porque passa uma sensação de ambiente aconchegante e relaxante. Em contrapartida, a luz fria torna-se mais estimulante e é mais usada em ambientes corporativos, escritórios, salas de reunião, etc. As relações entre temperatura e as cores podem ser vistas na Tabela 2.

Tabela 2 - Temperaturas de cor

Temperatura de cor (K)	Modo de aparência	
Menor que 3300	Quente (Branco alaranjado)	
Entre 3300 e 5000	Intermediária (Branco)	
Maior que 5000	Fria (Branco azulado)	

Fonte: Autores (2018)

### 2.2.6. Índice de Reprodução de Cores (IRC)

O Índice de Reprodução de Cores de uma fonte luminosa é uma escala de 0 a 100 que representa a medida da verdadeira cor de uma superfície ou objeto e de sua aparência quando iluminada por uma fonte artificial de luz. Ou seja, uma fonte de luz com IRC 100 reproduz as cores do objeto com fidelidade máxima. A figura 2, que apresenta o mesmo local, em iguais condições, porém à esquerda iluminado por luminárias de LED, IRC alto, e, à direita, iluminado por lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão, IRC baixo, sendo que à direita a reprodução das cores acaba prejudicada.



Figura 2 - Comparação entre duas fontes luminosas de IRC's diferentes  
Fonte: GE – General Electric (2011)

### 2.2.7. Vida média

Define-se vida média como o tempo em que 50% das lâmpadas de certo lote, após passarem por um ensaio de vida, deixam de operar.

### 2.2.8. Distorção Harmônica Total

A THD (Distorção harmônica total) representa a relação entre a soma dos valores eficazes das componentes harmônicas de uma forma de onda e o valor eficaz da sua componente fundamental, normalmente expressa em percentual (%).

Relacionada à iluminação pública, a THD da corrente pode ser definida como a distorção harmônica da corrente elétrica absorvida por uma carga não linear relacionada à senóide pura de 60 Hz, fornecida pela concessionária. Em maior intensidade, uma corrente de THD elevado pode gerar distorções nas formas de onda de tensão e corrente da rede, diminuindo a qualidade da energia a ser entregue e prejudicando o funcionamento de outros aparelhos conectados à mesma rede.

### 2.2.9. Fator de Potência

O Fator de Potência (FP) é a razão entre a potência aparente (S) e a potência ativa (P) de um circuito, que mede o quanto da potência elétrica está de fato sendo convertida em trabalho útil, cujo resultado será uma escala entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1 for este índice, a indicação será de que a energia está sendo consumida de maneira mais eficiente, pois a potência ativa está trabalhando de forma mais efetiva do que a aparente. Caso contrário, indica que há maior trabalho da energia reativa, que é necessária para a operação de componentes que armazenam energia (capacitores e indutores), mas que precisa ser compensada a fim de não gerar perturbações no sistema elétrico.

Segundo a Legislação Brasileira, o FP mínimo permitido para as faturas de energia elétrica é de 0,92. Caso este valor seja menor, a concessionária cobra uma multa na fatura sobre o consumo de Potência Reativa maior que os 8% de tolerância.

A equação para o cálculo do FP é dada abaixo e o triângulo de potência ilustrado na figura 3 a seguir:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{U_1 * I_1 * \cos \varphi}{U * I}$$

Equação 1 - Equação do Fator de Potência  
Fonte: Portal Engelétrica

Onde  $U_1$  e  $I_1$  são os valores eficazes das componentes fundamentais, de tensão e corrente;  $U$  e  $I$  os valores eficazes totais da tensão e corrente.

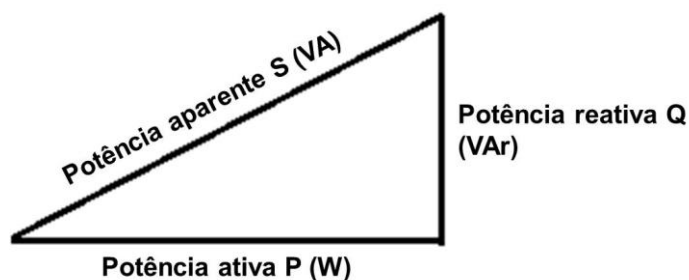


Figura 3 - Triângulo de potência  
Fonte: Autores (2018)

### 2.3. Componentes da Iluminação Pública

Aproximadamente 80% do custo inicial de um projeto de eficiência energética, onde há substituição de equipamentos por outros mais eficientes, é relacionado à compra de materiais, sendo este um ponto de atenção quanto aos gastos das prefeituras na implantação de novos pontos de energia ou reposições de pontos já existentes.

Porém, é estimado que, ao longo de uma vida útil de uma instalação de IP, o valor dos materiais seja correspondente a apenas 15% do total gasto com o projeto, sendo o restante advindo de consumo de energia e manutenções ao longo do tempo. É preciso analisar o quanto um material menos eficiente pode significar, a longo prazo, em termo de durabilidade e de valor investido ao longo de sua vida. Bons investimentos em materiais mais tecnológicos e a implantação de um projeto ser levada em conta apenas como um primeiro custo pode gerar taxas de retorno atrativas com o passar do tempo. As luminárias públicas têm características específicas.

#### 2.3.1. Luminárias públicas

As luminárias foram inicialmente pensadas para ter a função de abrigar e proteger a lâmpada da ação do tempo e orientar o feixe de luz, difundi-la e mitigar qualquer possível ofuscamento, tornando-se um dos elementos mais importantes em um sistema de Iluminação Pública.

As luminárias antigas eram padronizadas conforme dimensões, possuindo um rendimento luminotécnico aproximadamente entre 40~55% e depreciação precoce,

geralmente com a luz sendo refletida por vidro boro-silicato, gerando dispersão da luz e resultando em poluição luminosa. Esse tipo de luminária vem caindo em desuso e sendo descartado constantemente como é possível averiguar na figura 4.



Figura 4 - Luminárias antigas descartadas no Rio de Janeiro  
Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro (2015)

As luminárias atuais, ou integradas, como um exemplo visto na figura 5, possuem um conceito e um *modus-operandi* de maneira a serem mais eficientes, padronizadas em função de segurança, durabilidade e eficácia, feitas com o corpo em liga de alumínio, cujo refletor é constituído de alumínio de alta pureza. Seu rendimento gira em torno de 75~80% e sua distribuição fotométrica é de maior eficiência, possuindo material refletivo anti-vandalismo, vedados com o grau de proteção de no mínimo 65, resistentes mecanicamente, à intempéries e garantem segurança ao sistema elétrico.



Figura 5 - Exemplo de luminária pública integrada  
Fonte: Portal AECWeb (2015)

Em função dos vários tipos de luminárias existentes, com lâmpadas que apresentam diversas potências e tamanhos, bem como vários tipos de instalações e montagens, geram uma classificação bastante complexa. De acordo com a ABNT (2010), as luminárias devem ser classificadas como classe I ou II, podendo ser instaladas sobre cabos de sustentação/suspensão ou em uma parede.

Tabela 3: Tipos de luminárias de acordo com o fluxo luminoso

Classificação da luminária	Fluxo luminoso em relação ao plano horizontal (%)	
	Para o teto	Para o plano de trabalho
Direta	0~10	90~100
Semi-direta	10~40	60~90
Indireta	90~100	0~10
Semi-indireta	60~90	10~40
Difusa	40~60	60~40

Fonte: Autores (2018)

Conforme a mesma norma mencionada no parágrafo anterior, Seção 3, também devem ser fornecidas no manual de instruções da luminária os seguintes parâmetros: posição normal de operação; massa total do aparato; dimensões externas; área máxima sujeita à força dos ventos, em caso de montagem acima de 8 metros do chão; seções dos cabos aplicáveis para a luminária; tipo de uso, interno ou externo; dimensões do compartimento de instalação da caixa de ligação; torque, aplicado aos parafusos de fixação da luminária ao seu suporte.

### 2.3.2. Principais características construtivas

As luminárias usadas em IP possuem algumas características e parâmetros a serem respeitados, como:

**Marcação:** são as informações primárias que devem estar impressas nas luminárias e devem ser visíveis, como: marca ou nome do fabricante, mês e ano de fabricação, potência nominal, tensão nominal, frequência nominal e grau de proteção.

**Grau de Proteção:** é um padrão internacional definido pela Comissão Eletrotécnica Internacional – IEC, para classificar e avaliar o nível de proteção de produtos eletrônicos fornecidos contra a entrada de poeira e água, representado por um índice de dois algarismos onde o primeiro corresponde à entrada de sólidos/poeira e o segundo é relacionado à entrada de líquidos.

Indica a resistência e a adequação de produtos para uso em ambientes internos ou externos, instalados em atmosferas de condições variáveis de temperatura, umidade, ruído ou vapores tóxicos. Por exemplo, um equipamento que possui grau de proteção IP20 não poderá ser instalado em ambientes externos, pelo fato de não ter nenhuma proteção contra água, correndo o risco de danificar os componentes internos deste equipamento. Ou, em outra situação, não existe a necessidade de utilizar um equipamento que possua grau de proteção IP68 em um ambiente interno. É importante sempre considerar o Índice de Proteção (IP) contra poeira e umidade, indicado pelo fabricante, pois o mau uso pode causar algum dano funcional ao produto.

**Proteção contra choque elétrico:** não é admissível que, em seu uso normal, a luminária possa prover acesso às partes vivas do circuito.

**Resistências mecânicas:** a luminária, após ensaios em campo com simulações de vibração, não pode apresentar qualquer tipo de folga ou afrouxamento em seus componentes, de modo a comprometer a segurança, além de ser dotada de resistência mecânica que suporte o manuseio pesado que ocorre em situações normais. Quaisquer tipos de luminárias públicas são submetidos a ensaios de impactos.

**Durabilidade:** a luminária deverá suportar um tempo de chaveamento determinado quando submetida à sobretensão, além de uma temperatura de até 10°C acima do limite máximo nominal, sem apresentar nenhum tipo de desgaste ou falha decorrente desta carga extra.

**Temperatura:** todas as partes da luminária devem respeitar as temperaturas em suas faixas de segurança, sendo que cada parte da luminária passa por esse tipo de ensaio para que esta condição seja atendida, devendo este ensaio ser realizado em um ambiente controlado e à prova de correntes de ar.

**Fiações internas e externas:** as luminárias para IP devem possuir ancoragem ajustada de maneira que os condutores não sofram cargas mecânicas nos pontos onde são conectados aos terminais onde, sem esta ancoragem, o peso dos cabos aplicaria uma carga mecânica nas conexões.

### 2.3.3. Tipos de lâmpadas

#### 2.3.3.1. Lâmpadas incandescentes

As lâmpadas incandescentes são constituídas de um tubo de vidro, normalmente do tipo cal, por onde passa um filamento em espiral, feito de tungstênio, que vai incandescer em decorrência do efeito Joule que ocorre pela passagem da corrente. Não oxidam com facilidade devido à presença do gás argônio em seu interior. Este bulbo pode ser da cor branca ou incolor, sendo que a branca produz uma redução da luminância/ofuscamento. A cor de sua luz é branco-avermelhada.



Figura 6 - Lâmpada incandescente  
Fonte: iStock.com / Nastco (2011)

Os bulbos das lâmpadas possuem as seguintes finalidades: separar os meios interno e externo; diminuir a luminância gerada pelo filamento; modificar a composição espectral; alterar a distribuição fotométrica do fluxo luminoso.

Para diminuir a luminância da fonte luminosa e conseqüente ofuscamento, os bulbos podem ser fosqueados internamente, ou pintados. O fosqueamento é um tratamento do material do bulbo com ácido fluorídrico, fazendo com que a parte externa do bulbo fique lisa, evitando acúmulo de poeira ou outras sujeiras e absorvendo entre 1 e 2% do fluxo luminoso produzido. A pintura, por sua vez, é realizada com óxido de titânio, reduzindo a eficiência da lâmpada.

As bases, por sua vez, devem fixar a lâmpada em seu suporte e consumir a ligação elétrica ao circuito, com a maior parte dessas lâmpadas providas de base rosqueável, ou também de bases do tipo pino, características das lâmpadas fluorescentes tubulares.

Ao sofrer uma sobretensão, uma lâmpada incandescente experimenta um aumento na temperatura de seu filamento, na sua eficiência, na potência absorvida, no fluxo luminoso e em sua corrente, enquanto sua vida útil cai bruscamente.

### 2.3.3.2. Lâmpadas halógenas



Figura 7 - Tipos diferentes de lâmpadas halógenas  
Fonte: Ledvance (2013)

As lâmpadas halógenas são outro tipo de lâmpada incandescente, porém mais eficientes por ter, em seu bulbo, componentes halógenos como bromo ou iodo, fazendo destas lâmpadas, além de mais eficientes e de maior potência, mais econômicas, além de não escurecerem e possuírem uma maior durabilidade. Em comparação

com as incandescentes convencionais, nota-se uma diferença em sua vida útil, que varia entre 2000 e 5000 horas, enquanto a comum demonstra uma autonomia de 1000 horas, aproximadamente.

São bastante usadas em projetos de decoração por proporcionarem uma luz focada e direcionada, valorizando espaços ou objetos específicos.

No interior do bulbo, acontece o chamado “ciclo do iodo” (ou do bromo). A evaporação do tungstênio se combina com o halogênio incorporado ao gás já presente, formando o iodeto de tungstênio. Este composto formado circula dentro do bulbo em função das correntes de convecção, até estar mais próxima do filamento novamente. Com isto, o iodeto se decompõe em função da alta temperatura, e uma parte do tungstênio volta para o filamento, promovendo sua regeneração. Com a liberação do halogênio, o ciclo começa. Tem-se, então, uma reação cíclica que faz com que o tungstênio evaporado volte para o filamento, que pode trabalhar em temperaturas mais altas (3200~3400 K), gerando um maior rendimento luminoso, maior temperatura de cor, além de uma não-depreciação do fluxo luminoso por conta do bulbo não se enegrecer, etc.

Para que este ciclo ocorra, a temperatura do bulbo deve estar maior do que 250°C, sendo obrigatório o uso de bulbos de quartzo.

### 2.3.3.3. Lâmpadas de descarga

São lâmpadas onde o fluxo luminoso provém diretamente ou indiretamente da passagem da corrente elétrica através de um gás, vapor ou mistura.

Há diferentes tipos de lâmpadas de descarga, que serão brevemente abordados a seguir:

**Lâmpadas fluorescentes:** utilizam a descarga elétrica por meio de um gás para gerar energia luminosa. As lâmpadas fluorescentes tubulares são compostas de um tubo cilíndrico de vidro, tendo em suas extremidades contatos metálicos de tungstênio recobertos de óxidos, que potencializam seu poder emissor, que é por onde vai circular a corrente elétrica. No interior da lâmpada, há vapor de mercúrio ou argônio a baixa pressão, e o revestimento interno do tubo é coberto por um material à base de fósforo.

Geralmente se utilizam de um starter e um reator, especialmente para as lâmpadas chamadas “partida lenta”.

Há dois tipos de reatores: o eletromagnético, composto principalmente de uma bobina com núcleo de ferro, ligada em série com o circuito de alimentação da lâmpada, para provocar um aumento de tensão durante a ignição e uma diminuição na intensidade da corrente durante o funcionamento da lâmpada; e o reator eletrônico, que faz a mesma função do eletromagnético, consistindo basicamente de um circuito retificador e um inversor oscilador, e possuindo muitas vantagens, como menor ruído, menos aquecimento, mitigação da interferência eletromagnética, menos consumo de energia, etc.



Figura 8 - Diferentes tipos de lâmpadas fluorescentes  
Fonte: Globo (2016)

Seu princípio de funcionamento ocorre por meio da estimulação elétrica de gases especiais. Os eletrodos geram uma corrente elétrica que agita as moléculas de argônio e de vapor de mercúrio, estimulando a emissão de raios UV. Estes raios são absorvidos pelo revestimento interno do tubo, cuja composição química converte o comprimento de onda invisível desta radiação em luz branca, que é refletida para o ambiente. A tensão final no *starter* é pouca para gerar nova descarga, fazendo com que este fique fora de operação até que a lâmpada seja desligada.

As lâmpadas fluorescentes podem ser do tipo **compactas integradas**, usadas em residências como substituição às incandescentes comuns; **compactas não integradas**, muito utilizadas em iluminação comercial e outros ambientes residenciais por serem usadas de forma embutida; **circulares**, que possuem as mesmas atribuições das compactas integradas; **tubulares**, que são as famosas lâmpadas cilíndricas, utilizadas na iluminação de grandes áreas.

Dependendo do tipo de lâmpada, pode-se atingir um IRC de 85, com alta vida útil, acima de 10000 horas, com um rendimento luminoso que gira em torno de 50 a 90 lm/W.

**Lâmpadas a vapor de mercúrio:** este tipo de lâmpada é composto de um tubo de descarga, feito de quartzo, projetado para suportar grandes temperaturas, possuindo em suas extremidades um eletrodo principal de tungstênio coberto com uma composição emissora de elétrons.



Figura 9 - Lâmpada mercúrio de alta pressão  
Fonte: Ecolume Web (2009)

Quando se aplica uma tensão à lâmpada, é criado um campo elétrico entre os eletrodos e gerando um arco elétrico, fazendo com que ocorra o aquecimento dos óxidos emissores, a ionização do gás e a formação do vapor de mercúrio. Após a ionização do meio interno, ocorre a redução da impedância elétrica e a descarga passa a ocorrer entre os eletrodos principais, fazendo com o que haja o aquecimento no interior da lâmpada e o aumento da pressão dos vapores, e, conseqüentemente, do fluxo luminoso. O tempo de partida leva alguns segundos, mas só se estabiliza após cerca de 6 minutos depois de ligada a chave. Após apagada a lâmpada, o mer-

cúrio não pode ser reionizado novamente até que a temperatura do arco caia de maneira suficiente, podendo levar até 10 minutos, dependendo da lâmpada e do ambiente.

Possui um IRC de 45, com uma eficiência luminosa entre 45~55 lm/W, com uma autonomia de cerca de 18000 horas, muito utilizada em projetos de iluminação pública.

**Lâmpadas a vapor de sódio:** produzem uma luz amarelada, não-ofuscante, e apresentadas como uma boa solução para iluminação em pontos onde há névoa ou cerração.

As lâmpadas de tecnologia Vapor de Sódio de Alta Pressão – VSAP, possuem um tubo de descarga de óxido de alumínio, coberto com uma amálgama de sódio-mercúrio, e de uma composição de argônio e neônio, tudo isto envolto de um bulbo oval de vidro.



Figura 10 - Lâmpadas de vapor de sódio dos tipos ovoide e tubular  
Fonte: Eletrotem (2010)

São produzidas como substituição às lâmpadas de vapor de mercúrio diretamente nas potências equivalentes, atentando para o fato de que essas luminárias não devem causar um aumento brusco na tensão do arco.

Possuem um IRC 23, com uma temperatura de cor de aproximadamente 2000 K e uma vida variando em cerca de 16000 horas, precisando de reator e ignitor de qualidade para garantir uma partida e uma operação confiáveis, não podendo ser usadas em circuitos capacitivos.

**Lâmpadas mistas:** têm um tubo de arco de vapor de mercúrio ligado em série com um filamento incandescente de tungstênio que, além de gerar fluxo luminoso, funciona como um elemento de estabilização da lâmpada. Ela engloba características das lâmpadas fluorescente, incandescente e vapor de mercúrio, pois a luz do filamento emite luminosidade incandescente, a luz do tubo de descarga gera luz azulada e a radiação UV, em contato com a parte fluorescente do revestimento, se converte em luz avermelhada.

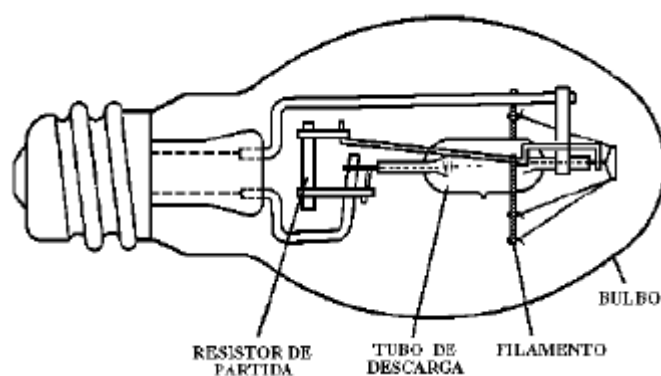


Figura 11 - Construção macro de uma lâmpada de luz mista  
Fonte: Blog Instalações Elétricas – Prof. Sinésio Gomes (2010)

Dispensa o reator porque o filamento limita a corrente de funcionamento, podendo ser ligada diretamente à rede de 220V, não devendo ser menor porque tensões abaixo disso não são capazes de gerar a ionização do tubo de arco.

Seu IRC é de 60, rendimento luminoso aproximado de 25 lm/W, uma vida útil muito baixa, mais ou menos 6000 horas, e tem restrições quanto à posição de funcionamento, não sendo uma opção viável para um sistema de iluminação.

**Multivapores metálicos:** são lâmpadas a vapor de mercúrio com outros elementos adicionados, como brometos e iodetos, em seu tubo de descarga, de modo que o arco elétrico ocorra em um misto de vários vapores misturados, obtendo, assim, maiores eficiências luminosas (de até 90 lm/W) e uma composição espectral mais abrangente.

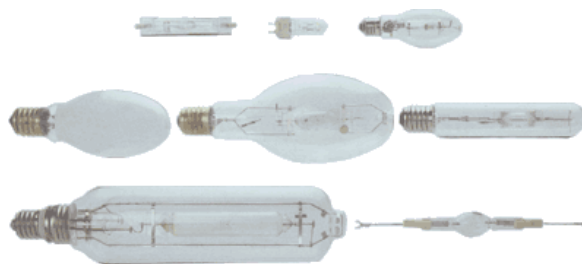


Figura 12 - Lâmpadas de vapor metálico  
Fonte: Blog Instalações Elétricas 3AM1 – Allan Ferrari (2011)

São aplicadas usualmente em áreas industriais, centros de exposição, hipermercados, shoppings, igrejas, saguões de aeroportos, estádios de futebol, fachadas de edifícios e monumentos, entre outros ambientes que requerem qualidade na reprodução de cores.

O IRC desse tipo de luminária é de cerca de 65~85%, dependendo do tipo e da potência. A temperatura de cor está entre 3000 e 4900 K.

As lâmpadas de descarga, mais comumente as de vapor metálico e vapor de sódio, possuem em seu interior uma mistura de gases em alta pressão e a geração de luz advém de um processo químico que ocorre quando a corrente elétrica aquece esses gases. Para tanto, elas necessitam de um ignitor, a fim de gerar um pico de tensão, que acende a lâmpada, pois somente a corrente não é o suficiente para produzir a ignição.

Como não têm nenhum tipo de resistência (como nas incandescentes), estas lâmpadas precisam também de um reator, para limitar a corrente em seu tubo de arco. Senão, esta corrente aumentaria a ponto de poder estourar a lâmpada.



Figura 13 - Reator para lâmpadas de descarga  
Fonte: Intral (2012)

## 2.4. A tecnologia LED

### 2.4.1. O Diodo Semicondutor

O diodo semicondutor é um componente eletrônico, feito de silício ou de germânio, cuja função é retificar a corrente elétrica ou chavear um circuito. Utilizado em aparelhos eletrônicos, como televisores, computadores, aparelhos de som, etc.

O diodo tem sua simbologia no formato de uma flecha que mostra o sentido da corrente elétrica, conforme pode ser visto na figura 14.

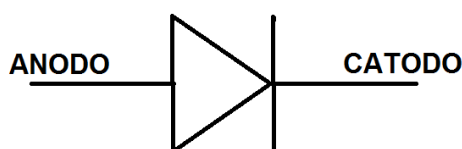


Figura 14 - Simbologia de um diodo semicondutor

Fonte: Autores (2018)

O funcionamento de um diodo semicondutor ocorre da seguinte maneira: a corrente fornecida pelas concessionárias de energia elétrica é alternada, o que quer dizer que mudam sua polaridade de positivo para negativo em uma frequência de 60 Hz. No entanto, a maioria dos aparelhos eletrônicos funciona com corrente contínua, ou seja, apenas uma polaridade. Pode-se dizer que o diodo atua como uma chave fechada, resistência zero, para uma polaridade da tensão de entrada e como uma chave aberta, resistência infinita para a polaridade oposta.

Isso quer dizer que a função do diodo em um circuito eletrônico é permitir a passagem da corrente elétrica em apenas uma polaridade, conforme a figura 15. O gráfico superior indica a tensão de entrada no diodo, oscilando entre o positivo e o negativo, enquanto o gráfico inferior mostra a tensão de saída do diodo, apenas com polaridade positiva.

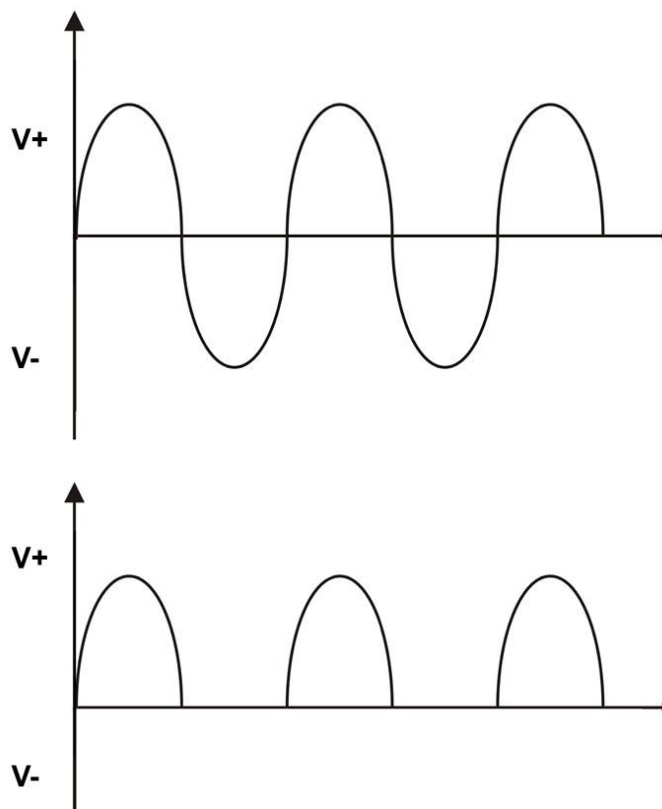


Figura 15 - Tensões de entrada e saída em um diodo semiconductor.  
Fonte: Autores (2018)

O diodo é constituído de materiais semicondutores, como o germânio e o silício, que são fundidos para formar a junção PN, onde o P significa que a polaridade é positiva e o N, a negativa. A polaridade positiva P é onde há a falta de elétrons, ou seja, são as lacunas. A polaridade negativa N é onde há excesso de elétrons.

A condução de corrente elétrica pode se dar de duas maneiras, dependendo da polarização do diodo.

Polarização direta, onde o terminal positivo da fonte de tensão está conectado ao lado P do diodo, fazendo com que o lado P fique ainda mais positivo, ou seja, faltando elétrons, e o lado N, mais negativo. Com isso, as cargas elétricas vencem a barreira de potencial que há entre os lados P e N do diodo, gerando condução de corrente.

Polarização reversa, em que o lado positivo da fonte de tensão é conectado ao lado N da junção PN do diodo, fazendo com que a barreira de potencial aumente. Assim, a resistência do circuito se torna muito alta, e a corrente não consegue percorrê-la.

Além dos diodos retificadores, existem outros tipos de diodos para determinadas funções, o diodo zener, o Túnel e o LED.

Diodo Zener é usado em circuitos reguladores de tensão e fontes de alimentação, cuja característica principal se dá pela sua polarização. Diferente do diodo retificador, este possui a polarização inversa, ou seja, anodo negativo e catodo positivo.

Túnel é usado em alta frequência, microondas, através de fenômenos da mecânica quântica. Usados em circuitos amplificadores, conversores de frequência e osciladores em geral, e o diodo do tipo LED.

O LED, cuja sigla vem do inglês *Light Emitting Diode* (Diodo emissor de luz), é um tipo de diodo semicondutor que, assim como o retificador, é composto de silício ou germânio, e, neste caso, também se encontra um material condutor chamado de Arseneto de Alumínio e Gálio (AlGaAs). Possui a mesma tecnologia de chips de computadores, capazes de transformar energia em luz. Porém, esta transformação de energia elétrica para luminosa ocorre nos LEDs de maneira diferente das demais lâmpadas. A emissão de luz acontece quando a corrente elétrica atravessa o material de junção PN, gerando radiação infravermelha. O componente mais importante de um LED é o chip semicondutor, que é o responsável pela geração luminosa, e possui dimensões muito reduzidas, menor que o tamanho de um LED convencional, por volta de 0,5 mm.

Trata-se de um componente bipolar e também possui os terminais anodo e catodo, que determinam a polarização, ou não, do LED. A polarização que faz com que o LED emita luz, ilustrada na figura 16 abaixo, se dá pela ligação do anodo no positivo e o catodo no negativo. Para identificar qual dos terminais é o ano ou o catodo, basta verificar seus tamanhos, sendo que o terminal mais comprido é o anodo.

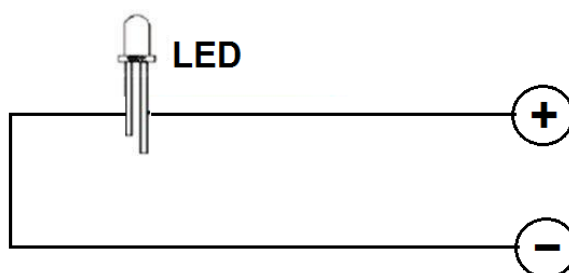


Figura 16 - Polarização direta de um LED para emissão de luz  
Fonte: Autores (2018)

Ao dopá-lo com fósforo, a emissão da luz pode ser amarela ou vermelha, de acordo com o nível de concentração das substâncias adicionadas. Usando fosfeto de gálio e nitrogênio, a luz emitida pode ser amarela ou verde. Atualmente, por meio do uso de outros materiais, pode-se fabricar LEDs capazes de emitir luz azul, violeta e até mesmo ultravioleta. Há também os LEDs brancos, geralmente emissores de cor azul, envoltos por uma camada de fósforo, do mesmo tipo que é usado em lâmpadas fluorescentes, com a função de absorver a luz azul e emitir a luz branca.

Tecnicamente diz-se que o LED é um diodo semicondutor que emite luz quando energizado, porém, é uma luz estreita produzida pelas interações energéticas dos elétrons, cujo processo é denominado eletroluminescência, que ocorre da maneira mostrada pela figura 16, pela passagem da corrente positiva pela junção PN do semicondutor.

A luz emitida é monocromática. A cor depende do tipo de cristal e da impureza de dopagem no momento da fabricação do componente. Em função da redução do preço, sua alta durabilidade e seu excelente rendimento, vêm se tornando excelentes opções em substituição às lâmpadas comuns.

#### **2.4.2. O LED na iluminação em geral**

O LED é conhecido há décadas e sempre foi muito utilizado em aplicações mais simples como indicadores luminosos em painéis e outros tipos de mostradores. Porém, com o avanço da tecnologia, como a descoberta do LED que transmite luz azul e o aumento da vida útil deste componente, somada à redução constante do seu custo e conseqüente aumento da acessibilidade popular, esta tecnologia é considerada o futuro a curtíssimo prazo para soluções de iluminação como um todo. Com isso, inserindo a iluminação de maior escala ao contexto dos produtos eletrônicos, que podem agregar novas funcionalidades e novos tipos de aplicações, por meio do sistema de comunicação e de sensoriamento do ambiente usado.

Possuem uma qualidade de luz visivelmente confortável mediante baixa geração de calor, não emitem raios UV e infravermelho, além de terem seu descarte facilitado por não contarem com chumbo ou mercúrio em sua composição. Emitem luz

pela passagem de corrente elétrica, eletroluminescência, e essa característica o torna diferente das demais tecnologias de iluminação.



Figura 17 - Lâmpadas LED dos tipos compacta, bulbo e tubular  
Fonte: Empalux (2016)

A tecnologia LED oferece maior capacidade de luminância por unidade de potência elétrica consumida ( $lm/W$ ), que gera uma economia na energia elétrica quando comparada às demais, resultando não apenas na redução de consumo, demanda e custos, mas também em emissões de carbono. Nas lâmpadas incandescentes, por exemplo, 90% da energia elétrica é desperdiçada em forma de calor.

Oferece um ajuste dinâmico, dimerização, sobre o espectro de cor de luz, intensidade e direção, originando um leque para novos projetos de sistemas de iluminação. Além disso, a visibilidade nos ambientes torna-se superior, mitigando a poluição visual.

Por não emitirem radiação UV, infravermelho e não possuírem mercúrio, muito encontrada em lâmpadas de descarga de alta pressão, e inclusive em lâmpadas fluorescentes, têm um impacto ambiental significativo positivamente contribuindo com a proteção ao meio-ambiente.

É importante salientar que as lâmpadas LED não fazem uso da instalação de reatores ou ignitores, conforme diagrama simplificado da figura 18. Isso agiliza a manutenção e a instalação, além da diminuição de despesas com aquisição de reatores para reposição.

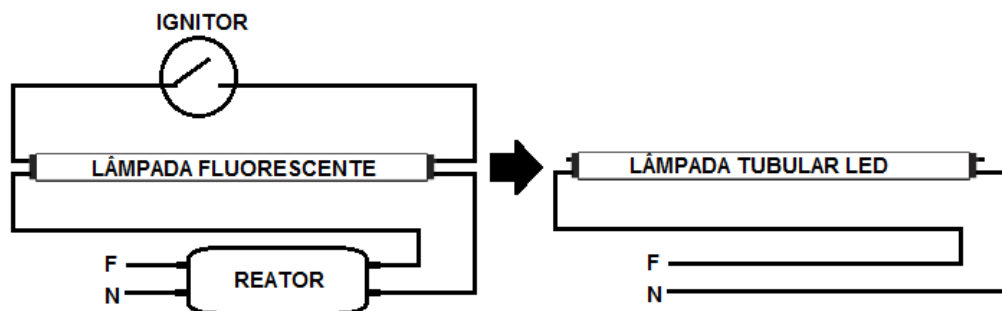


Figura 18 - Esquema elétrico de ligação de lâmpadas tubulares fluorescente e LED  
Fonte: Autores (2018)

A vida útil de um LED é definida com base no tempo em que a emissão de luz da luminária leva para cair a 70% da emissão inicial original máxima, em lúmens.

Por exemplo, uma lâmpada de LED com 25000 horas de vida nominais e 500 lúmens iniciais terá sua emissão reduzida a aproximadamente 350 lúmens depois de 25000 horas de uso.

O LED não “apaga” ao atingir o tempo de uso, especificado como sendo “vida útil”, mas sim sua intensidade terá diminuído com o tempo e o uso, podendo ainda estar adequada ao ambiente mesmo depois deste tempo, estando ainda com uma luminância relativamente “forte”. Assim, o tempo de uso pode ser bem maior do que o especificado pelo fabricante.

### 2.4.3. Estrutura da lâmpada LED

As lâmpadas LED estão substituindo as fluorescentes em uma escala cada vez maior. Essas lâmpadas estão disponíveis em diversos formatos e níveis de fluxo luminoso, cores e tamanhos. Existem, inclusive, lâmpadas capazes de emitir diferentes cores, que são as lâmpadas LED Multicolor. As lâmpadas de LED podem operar durante o dia inteiro e em baixas temperaturas. Com isso, elas geram menos calor comparadas com as lâmpadas tradicionais, o que reduz a possibilidade de incêndio, ou mesmo o desconforto de um ambiente menor sofrendo com temperaturas altas decorrentes da iluminação.

#### **2.4.4. Certificação de lâmpadas de LED**

No dia 04 de Abril de 2018, foi publicada, no DO, a portaria 167, de 29 de março de 2018, que visa esclarecer e reforçar os procedimentos que devem ser adotados para avaliação da conformidade das lâmpadas LED com dispositivo integrado à base, diante de evidências de prática divergentes dos anteriores processos de certificação, a fim de imputar maior grau de confiança na conformidade destes tipos de lâmpada aos requisitos de segurança, performance e compatibilidade eletromagnética estabelecidos na regulamentação técnica e proporcionar uma melhor rastreabilidade às lâmpadas comercializadas no Brasil, propiciando maior efetividade às ações de vigilância comerciais.

O Brasil, ao longo dos últimos anos, vem investindo na eficiência energética de equipamentos, componentes e sistemas, relacionadas ao Programa Brasileiro de Etiquetagem - PBE, sob a chancela do Inmetro.

O PBE disponibiliza informações úteis para que os consumidores possam comprar de forma consciente, considerando e analisando parâmetros como o rendimento energético, consumo de eletricidade e outros insumos e até mesmo outras características, como o consumo de água, no caso de máquinas de lavar. Além do que, incentiva a competitividade da indústria, que busca fabricar produtos cada vez mais econômicos e eficientes.

O mercado da iluminação em LED está inserido neste contexto. De acordo com a certificação do INMETRO para esta tecnologia, por meio da etiqueta da figura 19, as embalagens das lâmpadas devem conter três tipos de informação: o fluxo luminoso, em lúmens (lm), a potência, em watts (W) e o rendimento luminoso (lm/W), além do selo de aprovação registrado pelo INMETRO, junto à certificadora.



Figura 19 - Etiqueta de certificação do Inmetro para lâmpadas LED  
 Fonte: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) (2015)

Esta etiqueta não é apenas informativa, mas também permite a classificação das lâmpadas tal qual ocorre com eletrodomésticos, como geladeiras, condicionadores de ar, micro-ondas, etc.

Ao usar a informação da etiqueta, o usuário deve observar a equivalência entre as tecnologias de lâmpadas existentes. Por exemplo: uma incandescente de 100 W equivale a uma fluorescente compacta de 22W, que equivale a uma LED de 13 W, e todas proporcionam fluxo luminoso semelhante. É justamente por possuir a menor potência que a lâmpada LED se torna mais eficiente do que as outras.

É importante salientar que a etiqueta do INMETRO informa as características dos produtos existentes com fins de comparação visando a escolha mais adequada para cada caso, enquanto o selo PROCEL destaca aquelas mais eficientes, facilitando a escolha dos consumidores.

#### 2.4.5. Requisitos técnicos referentes à eficiência energética

**Potência da lâmpada e FP:** o fluxo luminoso, Índice de Reprodução de Cor (IRC) e ângulo do fecho de luz são medidos com uma esfera integradora ou com um goniofotômetro.

A potência consumida pela lâmpada LED não pode ultrapassar a potência declarada em mais de 10%. Para lâmpadas com potência nominal declarada entre 5~25 W, o fator de potência deve ser maior ou igual a 0,7; se forem maiores do que 25 W, o FP deverá ser superior a 0,92.

**Temperatura de cor correlata e IRC:** a temperatura de cor correlata nominal de uma lâmpada deve possuir um dos seguintes valores: 2700 K, 3000 K, 3500 K, 4000 K, 4500 K, 5000 K, 5500 K, 5700 K, 6000 K ou 6500 K, com o valor mínimo de IRC recomendado sendo 80.

**Ensaio:** a vida útil de uma lâmpada LED é o resultado combinado do desempenho de manutenção do fluxo luminoso em 70% (L70) e da vida útil do dispositivo de controle eletrônico, devendo ser maior ou igual a 15000 horas para lâmpadas decorativas e 25000 horas para os demais tipos. O dispositivo da lâmpada LED deve ser submetido aos ensaios de ciclo térmico, ciclos de comutação e teste de durabilidade.

**Eficiência e valores de rendimento luminoso:** o regulamento técnico para lâmpadas LED diz que, as lâmpadas que possuem potência menor ou igual a 15 W deverão possuir um rendimento luminoso mínimo de 55 lm/W, e lâmpadas com potência maior que 15 W precisarão possuir um rendimento luminoso de 60 lm/W (INMETRO, 2014).

### 3. A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Com o desenvolvimento tecnológico e o aumento da quantidade de equipamentos eletroeletrônicos encontrados no mercado para uso doméstico, comercial ou industrial e a demanda de energia, ao uso destes equipamentos, há uma decadência da qualidade desta energia decorrente da alta utilização dos mesmos, ou por uso de componentes inadequados.

Devido a tecnologia LED ser uma carga não linear, o surgimento de harmônicas, distorção nas formas de onda de corrente e tensão elétrica, passa a ser um problema, sendo assim deve-se estudar seus efeitos em uma instalação de grande escala e como mensura-los e corrigi-los.

Qualidade de Energia Elétrica – QEE, é definida pela Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos – IEEE, como “Conceito de alimentação e aterramento de equipamentos sensíveis, de forma que estes funcionem normalmente”. Portanto deve-se buscar métodos que corrijam qualquer perturbação na rede causada pela instalação das luminárias, sejam elas na amplitude da tensão, na frequência do sinal, nas deformações na forma de onda do sinal, ou no desequilíbrio de tensão ou corrente.

#### 3.1. Perturbações Harmônicas

Distorções harmônicas são frequências múltiplas da frequência fundamental da rede, 60Hz no Brasil. Sua causa ocorre com a instalação e cargas não-lineares na rede como, tiristores, diodos, transistores entre outros que são componentes de grande porte, se não, todo equipamento eletrônico na atualidade.

##### 3.1.1. Definição e surgimento das harmônicas

**Definição:** independentemente de sua forma, uma onda periódica pode ser formada pelo somatório de diversas senóides. A frequência normal da onda é chamada de fundamental e é a partir dela que se identifica a presença das harmônicas, que são os segmentos distorcidos e repetitivos que geram frequências múltiplas da fundamental.

Exemplificando, em uma onda de 60Hz, uma harmônica de 3ª ordem tem uma frequência 3 vezes maior que a frequência fundamental totalizando 180Hz.

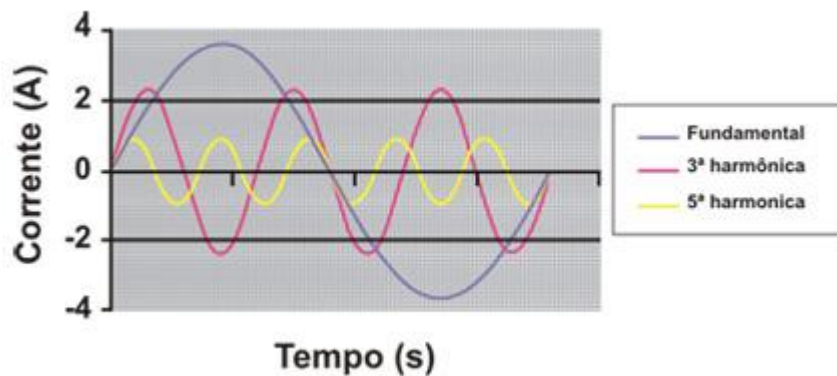


Figura 20 - Representação das harmônicas  
Fonte: Ohmic (2018)

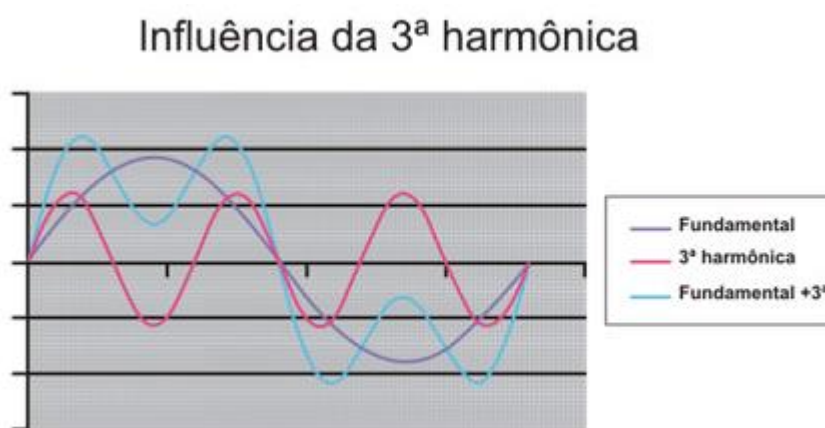


Figura 21 - Influência da 3ª harmônica na fundamental  
Fonte: Ohmic (2018)

**Surgimento:** em uma rede ideal, onde só se faz uso de cargas lineares, a forma de onda da corrente e da tensão são senoidais mesmo que ambas não estejam em fase. Porém cargas não lineares consomem corrente com forma de onda diferente das geradas pela tensão, causando desigualdade entre elas, dando assim origem às harmônicas.

### **3.1.2. Tipos de harmônicas**

Aspira-se que em redes elétricas somente a componente fundamental fosse funcional, porém as cargas não lineares contribuem para que isso não aconteça e por isso tanto as correntes quanto as tensões atualmente apresentam distorções expressivas nas suas formas de onda. Harmônicas comportam-se de várias maneiras e são separadas em vários tipos, as pares, as ímpares e as interharmônicas.

As harmônicas pares, de uma forma geral, têm um valor muito reduzido devido à simetria de meia onda apresentada pelas correntes e tensões dos sistemas elétricos. Desta forma, tornam-se menos problemáticas do que as outras harmônicas. No entanto, é possível que em alguns casos elas surjam, estando associadas a componentes contínuas da onda podendo saturar os transformadores (MORENO, 2001).

As harmônicas ímpares são aquelas que normalmente possuem maior amplitude, causando maior interferência nas cargas (ARAUJO, 2001)

As interharmônicas, não se relacionam com a componente fundamental. Surgem quando há componentes de corrente que não se relacionam com a frequência fundamental. É, normalmente, provocado por conversores estáticos de potência, ciclo conversores, motores de indução e fornos a arco. Os seus efeitos são flickers visuais em displays de alguns aparelhos e na iluminação. (SCHNEIDER ELECTRIC, 2003).

### **3.1.3. Efeitos das harmônicas na iluminação pública**

Os equipamentos mais suscetíveis às harmônicas são os que fazem uso de uma alimentação senoidal a uma frequência particular e que podem alterar o seu funcionamento ou desarmá-los por efeito de harmônicas. Até mesmo cargas menos sensíveis podem ser afetadas por distorções, resultando em um esforço extra em seus isoladores e componentes que reduz sua vida útil.

### **3.1.4. Cabos de Alimentação**

As perdas nos condutores ocorrem devido as harmônicas de corrente com ordem elevada, que causam um efeito pelicular cuja consequência traz elevadas perdas nos condutores.

Em correntes alternadas, com o aumento da frequência a desuniformidade se torna mais acentuada, aumentando a diferença entre as densidades de correntes nas diferentes regiões da secção transversal. Este fenômeno chama-se efeito pelicular. Efeito pelicular (skin effect, em inglês) é um efeito caracterizado pela repulsão entre linhas de corrente eletromagnética, criando a tendência desta fluir na superfície do condutor elétrico. (HAYT; BUCK. 2013)

Um efeito de proximidade pode resultar em um aumento da resistência de um condutor devido aos campos magnéticos gerados pelos condutores ao redor. Se as linhas de transmissão são longas e a rede ligada a ela tiver suas ressonâncias excitadas pelas harmônicas, uma sobretensão pode ser gerada e assim causar danos nos cabos. A consequência desses problemas é um aumento de temperatura, causando deterioração no isolamento dos cabos e diminuindo sua vida útil.

### **3.1.5. Iluminação**

Estudos referem que uma sobretensão, devida a harmônicos, de valor eficaz 5% continuamente aplicada reduz o tempo médio de vida das lâmpadas de 47%. Relativamente às lâmpadas de descarga referem-se o ruído audível e possíveis ressonâncias envolvendo as lâmpadas, balastros e condensadores usados na retificação do fator de potência.

### **3.1.6. Cargas Não-Lineares**

Em detrimento das cargas lineares oferecem maior rendimento e controle sobre os processos únicos de cada equipamento, porém, estas cargas costumam apresentar problemas e desvantagens não tão difundidas.

Equivalem às cargas que absorvem corrente com forma de onda diferente da forma de onda da fonte que as alimenta, senoidal. Assim a forma de onda de tensão de saída acaba se afastando do ideal, gerando problemas na Qualidade de Energia Elétrica – QEE, sob a forma de distorções harmônicas.

### 3.2. Transitórios

Transitórios se caracterizam como variações rápidas de curta duração que atingem a forma de onda. Dividem-se em dois tipos, transitórios impulsivos e transitórios oscilatórios.

Os transitórios impulsivos apresentam menor duração e maior amplitude, e são causados por descargas atmosféricas, descargas eletrostáticas etc. Caracterizam-se pelos seus tempos de subida e descida acima de sua amplitude normal.

Na figura 22, entre 0.02s e 0.03s, é observado o fenômeno de transitório impulsional.

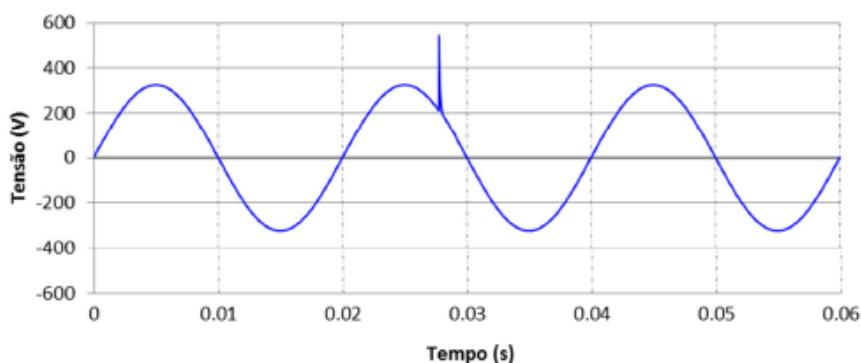


Figura 22 - Transitório Impulsional  
Fonte: ISEP (2016)

Transitórios oscilatórios são causados pela entrada em funcionamento de capacitores utilizados para correção do fator de potência, caracterizam-se pela sua frequência de oscilação, amplitude e duração. Dependendo da frequência de oscilação do transitório, este pode ser classificado entre um dos 3 tipos:

- baixa frequência ( $f < 5 \text{ kHz}$ )
- média frequência ( $5 \text{ kHz} \leq f < 500 \text{ kHz}$ )
- alta frequência ( $500 \text{ kHz} \leq f < 5 \text{ MHz}$ ).

A figura 23 representa o momento em que ocorre o transitório de oscilação entre os tempos de 0.02s e 0.03s.

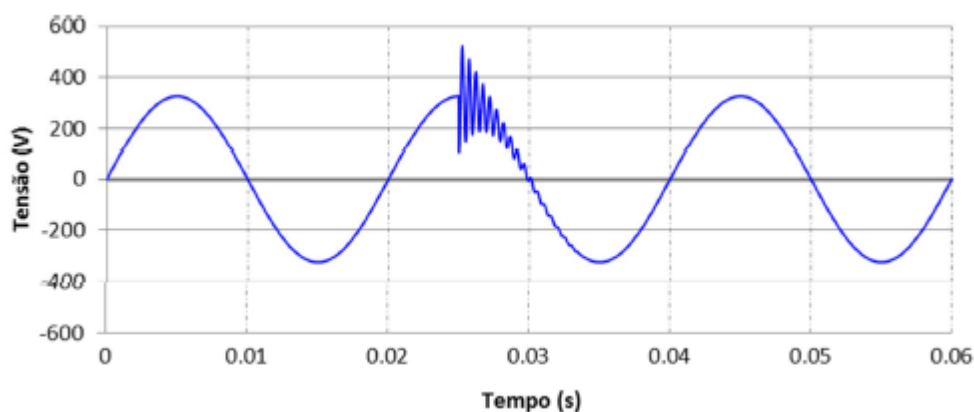


Figura 23 - Transitório Oscilatório  
Fonte: ISEP (2016)

### 3.3. Interrupções de energia elétrica

A qualidade do fornecimento de energia elétrica é medida pela continuidade do serviço, neste caso, são consideradas as interrupções de longa duração. A definição para tal é “toda interrupção do sistema elétrico cuja duração é maior ou igual a 3 (três) minutos”, conforme disposição do Módulo 1 dos procedimentos de distribuição publicados pela ANEEL (ANEEL, 2010).

Uma interrupção no serviço de fornecimento pode ser avisada com antecedência ou ser imprevista. Normalmente, a interrupção com aviso advém de intervenções de manutenção programada na rede ou por motivos de obras, ao passo que as interrupções imprevistas decorrem de problemas na instalação, manobras indevidas ou sobrecargas.

Existem duas dimensões principais que caracterizam a continuidade do serviço: a duração e a frequência das interrupções.

É necessário salientar também que há a diferença entre déficit e interrupção de energia.

Na literatura, a interrupção se refere à falta de capacidade de transporte ou distribuição de energia elétrica por um dado momento. Esta falha normalmente é de curta duração, e em grande parte das vezes ocorre sem nenhum tipo de sinal prévio, de maneira que o consumo se torna elevado, uma vez que não é possível demonstrar o tipo de consumo afetado pela falha.

O déficit de energia está relacionado com a situação em que a quantidade de energia que seria consumida, em média, ao longo de certo período de tempo é maior

que a energia disponível nesse mesmo período. A escassez pode ocorrer nos casos em que não há combustível ou afluentes hídricos disponíveis, ou quando o fluxo de ativação de novas unidades de geração não consegue atingir o necessário para atender a demanda por energia ou por capacidade de geração em períodos de ponta. Geralmente, estas ocorrências são de longa duração e a população deveria ser avisada com antecedência. De maneira geral, o déficit de energia permanece por períodos de tempo relativamente grandes, como semanas, meses ou até anos, inclusive podendo culminar em racionamento.

### **3.3.1. Indicadores de qualidade e monitoramento**

O padrão internacional IEEE 1366/2003 (IEEE, 2003), adotado nos EUA e Canadá, expõe uma gama de termos e definições que padronizam os indicadores de qualidade por meio da identificação dos fatores que interferem na qualidade do serviço, promovendo análises das distribuidoras de energia.

No Brasil, o desempenho das distribuidoras quanto à continuidade do serviço prestado de energia elétrica é regulado e fiscalizado pelo ANEEL com base em metas estipuladas por indicadores coletivos e individuais, apresentados sinteticamente nas tabelas 4 e 5, respectivamente. Os aspectos regulatórios do assunto estão contidos no Módulo 8 dos procedimentos de distribuição – PRODIST (ANEEL, 2014).

Tabela 4 - Indicadores Coletivos no Brasil – Duração e quantidade de interrupções

INDICADORES COLETIVOS	FÓRMULA	DESCRIÇÃO
DEC - Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora	$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc}$	Intervalo de tempo médio em que ocorreu descontinuidade do fornecimento de energia em cada unidade consumidora do conjunto considerado, durante o período considerado. Medido em horas.
FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora	$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc}$	Número de ocorrências de descontinuidade do fornecimento de energia em cada unidade consumidora do conjunto considerado, durante o período considerado.
<p><b>LEGENDA:</b>  i = Índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT.  Cc = Quantidade de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período apurado, atendidas em BT ou MT.</p>		

Fonte: Autores (2018)

Tabela 5 - Indicadores Individuais para qualidade do serviço de energia

INDICADORES INDIVIDUAIS	FÓRMULA	DESCRIÇÃO
DEC - Duração de interrupção individual por unidade consumidora	$DIC = \sum_{i=1}^n t(i)$	Intervalo de tempo acumulado que, no período apurado, em cada unidade consumidora/ponto de medição, ocorreu interrupção da distribuição de energia elétrica. Medido em horas
FEC - Frequência de interrupção individual por Unidade Consumidora	$FIC = n$	Número de ocorrências de interrupção, no período apurado, em cada unidade consumidora/ponto de medição
DMIC - Duração Máxima de interrupção individual por Unidade Consumidora	$DMIC = t(i)max$	Tempo máximo contínuo onde houve interrupção do fornecimento de energia elétrica, em uma unidade consumidora/ponto de medição. Medido em horas.
<p><b>LEGENDA:</b>  i = Índice de interrupções da unidade consumidora, no período apurado, variando de 1 a n;  n = Quantidade de interrupções da unidade consumidora no período apurado;  t(i)max = Tempo da máxima duração contínua, no período apurado, na unidade consumidora, expresso em horas.</p>		

Fonte: Autores (2018)

Na figura 24, é mostrada a evolução dos indicadores coletivos do Brasil entre 2001 e 2012, No período de 2002 a 2009, os valores registrados dos indicadores seguem os critérios estipulados na resolução ANEEL nº 024/2000 (ANEEL, 2000). A partir de 2006, os valores começam a ser registrados sem contar os dias críticos. Depois, em 2010, começam a valer os novos limites estabelecidos por meio da nota técnica 130/2009 SRD-ANEEL (ANEEL, 2009), assim como o critério de formação de conjuntos baseados em parâmetros físico-elétricos.

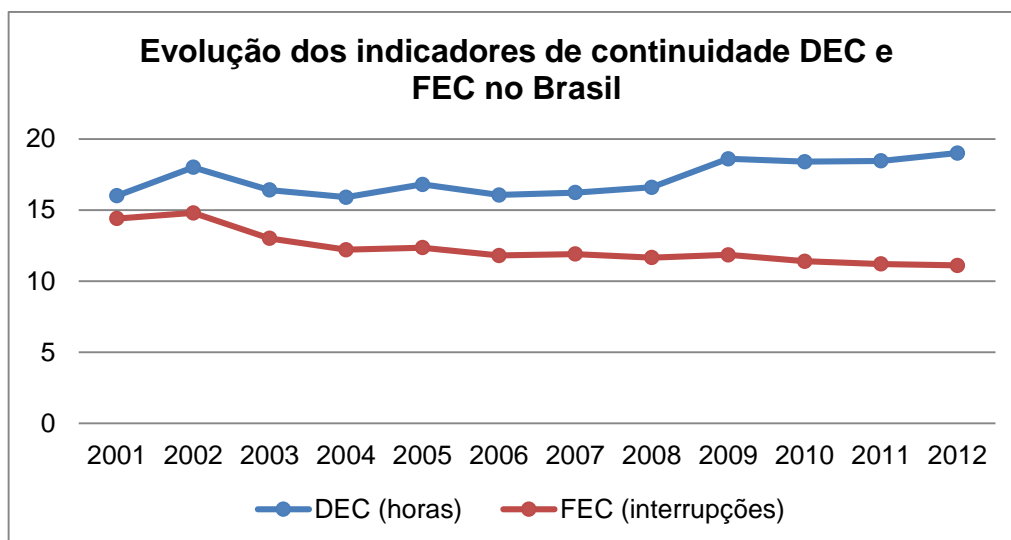


Figura 24 - Evolução dos indicadores de continuidade no Brasil.  
Fonte: Autores (2018). Dados da Abradee com base em ANEEL (2014)

### 3.3.2. O custo da interrupção para o consumidor e a sociedade

O conceito de custo de interrupção de energia é utilizado nas literaturas internacionais, de forma genérica, a fim de definir e agrupar os custos econômicos que afetam a sociedade, resultantes de uma interrupção do serviço de fornecimento.

O custo de interrupção representa o prejuízo causado a um usuário pela interrupção do fornecimento sem aviso prévio que o afeta, quantificado por R\$/kWh deixado de fornecer.

O conceito de energia não suprida (ENS), na sua definição usual, é da energia que deixou de ser consumida em decorrência de uma interrupção. O custo social da energia não suprida (CENS) é a monetização dos custos para toda a sociedade decorrente da energia não suprida, e este valor diverge do custo da energia não faturada pela distribuidora. O valor do CENS pode agregar o custo da interrupção de vários agentes, de forma a representar a sociedade de maneira geral, dentro de uma determinada área de concessão, quantificando o valor médio do custo da interrupção em R\$/MWh.

Para cada tipo de consumidor lesado por uma interrupção está ligado um valor do prejuízo causado. Então, o custo da interrupção em uma indústria é diferente do de uma área comercial, ou de uma residência.

Em relação aos custos gerados em função da interrupção no fornecimento, as literaturas distinguem dois tipos de custos associados aos usuários prejudicados, podendo ser diretos ou indiretos.

Os custos diretos são aqueles relacionados diretamente com o corte, normalmente identificados como custos para o usuário, em função da interrupção momentânea de sua atividade de produção ou consumo, como: perdas de produção, de conforto, retomada da produção, desperdício de matéria-prima, etc.

Os custos indiretos, por sua vez, são os gerados pelo consumidor referentes à compra de equipamentos ou a melhoria das instalações para aumento e adequação do nível de confiabilidade operacional em relação ao fornecido pela rede pública. Neste contexto, engloba-se a compra de geradores de emergência, *no-breaks*, geração de cópias de segurança de informações e documentos, entre outros.

Existem outros custos ligados ao impacto que uma interrupção no serviço de fornecimento de energia pode causar, como uma interrupção na rede que alimenta o metrô, que afeta não apenas os seus usuários, mas também a produção nos estabelecimentos industriais e comerciais em que estas pessoas trabalham.

O custo total para o usuário afetado corresponde à soma dos custos diretos e indiretos, além dos custos do impacto de outros setores afetados, que produzem efeitos negativos.

A quantificação do custo de interrupção e do custo de energia não suprida (CENS) é importante para a assertividade do planejamento dos investimentos na rede e na projeção da estrutura tarifária.

### **3.3.3. Compensação para o consumidor afetado**

A implementação do controle da performance do serviço por meio da análise dos indicadores, faz o regulador almejar a garantia de melhor atendimento aos anseios da sociedade no que tange à continuidade do serviço. Porém, mesmo em redes com nível de qualidade adequado podem haver dispersões perceptíveis aos consumidores de forma individual.

Uma maneira de garantir um maior equilíbrio econômico entre os consumidores afetados é mediante compensações individuais, conforme o nível em que cada usuário é afetado. Dessa forma, clientes sujeitos à serviços de baixa qualidade recebem maiores compensações financeiras em decorrência da falta da mesma.

Políticas de compensações estão ligadas à qualidade individual do fornecimento de energia elétrica. Estas compensações possuem o objetivo de ressarcir os clientes que obtiveram algum tipo de prejuízo em virtude de ocorrências que reduzam os níveis de qualidade estabelecidos sem, no entanto, representar sanções às distribuidoras (ENERQ, 2014). Os valores pagos em compensações devem estar em consonância com as expectativas dos consumidores, mas também respeitando a modicidade tarifária.

Os seguintes critérios são adotados para determinação das compensações:

- Estipulação dos valores limite de qualidade, em que a ultrapassagem gera ao consumidor o direito à compensação;
- Avaliação da intensidade da compensação;
- Meios para garantir que a distribuidora não sofra punições, a fim de evitar desequilíbrios econômicos.

O nível de qualidade que define os pagamentos de compensação aos usuários, quando violado, é normalmente estabelecido conforme atributos de oferta e demanda de energia em um certo grupo consumidor. Então, por exemplo, usuários de baixa tensão em uma região urbana com grande densidade de carga devem ser ressarcidos por interrupções de forma proporcional ao seu padrão de consumo e exigência de continuidade que apresentam. Obviamente, por motivos técnicos, o padrão de rede que supre a necessidade de uma região deste porte é adequado ao nível de continuidade exigido, que por sua vez é superior ao padrão de uma rede que supre a demanda de uma área rural de baixa densidade, cuja exigência é muito mais simples.

### **3.3.4. Custo da confiabilidade para a distribuidora**

A análise de confiabilidade de uma rede de distribuição é realizada pela observação da quantidade e da duração médias de interrupção, por parte da distribuidora, e o consumo médio e custo da energia não suprida, na visão do usuário.

As distribuidoras estão buscando constantemente maior confiabilidade de fornecimento utilizando as seguintes maneiras:

- Melhoria e otimização dos recursos já existentes;
- Investimentos em obras para aumento da qualidade do fornecimento de energia;
- Aumento nos custos operacionais de forma que isso se reflita em maior estabilidade operacional.

Mesmo que a distribuidora conheça os custos referentes às mudanças na confiabilidade da rede, o agente regulatório dificilmente o conhecerá. Logo, a quantificação dos custos necessários para o aumento na qualidade de uma rede distribuidora é uma dificuldade real para o regulador.

### **3.3.5. Mecanismos de incentivo à melhoria da qualidade do fornecimento**

A disponibilidade do serviço de energia elétrica gera um aumento na qualidade de vida das pessoas. À medida que os benefícios da eletricidade se incorporam no dia a dia das pessoas, é normal que seja estabelecido um processo de discussão relacionado à qualidade do serviço. E a dependência da energia se evidencia no momento que os consumidores percebem que interrupções no fornecimento impactam no desenvolvimento de atividades profissionais e pessoais, enquanto as distribuidoras notam um aumento de custos para a melhoria da qualidade do serviço.

Em um mercado regulado, com tarifas determinadas por “preços teto”, evidências indicam que não há motivação relevante para as distribuidoras melhorarem o nível de qualidade oferecida. Todavia, a abordagem referente ao serviço adequado se

torna mais complexa quanto é constatado que a qualidade tem aspecto multidimensional e isto pode ser avaliado de maneiras diferentes entre consumidores distintos.

Estabelecido o custo da qualidade energética, sendo este composto pelos valores monetários da interrupção notados pelos consumidores e pelo valor necessário às empresas para executar adequação à qualidade oferecida de acordo com o que a sociedade exige, são necessários mecanismos para o atingimento deste nível.

Desta forma, é imprescindível a regulação da qualidade e o correto entendimento, por parte de todos os agentes, da discriminação dos custos envolvidos com este nível de qualidade. Justamente por meio de mecanismos regulatórios que é possível promover o uso adequado dos recursos das distribuidoras e o atendimento às demandas dos usuários. Nesse sentido, o regulador precisa:

- Definir indicadores de qualidade a serem acompanhados de forma transparente e uniforme;
- Incentivar o incremento da qualidade a fim de atender a demanda dos usuários;
- Garantir a proteção de um serviço adequado, de forma individual.

O cumprimento desses mecanismos regulatórios possibilita algumas melhorias:

- Operação eficiente das distribuidoras, considerando os recursos disponíveis;
- A diminuição do custo total da qualidade, por meio da assertividade nos investimentos e gastos na infraestrutura e melhorias;
- Que os consumidores paguem valores justos para terem a qualidade desejada;
- Que os usuários não sejam penalizados quando da interrupção do serviço e, caso ocorra, sejam indenizados pelas perdas sofridas.

Para que sejam consolidadas as bases do uso correto do custo da qualidade energética, os três instrumentos regulatórios são essenciais:

- Indicadores de qualidade e seu acompanhamento;

- Política de compensações em caso de danos por descontinuidade do serviço;
- Política de incentivos e penalidades.

#### 4. VIABILIDADE ECONÔMICA.

Pensar em uma forma de adequar uma nova tecnologia a um setor, envolve uma série de riscos, e também em estudar detalhadamente qual será seu impacto financeiro. Isso torna-se vital, e tem como objetivo:

- 1) Apontar e consolidar as condições necessárias a fim de proporcionar a conclusão de um negócio.
- 2) Apontar e averiguar os fatores de risco do projeto.

É necessário identificar quais são os benefícios esperados com dado investimento para colocá-los em comparação com os custos associados ao mesmo, a fim de verificar a possibilidade de sua execução.

A engenharia econômica é o estudo dos métodos e técnicas usadas para análise econômico-financeira de investimentos (VERAS, 2001). Para se definir o quão atrativo um negócio pode ser, podem ser utilizados os seguintes índices:

- O valor presente líquido, (VPL)
- O valor anual uniforme,
- A taxa interna de retorno, (TIR)
- O tempo de retorno

O uso de um fluxo de caixa, das análises previamente obtidas e meios de moldar o problema, abre espaço para comparação de resultados, decisões e alternativa diferentes pertinentes ao negócio. Analisa os investimentos e visa compreender não só as alternativas entre dois ou mais investimentos a escolher, mas também, a análise de um único investimento com a finalidade de avaliar o interesse da implantação do mesmo (VERAS, 2001).

As escolhas de projetos de economia e investimento em alternativas e uso eficiente de energia precisam passar, necessariamente, por uma análise de viabilidade econômica. Tais questões podem se apresentar nas seguintes formas: decidir entre duas opções que se excluem, ou conhecer a economicidade de uma dada alternativa.

#### 4.1. Fluxo de caixa

Fluxo de Caixa é um Instrumento de gestão financeira que projeta para períodos futuros todas as entradas e as saídas de recursos financeiros da empresa, indicando como será o saldo de caixa para o período projetado.

De fácil elaboração para as empresas que possuem os controles financeiros bem organizados, ele deve ser utilizado para controle e, principalmente, como instrumento na tomada de decisões.

O Fluxo de Caixa deve ser considerado como uma estrutura flexível, no qual o empresário deve inserir informações de entradas e saídas conforme as necessidades da empresa.

Com as informações do Fluxo de Caixa, o empresário pode elaborar a Estrutura Gerencial de Resultados, a Análise de Sensibilidade, calcular a Rentabilidade, a Lucratividade, o Ponto de Equilíbrio e o Prazo de retorno do investimento. O objetivo é verificar a saúde financeira do negócio a partir de análise e obter uma resposta clara sobre as possibilidades de sucesso do investimento e do estágio atual da empresa.

#### 4.2. Valor presente líquido (VPL)

O VPL é definido como o valor presente das entradas de caixa de um projeto menos o valor presente de seus custos. A diferença entre os dois elementos mostra quanto foi o acréscimo no projeto, ou seja, quanto maior o valor positivo do VPL, mais riqueza é agregada.

A equação 2 representa o VPL:

$$VPL = \frac{FC_1}{(1+r)^1} + \frac{FC_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+r)^n}$$

Equação 2 - Valor Presente Líquido  
Fonte: Autores (2018)

Sendo:

VPL = valor presente líquido.

FC<sub>1</sub> = fluxo de caixa do período 1.

$FC_n$  = fluxo de caixa do último período.

$r$  = taxa de desconto aplicada.

$n$  = número de períodos.

1 = O número 1 somado ao  $r$  é para a transformação em número decimal.

1 e 2 = representam os períodos 1 e 2

O VPL é importante pois trata do conceito do valor do dinheiro no tempo e também é importante para a área de orçamento, decisão de investimento e financiamento, pois faz a relação entre R\$1,00 agora e R\$1,00 no futuro.

(Engenharia Econômica, Ana Claudia Hafemann, Denys Wiese, Gelson Luiz Benatti, Gilson Marcomini, João Francisco Morozini, Leidisangela Santos da Silva, Maria Aparecida Pereira, 2017)

Na viabilidade econômica, o VPL utiliza como critério, valores baseados na equação de Fator de Valor Presente (FVP), do Valor Anual Uniforme, do Tempo de Retorno de Capital e da Taxa interna de Retorno. (Análise Econômica de Investimento, PROCEL 2009)

### **4.3. Análise do custo benefício**

Esta análise é usada para quantificar programas e investimentos com base de comparação os seus benefícios e custos. Ela determina o quão justificável economicamente é seu negócio, levando em conta os custos que poderiam ser evitados e os benefícios de podem ser gerados.

Os benefícios, segundo McGuigan, Moyer e Harris (2016, p. 613), são aqueles efeitos positivos que “são produzidos caso o projeto seja realizado em comparação com as condições sem a sua realização”.

O cálculo da análise do custo benefício é feito através da elaboração de um “indicador que resulta da divisão do valor atual dos benefícios pelo valor atual dos custos do projeto, incluindo o investimento inicial” (SAMANEZ, 2009). Basta obter um valor superior a 1.

O índice custo benefício (C/B) não reflete, necessariamente, a conveniência ou não de realizar um projeto. Pode acontecer de dois projetos com diferentes taxas de retorno, por exemplo, apresentarem índices C/B iguais.

A equação deste índice é dada por:

$$IBC = \frac{\Sigma VP \text{ dos Benefícios}}{\Sigma VP \text{ dos Custos}}$$

Equação 3 - Índice Custo-Benefício (IBC)

Fonte: Autores (2018)

## 5. CONCEPÇÃO DO PROJETO

A ideia do projeto está em avaliar a viabilidade técnico-econômica e as vantagens que a tecnologia LED tem para oferecer ao sistema de iluminação pública do Município. A tabela 6 representa a quantidade de lâmpadas de vapor de sódio dispostas atualmente em cada rua da cidade de Angra dos Reis, com base em dados fornecidos pela Prefeitura.

Tabela 6 - Quantidade de lâmpadas Vapor de Sódio e seus valores de potência (W) usados atualmente em cada rua da cidade de Angra dos Reis

RELAÇÃO DE RUAS PARA SUBSTITUIÇÃO POR LED						
LOCAL	QUANT. TOTAL	LÂMP. EXISTENTES V. SÓDIO (W)				
		70	100	150	250	400
EST. MARINAS	57			57		
AV. AYRTON SENNA	32				32	
RUA DO ESTADIO SAINDO NA J. E. RABHA	38	18		20		
AV. JOSÉ ELIAS RABHA	46				46	
AV. LUIGI AMÊNDOLA - PQ. PALMEIRAS	12				12	
EST. CONTORNO (BONFIM X ATÉ VILA GALÉ)	210	209		1		
RUA CEL. CARVALHO	48				48	
RUA HONÓRIO LIMA	8	8				
RUA EM FRENTE AO FÓRUM NOVO (alpinhas)	23			23		
TREVO COSTEIRINHA ATÉ 1ºGUARITA (alpinhas)	82		36	36		10
COLEGIO NAVAL (GUARITA A GUARITA)	45			45		
RUA RAUL POMPEIA	7			7		
RUA DA CONCEIÇÃO	13			13		
RUA ANTÔNIA DE VILHENA	3			3		
RUA JÚLIO CÉSAR NORONHA	20			20		
RUA PROFESSOR LIMA (até hobby lazer)	8			8		
EST. ANGRA-GETULÂNDIA (ATÉ Mº CRUZ)	119	4		115		
RUA JAPORANGA (Dnit até rede market)	68	23		45		
RUA FRANCELINO A. LIMA (Dnit até coca cola)	102	39		63		
AV. ITAGUAI	29	1		28		
EST. BANQUETA	98	92		6		
RUA ILHA GRANDE - RIBEIRA	51	49				2
RUA ILHADA GIPOIA - RIBEIRA	21	21				
AV. BOM JESUS (ATÉ ESCOLA) - BELÉM	60	55		5		
AV. SÃO JOSÉ - BELEM	47			47		
TREVO DO Mº DA CRUZ ATÉ TREVO ENCRUZO	63	2		57		4
TREVO DO ENCRUZO ATÉ HOTEL PESTANA	177	173		4		

LOCAL	QUANT. TOTAL	LÂMP. EXISTENTES V. SÓDIO (W)				
		70	100	150	250	400
AV. CAMORIM - DOIS LADOS	22	13		9		
PRINCIPAL DA VEROLME	32	3		29		
AV. TRABALHADOR	31	31				
AV. CONDE M. DE NASSAU	38	24		14		
EST. PONTA LESTE (petrobras até tebig)	274	12		251		11
SERRA D'ÁGUA (VIA PRINCIPAL)	37	24		9		4
FRADE - (SÃO SEBASTIÃO)	25	7		18		
FRADE - REETA NA BR + TREVO BOMBEIROS	27					27
MAMBUCABA - MAGALHÃES DE CASTRO	45	6		39		
<b>TOTAIS</b>	<b>2018</b>	<b>814</b>	<b>36</b>	<b>972</b>	<b>138</b>	<b>58</b>

Fonte: Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (2018)

O projeto é formulado em torno destes valores. Por meio do *software* DIALux, foram verificados os tipos de lâmpadas LED que garantam um nível de iluminação equivalente mais adequado para cada valor de potência das lâmpadas VSAP, a princípio com foco em redução, mas devido a dificuldades em executar medições em campo, foi mantida a ideia de substituir a quantidade das lâmpadas já existentes, mantendo a própria infraestrutura já existente nos locais para realização da instalação das luminárias.

Com o auxílio do DIALux, foram realizadas avaliações sobre o melhor nível de fluxo luminoso utilizando as lâmpadas LED, tomando como modelo a Rua Coronel Carvalho (conforme figura 25 abaixo), que se situa no Centro da cidade, onde há um alto fluxo de circulação de pessoas e de veículos todos os dias. Para tanto, foi construída a rua no software e realizada a distribuição das lâmpadas conforme já disposto atualmente.



Figura 25 - Vista aérea da Rua Coronel Carvalho  
Fonte: Google Maps (2018)

### 5.1. Estimativa de demanda e consumo

O projeto padrão a nível de Município prevê a substituição de 2018 pontos de iluminação, substituindo o sistema previamente instalado de luminárias VSAP por lâmpadas LED. Os dados foram coletados usando como base a potência nominal dos fabricantes.

A tabela 7 apresenta os dados de potência e tempo estimado de uso e consumo de energia elétrica para os dois tipos de luminárias dessa forma, pode-se prever a redução percentual de demanda de potência ativa da luminária e estimar o consumo de enérgica elétrica do sistema torna-se possível.

Tabela 7 - Valores estimados de demanda e consumo para o Município

<b>Valor estimado pago pela PMAR em iluminação pública pelas ruas estudadas(VSAP)</b>						
<b>Lâmpada V.S.(W)</b>	<b>Qtd. de luminárias</b>	<b>Potência total(W)</b>	<b>Potência total(kW)</b>	<b>Potência em 12h ((kWh))</b>	<b>Potência em Mês ((kWh))</b>	<b>Potência em Ano ((MWh))</b>
<b>70</b>	814	56980	56,98	683,8	20512,8	249,572
<b>100</b>	36	3600	3,6	43,2	1296	15,768
<b>150</b>	972	145800	145,8	1750	52488	638,604
<b>250</b>	138	34500	34,5	414	12420	151,11
<b>400</b>	58	23200	23,2	278,4	8352	101,616
<b>TOTAL</b>	<b>2018</b>	<b>264080</b>	<b>264,08</b>	<b>3169</b>	<b>95068,8</b>	<b>1156,67</b>
<b>Valor estimado pago pela PMAR em iluminação pública pelas ruas estudadas(LED)</b>						
<b>Lampada LED</b>	<b>Qtd. de Luminárias</b>	<b>Potência total(W)</b>	<b>Potência total(kW)</b>	<b>Potência em 12h ((kWh))</b>	<b>Potência em Mês ((kWh))</b>	<b>Potência em Ano ((MWh))</b>
<b>60</b>	850	51000	51	612	18360	223,38
<b>80</b>	972	77760	77,76	933,1	27993,6	340,589
<b>150</b>	196	29400	29,4	352,8	10584	128,772
<b>TOTAL</b>	<b>2018</b>	<b>158160</b>	<b>158,16</b>	<b>1898</b>	<b>56937,6</b>	<b>692,741</b>

Fonte: Autores (2018)

A demanda das luminárias LED apresenta uma redução de 59,8% em relação às das luminárias VSAP, e isso é demonstrado através do gráfico da figura 26. Houve redução na demanda de energia elétrica sem que se prejudique a qualidade da iluminação, aferida pelo nível de iluminância. Obtém-se também uma melhora no índice de reprodução de cores.

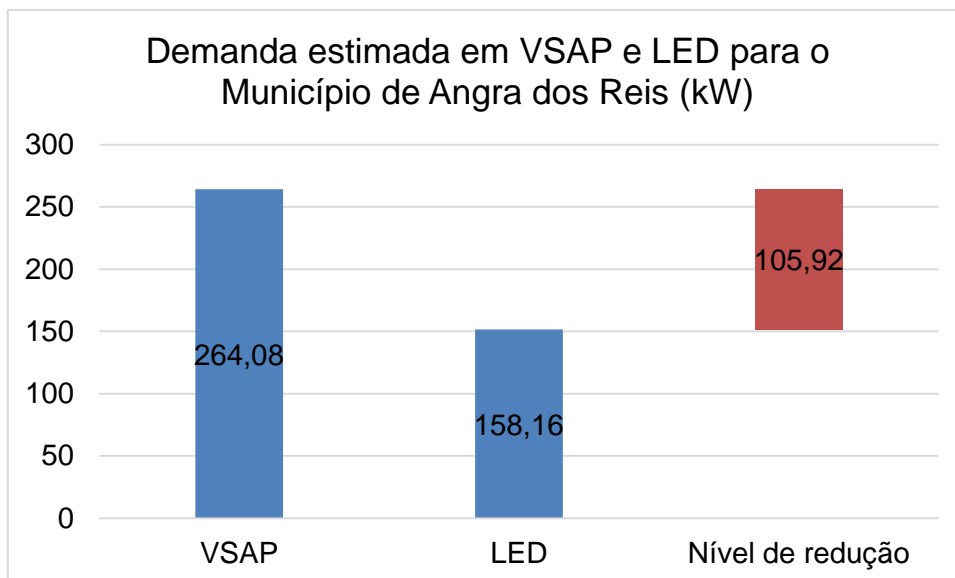


Figura 26 - Níveis de demanda estimados para a IP do Município  
Fonte: Autores (2018)

Tabela 8 - Estimativa de redução do consumo de energia elétrica

<b>Economia em (kWh) (dia)</b>	<b>Economia em (kWh) (mês)</b>	<b>Economia em (MWh) (ano)</b>
1271,04	38131	463,9296

Fonte: Autores (2018)

Conforme a tabela 8, a potência demandada pelas luminárias LED é menor que as luminárias VSAP, considerados os 2018 pontos de iluminação do trecho, obtendo-se uma economia de consumo de energia ativa em torno de 463,92 MWh por ano.

## 6. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO

### 6.1. Vida útil das lâmpadas

Nos sistemas tradicionais de iluminação pública, as lâmpadas VSAP, possuem, em média, uma vida útil estimada em 24 mil horas, para potência nominal de 400W. Por sua vez, a lâmpada do tipo LED tem vida útil mínima de 50 mil horas, podendo atingir até 100 mil horas, conforme as variações de temperatura da junção, pois uma boa dissipação térmica possibilita aumentar a vida útil do equipamento (SCOPACASA, 2008).

Considerando uma manutenção rotineira média de cinco em cinco anos, é calculada a vida útil da lâmpada LED proposta, sendo este resultado é útil para os cálculos de custos e de payback de longo prazo, relacionados ao custo x benefício.

De acordo com as informações do fabricante, a lâmpada do projeto de iluminação pública de Angra dos Reis, possui uma vida útil estimada de 60 mil horas, tempo que será utilizado para o cálculo da vida útil em anos.

Para o presente estudo, em acordo com a Prefeitura, será considerado um ciclo de 12 horas com as lâmpadas ligadas por dia, que normalmente é o tempo pré-ajustado pela programação do temporizador acionador do sistema de iluminação. A partir da equação 4, é possível estimar a vida útil em anos destas lâmpadas.

$$\text{Vida útil em anos} = \frac{\text{Vida útil das lâmpadas (h)}}{\text{Tempo de utilização da lâmpada } \left(\frac{\text{h}}{\text{ano}}\right)}$$

$$\text{Vida útil em anos} = \frac{60.000 \text{ (h)}}{12 \times 365 \left(\frac{\text{h}}{\text{ano}}\right)} = \frac{60.000 \text{ (h)}}{4380 \left(\frac{\text{h}}{\text{ano}}\right)} = 13,7 \cong 14 \text{ anos}$$

Equação 4 - Cálculo da vida útil da lâmpada LED para o estudo  
Fonte: Autores (2018)

Para um ciclo de 12 horas por dia, a lâmpada LED terá uma vida útil estimada de aproximadamente 14 anos.

## 6.2. Dados técnicos dos equipamentos

Com um levantamento dos dados técnicos dos equipamentos a serem utilizados vistos na tabela, coleta-se os indicadores principais para projetos de EE, a energia economizada anualmente, expressa em MWh/ano, e a redução de demanda no horário de ponta, medida em kW.

Tabela 9 - Informações técnicas das lâmpadas

Tipo de lâmpada	Potência da lâmpada	Código catálogo	Fluxo Luminoso (lm)	Fluxo Luminoso Total	Grau de atuação Operacional	Rendimento Luminoso (lm/W)	Perdas no reator (W)
LED	60	BGP322 T35 1xGRN78-3s/740	7289	8200	0,88890244	121,48	-
	80	BGP322 T35 1xGRN104-3s/657	9785	11100	0,88153153	122,31	-
	150	BGP323 T35 1xECO184-3s/740	15625	19300	0,80958549	104,17	-
VSAP	70	SGP340 FG 1xSON- TPP70W	4745	6600	0,71893939	67,79	6,65
	100	SGP340 FG 1xSON- TPP100W	8141	10700	0,76084112	81,41	9,5
	150	SGP340 FG 1xSON- TPP150W	12853	17500	0,73445714	85,69	14,25
	250	SGP340 FG 1xSON- TPP250W	24281	33200	0,73135542	97,12	23,75
	400	SGP340 FG 1xSON- TPP400W	40899	56500	0,72387611	102,25	38

Fonte: Autores (2018), com informações do software DIALUX (2018).

## 6.3. Avaliação econômica do projeto

A avaliação econômica leva em consideração o montante de recursos do projeto considerado. Estas informações servem como base para o cálculo do valor futuro, que é a representação do valor atual de um investimento inicial, obtida pela soma das contribuições de cada anuidade, corrigida por uma taxa de juros PROCEL (2006).

Para o cálculo do valor futuro resultante calculado, é necessário o valor do investimento inicial de implantação de um sistema, tanto das luminárias de VSAP tanto quanto as de LED. Conforme mostra as tabelas 9 e 10. De forma estimada, é possível perceber que são necessários investimentos de **R\$ 972.586,60** e **R\$ 3.049.406,85** para as lâmpadas VSAP E LED, respectivamente.

Tabela 10 – Estimativa do investimento para a implantação do sistema VSAP

Item	Descrição	QTD	UND	Preço Unitário	Preço Total
<b>Materiais Elétricos</b>					
1.1	Braço de aço galvanizado, curvo, com 2,50m de projeção horizontal e diâmetro externo de 48mm. Fornecimento EMOP 21.019.0075-A	814	UND	126,4	R\$ 102.889,60
1.2	Braço, padrão Rio luz, de 1,50m até 2,50m de projeção horizontal, em poste reto de aço ou concreto, com fornecimento das ferragens de fixação; exclusive fornecimento do braço. Colocação EMOP 21.019.0055-A	814	UND	113,47	R\$ 92.364,58
1.9	Lâmpada Vapor De Sódio 70w E27 + Reator Sódio Externo 70w Fornecimento e Instalação COMP PMAR	814	UND	59	R\$ 48.026,00
1.10	Lâmpada Vapor De Sódio 100w E27 + Reator Sódio Externo 100w Fornecimento e Instalação COMP PMAR	36	UND	79	R\$ 2.844,00
1.11	Lâmpada Vapor De Sódio 150w E27 + Reator Sódio Externo 150w Fornecimento e Instalação COMP PMAR	972	UND	120	R\$ 116.640,00
1.12	Lâmpada Vapor De Sódio 250w E27 + Reator Sódio Externo 250w Fornecimento e Instalação COMP PMAR	138	UND	132	R\$ 18.216,00
1.13	Lâmpada Vapor De Sódio 400w E27 + Reator Sódio Externo 70w Fornecimento e Instalação COMP PMAR	58	UND	150	R\$ 8.700,00
1.14	Cinta de aço galvanizado de 220mm. Fornecimento e instalação (desonerado) COMP PMAR	2018	UND	26,34	R\$ 53.154,12

1.15	Conector perfurante para rede área, tensão de aplicação: 0,6/1 KV, corpo isolado resistente as intempéries, na cor preta, contato dentado: liga de cobre estanhado, com camada de espessura mínima de 8 um e condutividade elétrica mínima de 98% IACS a 20 graus C, parafuso torquímetro: liga de alumínio, capuz, material elastômero na cor preta, incorporados ao corpo do conector de forma impermeável, grau de proteção: JP-65, para cabos: principal; 6mm <sup>2</sup> - 165mm <sup>2</sup> e derivação: 1,5mm <sup>2</sup> - 10mm <sup>2</sup> SCO/FGV IP 09.30.0555	2370	UND	14,1	R\$ 33.417,00
1.16	Relé foto eletrônico para iluminação pública, tipo fail-off, tensão de alimentação de 105v e 305v, Potência da carga 1000w ou 1800 VA, corrente máxima da carga 10a corpo em policarbonato na cor azul, estabilizado ao uv; pinos em latão EMOP 21.031.0015-A	908	UND	24,06	R\$ 21.846,48
1.17	Cabo de cobre flexível isolado, 2,5mm <sup>2</sup> , antichamas 450/750, para circuitos terminais- fornecimento e instalação AF 12/2015 SINAPI 91926	6054	m	2,76	R\$ 16.709,04
1.18	Cabo PP 3x2,5mm 750V - Fornecimento SCO/FGV IP 14.30.0106	2070	m	4,46	R\$ 9.232,20
1.19	Colocação de 1 cabo trifásico, em linha de dutos: exclusive fornecimento dos cabos e dos dutos. (desonerado) SCO/FGV IP 14.45.0300	2070	m	3,28	R\$ 6.789,60
1.20	Retirada de braço padrão Rio luz, para fixação de luminárias EMOP 21.004.0155-A	814	UND	10,86	R\$ 8.840,04
1.21	Retirada de luminária em altura de 10,00 a 12,00m EMOP 21.004.0141-A	814	UND	16,29	R\$ 13.260,06
1.22	Colocação de luminárias com braço - instalação REF EMOP 18.027.0105-A	814	UND	66,13	R\$ 53.829,82
<b>TOTAL DO ITEM</b>					<b>R\$ 606.758,54</b>

<b>Transportes</b>					
2	Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	440	h	137,2	R\$ 60.368,00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>R\$ 667.126,54</b>
<b>Administração Local</b>					
3.1	Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	1320	h	28,21	R\$ 37.237,20
3.2	Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	1100	h	70,56	R\$ 77.616,00
3.3	Unidade de referência, para despesas dentro do canteiro de obras, tais como: consumo de água, telefone, energia elétrica e etc. e demais itens que complementem as despesas já consideradas. EMOP 05.105.0900-A	97	h	24,47	R\$ 2.364,29
<b>TOTAL DO ITEM</b>					<b>R\$ 117.217,49</b>
<b>Preço de Custo (Subtotal + Administração Local)</b>					<b>R\$ 784.344,03</b>
<b>Preço de Venda (Preço de custo x BDI 24%)</b>					<b>R\$ 972.586,60</b>

Fonte: Autores com informações da Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (2018)

Tabela 11 – Estimativa do investimento para a implantação do sistema LED

<b>Planilha de Custos</b>					
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>QTD</b>	<b>UND</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Total</b>
<b>Materiais Elétricos</b>					
<b>1.1</b>	Braço de aço galvanizado, curvo, com 2,50m de projeção horizontal e diâmetro externo de 48mm. Fornecimento EMOP 21.019.0075-A	690	UND	126,4	R\$ 87.216,00
<b>1.2</b>	Braço, padrão Rio luz, de 1,50m até 2,50m de projeção horizontal, em poste reto de aço ou concreto, com fornecimento das ferragens de fixação; exclusive fornecimento do braço. Colocação EMOP 21.019.0055-A	690	UND	113,47	R\$ 78.294,30
<b>1.3</b>	Luminária de LED com potência de 60 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	850	UND	846,13	R\$ 719.210,50
<b>1.4</b>	Luminária de LED com potência de 80 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	972	UND	986,13	R\$ 958.518,36
<b>1.5</b>	Luminária de LED com potência de 150 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	196	UND	1276,13	R\$ 250.121,48
<b>1.7</b>	Cinta de aço galvanizado de 220mm. Fornecimento e instalação (desonerado) COMP PMAR	1328	UND	26,34	R\$ 34.979,52

1.8	Conector perfurante para rede área, tensão de aplicação: 0,6/1 KV, corpo isolado resistente as intempéries, na cor preta, contato dentado: liga de cobre estanhado, com camada de espessura mínima de 8 um e condutividade elétrica mínima de 98% IACS a 20 graus C, parafuso torquíméto: liga de alumínio, capuz, material elastômero na cor preta, incorporados ao corpo do conector de forma imperdível, grau de proteção: JP-65, para cabos: principal; 6mm <sup>2</sup> - 165mm <sup>2</sup> e derivação: 1,5mm <sup>2</sup> - 10mm <sup>2</sup> SCO/FGV IP 09.30.0555	2370	UND	14,1	R\$	33.417,00
1.9	Relé foto eletrônico para iluminação pública, tipo fail-off, tensão de alimentação de 105v e 305v, Potência da carga 1000w ou 1800 va, corrente máxima da carga 10a corpo em policarbonato na cor azul, estabilizado ao uv; pinos em latão EMOP 21.031.0015-A	2018	UND	24,06	R\$	48.553,08
1.10	Cabo de cobre flexível isolado, 2,5mm <sup>2</sup> , antichamas 450/750, para circuitos terminais- fornecimento e instalação AF 12/2015 SINAPI 91926	6054	m	2,76	R\$	16.709,04
1.11	Cabo PP 3x2,5mm 750V - Fornecimento SCO/FGV IP 14.30.0106	2070	m	4,46	R\$	9.232,20

1.12	Colocação de 1 cabo trifásico, em linha de dutos: exclusive fornecimento dos cabos e dos dutos. (desonerado) SCO/FGV IP 14.45.0300	2070	m	3,28	R\$	6.789,60
1.13	Retirada de braço padrão Rio luz, para fixação de luminárias EMOP 21.004.0155-A	690	UND	10,86	R\$	7.493,40
1.14	Retirada de luminária em altura de 10,00 a 12,00m EMOP 21.004.0141-A	690	UND	16,29	R\$	11.240,10
1.15	Colocação de luminárias com braço - instalação REF EMOP 18.027.0105-A	300	UND	66,13	R\$	19.839,00
<b>TOTAL DO ITEM</b>		2018			R\$	2.281.613,58
<b>Transportes</b>						
2	Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	440	h	137,2	R\$	60.368,00
<b>SUBTOTAL</b>					R\$	2.341.981,58

<b>Administração Local</b>					
<b>3.1</b>	Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	1320	h	28,21	R\$ 37.237,20
<b>3.2</b>	Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	1100	h	70,56	R\$ 77.616,00
<b>3.3</b>	Unidade de referência, para despesas dentro do canteiro de obras, tais como: consumo de água, telefone, energia elétrica e etc. e demais itens que complementem as despesas já consideradas. EMOP 05.105.0900-A	96,62	h	24,47	R\$ 2.364,29
<b>TOTAL DO ITEM</b>					R\$ 117.217,49
Preço de Custo (Subtotal + Administração Local)					R\$ 2.459.199,07
Preço de Venda (Preço de custo x BDI 24%)					R\$ 3.049.406,85

Fonte: Autores, com informações da Prefeitura Municipal de Angra dos Reis (2018)

A partir do investimento relativo para cada sistema, é calculado o valor unitário por lâmpada que é apresentação do custo calculado referente a cada poste instalado, R\$481,96 (VSAP) e R\$1511,10 (LED). O custo do sistema LED é 314% maior que o sistema VSAP e a diferença de investimento entre os dois sistemas é de R\$ 2.076.820,25

Os dados das tabelas abaixo, mostram o número de luminárias a demanda consumida, as potências e custos estimados para as diferentes substituições do projeto referentes às lâmpadas VSAP de 70W, 100W, 150W, 250W e 400W.

Tabela 12 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 70W

TIPO	Potência	Quantidade	Potência Total (kW)	Potência diária (kWh)	Potência Mensal kWh	Potência Anual (MWh)	Potência num ciclo de 14 anos	Custo de Projeto
VSAP	70	814	56,98	683,76	205,128	249,5724	3494,0136	R\$48.026,00
LED	60	814	48,84	586,08	175,824	213,9192	2994,8688	R\$688.749,82
Diferença	10	0	8,14	97,68	29,304	35,6532	499,1448	- R\$640.723,82

Fonte: Autores (2018)

Tabela 13 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 70W

Tipo	Gasto diário	Gasto mensal	Gasto anual	Gasto num ciclo de 14 anos	Custo total do projeto
VSAP	R\$ 423,93	R\$12.717,94	R\$154.734,89	R\$ 2.166.288,43	R\$ 2.214.314,43
LED	R\$ 363,37	R\$10.901,09	R\$132.629,90	R\$ 1.856.818,66	R\$ 2.545.568,48
Diferença	R\$ 60,56	R\$ 1.816,85	R\$ 22.104,98	R\$ 309.469,78	-R\$ 331.254,04

Fonte: Autores (2018)

Tabela 14 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 100W

TIPO	Potência	Quantidade	Potência Total (kW)	Potência diária (kWh)	Potência Mensal (kWh)	Potência Anual (MWh)	Potência num ciclo de 14 anos	Custo de Projeto
VSAP	100	36	3,6	43,2	12,96	15,768	220,752	R\$2.844,00
LED	60	36	2,16	25,92	7,776	9,4608	132,4512	R\$30.460,68
Diferença	40	0	1,44	17,28	5,184	6,3072	88,3008	- R\$27.616,68

Fonte: Autores (2018)

Tabela 15 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 100W

Tipo	Gasto diário	Gasto mensal	Gasto anual	Gasto num ciclo de 14 anos	Custo total do projeto
VSAP	R\$ 26,78	R\$ 803,52	R\$ 9.776,16	R\$ 136.866,24	R\$139.710,24
LED	R\$ 16,07	R\$ 482,11	R\$ 5.865,70	R\$ 82.119,74	R\$112.580,42
Diferença	R\$ 10,71	R\$ 321,41	R\$ 3.910,46	R\$ 54.746,50	R\$27.129,82

Fonte: Autores (2018)

Tabela 16 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 150W

TIPO	Potência	Quantidade	Potência Total (kW)	Potência diária (kWh)	Potência Mensal (kWh)	Potência Anual (MWh)	Potência num ciclo de 14 anos	Custo de Projeto
VSAP	150	972	145,8	1749,6	524,88	638,604	8940,456	R\$116.640,00
LED	80	972	77,76	933,12	279,936	340,5888	4768,2432	R\$958.518,36
Diferença	70	0	68,04	816,48	244,944	298,0152	4172,2128	- R\$841.878,36

Fonte: Autores (2018)

Tabela 17 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 150W

Tipo	Gasto diário	Gasto mensal	Gasto anual	Gasto num ciclo de 14 anos	Custo total do projeto
VSAP	R\$ 1.084,75	R\$32.542,56	R\$395.934,48	R\$ 5.543.082,72	R\$5.659.722,72
LED	R\$ 578,53	R\$17.356,03	R\$211.165,06	R\$ 2.956.310,78	R\$3.914.829,14
Diferença	R\$ 506,22	R\$15.186,53	R\$184.769,42	R\$ 2.586.771,94	R\$1.744.893,58

Fonte: Autores (2018)

Tabela 18 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 250W

TIPO	Potência	Quantidade	Potência Total (kW)	Potência diária (kWh)	Potência Mensal (kWh)	Potência Anual (MWh)	Potência num ciclo de 14 anos	Custo de Projeto
VSAP	250	138	34,5	414	124,2	151,11	2115,54	R\$18.216,00
LED	150	138	20,7	248,4	74,52	90,666	1269,324	R\$176.105,94
Diferença	100	0	13,8	165,6	49,68	60,444	846,216	-R\$157.889,94

Fonte: Autores (2018)

Tabela 19 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 250W

Tipo	Gasto diário	Gasto mensal	Gasto anual	Gasto num ciclo de 14 anos	Custo total do projeto
VSAP	R\$ 256,68	R\$ 7.700,40	R\$ 93.688,20	R\$ 1.311.634,80	R\$1.329.850,80
LED	R\$ 154,01	R\$ 4.620,24	R\$ 56.212,92	R\$ 786.980,88	R\$963.086,82
Diferença	R\$ 102,67	R\$ 3.080,16	R\$ 37.475,28	R\$ 524.653,92	R\$366.763,98

Fonte: Autores (2018)

Tabela 20 - Resumo da redução da demanda e consumo para lâmpadas VSAP de 400W

TIPO	Potência	Quantidade	Potência Total (kW)	Potência diária (kWh)	Potência Mensal (kWh)	Potência Anual (MWh)	Potência num ciclo de 14 anos	Custo de Projeto
VSAP	400	58	23,2	278,4	83,52	101,616	1422,624	R\$8.700,00
LED	150	58	8,7	104,4	31,32	38,106	533,484	R\$74.015,54
Diferença	250	0	14,5	174	52,2	63,51	889,14	-R\$65.315,54

Fonte: Autores (2018)

Tabela 21 - Resumo da comparação dos custos de instalação para substituição das lâmpadas VSAP de 400W

Tipo	Gasto diário	Gasto mensal	Gasto anual	Gasto num ciclo de 14 anos	Custo total do projeto
VSAP	R\$ 172,61	R\$ 5.178,24	R\$ 63.001,92	R\$ 882.026,88	R\$890.726,88
LED	R\$ 64,73	R\$ 1.941,84	R\$ 23.625,72	R\$ 330.760,08	R\$404.775,62
Diferença	R\$ 107,88	R\$ 3.236,40	R\$ 39.376,20	R\$ 551.266,80	R\$485.951,26

Fonte: Autores (2018)

É importante levar em consideração os custos relacionados com mão-de-obra e manutenção do sistema, na taxa de desconto dos juros sobre o valor investido e no tempo de retorno esperado para o investimento, mas não foi computada a garantia das luminárias, que normalmente abrange os primeiros cinco anos de uso, por não apresentar impacto significativo nos cálculos apresentados.

O intervalo de manutenção da tecnologia LED é menor, reduzindo o número de atendimentos para reparo, sendo substituída a lâmpada em função do fim da sua vida útil, enquanto o sistema VSAP passa em média por três manutenções em um período de 14 anos. A fim de colocar os cálculos de ambos os sistemas na mesma base para realizar o comparativo, será considerada uma troca de 5% do número total de lâmpadas de cada potência utilizada, durante esse período de 14 anos com uma manutenção feita anualmente com uma taxa de reajuste de 2,95% a.a., que corresponde ao valor da inflação em 2017.

Tabela 22 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 70 W

<b>Fluxos de Benefícios e Custos (14 anos)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia</b>	R\$309.469,78
<b>Manutenção LED</b>	R\$688.749,82
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$144.078,00
<b>Fluxo de Benefício e Custos (anual)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia Anual</b>	R\$ 22.104,98
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 23.667,12
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 10.291,29

Fonte: Autores (2018)

Tabela 23 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 100 W

<b>Fluxos de Benefícios e Custos (14 anos)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia</b>	R\$ 54.746,50
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 30.460,68
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 8.532,00
<b>Fluxo de Benefício e Custos (anual)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia Anual</b>	R\$ 3.910,46
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 7.100,14
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 609,43

Fonte: Autores (2018)

Tabela 24 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 150 W

<b>Fluxos de Benefícios e Custos (14 anos)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia</b>	R\$ 2.586.771,94
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 958.518,36
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 349.920,00
<b>Fluxo de Benefício e Custos (anual)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia Anual</b>	R\$ 184.769,42
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 47.925,92
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 24.994,29

Fonte: Autores (2018)

Tabela 25 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 250 W

<b>Fluxos de Benefícios e Custos (14 anos)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia</b>	R\$524.653,92
<b>Manutenção LED</b>	R\$176.105,94
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 54.648,00
<b>Fluxo de Benefício e Custos (anual)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia Anual</b>	R\$ 37.475,28
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 35.221,19
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 3.903,43

Fonte: Autores (2018)

Tabela 26 - Fluxos de Benefícios e Custos referente à substituição das lâmpadas VSAP de 400 W

<b>Fluxos de Benefícios e Custos (14 anos)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia</b>	R\$551.266,80
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 74.015,54
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 26.100,00
<b>Fluxo de Benefício e Custos (anual)</b>	<b>Valor Referente</b>
<b>Economia com Energia Anual</b>	R\$ 39.376,20
<b>Manutenção LED</b>	R\$ 15.313,56
<b>Manutenção VSAP</b>	R\$ 1.864,29

Fonte: Autores (2018)

Quando o retorno esperado é em dinheiro, normalmente, espera-se que seja em valor superior ao empregado no início do projeto. O retorno acontece através do fluxo de benefícios futuros ao longo de um tempo estimado de vida útil mínimo do projeto. O tempo de retorno depende das taxas de juros associadas ao dinheiro inicialmente empregado para a construção e implantação do projeto e da capacidade de lucro que conseguir alcançar, (SALES, 2011).

Para o levantamento da viabilidade econômica será aplicado o método do Valor Presente Líquido (VPL), calculado através da equação 5. A taxa de desconto nesta

análise será de 8% a.a., conforme informado pelo programa de eficiência energética (PEE) da ANEEL (2017)

$$VPL_n = \text{Retorno} - \text{saida}/(1 + i)^n$$

Equação 5 - Equação do VPL (Valor Presente Líquido)

Fonte: Autores (2018)

Onde:

$VPL_n$  - Valor presente líquido no ano “n”;

Retorno – Economia com energia anual

Saída – Valor da manutenção reajustada

n – ano

i – taxa de juros

Esse método possibilita realizar o balanço das receitas ao computar todos os valores futuros de fluxo de caixa na data inicial do projeto. A figura abaixo mostra no tempo, o investimento e os fluxos de benefícios do projeto.

O VPL anual é mostrado nas tabelas. Observa-se que o retorno do investimento surge quando o VPL fica acima de zero (0).

Tabela 27 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 70 W

Fluxo de Caixa					
Investimento inicial para LED	R\$ 688.749,82				
TAXA	8%				
Tempo (Ano)	Retorno (R\$)	Saída (R\$)	Diferença (R\$)	Valor Presente (R\$)	Payback (R\$)
0	0		-688.749,82		
1	22.104,98	20.307,12	1.797,86	1.664,69	-686.951,96
2	22.757,08	20.906,18	1.850,90	1.586,85	-685.101,06
3	23.428,41	21.522,91	1.905,50	1.512,65	-683.195,55
4	24.119,55	22.157,84	1.961,71	1.441,92	-681.233,84
5	24.831,08	22.811,49	2.019,59	1.374,50	-679.214,25
6	25.563,60	23.484,43	2.079,16	1.310,23	-677.135,09
7	26.317,72	24.177,22	2.140,50	1.248,96	-674.994,59
8	27.094,10	24.890,45	2.203,64	1.190,56	-672.790,95
9	27.893,37	25.624,72	2.268,65	1.134,89	-670.522,30
10	28.716,23	26.380,65	2.335,58	1.081,82	-668.186,72
11	29.563,35	27.158,88	2.404,48	1.031,24	-665.782,24
12	30.435,47	27.960,07	2.475,41	983,02	-663.306,84
13	31.333,32	28.784,89	2.548,43	937,05	-660.758,41
14	32.257,65	29.634,04	2.623,61	893,24	-658.134,79
VPL =	<b>-671.358,21</b>				
TIR =	<b>-27%</b>				

Fonte: Autores (2018)

Tabela 28 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 100 W

Fluxo de Caixa					
Investimento inicial para LED	R\$ 30.460,68				
TAXA	8%				
Tempo (Ano)	Retorno (R\$)	Saída (R\$)	Diferença (R\$)	Valor Presente (R\$)	Payback (R\$)
0	0,00		-30460,68		
1	3910,46	1523,03	2387,43	2210,58	- 28073,25
2	4025,82	1567,96	2457,86	2107,22	- 25615,39
3	4144,58	1614,22	2530,37	2008,69	- 23085,02
4	4266,85	1661,84	2605,01	1914,76	- 20480,01
5	4392,72	1710,86	2681,86	1825,23	- 17798,15
6	4522,31	1761,33	2760,97	1739,88	- 15037,18
7	4655,72	1813,29	2842,42	1658,53	- 12194,76
8	4793,06	1866,78	2926,27	1580,98	-9268,48
9	4934,45	1921,85	3012,60	1507,05	-6255,88
10	5080,02	1978,55	3101,47	1436,58	-3154,41
11	5229,88	2036,92	3192,96	1369,41	38,56
12	5384,16	2097,00	3287,16	1305,38	3325,71
13	5543,00	2158,87	3384,13	1244,34	6709,84
14	5706,51	2222,55	3483,96	1186,15	10193,80
VPL =	<b>-R\$7.365,91</b>				
TIR =	4%				

Fonte: Autores (2018)

Tabela 29 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 150 W

Fluxo de Caixa					
Investimento inicial para LED	R\$ 958.518,36				
TAXA	8%				
Tempo (Ano)	Retorno (R\$)	Saída (R\$)	Diferença (R\$)	Valor Presente (R\$)	Payback (R\$)
0,00	0,00		-958518,36		
1,00	184769,42	47925,92	136843,51	126706,95	-821674,85
2,00	190220,12	49339,73	140880,39	120782,23	-680794,46
3,00	195831,62	50795,25	145036,36	115134,54	-535758,10
4,00	201608,65	52293,71	149314,93	109750,93	-386443,17
5,00	207556,10	53836,38	153719,72	104619,06	-232723,45
6,00	213679,01	55424,55	158254,46	99727,15	-74468,99
7,00	219982,54	57059,58	162922,96	95063,98	88453,97
8,00	226472,02	58742,83	167729,19	90618,86	256183,16
9,00	233152,95	60475,75	172677,20	86381,59	428860,36
10,00	240030,96	62259,78	177771,18	82342,45	606631,54
11,00	247111,87	64096,45	183015,43	78492,18	789646,97
12,00	254401,67	65987,29	188414,38	74821,94	978061,35
13,00	261906,52	67933,92	193972,61	71323,33	1172033,96
14,00	269632,77	69937,97	199694,80	67988,30	1371728,76
VPL =	R\$ 365235,14				
TIR =	14%				

Fonte: Autores (2018)

Tabela 30 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 250 W

Fluxo de Caixa					
Investimento inicial para LED	R\$ 176.105,94				
TAXA	8%				
Tempo (Ano)	Retorno (R\$)	Saída (R\$)	Diferença (R\$)	Valor Presente (R\$)	Payback (R\$)
0	0,00		-176105,94		
1	37475,28	8805,30	28669,98	28669,98	-147435,96
2	38580,80	9065,05	29515,75	29515,75	-117920,21
3	39718,93	9332,47	30386,46	30386,46	-87533,75
4	40890,64	9607,78	31282,86	31282,86	-56250,88
5	42096,92	9891,21	32205,71	32205,71	-24045,18
6	43338,78	10183,00	33155,78	33155,78	9110,60
7	44617,27	10483,40	34133,87	34133,87	43244,47
8	45933,48	10792,66	35140,82	35140,82	78385,29
9	47288,52	11111,04	36177,47	36177,47	114562,76
10	48683,53	11438,82	37244,71	37244,71	151807,47
11	50119,69	11776,26	38343,43	38343,43	190150,90
12	51598,22	12123,66	39474,56	39474,56	229625,46
13	53120,37	12481,31	40639,06	40639,06	270264,52
14	54687,42	12849,51	41837,91	41837,91	312102,43
VPL =	312.102,43				
TIR =	16%				

Fonte: Autores (2018)

Tabela 31 - Fluxo de Caixa para a substituição das lâmpadas VSAP de 400 W

Fluxo de Caixa					
Investimento inicial para LED	R\$ 74.015,54				
TAXA	8%				
Tempo (Ano)	Retorno (R\$)	Saída (R\$)	Diferença (R\$)	Valor Presente (R\$)	Payback (R\$)
0	0,00		-74015,54		
1	39376,20	3700,78	35675,42	33032,80	-38340,12
2	40537,80	3809,95	36727,85	31488,21	-1612,27
3	41733,66	3922,34	37811,32	30015,84	36199,05
4	42964,81	4038,05	38926,75	28612,33	75125,80
5	44232,27	4157,18	40075,09	27274,43	115200,90
6	45537,12	4279,81	41257,31	25999,10	156458,20
7	46880,46	4406,07	42474,40	24783,40	198932,60
8	48263,44	4536,05	43727,39	23624,55	242660,00
9	49687,21	4669,86	45017,35	22519,88	287677,35
10	51152,98	4807,62	46345,36	21466,87	334022,71
11	52662,00	4949,44	47712,55	20463,10	381735,26
12	54215,52	5095,45	49120,07	19506,26	430855,33
13	55814,88	5245,77	50569,11	18594,16	481424,45
14	57461,42	5400,52	52060,90	17724,71	533485,35
VPL =	271.090,10				
TIR =	51%				

Fonte: Autores (2018)

#### 6.4. Cálculo da relação Custo x Benefício

Através do Manual para elaboração da ANEEL, analisa-se a viabilidade de projetos. A metodologia segue as fórmulas e procedimentos que neste manual estabelece e conceitua como projetos prioritários aqueles de grande relevância e abrangência concebidas no âmbito de uma política nacional de eficiência energética.

O projeto visa analisar a redução da demanda na ponta e do consumo de energia elétrica através da substituição de lâmpadas VSAP por lâmpadas LED. E desta forma determinar a relação CxB.

##### 6.4.1. Demanda na ponta e Energia Economizada

Para este cálculo os benefícios da soma das energias ativas conservadas anualmente serão considerados.

Nas equações 6 e 7 definem-se as Reduções de Demanda da ponta (RDP) e Energia Economizada (EE)

$$RDP = [(NL_1 \times PL_1) - (NL_2 \times PL_2)] \times FCP \times 10^{-3} \text{ (kW)}$$

Equação 6 - Equação da Redução da Demanda de Ponta (RDP)  
Fonte: PROPEE (2013)

$$EE = [(NL_1 \times PL_1 + NR_1 \times PR_1) - (NL_2 \times PL_2 + NR_2 \times PR_2)] \times t \times 10^{-6} \text{ (MWh/ano)}$$

Equação 7 - Equação para cálculo da Energia Economizada (EE)  
Fonte: PROPEE (2013)

Sendo:

RDP – Redução de Demanda da ponta;

EE – Energia Economizada;

NL<sub>1</sub> – Números de lâmpadas do sistema existente (VSAP);

NL<sub>2</sub> – Número de lâmpadas do sistema proposto;

PL<sub>1</sub> – Potência da lâmpada de VSAP do sistema existente;

PL<sub>2</sub> – Potência das lâmpadas de LED do sistema proposto;

NR<sub>1</sub> – Número de reatores das lâmpadas do sistema existente;

NR<sub>2</sub> – Número de reatores das lâmpadas do sistema proposto;

PR<sub>1</sub> – Potência dos reatores das lâmpadas do sistema existente;

PR<sub>2</sub> – Potência dos reatores das lâmpadas do sistema proposto;

T – Tempo de utilização das lâmpadas no ano, em horas (12h/dia \* 365dias = 4380h);

FCP – Fator de Coincidência na Ponta a ser definido pela concessionária (neste caso será 1).

Tabela 32 - Cálculos de RDP e EE para as substituições de lâmpadas

Potência da lâmpada VASP a ser substituída (W)	Potência da lâmpada LED (W)	RDP (kW)	EE (MWh/ano)
70	60	8,14	59,36
100	60	1,44	7,8
150	80	68,04	358,68
250	150	13,8	74,79
400	150	14,5	73,16

Fonte: Autores (2018)

Neste cálculo não se leva em consideração perdas nos reatores do LED devido ao LED não necessitar de reatores, e a potência nominal considerada já leva em conta as perdas totais do sistema.

#### 6.4.2. Fator de Recuperação de Capital (FRC)

A taxa de desconto utilizada no fator de recuperação de capital deverá corresponder ao custo de capital real médio ponderado da detentora, pois o montante pago pela solicitante será uma aplicação em um projeto que apresentará a taxa de retorno mínima necessária para a manutenção do valor de mercado da empresa detentora. O Fator de Recuperação de Capital (FRC) é utilizado no cálculo do valor dos custos marginais de longo prazo disponibilizado ao solicitante. Com efeito, produz uma série de pagamentos periódicos que amortizam o investimento inicial e remuneram o investimento remanescente ao longo de sua vida útil econômica (n) à taxa periódica i (CARLO, 2008).

A taxa mínima a ser considerada é de 8% a.a. conforme o Plano Nacional de Energia vigente na data de submissão do projeto, conforme publicado pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

O fator de recuperação de capital calculado é dado através da equação :

$$FRC = \frac{i \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

Equação 8 - Equação para cálculo de Fator de Recuperação de Capital

Fonte: PROPEE (2013)

Sendo:

FRC = Fator de recuperação de capital do valor investido nas lâmpadas a serem colocadas no sistema

I = Taxa de juros (no caso 8%);

N = Vida útil (em anos).

$$FRC = \frac{0,08 \times (1+0,08)^{14}}{(1+0,08)^{14} - 1} = 0,12$$

Sendo o fator calculado em 0,12.

#### 6.4.3. Custo de Investimento do Projeto

Consiste na quantificação dos equipamentos elétricos pelos seus custos marginais, com valores oficiais identificados por pesquisa de mercado, processos de licitação, e planilhas do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI).

Através da equação 9 se obtém os custos dos equipamentos do projeto, levando em conta a soma dos custos unitários, mão de obra e custos indiretos. Com o auxílio da tabela é possível levantar os dados base para os cálculos.

$$CPE = C_{\text{equipamento}} + C_{\text{indireto}}$$

Equação 9 - Equação do Custo Total dos Equipamentos

Fonte: PROPEE (2013)

Sendo:

CPE = Custo total dos equipamentos que serão instalados;

Cequipamento = Custo apenas do equipamento

Cindireto = Custos indiretos (serviços indiretos e mão de obra)

Tabela 33 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 70 W

Descrição	QTD	UND	Preço Unitário	Preço Total
Luminária de LED com potência de 60 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	814	UND	846,13	R\$688.749,82
Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	135	h	137,2	R\$18.522,00
Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	135	h	28,21	R\$3.808,35
Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	135	h	70,56	R\$9.525,60
<b>TOTAL</b>				<b>R\$720.605,77</b>

Fonte: Autores (2018)

Tabela 34 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 100 W

<b>Descrição</b>	<b>QTD</b>	<b>UND</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Total</b>
Luminária de LED com potência de 60 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	36	UND	846,13	R\$30.460,68
Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	6	h	137,2	R\$823,20
Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	6	h	28,21	R\$169,26
Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	6	h	70,56	R\$423,36
<b>TOTAL</b>				<b>R\$31.876,50</b>

Fonte: Autores (2018)

Tabela 35 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 150 W

<b>Descrição</b>	<b>QTD</b>	<b>UND</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Total</b>
Luminária de LED com potência de 80 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	972	UND	986,13	R\$958.518,36
Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	156	h	137,2	R\$21.403,20
Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	156	h	28,21	R\$4.400,76
Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	156	h	70,56	R\$11.007,36
<b>TOTAL</b>				<b>R\$995.329,68</b>

Fonte: Autores (2018)

Tabela 36 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 250 W

<b>Descrição</b>	<b>QTD</b>	<b>UND</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Total</b>
Luminária de LED com potência de 150 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	138	UND	986,13	R\$136.085,94
Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	23	h	137,2	R\$3.155,60
Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	23	h	28,21	R\$648,83
Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	23	h	70,56	R\$1.622,88
<b>TOTAL</b>				<b>R\$141.513,25</b>

Fonte: Autores (2018)

Tabela 37 - Custos de equipamentos para substituição às lâmpadas VSAP de 400 W

<b>Descrição</b>	<b>QTD</b>	<b>UND</b>	<b>Preço Unitário</b>	<b>Preço Total</b>
Luminária de LED com potência de 150 W - Fornecimento e Instalação COMP PMAR	58	UND	986,13	R\$57.195,54
Caminhão com Carroceria Fixa, capacidade de 7,5t, equipado com guindaste hidráulico com capacidade de 3,5t, com motorista operador e um ajudante, material de operação e material de manutenção com as seguintes especificações mínimas: motor diesel 162CV. Guindaste Hidráulico provido de lança de até 5,90m de extensão e malha. Custo horário produtivo. (desonerado) SCO/FGV EQ 04.05.0415	10	h	137,2	R\$1.372,00
Mão de obra de encarregado para serviços de iluminação pública inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0028-A	10	h	28,21	R\$282,10
Mão de obra de Engenheiro ou arquiteto jr, inclusive encargos sociais EMOP 05.105.0032-A	10	h	70,56	R\$705,60
<b>TOTAL</b>				<b>R\$59.555,24</b>

Fonte: Autores (2018)

#### 6.4.4. Custo anualizado do valor investido

Calcula-se o Custo Anualizado (CA) relacionado ao valor investido para a troca das lâmpadas de acordo com a vida útil.

Este valor é calculado com a equação 10:

$$CA = CPE \times FRC$$

Equação 10 - Custo Anualizado  
Fonte: PROPEE (2013)

Sendo:

CA = Custo anualizado do valor investido

CPE = Custo total dos equipamentos que serão instalados (Equação 6)

FRC = Fator de recuperação de capital do valor investido nas lâmpadas a serem colocadas no sistema.

#### 6.4.5. Custo evitado de demanda e consumo de energia elétrica ativa

A partir da Equação 11 é possível realizar o cálculo do Custo Unitário Evitado de Demanda (CED), e através da Equação 12 calcular o Custo Unitário Evitado de Energia (CEE):

$$CED = (12 \times C_1) + (12 \times C_2 \times LP) = \left[ \frac{R\$}{kWh} \right]$$

Equação 11 - Custo Unitário Evitado de Demanda  
Fonte: PROPEE (2013)

$$CEE = \frac{(C_3 \times LE_1) + (C_4 \times LE_2) + (C_5 \times LE_3) + (C_6 \times LE_4)}{LE_1 + LE_2 + LE_3 + LE_4} = \left[ \frac{R\$}{MWh} \right]$$

Equação 12 - Custo Unitário Evitado de Energia  
Fonte: PROPEE (2013)

Sendo:

CED – Custo Unitário Evitado de Demanda

CEE – Custo Unitário Evitado de Energia

C1 – custo unitário da demanda no horário de ponta (R\$/kW mês)

C2 – custo unitário da demanda fora do horário de ponta (R\$/kW mês)

C3 – custo unitário da energia no horário de ponta de períodos secos (R\$/MW mês)

C4 – custo unitário da energia no horário de ponta de períodos úmidos (R\$/MW mês)

C5 – custo unitário da energia fora do horário de ponta de períodos secos (R\$/MW mês)

C6 – custo unitário da energia fora do horário de ponta de períodos úmidos (R\$/MW mês)

LP – Constante de perda de demanda no posto fora de ponta, determinado a partir da tabela do  $k = 0,15$ ;

LE<sub>1</sub>, LE<sub>2</sub>, LE<sub>3</sub> e LE<sub>4</sub> – constantes de perdas de energia nos postos de ponta e fora de ponta para os períodos seco e úmido, determinado a partir da tabela do  $k=0,15$

As constantes LP, LE, LE1, LE2, LE3 e LE4 devem ser retiradas da tabela que relaciona k e o fator de carga da concessionária, conforme mostram as tabelas 38 e 39.

Tabela 38 - Coeficientes das Equações

Fator de carga	LP	LE1	LE2	LE3	LE4
0,3	0,25	0,2732	0,1912	0,3517	0,2483
0,35	0,2809	0,2849	0,1995	0,5203	0,3674
0,4	0,3136	0,2973	0,2081	0,7101	0,5015
0,45	0,3481	0,3101	0,2171	0,9213	0,6506
0,5	0,3844	0,3236	0,2265	1,1538	0,8147
0,55	0,4225	0,3375	0,2363	1,4075	0,9939
0,6	0,4624	0,352	0,2464	1,6825	1,1881
0,65	0,5041	0,3695	0,2587	1,9763	1,3956
0,7	0,5476	0,3852	0,2696	2,2938	1,6198

Fonte: PROPEE (2013)

Tabela 39 - Custo Unitário de Demandas

<b>C1 (CUSTO DEMANDA PONTA)</b>	47,65	47,65	47,65
<b>C2 (CUSTO DEMANDA FORA PONTA)</b>	18,73	18,73	18,73
<b>C3 (CUSTO DEMANDA PONTA PERÍODOS SECOS)</b>	373,27	373,27	373,27
<b>C4 (CUSTO DEMANDA FORA PONTA PERÍODOS SECOS)</b>	247,51	247,51	247,51
<b>C5 (CUSTO DEMANDA PONTA PERÍODOS ÚMIDOS)</b>	196,25	196,25	196,25
<b>C6 (CUSTO DEMANDA FORA PONTA PERÍODOS ÚMIDOS)</b>	181,13	181,13	181,13

Fonte: PROPEE (2013) e ENEL (2018)

Foram utilizados fatores de carga de 0,3, 0,5 e 0,7 para os cálculos a fim de estabelecer um padrão. Sendo assim os resultados são mostrados na tabela 40 abaixo contendo o CED e CEE para cada fator de carga.

Tabela 40 - Resultados de CED e CEE para os diferentes fatores de carga

<b>FC</b>	<b>0,3</b>	<b>0,5</b>	<b>7</b>
<b>CED R\$/ kW ano</b>	627,99	658,20	694,88
<b>CEE R\$/ (MWh)</b>	247,36	218,71	206,14

Fonte: Autores (2018)

#### **6.4.6. Cálculo do Valor do Benefício Anualizado (CA)**

Este cálculo relaciona os valores de EE e RDP com os custos evitados de consumo de energia ativa e demanda de energia elétrica ativa, a equação abaixo define o valor

#### **6.4.7. Relação Custo Benefício (RCB)**

Após os cálculos dos benefícios (B) e dos custos anualizados (CA), se define a relação custo benefício do projeto. Esta relação é dada pela Equação 13:

$$RCB = \frac{\text{Custo Anualizado (CA)}}{\text{Benefício Anualizado (C)}}$$

Equação 13 - Relação Custo Benefício  
Fonte: PROPEE (2013)

Após todas as análises e cálculos a tabela abaixo mostra o RCB de cada substituição, para cada fator de carga previamente definido, sendo que para critérios de avaliação de viabilidade financeira em projetos, quanto menor o valor do RCB, e sendo este inferior a 1,00, mais atraente será o investimento.

Tabela 41 - Cálculos dos benefícios e das relações custo-benefício para as trocas das lâmpadas

Potência da lâmpada VSAP a ser substituída	70 W	100 W	150 W	250 W	400 W
Custo Anualizado	R\$86.472,69	R\$4.108,34	R\$116.721,19	R\$21.812,31	R\$9.561,46
B para FC 0,3	R\$19.795,85	R\$2.835,00	R\$131.452,64	R\$27.168,75	R\$27.203,68
RCB para FC 0,3	4,368	1,449	0,888	0,803	0,351
B para FC 0,5	R\$18.340,93	R\$2.654,87	R\$123.231,30	R\$25.442,53	R\$25.545,47
RCB para FC 0,5	4,715	1,547	0,947	0,857	0,374
B para FC 0,7	R\$17.893,17	R\$2.609,56	R\$121.217,49	R\$25.008,30	R\$25.157,49
RCB para FC 0,7	4,833	1,574	0,963	0,872	0,380

Fonte: Autores (2018)

Concluindo-se que a troca de lâmpadas é vantajosa, para este estudo de caso, para as lâmpadas VASP de potências 150 W, 250W e 400W, por LEDs de 80 W, 150 W e 150 W, respectivamente.

## 7. SIMULAÇÃO NO DIALUX

O programa DIALux consiste em simular pontos de iluminação, dando todos os dados luminotécnicos necessários aproximando-se da realidade antes de implantar qualquer projeto de iluminação.

Para fins de exemplo, como dito anteriormente, a rua Coronel Carvalho foi utilizada para mostrar como ficaria a aplicação do LED comparada aos resultados das lâmpadas de VSAP. Com a utilização do programa, foi utilizado o catálogo da marca Philips. Dessa forma, extraíndo todas as informações da luminária de LED de 150W, utilizada para substituir as lâmpadas de 250W de VSPA, foram obtidos os devidos resultados utilizados neste trabalho.

É possível observar no DIALux as ondas de calor e dados ponto a ponto, que mostra que quanto mais longe da luminária, menor é o índice luminotécnico. Ao comparar ambos os resultados é possível visualizar que as lâmpadas de VSPA possuem ondas de calor muito mais fortes, possuindo dados luminotécnicos maiores, e as de LED são azuladas pois seus dados luminotécnicos demonstram-se menores.

A tabela 42 abaixo representa os modelos de lâmpadas utilizadas para a simulação com seus respectivos dados técnicos. E os resultados gerados se encontram no Anexo A, considerando para o projeto da rua apenas as lâmpadas de 150W LED e 250W VSAP.

Tabela 42 – Lâmpadas utilizadas nas simulações

Tipo de lâmpada	Quantidade de lâmpadas	Código catálogo	Fluxo Luminoso (lm)	Fluxo Luminoso Total	Grau de atuação Operacional	Rendimento Luminoso (lm/W)	Perdas no reator (W)
LED	60	BGP322 T35 1xGRN78-3s/740	7289	8200	0,888902	121,48	-
	80	BGP322 T35 1xGRN104-3s/657	9785	11100	0,881532	122,31	-
	150	BGP323 T35 1xECO184-3s/740	15625	19300	0,809585	104,17	-
VSAP	70	SGP340 FG 1xSON-TPP70W	4745	6600	0,718939	67,79	6,65
	100	SGP340 FG 1xSON-TPP100W	8141	10700	0,760841	81,41	9,5
	150	SGP340 FG 1xSON-TPP150W	12853	17500	0,734457	85,69	14,25
	250	SGP340 FG 1xSON-TPP250W	24281	33200	0,731355	97,12	23,75
	400	SGP340 FG 1xSON-TPP400W	40899	56500	0,723876	102,25	38

Fonte: DIALux (2018)

Apesar dos dados inferiores luminotécnicos obtidos, em comparação com as lâmpadas de vapor de sódio, em termos de equivalência em níveis de fluxo luminoso, nota-se visualmente que o LED possui maior eficácia.

Um estudo, realizado em 2008 pelo Departamento de Energia dos EUA comprovou que o resultado perceptível da iluminação LED ao olho humano pode ser igual ou maior ao das lâmpadas de vapor de sódio. Isso ocorre em função da sensibilidade humana aos comprimentos de onda de luz que são gerados por cada uma destas fontes.

Conforme explica Ribeiro (2014), no olho humano há dois tipos de células sensíveis à luz: os Bastonetes e os Cones. Os bastonetes são células fotorreceptoras da retina que conseguem funcionar com mínimos níveis de luminosidade, sendo responsáveis pela visão noturna. Já os Cones são as células que tem a capacidade de reconhecer as cores. Na figura 27 abaixo é possível ver um desenho esquemático das células nervosas de um olho humano.

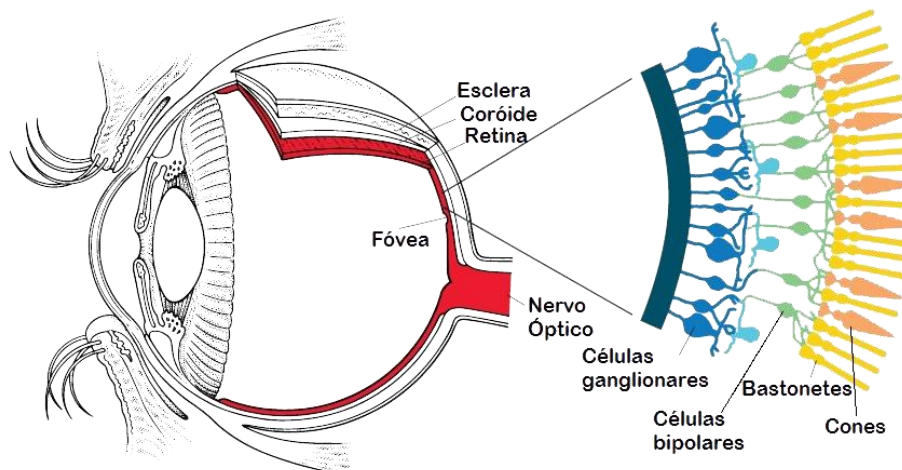


Figura 27 – Infográfico das células e nervos de um olho humano  
Fonte: InLED (2016)

Ainda segundo Ribeiro (2014), os bastonetes são sensíveis aos pequenos comprimentos de onda, com pico de 507 nm, enquanto os cones são sensíveis aos comprimentos de onda maiores, com pico na casa de 555 nm. Estes comprimentos de onda e a sensibilidade relativa dos olhos são mostrados no gráfico da figura 28 a seguir:

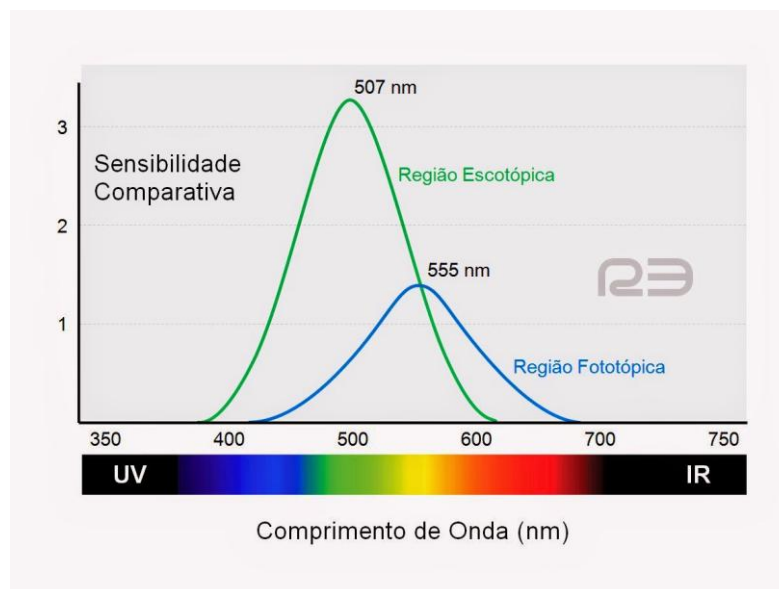


Figura 28 – Comprimentos de onda e a sensibilidade relativa dos olhos humanos  
Fonte: R3 Elétrica (2016)

Sendo que os bastonetes são responsáveis pela visão escotópica (noturna), enquanto os cones fornecem a capacidade de visão fototópica (diurna). As áreas representadas pelas curvas verde e azul do gráfico acima definem os comprimentos de ondas úteis para a iluminação.

Desta forma, para ser percebida pelo olho humano de maneira eficiente, uma fonte de luz ideal deverá emitir comprimentos de onda entre 507 e 555 nm.

A iluminação com lâmpadas VSAP produz o comprimento de onda da figura 29:

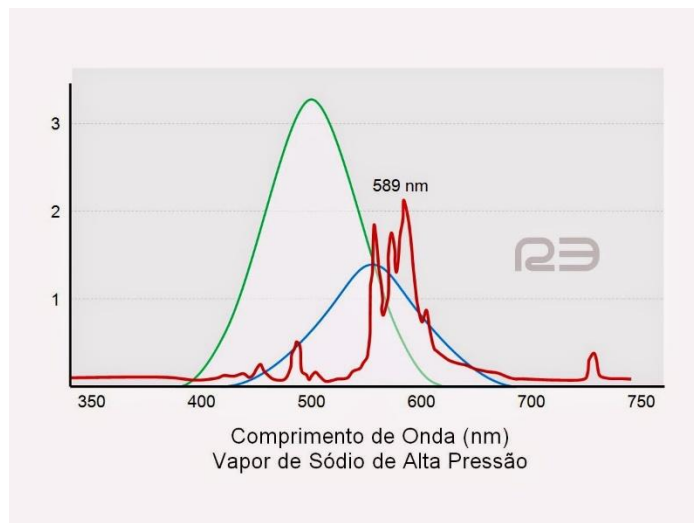


Figura 29 - Comprimentos de onda de iluminação com lâmpadas VSAP  
Fonte: R3 Elétrica (2016)

É possível perceber que a maior parte da distribuição de energia concentra-se entre 570 e 600 nm, atingindo boa parte da área Fototópica. Entretanto, quase nenhuma energia se sobrepõe à área Escotópica. No gráfico da figura 30 a seguir, a área em amarelo mostra a luz útil da lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

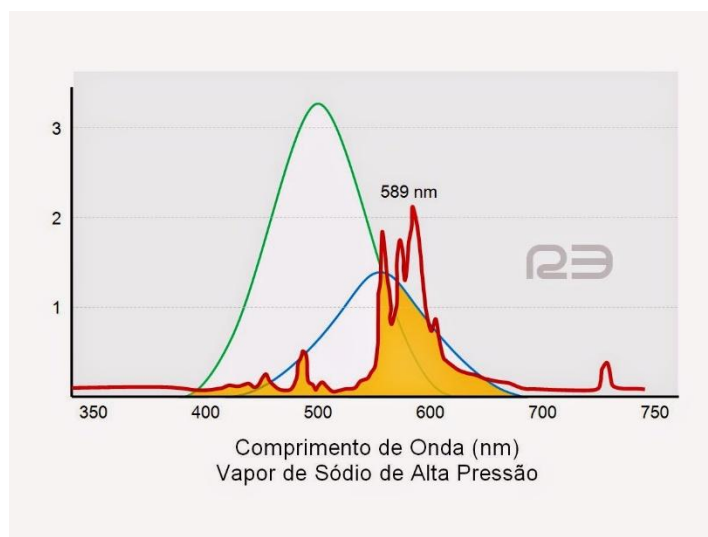


Figura 30 - Área de luz útil do comprimento de onda de uma lâmpada VSAP  
Fonte: R3 Elétrica (2016)

Analisando agora o gráfico da lâmpada LED, conforme figura 31:

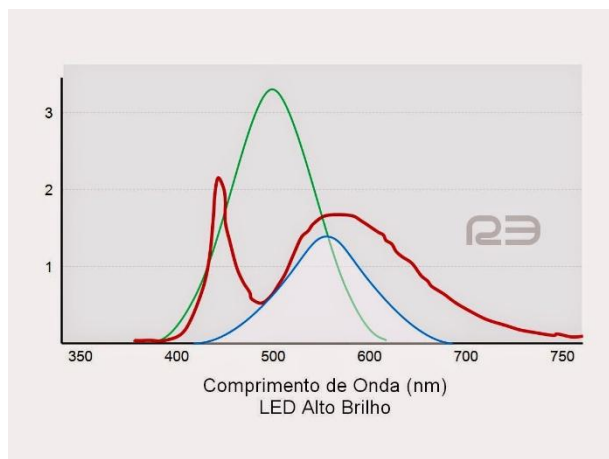


Figura 31 - Comprimentos de onda de iluminação com lâmpadas LED Alto Brilho  
Fonte: R3 Elétrica (2016)

Pode-se notar que toda a área fotópica torna-se coberta, assim como grande parte da área escotópica. Dessa emissão de ondas traduz-se toda a eficiência de iluminação do LED de alto brilho. Por este motivo, mesmo com um valor numérico de lúmens menor que o do vapor de sódio, a efetividade da iluminação torna-se muito superior.

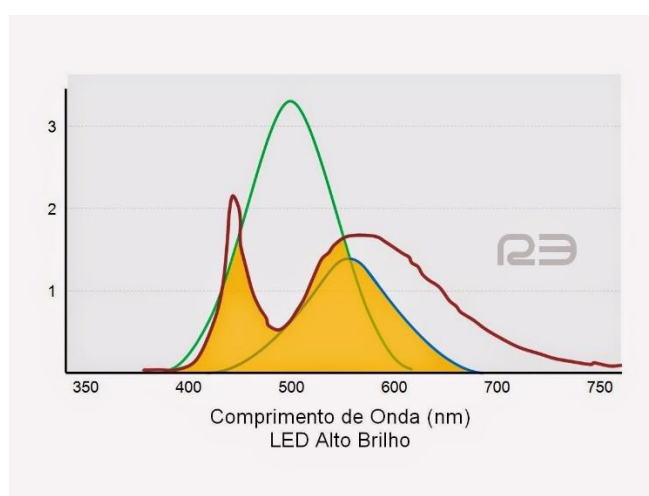


Figura 32 - Área de luz útil do comprimento de onda de uma lâmpada LED  
Fonte: R3 Elétrica (2016)

Ao passo que a lâmpada de vapor de sódio de alta pressão possui cerca de 20 a 25% do espectro útil de iluminação, a luminária em LED alto brilho gera cerca de 75%, como pode ser visto no comparativo da figura 33:

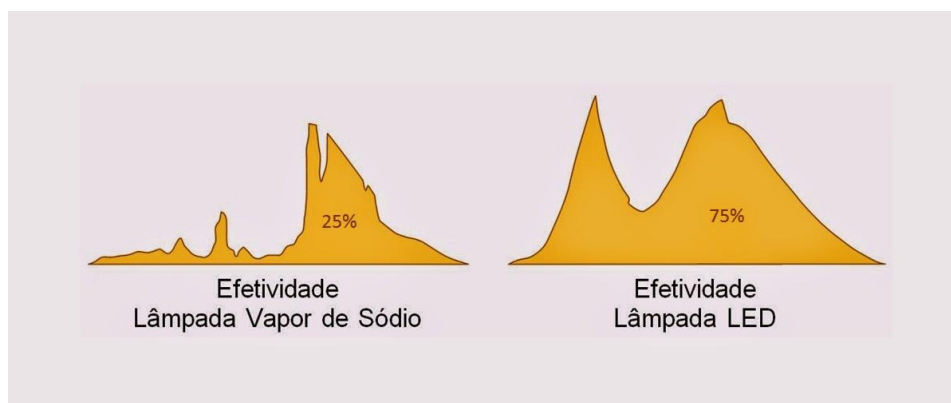


Figura 33 - Comparativo entre as áreas de luz efetivas das lâmpadas VSAP e LED  
Fonte: R3 Elétrica (2016)

## 8. CONCLUSÃO

Após realizadas as análises de equivalência, substituição e cálculos financeiros, é possível visualizar que a tecnologia LED é amplamente superior às lâmpadas do tipo Vapor de Sódio em diversos aspectos, porém seu alto custo ainda se constitui em um fator crucial para uma implementação em larga escala.

Pelo projeto sugerido, a substituição direta das lâmpadas não é viável. Deve-se realizar um dimensionamento melhor dos pontos de luz, número de lâmpadas e potências utilizadas levando em consideração a situação atual de cada ponto a ser iluminado.

Através de catálogos das lâmpadas LED se vê que os índices de reprodução de cores (IRC) são muito superiores as VSAP que tem um IRC igual a 25 enquanto as dele variam entre 70 e 75. A vida útil das lâmpadas de LED é muito maior e em consequência gera uma imediata economia nos gastos com manutenção das luminárias.

A potência instalada é consideravelmente reduzida, essa energia economizada, pode ser disponibilizada para outros segmentos onde a tarifa é mais atraente. Há também economia no custo da energia elétrica, que implica diretamente na quantia a ser investida no projeto.

Sendo assim, as luminárias LED com potência de 150W e 80W mostram-se viáveis em substituição as lâmpadas de 400W e 250W e as luminárias LED com potência de 80W mostram-se viáveis em substituição as lâmpadas de 150W de VSAP pois geram retorno financeiro antes do término da vida útil das mesmas, no caso das lâmpadas de 400W o retorno surge a partir do terceiro ano após aplicação e as de 250W no sexto ano após aplicação e as de 150W no sétimo ano após aplicações, o fator da Relação Custo Benefício (RCB) ambas indicam um valor de RCB menor que o mínimo indicado pelo Manual do Programa de Eficiência Energética da ANEEL o que significa que o projeto é altamente atrativo. Já as lâmpadas de 100W e 70W VSAP não são atraentes pois a substituição de ambas por lâmpadas LED de 60W não gera retorno financeiro no fim de um ciclo de 14 anos, que representa a vida útil da lâmpada de LED a ser implantada.

Porém a lâmpada de 100W de VSAP tem uma pequena particularidade, a sua substituição por lâmpadas de 60W de LED não gera um retorno financeiro imediato

após estes 14 anos porém seu déficit final é de apenas R\$ 7.365,91 que é um valor irrisório quando se trata de um projeto de obras públicas de uma prefeitura.

Com o uso do DIALux foi simulada a substituição de lâmpadas 250W VSAP por lâmpadas LED 150W e o resultado foi satisfatório pois todas as exigências fotométricas foram cumpridas. Tornando a substituição das lâmpadas da rua satisfatória em termos financeiros e técnicos.

### **8.1. Sugestão para trabalhos futuros**

A fim de complementar os estudos sobre eficiência de energia e iluminação pública segue abaixo algumas sugestões pesquisas a serem adotadas futuramente por outros formandos:

- Estudo detalhado quanto a deterioração dos equipamentos, bem como vida útil dos componentes eletrônicos utilizados em combinação com a Lâmpada LED;
- Análise detalhada e laboratorial da influência da tecnologia LED na rede elétrica;
- Utilização de energias renováveis para alimentação de sistemas de iluminação pública;
- Simulação computacional a fim de explorar o efeito das distorções harmônicas que podem vir a ocorrer na rede.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). **Resolução normativa 414/2010**. 2010. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2010414.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101:2012. Iluminação Pública – Procedimento**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2012.

BARANIUK, James Alexandre. **Conceitos de iluminação**. 2018. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2018/03/01/a-iluminacao-publica-deve-obrigatoriamente-obedecer-a-norma-tecnica/>>. Acesso em: 27 mai. 2018

DIALUX. Simulação. Disponível em: <<http://www.dialux.com>> Acesso em 20 de março de 2018.

FILHO, Hayrton Rodrigues do Prado. **A iluminação pública deve obrigatoriamente obedecer à norma técnica**. 2018. Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2018/03/01/a-iluminacao-publica-deve-obrigatoriamente-obedecer-a-norma-tecnica/>>. Acesso em: 27 mai. 2018

FILHO, Onofre Bueno; SILVA, Pedro Matheus Giupponi da; SOUZA, Kleverson de Souza Almeida. **Implementação de tecnologia de iluminação LED: uma solução para redução de consumo de energia**. 2015. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/39222480.pdf>>. Acesso em: 07 mai. 2018

GRUPO IBRACE. **Os 11 principais tópicos da certificação de lâmpadas LED**. 2016. Disponível em: <<http://www.grupoibrace.org.br/areas-de-atuacao/certificacao-de-produtos/os-11-principais-topicos-da-certificacao-de-lampadas-led/>>. Acesso em: 15 mai. 2018

HAFEMANN, Ana Claudia., WIESE, Denys., BENATTI Gelson Luiz., MARCOMINI Gilson., MOROZINI João Francisco., SILVA, Leidisangela Santos., PEREIRA, Maria Aparecida., 2017

HAYT JÚNIOR, Willian H.; BUCK, John A. **Eletromagnetismo**. 8ª edição. Porto Alegre: AMGH, 2013.

LOPES, Leonardo Barbosa. **Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública**. 2014. Monografia (TCC) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, 2014.

DANTAS, Cesar Augusto Palácio. **Iluminação Pública e Eficiência Energética**. 2015. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/iluminacao-publica-e-eficiencia-energetica/>>. Acesso em 25 abr. 2018.

OSRAM. **Life cycle assessment of illuminants: a comparison of light bulbs, compact fluorescent lamps and LED lamps**. 2009. Disponível em: <<http://goo.gl/QoYq1t>>. Acesso em: 04 mai. 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME. **Plano Nacional de Eficiência Energética - Versão Consulta Pública**. Brasília, 2010.

MPEE. ANEEL. Manual de Programa de Eficiência Energética 2013. Disponível em < [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br) > Acesso em 18. out. de 2018.

NOVICKI, Jackson Merise. MARTINEZ, Rodrigo. **LEDs para Iluminação Pública**. 2008. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/41.pdf>>. Acesso em 20 mar. 2018.

PORTAL ENGELETRICA. **Manual de Correção do Fator de Potência**. 2011. Disponível em: <<http://www.engeletrica.com.br/fatordepotencia-manual-fatordepotencia.html>>. Acesso em 27 jun. 2018.

RIBEIRO, Ricardo. **Luminária em LED Alto Brilho vs. Vapor de Sódio**. Disponível em: < <http://www.r3brasil.com.br/2014/06/luminaria-em-led-alto-brilho-vs-vapor.html>> Acesso em: 20 de agosto de 2018

ROSITO, Luciano Haas. **A revisão da NBR 5101 – Iluminação Pública**. 2018. Disponível em: <<http://www.expersolution.com.br/single-post/2018/04/12/A-revis%C3%A3o-da-NBR-5101-%E2%80%93-Ilumina%C3%A7%C3%A3o-P%C3%BAblica>>. Acesso em 01 mai. 2018.

RODRIGUES, C. R. B. S., ALMEIDA, P. S., SOARES G. M., JORGE J. M., PINTO D. P., BRAGA H. A. C. **Um estudo comparativo de sistemas de iluminação pública: estado sólido e lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão**. Industry Applications (INDUSCON), 2010 9th IEEE/IAS International Conference on, São Paulo. 2010, 6p.

PROCEL 2009. **Análise Econômica de Investimento**, Disponível em: < [https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Analise\\_economica.pdf](https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/Analise_economica.pdf)>. Acesso em: 07 mai. 2018

SALES, R. P. LED. **O novo paradigma da Iluminação Pública**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia - PRODETEC), do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), e Instituto de Engenharia do Paraná (IEP). 2011. Curitiba. 117p.

SAMANEZ, Carlos Patricio. **Engenharia Econômica**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

SCHULZ, Willy. **Iluminação Pública, Série Cadernos Técnicos CREA-PR**. Curitiba, 2016.

VERAS, L. L. **Matemática financeira: uso de calculadoras financeiras, aplicações ao mercado financeiro, introdução à engenharia econômica, 300 exercícios resolvidos e propostos com respostas**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2001.

**10. ANEXO A**

Project 1



## Rua VSAP 250 W / Dados de planeamento

### Perfil da rua

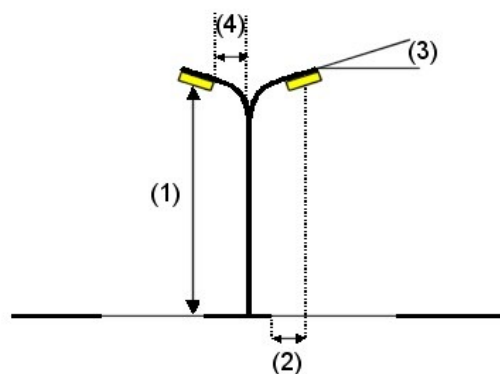
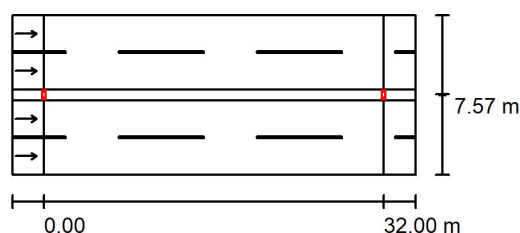
Roadway 2 (Largura: 7.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)

Median 1 (Largura: 1.000 m, Altura: 0.000 m)

Roadway 1 (Largura: 7.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)

Factor de manutenção: 0.67

### Distribuições de luminárias



Luminária: PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TPP250W TP P5  
 Corrente luminosa (Luminária): 25896 lm  
 Corrente luminosa (Lâmpadas): 33200 lm  
 Potência luminosa: 276.0 W  
 Distribuição: na faixa central  
 Distância entre postes: 32.000 m  
 Altura de montagem (1): 10.195 m  
 Altura do ponto de luz: 10.000 m  
 Pendor (2): -0.500 m  
 Inclinação do braço extensor (3): 20.0 °  
 Comprimento do braço extensor (4): -0.071 m

Valor máximo da potência luminosa  
 a 70°: 367 cd/klm  
 a 80°: 95 cd/klm  
 a 90°: 36 cd/klm

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

A distribuição cumpre a classe de potência luminosa G1.

A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.0.

Project 1



Editor(a)  
Telefone  
Fax  
e-Mail

### Rua VSAP 250 W / Lista de luminárias

PHILIPS SGP340 FG 1xSON-TPP250W TP  
P5

Nº do artigo:

Corrente luminosa (Luminária): 25896 lm

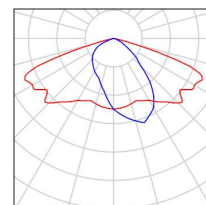
Corrente luminosa (Lâmpadas): 33200 lm

Potência luminosa: 276.0 W

Classificação de luminárias conforme CIE: 100

Código de Fluxo (CIE): 45 80 98 100 78

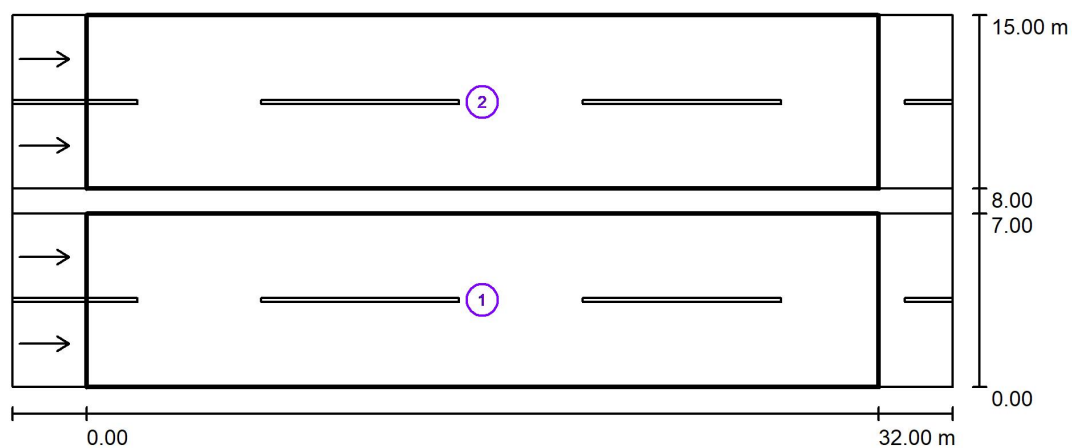
Lâmpada (s): 1 x SON-TPP250W (Factor de  
correção 1.000).



Project 1



## Rua VSAP 250 W / Resultados Luminotécnicos



Factor de manutenção: 0.67

Escala 1:272

**Lista de campo de avaliação**

- 1 Valuation Field Roadway 1  
 Comprimento: 32.000 m, Largura: 7.000 m  
 Grelha: 11 x 6 Pontos  
 Elementos de rua correspondentes: Roadway 1.  
 Pavimento: R3, q0: 0.070  
 Classe de iluminação seleccionada:  
 ME4a

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	2.47	0.60	0.84	10	0.83
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

Project 1



## Rua VSAP 250 W / Resultados Luminotécnicos

### Lista de campo de avaliação

#### 2 Valuation Field Roadway 2

Comprimento: 32.000 m, Largura: 7.000 m

Grelha: 11 x 6 Pontos

Elementos de rua correspondentes: Roadway 2.

Pavimento: R3, q0: 0.070

Classe de iluminação seleccionada:  
ME4a

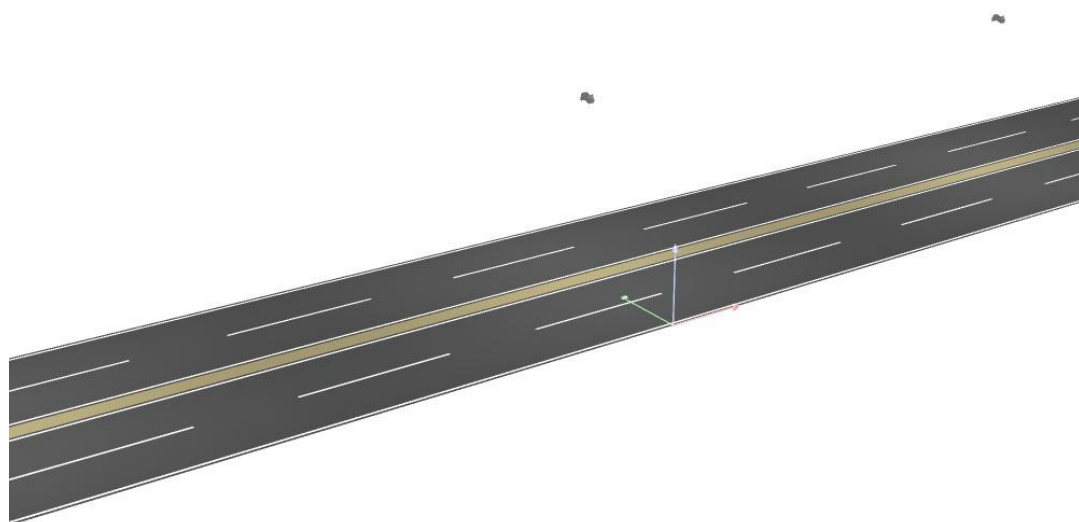
(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	2.47	0.60	0.84	10	0.83
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

Project 1



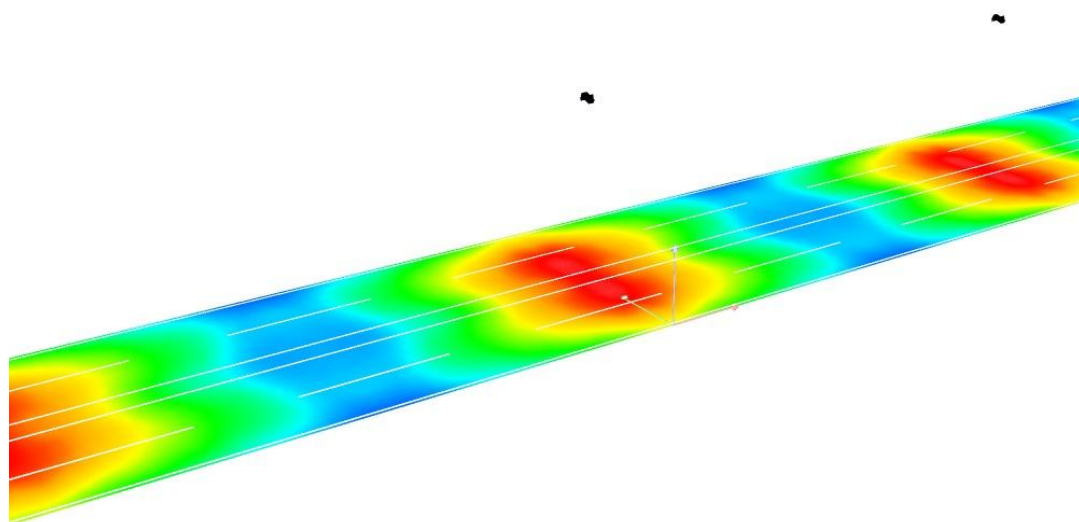
Rua VSAP 250 W / Representação 3D



Project 1



Rua VSAP 250 W / Representação de cores falsas



0 10 20 30 40 50 60 70 80 lx

Project 1



## Rua LED 150 W / Dados de planeamento

### Perfil da rua

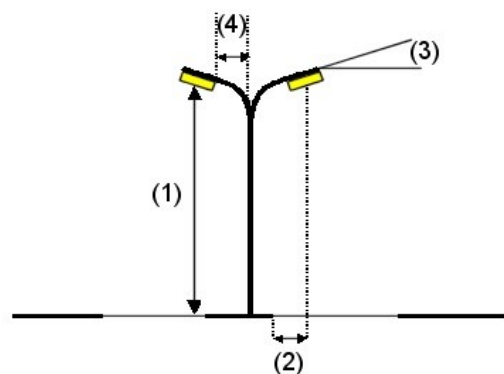
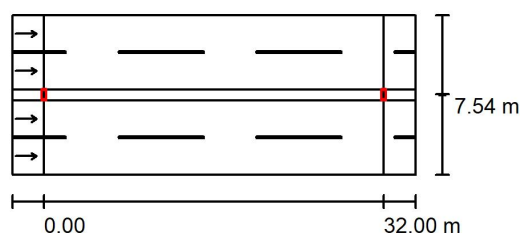
Roadway 2 (Largura: 7.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)

Median 1 (Largura: 1.000 m, Altura: 0.000 m)

Roadway 1 (Largura: 7.000 m, Quantidade das faixas de rodagem: 2, Pavimento: R3, q0: 0.070)

Factor de manutenção: 0.67

### Distribuições de luminárias



Luminária:	PHILIPS BGP323 T35 1xECO184-3S/740 A
Corrente luminosa (Luminária):	15633 lm
Corrente luminosa (Lâmpadas):	19300 lm
Potência luminosa:	151.0 W
Distribuição:	na faixa central
Distância entre postes:	32.000 m
Altura de montagem (1):	10.122 m
Altura do ponto de luz:	10.000 m
Pendor (2):	-0.500 m
Inclinação do braço extensor (3):	20.0 °
Comprimento do braço extensor (4):	-0.044 m

Valor máximo da potência luminosa
a 70°: 298 cd/klm
a 80°: 426 cd/klm
a 90°: 315 cd/klm

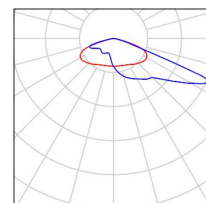
Em todas as direcções que, em uma luminária correctamente instalada, formam o ângulo dado com as verticais inferiores.

A distribuição cumpre a classe de índice de ofuscamento D.0.

Project 1

**Rua LED 150 W / Lista de luminárias**

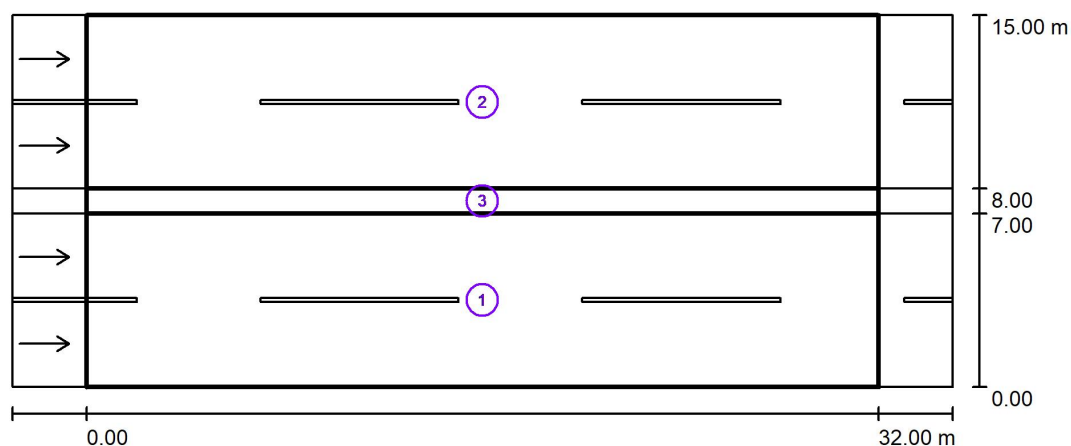
PHILIPS BGP323 T35 1xECO184-3S/740 A  
N° do artigo:  
Corrente luminosa (Luminária): 15633 lm  
Corrente luminosa (Lâmpadas): 19300 lm  
Potência luminosa: 151.0 W  
Classificação de luminárias conforme CIE: 100  
Código de Fluxo (CIE): 27 61 95 100 81  
Lâmpada (s): 1 x ECO184-3S/740 (Factor de  
correção 1.000).



Project 1



## Rua LED 150 W / Resultados Luminotécnicos



Factor de manutenção: 0.67

Escala 1:272

## Lista de campo de avaliação

- 1 Valuation Field Roadway 1  
 Comprimento: 32.000 m, Largura: 7.000 m  
 Grelha: 11 x 6 Pontos  
 Elementos de rua correspondentes: Roadway 1.  
 Pavimento: R3, q0: 0.070  
 Classe de iluminação seleccionada:  
 ME4a

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	0.77	0.63	0.76	6	0.88
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

## Rua LED 150 W / Resultados Luminotécnicos

### Lista de campo de avaliação

#### 2 Valuation Field Roadway 2

Comprimento: 32.000 m, Largura: 7.000 m

Grelha: 11 x 6 Pontos

Elementos de rua correspondentes: Roadway 2.

Pavimento: R3, q0: 0.070

Classe de iluminação seleccionada:  
ME4a

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	$L_m$ [cd/m <sup>2</sup> ]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	0.77	0.63	0.76	6	0.88
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓

#### 3 Campo de avaliação Median 1

Comprimento: 32.000 m, Largura: 1.000 m

Grelha: 11 x 3 Pontos

Elementos de rua correspondentes: Median 1.

Classe de iluminação seleccionada: CE5

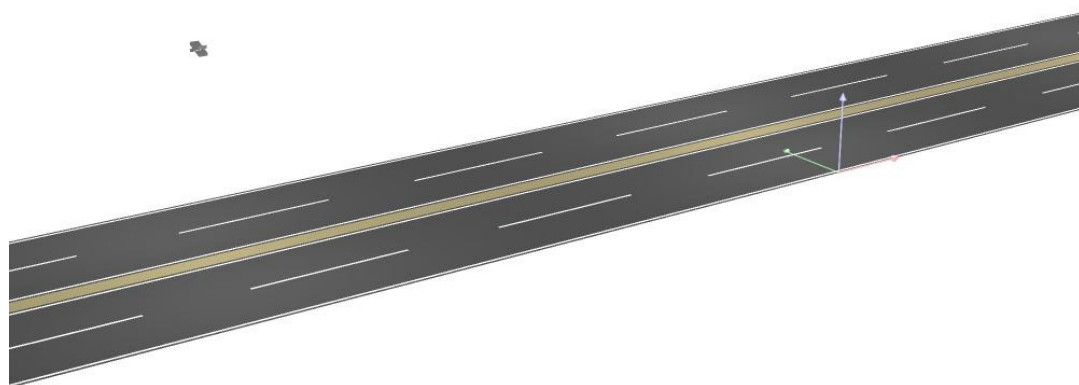
(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	$E_m$ [lx]	U0
Valores reais segundo o cálculo:	12.22	0.67
Valores nominais segundo a classe:	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumprido/não cumprido:	✓	✓

Project 1



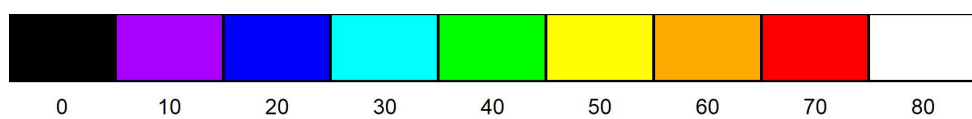
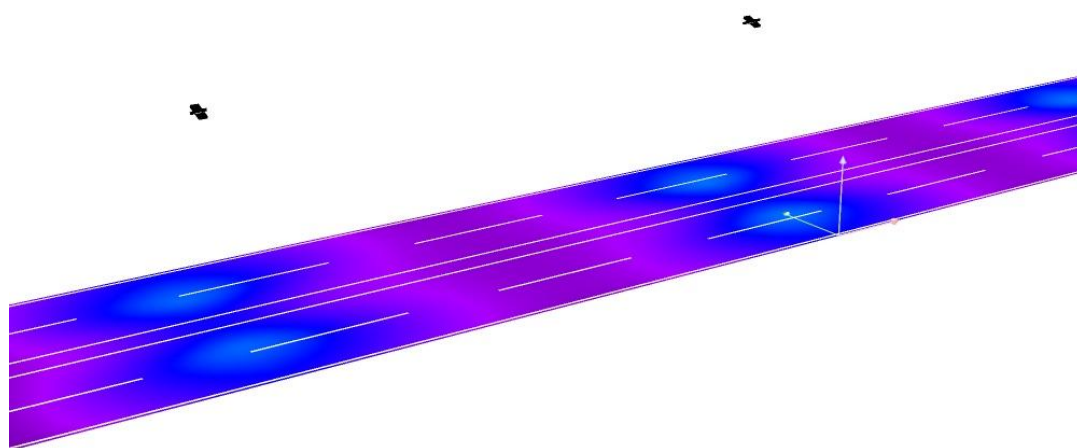
Rua LED 150 W / Representação 3D



Project 1



### Rua LED 150 W / Representação de cores falsas



0

10

20

30

40

50

60

70

80

lx



Estado do Rio de Janeiro  
Prefeitura Municipal de Angra dos Reis  
Secretaria de Desenvolvimento e Sustentabilidade  
Gerência de Iluminação Pública

**Carta nº 009/2018/SEOPJ.DIPUB**

Angra dos Reis, 13 de Setembro de 2018

Eu, Lúcio Ferreira Uchoa Filho, Coordenador Técnico de Manutenção de Iluminação Pública – PMAR, matrícula 25471, venho por meio desta autorizar os alunos, José Humberto de Araújo Neves, Felipe Delfim de Paula e Renan Daniel de Souza Silva, a utilizarem em citações e descrições, os métodos e processos utilizados neste órgão público que estejam vinculados ao tema, a ser abordado em sua Monografia sobre “Reestrutura da Iluminação Pública no Município de Angra dos Reis”, desde que os alunos assegurem no final da pesquisa, encaminhar um volume do trabalho com as abordagens e conclusões do referido Trabalho Acadêmico.

  
Lúcio Ferreira Uchoa Filho  
Mat. 25471