

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
GUSTAVO ALMEIDA DE OLIVEIRA**

**APLICAÇÃO DE *LED'S* NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: estudo de caso na Avenida  
Deputado Renato Azeredo**

**Varginha  
2016**

**GUSTAVO ALMEIDA DE OLIVEIRA**

**APLICAÇÃO DE *LED'S* NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: estudo de caso na Avenida  
Deputado Renato Azeredo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica, sob orientação do Professor Me. Hugo Rodrigues Vieira.

**Varginha  
2016**

**GUSTAVO ALMEIDA DE OLIVEIRA**

**APLICAÇÃO DE *LED'S* NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: estudo de caso na Avenida  
Deputado Renato Azeredo**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS/MG, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em 07 / 12 / 2016

---

Prof. Me. Hugo Rodrigues Vieira

---

Prof. Me. Eduardo Henrique Ferroni

---

Prof. Esp. Roberto Lazarino do Prado Mudesto

OBS:

Dedico este trabalho a toda minha família, amigos e, em especial, ao meu filho, pelo amor e apoio incondicional para comigo durante todo o curso.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente aos meus Pais – senhor Antonio C. de Oliveira e senhora Rogéria P. de Almeida –, que sempre me ensinaram o valor do trabalho honesto e estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis, mesmo à distância.

À minha família e amigos, em especial, ao Sr. Alexandre Cambraia que passou a madrugada auxiliando nas medições para realização deste trabalho, pelo apoio e confiança, não só durante o curso, mas, em todos os momentos de minha vida.

Ao Sr. Ricardo Schettino, por me abrir portas na Empresa Engelminas, primeira da qual fiz parte, e que me influenciou pela escolha do curso de Engenharia Elétrica.

A todos os professores que fizeram parte desta jornada; em especial, ao meu orientador o Professor Me. Hugo Rodrigues Vieira e ao Coordenador do curso Me. Eduardo Henrique Ferroni, pelos ensinamentos acadêmicos e pelas lições de vida que obtive durante todo o curso.

Aos inúmeros colegas com quem convivi em todo o período da graduação, levo comigo as lembranças e ensinamentos.

Sou grato!

“Mesmo desacreditado e ignorado por todos,  
não posso desistir, pois para mim, vencer é  
nunca desistir”.

Albert Einstein

## RESUMO

A cada nova tecnologia apresentada no setor elétrico, o objetivo em busca de eficiência energética, qualidade, baixo custo e preservação do meio ambiente fica mais evidente e são estes motivos que incentivaram a elaboração deste trabalho, um estudo dos conceitos básicos que regem o Sistema de Iluminação Pública no Brasil, explanando as principais tecnologias aplicadas neste sistema, abordando os aspectos luminotécnicos conforme a ABNT, e elétricos conforme as características técnicas das lâmpadas que compõem o Sistema de Iluminação Pública. No mesmo é realizado um estudo de caso na Avenida Deputado Renato Azeredo, na cidade de Três Corações, no estado de Minas Gerais, com o objetivo de equalizar o custo benefício da implantação da tecnologia de luminárias *Light Emitting Diode* (LED). A tecnologia implantada obteve resultados satisfatórios em todos os aspectos analisados, sejam eles técnicos, energéticos, sociais, ambientais e financeiros.

**Palavras-Chave:** Iluminação pública. Tecnologia LED. Eficiência Energética.

## **ABSTRACT**

*With each new technology introduced in the electricity sector, the goal in search of energy efficiency, quality, low cost and preserving the environment is more evident, and are these reasons that encouraged the development of this work, a study of the basic concepts governing the Public Lighting System in Brazil, explaining the key technologies applied in this system, addressing the luminotécnicos aspects, according to ABNT, and electric, according to the characteristics techniques of lamps that make up the Public Lighting System. The same is carried out a case study on Avenida Mr Renato Azeredo, in the city of Three Hearts, in the state of Minas Gerais, in order to equalize the cost benefit of deploying the technology luminaires Light Emitting Diode (LED). The technology implemented achieved satisfactory results in all aspects analyzed, whether technical, energy, social, environmental or financial.*

**Keywords:** *Public Lighting, LED Technology, Energy Efficiency.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das lâmpadas .....	17
Figura 2 – Montagem padrão de iluminação pública .....	20
Figura 3 – Espectro de radiações visível ao olho humano .....	21
Figura 4 – IRC das lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação pública .....	21
Figura 5 – Temperatura de cor correlatada.....	22
Figura 6 – Depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas .....	23
Figura 7 – Curva de distribuição luminosa de uma luminária.....	24
Figura 8 – Malha fotométrica .....	25
Figura 9 – Variação da iluminância função da distância superfície e luminária.....	26
Figura 10 – Luminância.....	27
Figura 11 – Histórico e projeção da evolução da eficiência das lâmpadas .....	28
Figura 12 – Lâmpada incandescente .....	29
Figura 13 – Representação da composição da lâmpada de Vapor Mercúrio.....	32
Figura 14 – Rua iluminada com Lâmpadas a Vapor de Mercúrio .....	33
Figura 15 – Representação da composição da lâmpada de Vapor Sódio .....	33
Figura 16 – Avenida iluminada com Lâmpadas a Vapor de Sódio .....	34
Figura 17 – Representação da composição da lâmpada de Vapor Metálico .....	35
Figura 18 – Avenida iluminada com Lâmpadas a Multivapores Metálico.....	35
Figura 19 – Movimento dos elétrons e lacunas em uma junção PN .....	37
Figura 20 – Arranjo de elementos de uma luminária .....	37
Figura 21 – Foto de satélite da Avenida Deputado Renato Azeredo.....	41
Figura 22 – Luminarias Luxvance LED Street Light .....	42
Figura 23 – Luxímetro utilizado para realizar as medições de iluminância.....	43
Figura 24 – Grade completa da medição luminotécnica – VSAP.....	44
Figura 25 – Grade completa da medição luminotécnica – LED.....	44
Figura 26 – Fotos da Avenida Deputado Renato Azeredo com luminária VSAP.....	46
Figura 27 – Fotos da Avenida Deputado Renato Azeredo com luminária LED .....	47
Figura 28 – Foto do local de transição entre a tecnologia VSAP para a tecnologia LED.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação e definição das vias públicas para iluminação, segundo NBR 5101/2012 .....	18
Tabela 2 – Níveis de iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo para sistemas de IP, segundo NBR 5101/2012.....	18
Tabela 3 – Distribuição de lâmpadas de IP instaladas no Brasil .....	29
Tabela 4 – Característica das Lâmpadas Fluorescente .....	30
Tabela 5 – Características das Lâmpadas Halógenas .....	31
Tabela 6 – Características das Lâmpadas Mistas .....	31
Tabela 7 – Características das Lâmpadas Vapor de Mercúrio .....	32
Tabela 8 – Características das Lâmpadas Vapor de Sódio.....	34
Tabela 9 – Características das Lâmpadas Multivapores Metálico .....	35
Tabela 10 – Características das Lâmpadas LED .....	37
Tabela 11 – Quantitativo do Parque de IP de Três Corações .....	39
Tabela 12 – Resultados Luminotécnicos - NBR x VSAP x LED .....	45
Tabela 13 – Calculo Energético – VSAP x LED.....	49
Tabela 14 – Custo com energia elétrica – VSAP x LED.....	50
Tabela 15 – Custo de investimento – VSAP x LED .....	51
Tabela 16 – Custo com manutenção – VSAP x LED.....	52
Tabela 17 – Cálculo do Payback .....	52

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIS	Ativo Imobilizado em Serviço
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
ELETOBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras
GE	<i>General Electric Company</i>
IESNA	<i>Illuminating Engineering Society of North American</i>
IP	Iluminação Pública
IRC	Índice de Reprodução de Cor
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
NBR	Norma Brasileira
PROCEL RELUZ	Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente
SI	Sistema Internacional de Unidades
TCC	Temperatura de Cor Correlata
VSAP	Lâmpada vapor de sódio de alta pressão

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Iluminação Pública .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2 Conceitos Luminotécnicos .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Luz e Cores .....	20
2.2.2 Índice de Reprodução de Cores .....	21
2.2.3 Temperatura de Cor Correlatada .....	22
2.2.4 Fluxo luminoso .....	23
2.2.5 Intensidade luminosa .....	24
2.2.6 Iluminância .....	24
2.2.7 Luminância .....	26
2.2.8 Fator de Uniformidade .....	27
2.2.9 Eficiência Energética.....	27
<b>2.3 Tipos de lâmpada.....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Lâmpada Incandescente.....	29
2.3.2 Lâmpada Fluorescente.....	30
2.3.3 Lâmpada Halógenas .....	30
2.3.4 Lâmpada Mista .....	31
2.3.5 Lâmpada Vapor Mercúrio .....	31
2.3.6 Lâmpada a Vapor Sódio .....	33
2.3.7 Lâmpada Multivapores Metálico.....	34
2.3.8 Lâmpada LED.....	36
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>39</b>
<b>4 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Análise luminotécnica.....</b>	<b>43</b>
<b>4.2 Análise energética e financeira.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Impactos ambientais.....</b>	<b>50</b>
<b>4.4 Cálculo do payback .....</b>	<b>51</b>

**5 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 53**

**REFERÊNCIAS ..... 54**

## 1 INTRODUÇÃO

Apresentado como um dos temas mais importantes e trabalhados no século XXI, a eficiência energética tem como conceito básico a redução do consumo de energia para oferecer o mesmo ou melhores serviços. Este tópico está presente em todas as áreas da Engenharia Elétrica, sejam elas comerciais, residenciais, industriais, tanto para sistemas de refrigeração, aquecimento, iluminação e outros. A eficiência energética traz diversos benefícios para a sociedade, como: geração de empregos, aumento da produtividade, competitividade nas empresas, impactos positivos na economia e na macroeconomia, diminuição das emissões e impactos ao meio ambiente, aumento da consciência contra o desperdício, melhoria em processos e equipamentos, bem como diminuir a ponta do sistema para as concessionárias (PANESI, 2006).

Nesse contexto, faz-se necessário destacar a iluminação pública (IP). A mesma corresponde a, aproximadamente, 4,5% da demanda nacional e 3,0% do consumo total de energia elétrica do país – o que é equivalente a 2,2 GW e um consumo de energia elétrica de 9,7 bilhões de kWh/ano. O Brasil possui um parque de iluminação composto por aproximadamente 15 milhões de pontos luminosos (SIQUEIRA, 2010) e, por isso a importância do emprego de novas tecnologias para que se possa melhorar a eficiência do sistema de iluminação pública, otimizando o desempenho energético e minimizando o impacto ambiental associando o custo *versus* benefício.

A mais recente tecnologia para iluminação pública é as luminárias e lâmpadas à base de *Light Emitting Diode* (LED). Elas propagam mais eficiência do que as fontes luminosas tradicionais existentes nos parques de IP, além disso, trazendo algumas outras vantagens: maior vida útil, robustez, ausência de elementos químicos tóxicos, variedades de cores, maior segurança, redução e facilidades de manutenção, dentre outras. Deste modo, acredita-se que são adequadas para utilização em IP.

Devido ao alto custo de implantação, essa tecnologia ainda é tímida na IP das cidades brasileiras. Basicamente, consiste em parques e algumas avenidas de maior movimento de cidades de médio e grande porte, e início de licitações em algumas capitais no modelo de PPP (Parceria Público-Privada), apesar dos resultados luminotécnicos superiores, melhor fluxo luminoso, vida útil elevada e, conseqüentemente, menor custo de manutenção.

A qualidade e a eficiência energética são alguns dos pontos centrais de pesquisa e melhoramento de muitas concessionárias de energia elétrica, sendo que o emprego de

tecnologia LED, no que diz respeito à iluminação pública, pode vir a contribuir significativamente na melhoria desses resultados (GIANELLI *et al.*, 2009).

Diante do breve introito, o presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo geral realizar um estudo de caso no sistema de IP, na Avenida Deputado Renato Azeredo, na cidade de Três Corações/MG, onde foi realizada a substituição de parte da iluminação da avenida da tecnologia lâmpadas de vapor de sódio pela tecnologia de luminárias LED. Serão coletados dados em campo das duas tecnologias, com o auxílio de equipamentos capazes de subsidiar uma análise do sistema de IP, obtendo as informações necessárias para realizar um comparativo detalhado das duas tecnologias.

Para o êxito do objetivo geral, elencam-se os seguintes objetivos específicos: (1) estudar sobre os componentes que compõem o sistema de IP; (2) realizar uma análise comparativa entre as duas tecnologias do sistema de IP da Avenida Deputado Renato Azeredo; (3) apresentar o resultado da análise comparativa e; (4) identificar qual a melhor tecnologia para a referida avenida.

A temática de estudo se torna relevante pela demanda sustentável-econômica atual, justificando-se, então, na necessidade da explanação detalhada sobre a efficientização energética e a viabilização dos sistemas de IP com a tecnologia LED.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Iluminação Pública

Segundo a Resolução n. 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010), o sistema de IP tem como objetivo principal prover de luz, no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais ou permanentes, no caso dos túneis, por exemplo.

De acordo com Leão (2014), este serviço é essencial para a qualidade de vida da população nos centros urbanos, podendo ser elencadas como principais características: inibir a criminalidade; promover a identidade visual da cidade; valorizar o patrimônio histórico, tornando a cidade mais atrativa para o turismo; oportunizar ações esportivas, recreativas, culturais, educativas de diversas modalidades, em áreas livres, bem iluminadas e atrativas; reduzir acidentes de trânsito com pedestres e veículos e; reduzir o efeito de ofuscamento dos faróis de veículos sobre outros motoristas.

Acrescenta-se, ainda, que viver em uma cidade amigável pelo fato de poder circular com segurança e na vida noturna é outra característica de tal serviço (ELETROBRAS, 2004).

A *Illuminating Engineering Society of North American* (IESNA) destaca que a escuridão traz um aumento de risco para os usuários das ruas e rodovias, já que ela reduz a distância que eles podem enxergar. A taxa de acidentes fatais no período noturno em vias não iluminadas é aproximadamente 03 vezes a taxa do período diurno, baseado numa proporção de veículos e distâncias viajadas (LEÃO, 2014).

Algumas estatísticas de países europeus chegaram à conclusão que a iluminação pública adequada pode reduzir os índices de acidentes em até 30%. Além de perdas de vidas humanas, os custos com acidentes de trânsito também são muito elevados. Considerando dados de 2010, no Brasil houve 42.800 acidentes fatais e em 2011 ocorreram 174.000 acidentes com internações. Isto gera um custo anual de aproximadamente 9,7 bilhões de reais. Levando em conta a proporção de que 75% dos acidentes acontecem no período noturno, o investimento em melhores condições de iluminação pública pode ajudar a reduzir os custos e as perdas de vidas (LEÃO, 2014).

Em uma breve retrospectiva acerca da IP no Brasil, constata-se que esta se estabeleceu no século XVIII, de maneira precária, com luminárias de iluminação externa, com aspecto decorativo, alimentadas por óleo de baleia. Em 1794 o sistema passa a ser custeado pelos cofres públicos, motivados pela preocupação com a segurança é instalado na cidade do Rio de Janeiro. Depois de mais de um século, em 1854 a iluminação a gás chegou ao Brasil por

intermédio de Visconde de Mauá. Em 1876, D. Pedro II, estimulado com a energia elétrica, convidou Thomas Edison para introduzir suas invenções no Brasil e, em 1879, foi inaugurada a iluminação elétrica da estação Central do Brasil (FRÓES DA SILVA, 2006).

Em junho de 1883, foi inaugurado o primeiro serviço de IP municipal, e a cidade de Rio Claro/SP foi a segunda cidade a ter luz elétrica nas ruas. Em 1887, os serviços viabilizados pela energia elétrica se estendiam rapidamente, principalmente no setor têxtil. Em 1930, foi inventada a lâmpada a vapor de mercúrio, mas, somente nos anos 60 o uso passou a ser em maior escala. Em 1964 surgiu a lâmpada de vapor de sódio e em 1965 a lâmpada de vapor metálico. Em 2000, as Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS) instituiu o Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente (PROCEL RELUZ), com o apoio do Ministério de Minas e Energia, objetivando reduzir o consumo de energia elétrica nos sistemas de IP, substituindo lâmpadas incandescentes e de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio e vapor metálico. Nos dias de hoje, as luminárias à base de LED se resume em uma nova tecnologia de IP, contudo pouco utilizada devido alto custo de implantação (LOPES, 2014).

Toda essa evolução é registrada, de um modo dinâmico, na Figura 1.

Figura 1 - Evolução das lâmpadas



Fonte: (SOARES, 2014, p. 1).

No Brasil, um fator marcante para a iluminação elétrica foi a implantação da fábrica da *General Electric Company* (GE), onde os produtos que antes eram importados, passaram a ser aqui produzidos (SANTANA, 2010).

De acordo com Leão (2014), a iluminação pública no Brasil é regulamentada principalmente pela norma brasileira (NBR) 5101/2012 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que estabelece os requisitos mínimos para iluminação de vias públicas. Dentre os principais parâmetros regidos por essa norma, destacam-se as classificações das vias, o volume de tráfego de veículos e pessoas, os níveis de iluminância média mínima e o fator de uniformidade mínimo.

Na sequência, o Quadro 1 e as Tabelas 1 e 2 mostram a divisão dos tipos de vias e calçadas, suas classificações, bem como os níveis de iluminamento necessários.

Quadro 1 – Classificação e definição das vias públicas para iluminação, segundo NBR 5101/2012

Descrição da Via	Tráfego leve	Tráfego médio	Tráfego intenso
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamento em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; Autoestradas.		V2	V1
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo.		V2	V1
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado.	V4	V3	V2
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial.	V5	V4	

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p.10).

**Tabela 1 – Níveis de iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo para sistemas de IP em vias, segundo NBR 5101/2012**

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima <i>E<sub>med</sub></i> , min, lux	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
V1	30	0,40
V2	20	0,30
V3	15	0,20
V4	10	0,20
V5	5	0,20

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p.12)

**Tabela 2 – Níveis de iluminância média mínima e fator de uniformidade mínimo para sistemas de IP em calçadas, segundo NBR 5101/2012**

Classe de Iluminação	Iluminância média mínima <i>E<sub>med</sub></i> , min, lux	Fator de uniformidade mínimo $U = E_{min}/E_{med}$
P1	20	0,30
P2	10	0,25
P3	5	0,20
P4	3	0,20

Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p.12).

Em 9 de setembro de 2010, a ANEEL publicou a Resolução Normativa n. 414 que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Entre as proposições do documento, há o artigo 218 que instituiu que a distribuidora transferisse o sistema de IP, registrado como Ativo Imobilizado em Serviço (AIS), à pessoa jurídica de direito público competente. Em outras palavras, os municípios se tornaram responsáveis pelo serviço de IP (O SETOR ELETRICO, 2014).

De acordo com dados publicados pela ANEEL em 2011, cerca de 36% dos municípios ainda tinham as concessórias como proprietária dos AIS da IP e, conforme a referida

normativa, foi dado o prazo de 15 de setembro para que os municípios assumissem a responsabilidade; porém, o prazo foi prorrogado por duas vezes, com a alegação por parte dos municípios, que os mesmos não tinham condições de assumirem o parque de IP, devido aos altos custos. O último prazo previsto datou 31 de dezembro de 2014. (O SETOR ELETRICO, 2014).

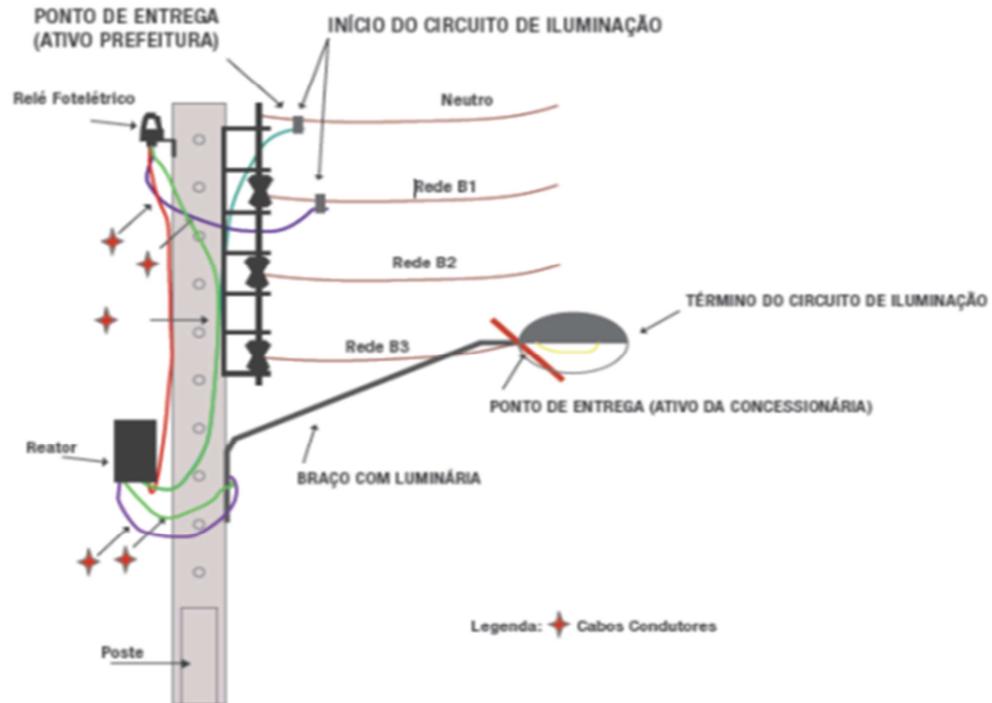
As concessionárias não têm como obrigação a instalação de equipamentos de medição nas unidades consumidoras. Existe uma estimativa para o consumo de energia elétrica, onde a potência das lâmpadas instaladas e as respectivas perdas nos reatores são somadas. Os resultados das estimativas são multiplicados pela quantidade de horas conforme resolução n. 414 que define como 11 horas e 52 minutos o número de horas a ser considerado para consumo diário. Exceto, para logradouros públicos que necessitam de iluminação durante 24 horas ou nos locais onde é instalado equipamentos de medição, seja a pedido das prefeituras ou da concessionária (ANEEL, 2010).

É responsabilidade das prefeituras o pagamento referente ao consumo da energia elétrica da IP às concessionárias. A tarifa da IP é composta pelo subgrupo B4. Sendo assim, a tarifação depende do ponto de entrega e do responsável pela gestão do ativo. A diferença tarifária entre elas gira em torno de 9% (ELETROBRAS, 2016).

Na tarifa B4a o ponto de entrega é a conexão entre os cabos da luminária e a rede da concessionária. A gestão e a manutenção do sistema são realizadas pelos municípios. Já na tarifa B4b, o ponto de entrega é o bulbo da lâmpada. A gestão e a manutenção do sistema são realizadas pelas concessionárias ou por empresas especializadas, através de contrato de concessão para prestação de serviços de iluminação pública (SANTANA, 2010).

Outro conceito importante a ser abordado é o de ponto de entrega de energia para IP, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Montagem padrão de iluminação pública



Fonte: (SOARES, 2014, s./p.).

O ponto de entrega de energia para IP é o ponto de conexão do sistema elétrico da distribuidora com as instalações elétricas da unidade consumidora, caracterizando-se como o limite de responsabilidade do fornecimento, e situa-se no limite da via pública com a propriedade em que se localizar a unidade consumidora (LOPES, 2014).

## 2.2 Conceitos Luminotécnicos

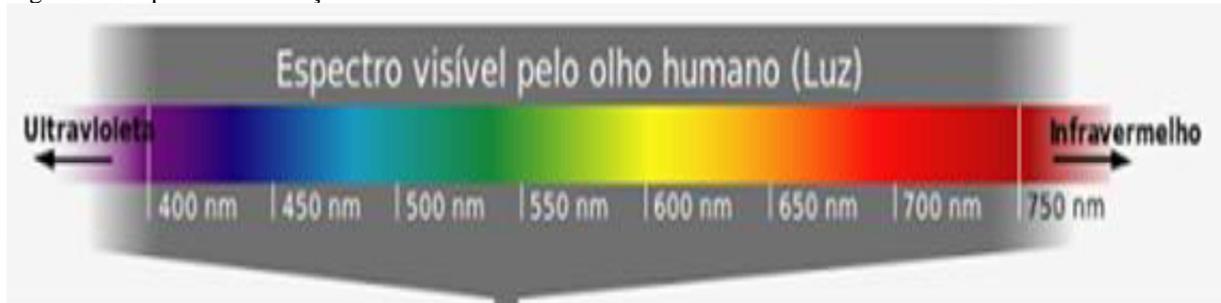
De acordo com Rosito (2010), a Luminotécnica é a ciência que busca racionalizar as aplicações que se pode fazer da luz, tanto em ambientes internos, quanto externos. O estudo da mesma é necessário na realização de projetos luminotécnicos, pois os resultados obtidos, a partir das análises, permitem a parametrização da modalidade da iluminação, dos tipos de lâmpadas e luminárias, de sua potência, quantidade, localização e distribuição.

### 2.2.1 Luz e Cores

De acordo com Soares (2014), a luz é um atributo indispensável a todas as percepções e sensações que são peculiares ao sistema visual. Como fenômeno físico, apresenta propriedades particulares e está relacionada com as ondas eletromagnéticas e seus comprimentos. As radiações que são perceptíveis ao olho humano, situam-se entre 380 e 780

nanômetros (nm), conforme a Figura 3. A visão, por sua vez, é o nome dado à capacidade de apreciação das imagens produzidas pelas radiações visíveis recebidas pelo olho humano.

Figura 3 – Espectro de radiações visível ao olho humano



Fonte: (SOARES, 2014, s./p.).

Quando se trata de iluminação pública, é necessário conhecer algumas características e funções da visão, que permitem projetar a forma adequada de dispor os equipamentos, de modo a se ter conforto para os objetos e as pessoas nos ambientes noturnos (LEÃO, 2014).

### 2.2.2 Índice de Reprodução de Cores

Índice de Reprodução de Cor (IRC) é um fator que indica o grau de fidelidade com que as cores são reproduzidas em uma determinada fonte de luz. Este parâmetro varia de 0% a 100% e, quanto mais próximo estiverem dos 100%, mais fielmente as cores estão sendo reproduzidas, conforme esboça a Figura 4. O IRC deve estar relacionado ao objetivo a que se destina – por exemplo, um IRC de 60 mostra-se inadequado para uma iluminação de interior, porém, é suficiente para iluminação de vias públicas (SALES, 2011).

Figura 4 – IRC das lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação pública



Fonte: (LUMINOTECA EMPALUX, 2015, p.1).

Para a maioria dos pontos de IP a temperatura de cor das lâmpadas de descarga não é item importante. Os logradouros públicos são iluminados, levando em consideração os custos com a manutenção, com a economia de energia elétrica alcançada com a vida útil e a eficiência energética das lâmpadas. A aparência da cor da luz destes locais, normalmente é de cor amarelada, referente às lâmpadas vapor de sódio de alta pressão com temperatura de cor compreendida na faixa de 1.900 a 2.800 K e IRC entre 20 a 25, perdendo detalhes dos ambientes e até mesmo alterando a sua aparência de cor (SALES, 2011).

### 2.2.3 Temperatura de Cor Correlatada

Temperatura de Cor Correlata (TCC) é um valor expresso em Kelvins (K), que indica a cor de uma fonte de luz. Esta temperatura varia de 1.500K (aparência laranja/avermelhada) até 9.000K (aparência azul).

A Figura 5, na sequência, exhibe uma escala de TCC.

Figura 5 – Temperatura de cor correlatada

Temperatura de cor (K)	Aparência	
<3300	Quente (branco alaranjado)	
De 3300 a 5000	Intermediária (branco)	
>5000	Fria (branco azulado)	

Fonte: (LUMINOTECA EMPALUX, 2015, p.1).

Conforme a Figura 5, as lâmpadas que possuem aparência amarelada e TCC igual ou inferior a 3.100K são denominadas lâmpadas ‘quentes’, enquanto as que possuem TCC acima de 4.000K são chamadas de lâmpadas ‘frias’. As que possuem valor entre 3.100K e 4.000K são chamadas de aparência ‘neutra’ (SALES, 2011).

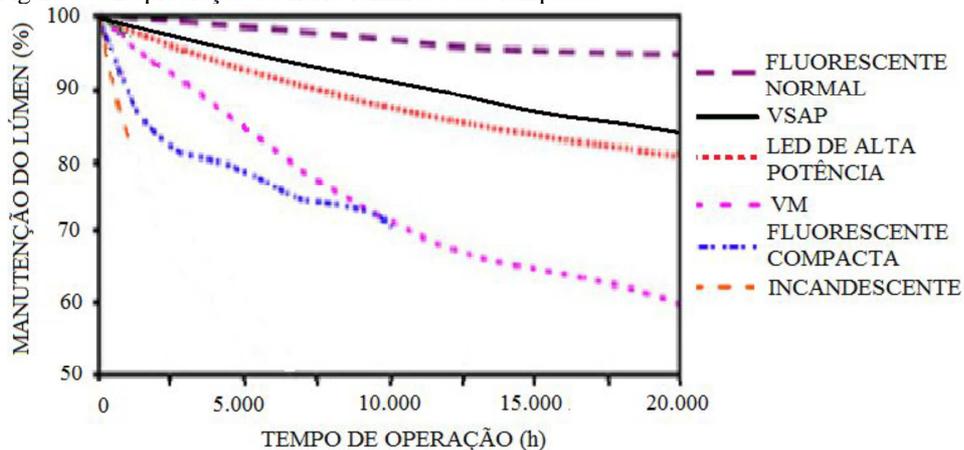
### 2.2.4 Fluxo luminoso

O fluxo luminoso, medido em lúmens (lm), é a quantidade total de luz emitida por uma fonte. Durante a utilização das fontes luminosas, ao longo da sua vida útil, as lâmpadas sofrem redução do seu fluxo, e esta depreciação é causada pela degradação de seus materiais construtivos (CITELUZ, 2014).

A Figura 6, que segue, mostra a depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas em relação ao tempo de operação, pode-se observar que as lâmpadas LED e a vapor de sódio de alta pressão, alvo de comparação deste trabalho, mantêm o fluxo luminoso acima de 80% do valor inicial após 20.000 h de utilização. Quanto menor a depreciação do fluxo luminoso da lâmpada maior será sua vida útil em horas, reduzindo a manutenção o sistema de iluminação (CITELUZ, 2014).

Existe um fator depreciativo que rege o cálculo deste fluxo luminoso efetivo, que é justamente o rendimento que irá ser apresentado após as lâmpadas serem instaladas nas luminárias, e para os estudos a seguir será considerado um fator depreciativo de 0.54, considerando os atuais parques de IP, que além de apresentarem as perdas citadas, oferecem condições ruins de operação (CITELUZ, 2014).

Figura 6 – Depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas



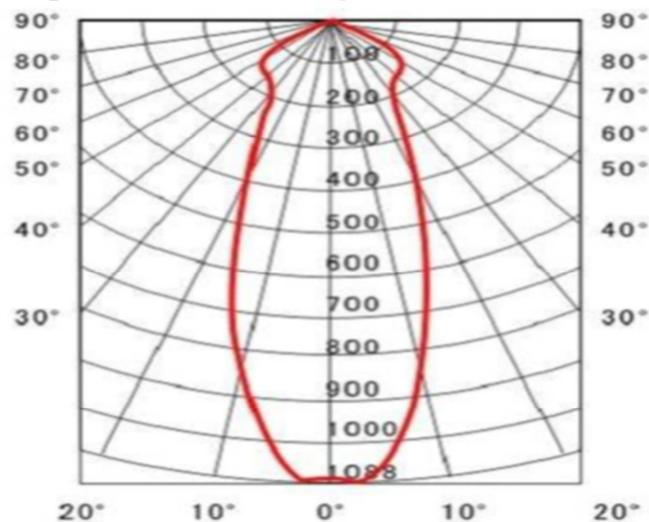
Fonte: (SALES, 2011, p.1).

Apesar das lâmpadas apresentarem seus fluxos luminosos informados nos catálogos dos fabricantes, após serem instaladas nas luminárias apresenta uma redução de fluxo, chamado de fluxo luminoso efetivo (LEÃO, 2014).

### 2.2.5 Intensidade luminosa

Segundo Leão (2014), a Intensidade luminosa é a potência da radiação luminosa em uma dada direção. É a grandeza de base do sistema internacional de unidades (SI). Sua unidade de medida é a candela (cd). A distribuição da intensidade luminosa nas diferentes regiões é dada pela curva de distribuição luminosa – que é a maneira pelo qual os fabricantes de luminárias representam a quantidade de candelas nas dadas direções, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Curva de distribuição luminosa de uma luminária



Fonte: (OSRAM, 2016, s./p.).

### 2.2.6 Iluminância

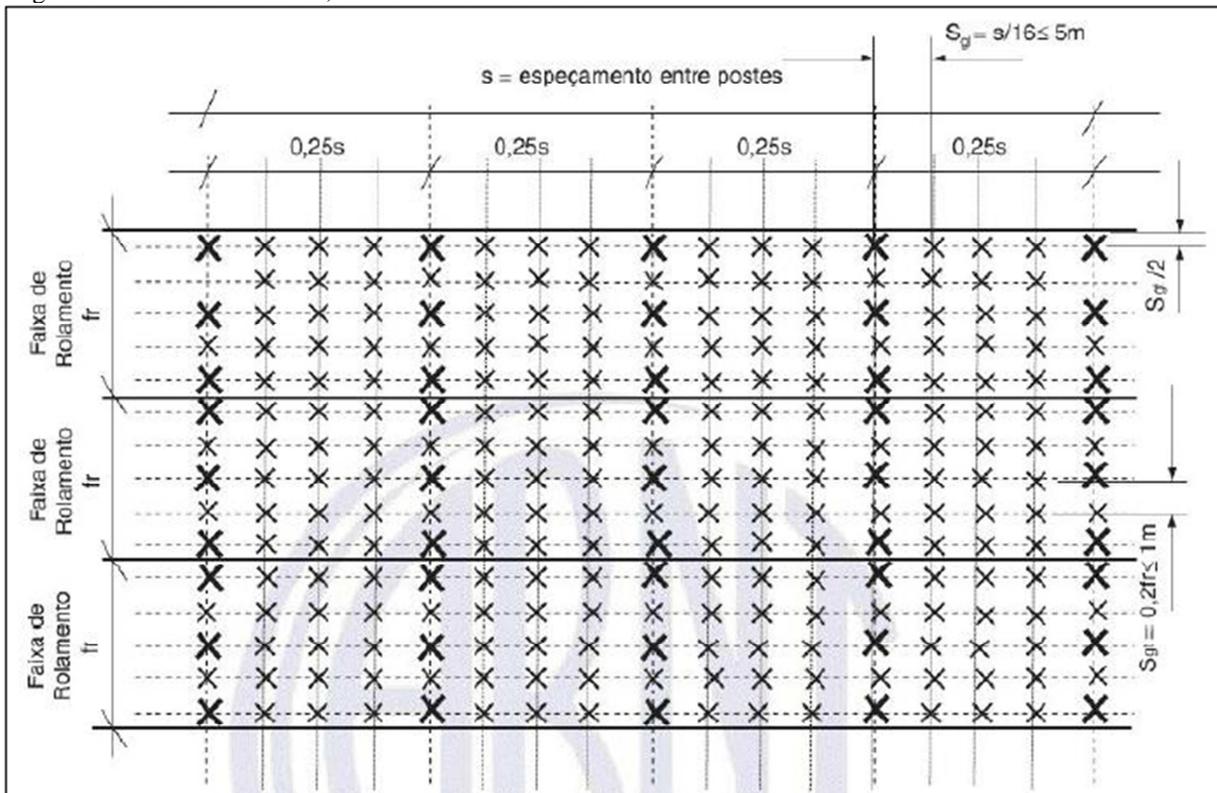
A iluminância é a densidade de fluxo luminoso recebido por uma superfície. Por definição, a unidade de medida é o lúmen por metro ao quadrado ( $\text{lm}/\text{m}^2$ ), que pode ser denominada também de lux. A verificação deste parâmetro é fundamental para comprovar a qualidade da iluminação de um determinado local (LEÃO, 2014).

As ruas avaliadas sob o critério da iluminância devem ser iluminadas com valores mínimos expressos em recomendações de normas tanto no que se refere a valores – iluminância horizontais médias pontuais na área de avaliação –, quanto à adequada uniformidade. As uniformidades com as quais se avalia a qualidade do sistema são: G1 (razão entre o valor de iluminância mínima e o máximo na área considerada) e G2 (razão entre o valor de iluminância mínima e o valor médio na área considerada) (LEÃO, 2014).

A iluminância pode ser medida através do instrumento de medida luxímetro e as medições devem ser realizadas conforme determina a NBR 5001/2012 (ABNT, 2012). A

Figura 8 exibe a malha fotométrica utilizada para realizar simulações via *software* e medições em campo.

Figura 8 – Malha fotométrica, conforme NBR 5001/2012



NOTA: X: Ponto tanto para cálculo em *software* como para medição em campo; x: ponto somente para cálculo em *software*  
 Fonte: (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p.15).

A Lei de Lambert ou Lei do Cosseno determina que a iluminância seja proporcional ao cosseno do ângulo de incidência (ângulo entre a normal da superfície e a direção da luz incidente). Com relação ao afastamento da luminária à superfície, a iluminância é inversamente proporcional ao quadrado desta distância (JESUS, 2012). Segundo a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2012) estas grandezas possibilitam o cálculo da iluminância ‘ponto a ponto’ utilizando-se a fórmula expressa a seguir:

$$E_p = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3(\alpha)}{d^2} \quad (1)$$

Sendo:

$E_p$ : Iluminância (lux) no ponto P.

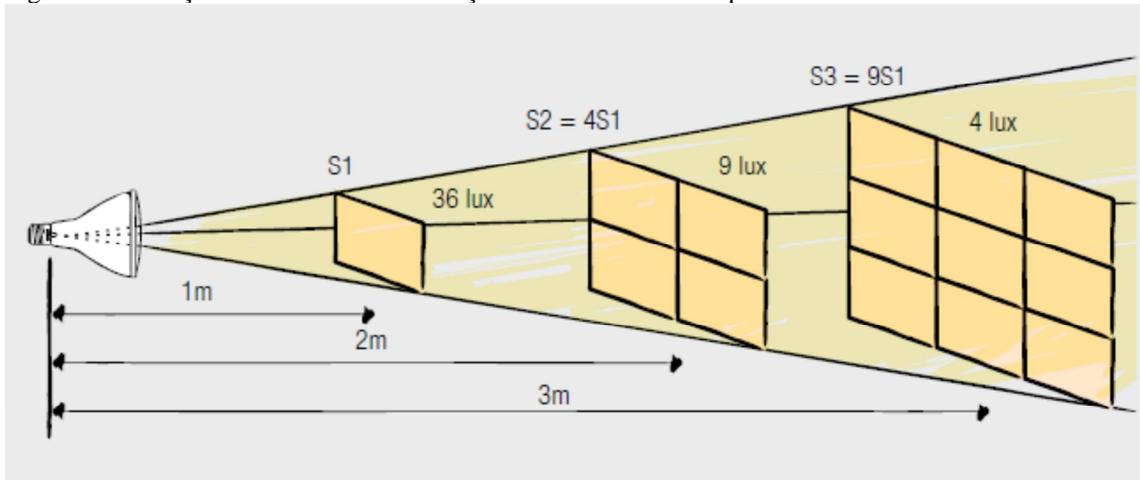
$I_\alpha$ : Intensidade luminosa (cd) de uma única luminária na direção do ponto P

$\alpha$ : Ângulo entre a normal da superfície e a direção da luz incidente no ponto P.

$d$ : Distância, em metros, do ponto de luz em relação ao ponto P da superfície.

A Figura 9 ilustra o princípio da Lei do Inverso do Quadrado da distância entre uma fonte de luz e uma superfície de trabalho.

Figura 9 – Variação da iluminância em função da distância entre superfície e luminária



Fonte: (OSRAM, 2016, p.1).

### 2.2.7 Luminância

Já a luminância é a medida da sensação de claridade perceptível ao olho humano, sendo dado pela relação entre a intensidade luminosa de 01 candela por uma área de 01 m<sup>2</sup>. É através da luminância que o ser humano se torna capaz de enxergar os objetos. O equipamento responsável pela medição deste parâmetro é o luminancímetro (LEÃO, 2014).

A luminância pode ser calculada pela equação (2) ou (3) a seguir:

$$L = q(B, \gamma) \cdot E \quad (2)$$

Sendo:

q: Coeficiente da luminância em um ponto

$\gamma$ : Ângulo de incidência

$\beta$ : Ângulo entre o plano de incidência e o de observação

L: Luminância

E: Iluminância

$$\sum_{i=1}^n L = \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h^2} \quad (3)$$

Sendo:

$r(\beta_i, \gamma_i)$ : Depende das características do pavimento da via

$I(C_i, \gamma_i)$ : Intensidade luminosa recebida em um ponto definido pelo par de ângulos ( $C_i, \gamma_i$ )

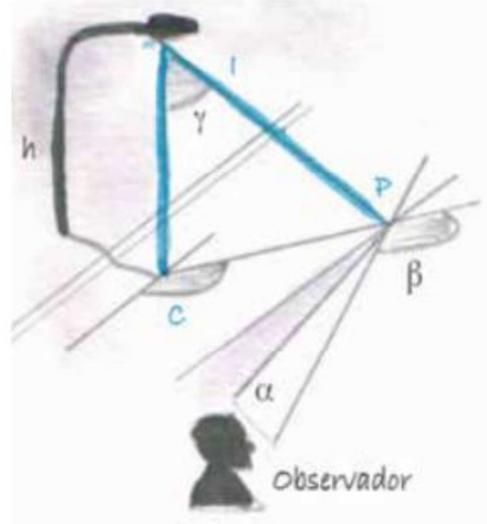
$h^2$ : Altura da luminária

n: Quantidade de fontes de luz

L: Luminância

A Figura 10 ilustra a relação entre as variáveis envolvidas nas equações (2) e (3).

Figura 10 – Luminância



Fonte: (GODOY, 2015, s./p.).

### 2.2.8 Fator de Uniformidade

O fator de uniformidade é uma relação entre a iluminância mínima e a média de uma determinada área. Resulta em um valor adimensional, variando entre zero e a unidade – que indica como está a distribuição da luminosidade na superfície aferida (COPEL, 2012).

O fator de uniformidade pode ser calculado pela equação (4) a seguir:

$$U = \frac{Emín}{Eméd} \quad (4)$$

Sendo:

U = Uniformidade;

Emín = Iluminância mínima;

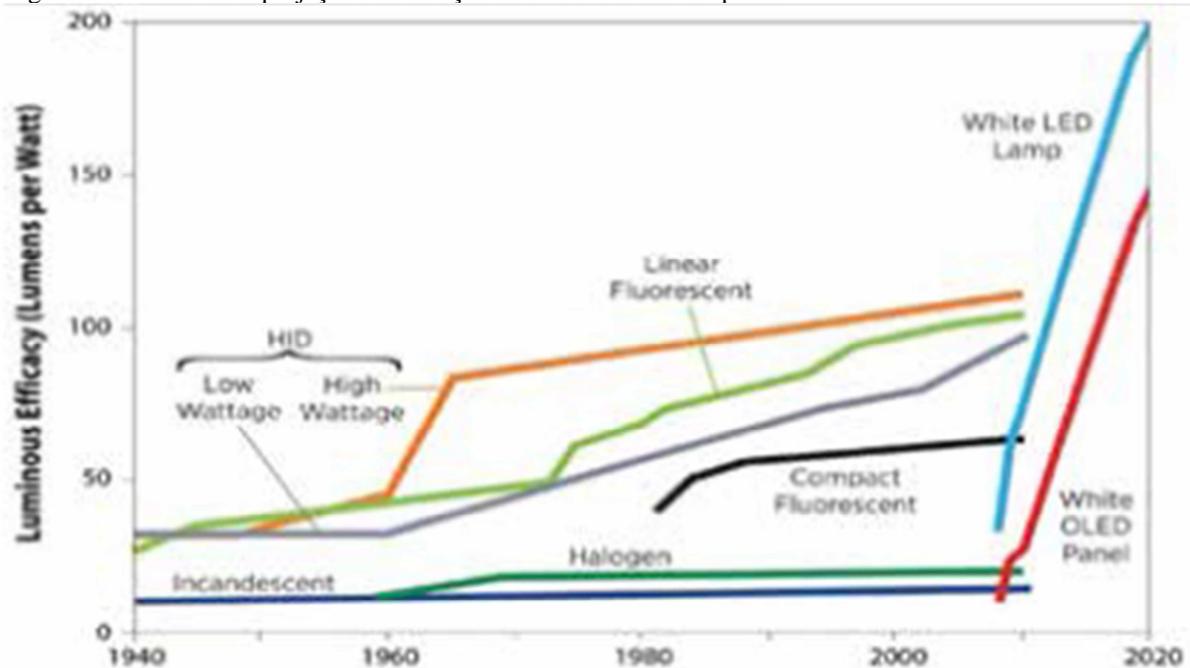
Eméd = Iluminância média.

### 2.2.9 Eficiência Energética

As lâmpadas se diferenciam entre si não só pelos diferentes fluxos luminosos que elas irradiam, mas também pelas diferentes potências que consomem. Para poder compará-las, é necessário que se saiba quantos lúmens são gerados por watt absorvido. A essa grandeza dá-se o nome de eficiência energética ou eficiência luminosa (O SETOR ELÉTRICO, 2015). Na Figura 11, por meio do gráfico, observa-se a evolução da eficiência energética das atuais

tecnologias de lâmpadas, bem como a evolução prevista para os próximos anos, em que se destaca a grande vantagem dos LEDs sobre as tecnologias concorrentes.

Figura 11 – Histórico e projeção da evolução da eficiência das lâmpadas



Fonte: (O SETOR ELÉTRICO, 2015, p. 1).

Interpretando o gráfico, pode-se perceber que o LED possui um horizonte muito mais amplo de aumento de eficiência do que as demais tecnologias para os próximos seis anos (O SETOR ELÉTRICO, 2015).

### 2.3 Tipos de lâmpada

De acordo com Borzani (2013), a lâmpada é o principal componente do sistema de IP, pois é ela quem determina as características dos demais componentes do sistema, como os reatores e luminárias. Deste modo, a escolha correta da lâmpada é determinante para os resultados econômicos e visuais do sistema.

No Brasil, cerca de 95% do parque de IP é composto por lâmpadas de descarga, sendo 63% lâmpadas vapor de sódio e 32% lâmpadas vapor de mercúrio. Estes dados são de 2009, mas, o que tem mudado desde então, é um aumento no número de lâmpadas vapor de sódio em detrimento as outras, principalmente as de vapor mercúrio (BORZANI, 2013). A Tabela 3 exibe os números sobre como tais lâmpadas de IP são instaladas no território nacional.

**Tabela 3 – Distribuição de lâmpadas de IP instaladas no Brasil**

Tipos de Lâmpada	Quantidade	Participação
Vapor de Sódio	9.294.611	62,93%
Vapor de Mercúrio	4.703.012	31,84%
Mistas	328.427	2,22%
Incandescentes	210.417	1,42%
Fluorescentes	119.535	0,81%
Multi-Vapor Metálico	108.173	0,73%
Outras	5.134	0,03%
<b>TOTAL</b>	<b>14.769.309</b>	<b>100%</b>

Fonte: (GIANELLI *et al.*, 2009).

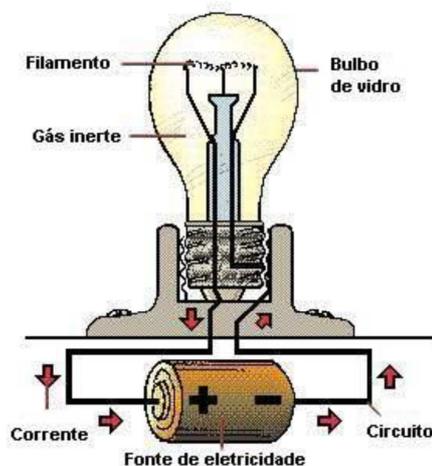
Na sequência, aborda-se sobre os principais tipos de lâmpadas usadas no sistema IP.

### 2.3.1 Lâmpada Incandescente

Na lâmpada incandescente, a produção da luz ocorre pelo aquecimento de um filamento, normalmente fabricado em tungstênio, por corrente elétrica. Para que não haja a queima precoce do filamento, o mesmo é montado dentro de um bulbo com gases inertes, como o argônio e o nitrogênio. Tal tecnologia possui um fluxo luminoso quase constante ao longo de sua vida útil, bem como uma ótima reprodução de cores e brilho. Entretanto, apresenta baixa eficiência luminosa e custo elevado de manutenção, tornando-se uma lâmpada inapropriada para a IP (BORZANI, 2013).

A Figura 12, que segue, elucida o funcionamento de uma lâmpada incandescente.

Figura 12 – Lâmpada incandescente



Fonte: (LEÃO, 2014, s/p.).

Este tipo de lâmpada era a mais comum em residências até 2013, porém sua fabricação e comercialização foram extintas devido às suas características, conforme a Portaria Governamental n.1007, que fixa limites mínimos de eficiência (LEÃO, 2014).

### 2.3.2 Lâmpada Fluorescente

As lâmpadas fluorescentes utilizam a descarga elétrica através da ionização de um gás para produzir energia luminosa. Consistem em um bulbo de vidro com extremidades eletrodos metálicos de tungstênio (passagem de corrente elétrica). Em seu interior existe vapor de mercúrio ou argônio à baixa pressão, e as paredes internas do tubo são pintadas com materiais fluorescentes, conhecidos por cristais de fósforo (*phosphor*). Após ionização dos gases é gerada luz visível (ROSITO, 2010).

Entretanto, ainda são inapropriadas para utilização em IP, pois as luminárias permitem que as lâmpadas fiquem expostas às intempéries, ocasionando perdas e elevando o custo com a manutenção preventiva e corretiva (LEÃO, 2014).

A Tabela 4 demonstra as características luminotécnicas das lâmpadas fluorescente:

**Tabela 4 – Característica das Lâmpadas Fluorescentes**

Potência (W)	105
Fluxo luminoso (lm)	6825
Eficiência luminosa (lm/W)	65
Tempo de vida útil (h)	8000
Temperatura da cor (K)	6500
Índice de reprodução de cores (%)	80

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

### 2.3.3 Lâmpada Halógenas

As lâmpadas halógenas possuem o princípio de funcionamento baseado na passagem de corrente elétrica. Esta corrente aquece o filamento e através deste aquecimento é emitida a luz capaz de ser percebida pelos olhos humanos. Quando comparada às lâmpadas incandescentes normais, as lâmpadas halógenas apresentam gases halógenos (iodo, cloro e bromo), incrementadas ao tungstênio, que proporciona vantagens adicionais a este tipo de tecnologia, tais como: maior vida útil; o filamento trabalha em temperaturas mais elevadas; maior fluxo luminoso; luz mais branca; brilhante e; uniforme (LEÃO, 2014).

A Tabela 5 demonstra as características luminotécnicas das lâmpadas halógenas:

**Tabela 5 – Características das lâmpadas halógenas**

Potência (W)	500
Fluxo luminoso (lm)	7000
Eficiência luminosa (lm/W)	14
Tempo de vida útil (h)	2000
Temperatura da cor (K)	3500
Índice de reprodução de cores (%)	100

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

#### 2.3.4 Lâmpada Mista

As lâmpadas mistas – cuja tecnologia reúne características mescladas das lâmpadas incandescentes, fluorescentes e vapor de mercúrio – são feitas de um tubo de arco de vapor de mercúrio em série com um filamento incandescente de tungstênio que, além de produzir fluxo luminoso, funciona como um elemento que tem como função estabilizar a lâmpada (BORZANI, 2013). Possuem eficiência luminosa melhor que a da incandescente podendo substituí-la e vida média igual à da incandescente. De modo geral, são utilizadas em indústrias, galpões, postos de gasolina e ambientes externos (LEÃO, 2014).

A Tabela 6 demonstra as características luminotécnicas das lâmpadas mistas:

**Tabela 6 – Características das Lâmpadas Mistas**

Potência (W)	500
Fluxo luminoso (lm)	14000
Eficiência luminosa (lm/W)	28
Tempo de vida útil (h)	6000
Temperatura da cor (K)	3400
Índice de reprodução de cores (%)	58

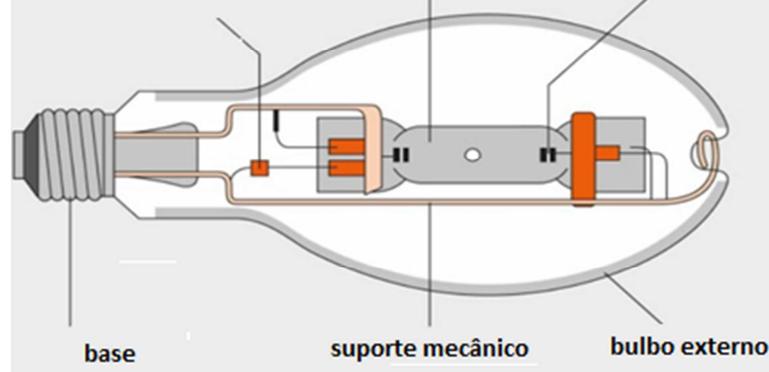
Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

#### 2.3.5 Lâmpada Vapor Mercúrio

A lâmpada a vapor de mercúrio tem sua produção de luz através da excitação de gases provocada por corrente elétrica. Em sua partida, há a ionização de um gás inerte (em geral o argônio), provocando um aquecimento no bulbo fazendo evaporar o mercúrio e produzindo uma luz amarelada pela migração de elétrons. Na sequência, há a ionização do mercúrio e as colisões entre os elétrons livres deste com o argônio produz uma luz azulada, e a composição das duas é o resultado obtido desta lâmpada (COPEL, 2012).

A Figura 13 exhibe a representação da composição deste tipo de lâmpada:

Figura 13 – Representação da composição da lâmpada de Vapor Mercúrio  
resistência em série e um circuito de eletrodo



Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

A característica da impedância desta lâmpada, após a partida, é de alta condutância, sendo necessária a utilização de reatores para limitar a corrente elétrica de alimentação. Estes equipamentos são mais eficientes que as incandescentes e possuem maior vida mediana, sendo muito empregadas em sistemas de iluminação públicas até os dias de hoje (COPEL, 2012).

A Tabela 7 demonstra as características luminotécnicas deste tipo de lâmpada.

**Tabela 7 – Características das Lâmpadas Vapor de Mercúrio**

Potência (W)	400
Fluxo luminoso (lm)	22000
Eficiência luminosa (lm/W)	55
Tempo de vida útil (h)	16000
Temperatura da cor (K)	3800
Índice de reprodução de cores (%)	46

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

Na sequência, tem-se na Figura 14, uma rua iluminada com lâmpada Vapor de Mercúrio.

Figura 14 – Rua iluminada com Lâmpadas a Vapor de Mercúrio

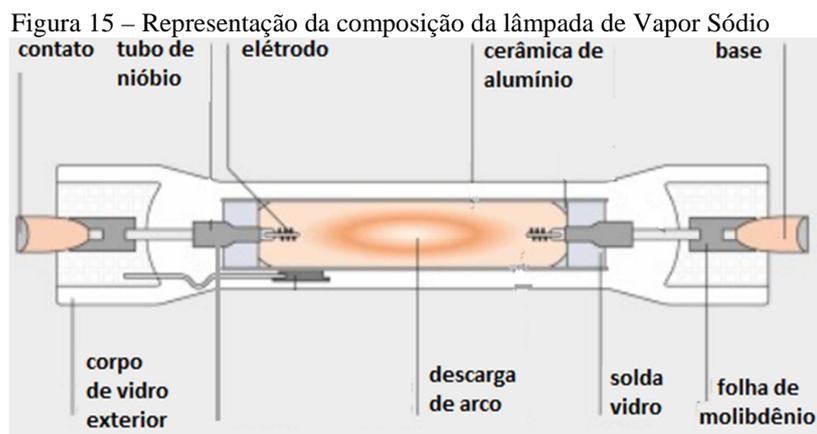


Fonte: (ARQUIVO PESSOAL DO AUTOR, 2016).

### 2.3.6 Lâmpada a Vapor Sódio

A lâmpada a Vapor Sódio tem o princípio de funcionamento similar à lâmpada Vapor Mercúrio, tendo como diferença básica a adição do sódio, que devido às suas características físicas, exige que a partida seja feita mediante a um pico de tensão da ordem de alguns quilovolts com duração da ordem de microssegundos (COPEL, 2012).

A Figura 15 exhibe a representação da composição deste tipo de lâmpada:



Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

Atualmente, é a tecnologia mais empregada no sistema de IP, graças ao Programa Reluz, onde foram feitas substituições de várias lâmpadas incandescentes e a vapor de mercúrio pelas de vapor de sódio, considerando sua maior eficiência. A grande desvantagem desta fonte luminosa é seu baixo IRC, e a cor amarelada da luz emitida.

A Tabela 8 demonstra as características luminotécnicas das lâmpadas vapor de sódio:

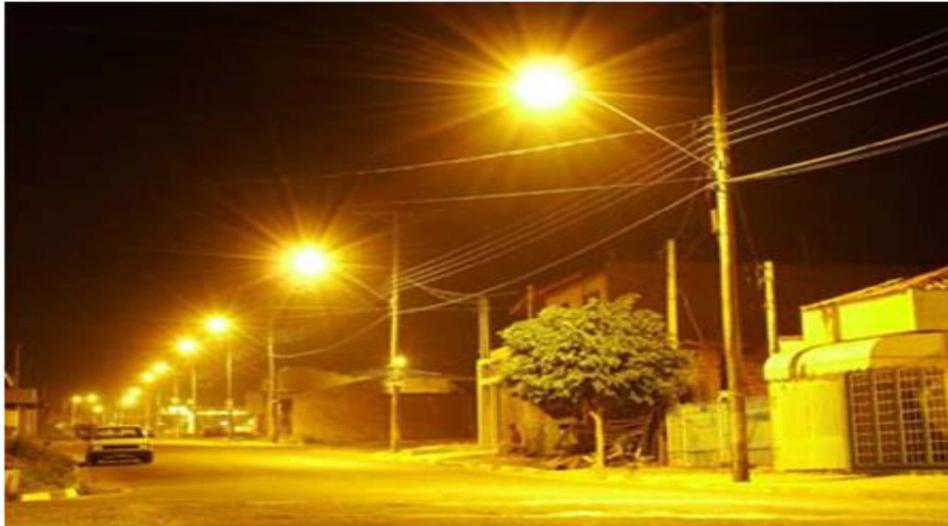
**Tabela 8 – Características das Lâmpadas Vapor de Sódio**

Potência (W)	250
Fluxo luminoso (lm)	25000
Eficiência luminosa (lm/ W)	100
Tempo de vida útil (h)	24000
Temperatura da cor (K)	2000
Índice de reprodução de cores (%)	25

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

Tem-se na Figura 16, uma avenida iluminada com lâmpada Vapor de Sódio:

Figura 16 – Avenida iluminada com Lâmpadas a Vapor de Sódio



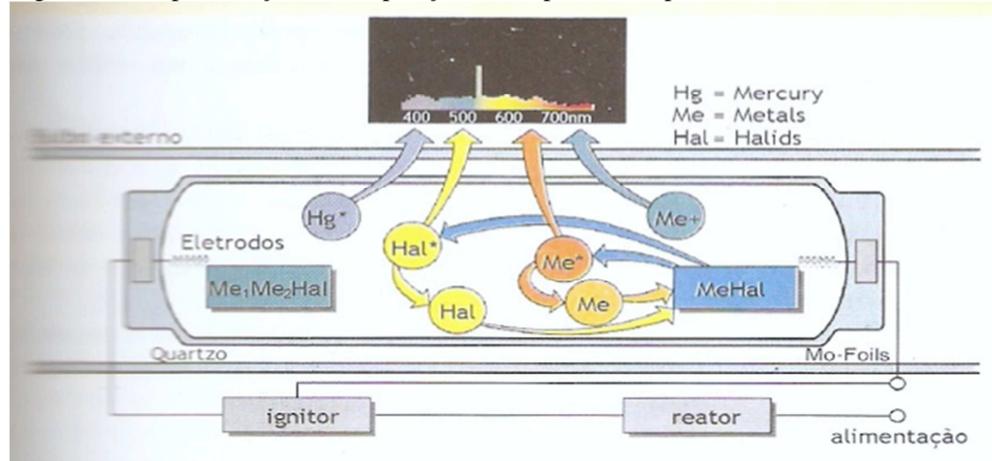
Fonte: (LEÃO, 2014, s./p.).

### 2.3.7 Lâmpada Multivapores Metálico

A lâmpada Multivapores Metálico começou a ser comercializada desde 1964, caracterizando-se como uma evolução da tecnologia da lâmpada a vapor de mercúrio, sendo fisicamente semelhante à lâmpada a vapor de sódio. O princípio é o mesmo, porém a adição de iodetos metálicos conferiu à fonte luminosa, maior eficiência luminosa e IRC. A luz produzida é extremamente brilhante, realçando e valorizando espaços. Por tais razões, a lâmpada é empregada em sistemas de IP, especificamente em locais em que se busca também o embelezamento urbano (COPEL, 2012).

A Figura 17, na sequência, exibe a representação da composição deste tipo de lâmpada:

Figura 17 – Representação da composição da lâmpada de Vapor Metálico



Fonte: (BORZANI, 2013, s./p.).

A Tabela 9 demonstra as características luminotécnicas das lâmpadas Multivapores Metálico:

**Tabela 9 – Características das Lâmpadas Multivapores Metálico**

Potência (W)	250
Fluxo luminoso (lm)	20000
Eficiência luminosa (lm/W)	80
Tempo de vida útil (h)	12000
Temperatura da cor (K)	5500
Índice de reprodução de cores (%)	92

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

Tem-se na Figura 18, uma avenida iluminada com lâmpada Multivapores Metálico:

Figura 18 – Avenida iluminada com Lâmpadas a Multivapores Metálico



Fonte: (LEÃO, 2014, s./p.).

### 2.3.8 Lâmpada LED

É crescente a evolução da tecnologia das luminárias para IP utilizando como fonte luminosa o LED. Diferente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que emitem luz através da queima de um filamento ou pela ionização de alguns gases específicos, o LED produz sua luminosidade através da liberação de *fótons* provocada quando uma corrente elétrica flui através deste componente (COPEL, 2012).

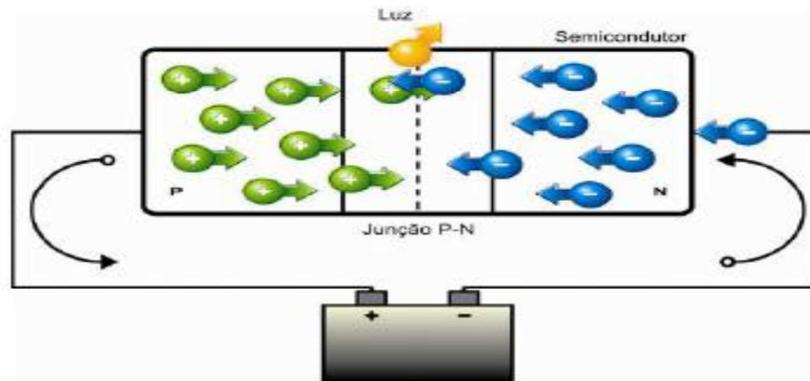
O primeiro diodo dissipador de luz foi apresentado em 1962 pelo americano Nick Holonyak, mas os estudos só começaram em 1907, com o inglês Henry Joseph Round, mediante a descoberta de que materiais inorgânicos podiam emitir luz, quando submetidos a uma corrente elétrica. Assim, desde sua apresentação, os LEDs vêm sofrendo uma enorme evolução tecnológica, com o desenvolvimento de novos materiais e com diferentes cores, cada vez com melhores resultados em ganhos de eficiência luminosa (COPEL, 2012).

Por se tratarem de fontes luminosas com fecho de luz bem direcionado, livres de metais pesados, com alta vida mediana, cerca de 50.000 horas, alta eficiência – cerca de 80lm/W, resistentes a vibrações, elevado IRC, e com flexibilidade na escolha da temperatura de cor, há a expectativa de que os equipamentos empregando estes componentes sejam no futuro a alternativa mais viável para sistemas de iluminação (COPEL, 2012).

No entanto, atualmente o custo elevado é um dos empecilhos para o uso desta tecnologia e este é o principal foco deste trabalho, demonstrar a viabilidade da utilização desta tecnologia (LEÃO, 2014).

Caracterizado como um diodo, o LED é formado pela junção de semicondutores, tanto do tipo N quanto do tipo P. O material do tipo P é dopado com impurezas aceitadoras (átomos trivalentes), apresentando uma predominância de lacunas (buracos), enquanto que o material do tipo N é dopado com impurezas doadoras (átomos pentavalentes), apresentando predominância de elétrons. Quando polarizado diretamente por uma fonte de energia, dentro da estrutura ocorrem recombinações entre elétrons e lacunas. Essa recombinação exige que a energia possuída por esse elétron, que até então era livre, seja liberada, o que ocorre na forma de fótons de luz (LEÃO, 2014). A Figura 19 ilustra o processo.

Figura 19 – Movimento dos elétrons e lacunas em uma junção PN

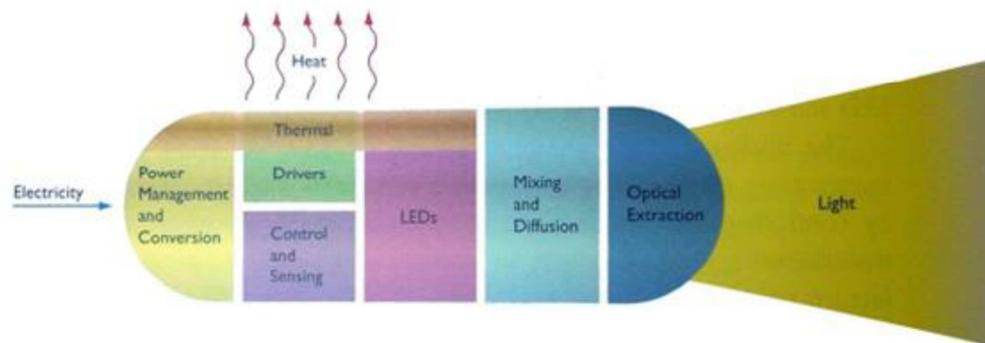


Fonte: (PINTO, 2008, s./p.).

A potência luminosa gerada por um único LED não é suficiente para o seu uso na iluminação, necessitando serem agrupados, o que faz necessário o uso de uma luminária. Quando bem projetada, possuem os seguintes elementos: LEDs, *drivers*, circuito de controle e sensores, sistema de dissipação de calor e lentes e outras estruturas óticas para misturar, difundir e emitir a luz (LEÃO, 2014).

A Figura 20, na sequência, exibe o arranjo de elementos de uma luminária.

Figura 20 – Arranjo de elementos de uma luminária



Fonte: (PINTO, 2008, s./p.).

A Tabela 10 demonstra as características luminotécnicas das lâmpadas LED:

**Tabela 10 – Características das Lâmpadas LED**

Potência (W)	120
Fluxo luminoso (lm)	141000
Eficiência luminosa (lm/W)	117,5
Tempo de vida útil (h)	50000
Temperatura da cor (K)	40000
Índice de reprodução de cores (%)	>70

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

Apesar de ser uma tecnologia ainda recente, os LEDs se apresentam como soluções bastante atraentes para o mercado atual. Antigamente, era restrito a certas aplicações. Hoje vem se difundindo bastante no mercado da iluminação, estando caminhando na direção correta para substituir, completamente, as lâmpadas de descarga (SIQUEIRA, 2010)

De acordo com Leão (2014), é possível listar uma série de vantagens da iluminação a LED, tais como: (1) as luminárias são direcionais, aplicando a luz somente onde é necessário; (2) possuem vida útil significativamente maior que as outras tecnologias, reduzindo custos de trocas e manutenção; (3) continuam funcionando, mesmo após diminuírem seu fluxo luminoso; (4) apesar de esquentar, seu fecho de luz não é quente; (5) podem ser instaladas em área de baixas temperaturas e têm resistência a impacto e vibrações; (6) são mais facilmente controlados digitalmente, para conseguir eficiência e flexibilidade; (7) são instantâneas – ou seja, não precisam de um tempo para reacendimento; (8) são livres de mercúrio e menos nocivas ao meio ambiente; (9) o desempenho está em constante melhora e seus custos têm-se reduzido a cada ano na faixa de 20%; (10) agrega mais segurança, já que opera em baixa tensão, propiciando maior proteção ao usuário, tanto na instalação quanto na utilização; (11) tem versatilidade, pois as pequenas dimensões do LED possibilitam que seja instalado em locais que a iluminação convencional não consegue; (12) tem variedade de cores, pois o LED consegue produzir quase todo o espectro de cores, sem perdas com filtros e, ainda, consegue emitir mais de 64 milhões de cores; (13) tem redução de custos nas manutenções, devido a não apresentarem componentes auxiliares (reatores, ignitores, capacitores) e; (14) tem menores perdas nos equipamentos auxiliares.

### 3 METODOLOGIA

Após a Resolução Normativa nº 414, da ANEEL em 2010, as prefeituras assumiram o parque de IP e um dos principais desafios da nova gestão, é sem dúvida, a efficientização do sistema, diminuindo custos e aumentando a qualidade da iluminação.

Atualmente a cidade de Três Corações conta com 9.103 pontos de IP, sendo predominantes as lâmpadas de vapor de sódio – conforme a Tabela 11. Em 2014 a prefeitura do município assumiu a responsabilidade pela gestão do parque de IP realizando processo licitatório obedecendo à lei nº 8.666 de 1993. No processo licitatório foi abrangida a manutenção do parque de IP e a execução de projetos de expansão e efficientização do sistema de IP do município.

**Tabela 11 – Quantitativo do Parque de IP de Três Corações**

<b>Tipo de Lâmpadas</b>	<b>Qtde</b>	<b>%</b>	<b>Tipo de Lâmpadas</b>	<b>Qtde</b>	<b>%</b>
<b>Vapor Mercúrio</b>	<b>544</b>	<b>5,98%</b>	<b>Vapor Sódio</b>	<b>8541</b>	<b>93,83%</b>
80W	8	0,09%	70W	1783	19,59%
125W	529	5,81%	100W	4773	52,43%
250W	6	0,07%	150W	584	6,42%
400W	1	0,01%	250W	1159	12,73%
<b>Vapor Metálico</b>	<b>18</b>	<b>0,20%</b>	400W	242	2,66%
400W	18	0,20%	<b>Total Geral</b>	<b>9103</b>	<b>100%</b>

Fonte: (PREFEITURA DE TRÊS CORAÇÕES, 2015, p.1).

A prefeitura de Três Corações, contando com um superávit de sua CIP (Contribuição para Iluminação Pública), optou por iniciar a efficientização do seu sistema de IP pelas principais praças da cidade e pelo principal acesso ao município, a Avenida Deputado Renato Azeredo, que além de ser o principal acesso, interliga vários bairros e é muito usada para praticas de atividades físicas como caminhada, corrida e ciclismo. Após a escolha dos locais, foi elaborado projeto para substituição da tecnologia de lâmpadas vapor de sódio e vapor de mercúrio para luminária LED, ressaltando que na Avenida Deputado Renato Azeredo o projeto foi dividido em duas etapas, sendo que a primeira compreende a substituição de 51 luminárias com lâmpadas VSAP por LED e a segunda outras 297 luminárias ainda sem previsão de execução. De acordo com o engenheiro eletricista Caio Siqueira Pereira, responsável pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Secretaria de Planejamento, a escolha por iniciar este processo de efficientização da iluminação pelas praças e pela Avenida Deputado Renato Azeredo, teve como principal motivação o bem estar da população, proporcionado o lazer com mais segurança e conforto para os frequentadores destes locais.

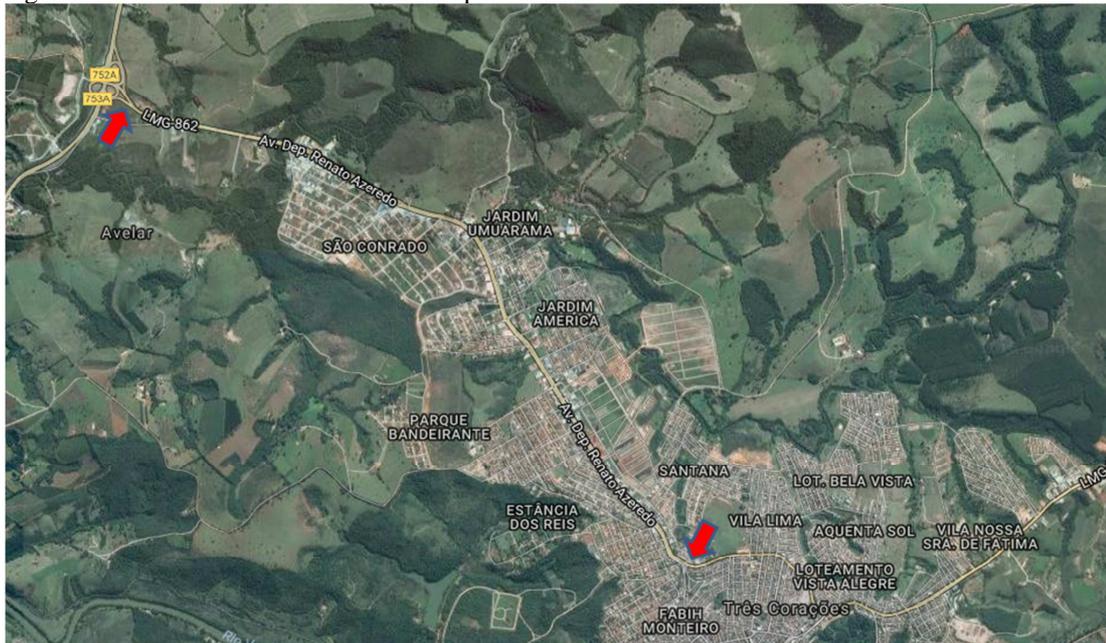
Para comprovar os conceitos elucidados neste trabalho, foi realizado um estudo de caso de forma a aplicar os conhecimentos adquiridos. O local escolhido foi a Avenida Deputado Renato Azeredo, cidade de Três Corações, estado de Minas Gerais.

O estudo de caso é “uma maneira de se fazer pesquisa empírica, investigando fenômenos contemporâneos dentro de contexto da vida real de seu pesquisador” (YIN, 2001, p.23). Representa uma estratégia ideal quando se pretende pesquisar ‘como’ e ‘porquê’. Tem como propósito, a análise exaustiva e pode envolver exame de registros, observação de ocorrência de fatos, o pesquisador produz relatórios que apresentam um estilo mais informal, narrativo, ou com exemplos e descrições fornecidos pelos sujeitos, podendo ainda utilizar fotos, desenhos, quadros, colagens ou qualquer outro tipo de material que o auxilie na transmissão do caso (GIL, 2008).

## 4 ESTUDO DE CASO

O presente estudo de caso consiste em realizar análise da iluminação pública da Avenida Deputado Renato Azeredo composta pelas tecnologias de lâmpadas vapor de sódio e lâmpadas LED. Na Figura 21 tem-se um panorama da dimensão dos 6 quilômetros da Avenida Deputado Renato Azeredo.

Figura 21 – Foto de satélite da Avenida Deputado Renato Azeredo



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2016, s/p).

A luminária de LED escolhida para instalação foi do fabricante OSRAM do modelo Luxvance LED Street Light 120 W, na Figura 22 temos a ilustração do equipamento e suas características técnicas conforme o fabricante.

Figura 22 – Luminarias Luxvance LED Street Light



	LUXVANCE® 120W
Equivalência (W)	1x SON 250W
Potência (W)	120W
Tensão (V)	110-277V
Fluxo Luminoso (lm)	14.100 lm
Ângulo de Abertura (°)	WB: 84° x 143° / NB: 73° x 152°
Vida Mediana (h)	50.000h
Índice de Reprodução de Cor	> 70
Fator de Potência	0,92
Temperatura de Cor (K)	4.000 K - NEUTRA 
Dimerizável	Não
Descrição	LUXVANCE 120W 740 WB 110-277V
Código do Produto	7010329
EAN 40	4052899111936
Unidade por caixa	1

Fonte: (OSRAM, 2016, p. 1).

Este estudo de caso compreende em uma análise comparativa das duas tecnologias existente hoje na Avenida Deputado Renato Azeredo, onde serão avaliados os aspectos como: análise luminotécnica; análise energética e financeira; impactos ambientais; cálculo do payback.

#### 4.1 Análise luminotécnica

Antes de iniciar o estudo luminotécnico na Avenida Deputado Renato Azeredo, é importante conhecer como a mesma está classificada em relação à norma NBR 5001/2012. Por apresentar volume médio de tráfego de veículos e grande fluxo de pedestres, a Avenida Deputado Renato Azeredo está classificada como V2 e P2, tendo como requisitos normativos mínimos, iluminância média de 20 lux e uniformidade de 30% na pista de rolamento e iluminância média de 10 lux e uniformidade de 25% na calçada.

No dia 03 de Setembro de 2016, realizaram-se medições de iluminância em dois pontos distintos da avenida, um equipado com luminárias com lâmpadas VSAP de 250 W e o outro equipado com luminária LED de 120 W. A realização das medições foi no período em que a lua estava em sua fase minguante, devido a menor incidência de iluminação natural neste período pode-se obter resultados mais fidedignos nas medições.

Foi realizadas 50 medições em cada ponto da Avenida Deputado Renato Azeredo, sendo 45 medições na via de rolamento e 05 medições na calçada, conforme determina malha fotométrica contida na NBR 5001/2012. Para realização das medições foi utilizado um luxímetro do fabricante Yu Fong, que possui uma variação de precisão igual a + ou - 3%, conforme ilustrado na Figura 23. Também foi utilizada uma planilha de Excel, uma trena de 50 metros e uma câmera digital para auxiliar na realização das medições.

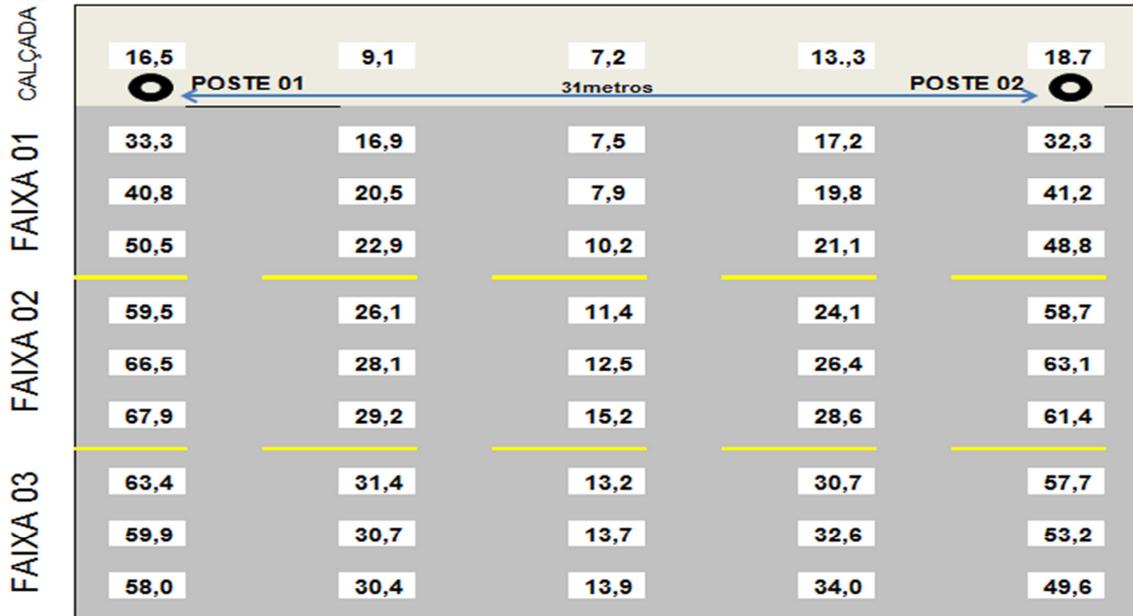
Figura 23 – Luxímetro utilizado para realizar as medições de iluminância.



Fonte: (O autor).

Na Figura 24 é apresentada a grade completa da medição luminotécnica do sistema de iluminação da Avenida Deputado Renato Azeredo ainda equipada com luminárias com lâmpadas VSAP de 250 W.

Figura 24 – Grade completa da medição luminotécnica - VSAP



Fonte: (O autor).

Já na Figura 25 é apresentada a grade completa da medição luminotécnica do sistema de iluminação já equipada com luminárias LED de 120 W.

Figura 25 – Grade completa da medição luminotécnica - LED



Fonte: (O autor).

A medição luminotécnica na IP da Avenida Deputado Renato Azeredo equipada com luminárias com a tecnologia VSAP de 250 W, apresentou resultados insatisfatórios conforme rege a norma NBR 5001/2012, pois apesar da iluminância média da pista de rolamento diagnosticada in loco ser de 34,27 lux, acima do mínimo exigido de 20 lux, a uniformidade mínima foi de 22%, ou seja, abaixo de 30% conforme exigido pela norma. Os resultados na calçada desta tecnologia estiveram dentro dos padrões desejáveis, uma iluminância média 10,93 lux e uma uniformidade de 66%.

Já a mediação luminotécnica com a tecnologia LED de 120 W apresentou resultado satisfatório em todos os aspectos diagnosticados, com uma iluminância média 29,72 lux e uma uniformidade de 34% na pista de rolamento e uma iluminância média 12,55 lux e uma uniformidade de 55% na calçada. Todos estes valores estão acima do mínimo estipulado pela norma NBR 5001/2012.

A Tabela 12 representa os resultados luminotécnicos na IP das duas tecnologias, luminárias com lâmpadas VSAP e a luminária LED, e os valores regulamentados pela norma NBR 5001/2012, para efeito de comparação.

**Tabela 12 – Resultados Luminotécnicos - NBR x VSAP x LED**

<b>Local de medição</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>Iluminância Média (lux)</b>	<b>Uniformidade</b>
Pista de rolamento	NBR 5001/2012	20	30%
	VSAP	34,27	22%
	LED	29,72	34%
Calçada	NBR 5001/2012	10	25%
	VSAP	10,93	66%
	LED	12,55	55%

Fonte: (O autor).

A Figura 26 retrata fotos do trecho da iluminação na Avenida Deputado Renato Azeredo equipadas com luminária com lâmpada VSAP.

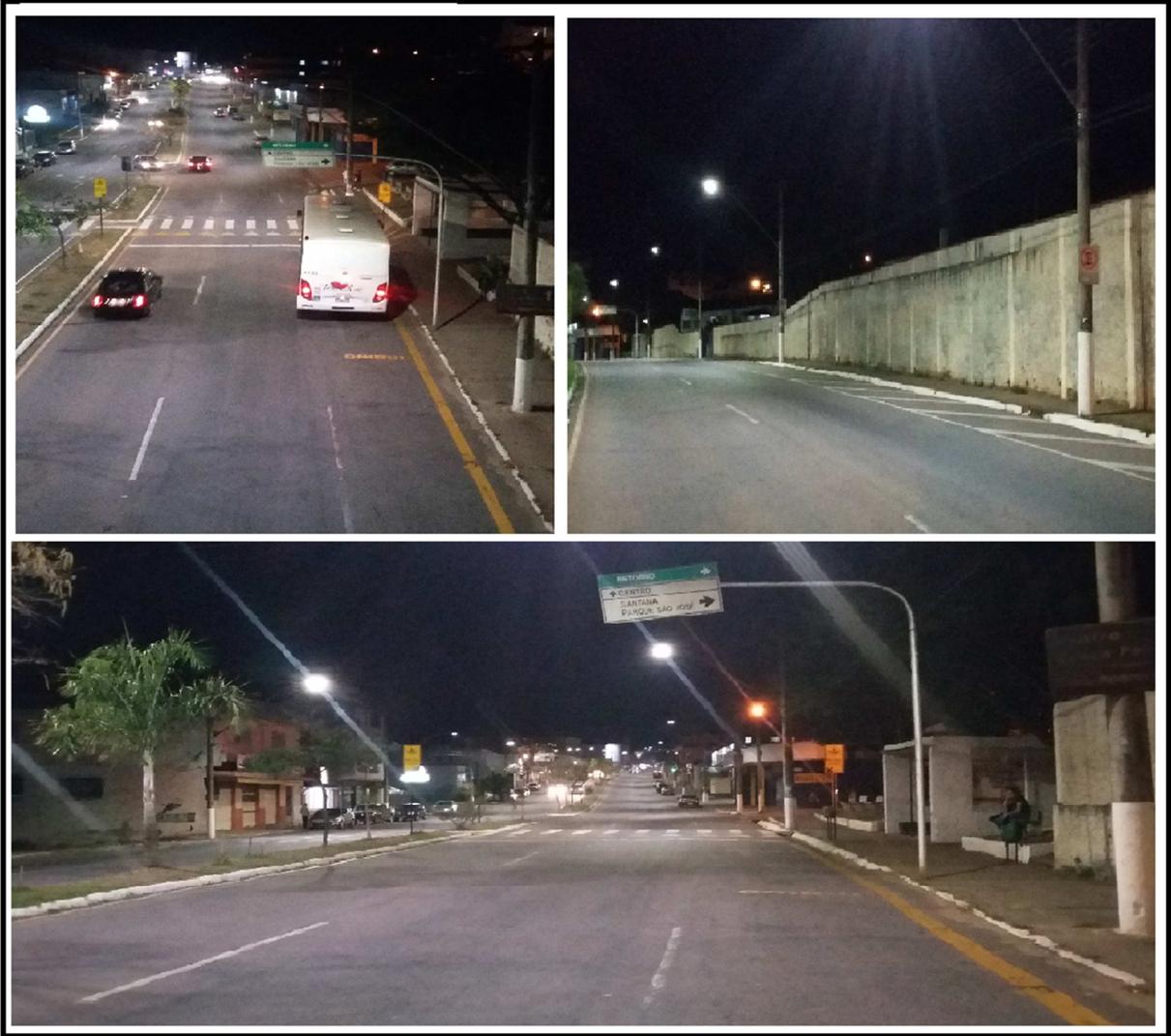
Figura 26 – Fotos da Avenida Deputado Renato Azeredo com luminária VSAP



Fonte: (O autor).

A Figura 27 retrata fotos do trecho da iluminação na Avenida Deputado Renato Azeredo equipadas com luminária LED.

Figura 27 – Fotos da Avenida Deputado Renato Azeredo com luminária LED



Fonte: (O autor).

A Figura 28 retrata o local onde temos a transição da tecnologia VSAP para a tecnologia LED, é possível perceber visualmente as diferenças entre as duas tecnologias aplicadas na iluminação da iluminação na Avenida Deputado Renato Azeredo. Observa-se que na tecnologia com luminária LED obtém um excelente índice de reprodução de cores, causando um conforto visual para motoristas e pedestres que transitam pela avenida.

Figura 28 – Foto do local de transição entre a tecnologia VSAP para a tecnologia LED



Fonte: (O autor).

Após analisado todos os dados e fotos apresentadas anteriormente, conclui-se que a Avenida Deputado Renato Azeredo com a instalação das luminárias LED, passa a ter uma iluminação mais adequada às necessidades da população. Isso pode ser comprovado pelos resultados luminotécnicos acima do exigido pela norma. O índice de reprodução de cores acima de 70%, ou seja, 50% a mais do que o sistema de iluminação com luminárias equipas com lâmpadas VSAP, trás aos habitantes que por ali transitam maior satisfação, conforto e segurança, pois está sendo reproduzido com mais fidelidade e qualidade os objetos presentes na via e nas calçadas.

## 4.2 Análise energética e financeira

Como já citado nos itens anteriores, o sistema de IP da Avenida Deputado Renato Azeredo possuía antes do projeto de efficientização 348 luminárias com a tecnologia de lâmpadas vapor de sódio 250 W, após efficientização completa do sistema, passará a contar com 348 luminárias com a tecnologia LED. Para efeito de exatidão dos cálculos, foi consideradas perdas nas luminárias com lâmpadas VSAP que giram em torno de 25 W por luminária, perdas essas que não existem nas luminárias LED.

Para realização dos cálculos, foi considerado um consumo de energia elétrica de 360 horas mensais, conforme a Resolução 414 (2010) da Aneel, totalizando 4320 horas por ano. Já para o cálculo financeiro do consumo energético, a tarifa considerada foi a B4b, no valor de R\$ 0,30585/kWh, ressaltando que este valor é para a bandeira tarifária verde, a vigente no período do estudo de caso.

O consumo energético anual do sistema com luminárias VSAP é de 413.424 kWh, enquanto o sistema com luminárias LED será de 180.403 kWh, o que significa uma redução de 233.021 kWh por ano, muito significativa conforme expressa a Tabela 13.

**Tabela 13 – Calculo Energético – VSAP x LED**

<b>Luminária com a tecnologia Vapor de Sódio (VSAP)</b>					
<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Perdas (W)</b>	<b>Potência Total (kW)</b>	<b>Funcionamento anual (horas)</b>	<b>Consumo energético (kWh)</b>
348	250	25	95,7	4.320	413.424
<b>Luminária com a tecnologia LED</b>					
<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Perdas (W)</b>	<b>Potência Total (kW)</b>	<b>Funcionamento anual (horas)</b>	<b>Consumo energético (kWh)</b>
348	120	-	41,76	4.320	180.403

Fonte: (O autor).

A Tabela 14 apresenta os resultados financeiros em relação ao consumo energético comparando as duas tecnologias. O sistema equipado com as luminárias VSAP apresenta um custo anual de R\$ 126.446,73 (cento e vinte e seis mil e quatrocentos e quarenta e quatro reais e setenta e três centavos) contra R\$55.176,32 (cinquenta e cinco mil e cento e setenta e seis reais e trinta e dois centavos), a diferença com o custo de energia elétrica entre as duas tecnologias resulta em uma economia de 56%. Em 10 anos é possível economizar o valor de R\$ 712.694,12 (setecentos e doze mil reais e seiscentos e noventa e quatro reais e doze centavos).

**Tabela 14 – Custo com energia elétrica – VSAP x LED**

<b>Luminária tecnologia Vapor de Sódio (VSAP)</b>		
<b>Consumo energético anual (kWh)</b>	<b>Tarifa B4b (R\$)</b>	<b>Custo com energia elétrica anual (R\$)</b>
413.424	0,30585	126.446,73
<b>Luminária tecnologia LED</b>		
<b>Consumo energético anual (kWh)</b>	<b>Tarifa B4b (R\$)</b>	<b>Custo com energia elétrica anual (R\$)</b>
180.403	0,30585	55.176,32

Fonte: (O autor).

### 4.3 Impactos ambientais

A preocupação com o meio ambiente é mais evidente a cada dia e o uso racional dos recursos é um importante passo para preservação do mesmo. Nesse cenário, a substituição de lâmpada VSAP por LED podem contribuir para a diminuição da poluição ao meio ambiente, pois a lâmpada LED não possui materiais danosos ao meio ambiente, ao contrário da lâmpada VSAP. Sendo assim, o LED quando descartado contamina menos o meio ambiente no seu processo de descarte, pois é constituído de poucas matérias, sendo que sua maioria é alumínio, que pode ser reprocessado com mais facilidade que outros materiais.

Dentre as vantagens ambientais obtidas com a tecnologia LED se destacam a inexistência de produtos químicos, não emissão de radiação ultravioleta e infravermelha e maior vida útil da lâmpada de LED.

A lâmpada LED não possui produtos químicos perigosos e cumprem integralmente as diretrizes de Restrição de Substâncias Perigosas (RoHS), o que limita o uso de chumbo, mercúrio e outros materiais perigosos em eletrônicos. Ao contrário da lâmpada VSAP, que tem o elemento químico mercúrio como matéria prima. Este elemento é altamente prejudicial e se descartado de maneira irresponsável no meio ambiente, expõem os seres humanos a sérios danos de saúde. Por isso o descarte deve ser feito com empresas especializadas para que o descarte, armazenamento e destinação ocorram de maneira adequada.

Outra vantagem do LED sobre a lâmpada VSAP é em relação a radiação, tanto as radiações do espectro visível como as radiações na faixa de onda correspondente ao ultravioleta e o infravermelho. Além de prejudicial aos seres humanos, por causa de diversas doenças, podem danificar componentes que compõem a luminária.

Como a lâmpada LED possui maior vida útil, conseqüentemente é descartada em menor quantidade no maio ambiente. Outro fator relevante em relação ao descarte do LED é a condição do mesmo não possuir elementos químicos prejudiciais em sua composição, podendo assim ser reutilizado para fabricação de outros materiais.

#### 4.4 Cálculo do *payback*

*Payback* é uma técnica muito utilizada para calcular o prazo de recuperação de capital investido, também é conhecido como retorno de investimento. Para este estudo foi considerado os valores contidos no contrato da prefeitura de Três Corações com a empresa responsável pela gestão do parque de IP do município, estes valores para instalação já contemplam os custos de projeto, material e mão de obra.

Na Tabela 15 temos os custos de investimento para instalação das duas tecnologias, VSAP e LED. Observa-se que o investimento com a tecnologia LED é aproximadamente 3 vezes superior a tecnologia VSAP.

**Tabela 15 – Custo de investimento – VSAP x LED**

<b>Luminária tecnologia Vapor de Sódio (VSAP)</b>		
<b>Valor por unidade (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
692,87	348	241.118,76
<b>Luminária tecnologia LED</b>		
<b>Valor por unidade (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
2069,81	348	720.293,88

Fonte: (O autor).

Segundo a Secretaria de Planejamento de Três Corações, estima-se uma economia de 90% com a manutenção dos pontos de IP equipados com a tecnologia LED. O modelo do contrato de manutenção do município é nos moldes de gestão completa, ou seja, o município paga um valor fixo por cada ponto de IP do parque e a empresa detentora do contrato realiza as manutenções, independente da quantidade de pontos que apresentarem falhas. A Tabela 16 demonstra os custos de manutenção, percebe-se uma economia de R\$ 21.422,88 (vinte e um mil e quatrocentos e vinte e dois reais e oitenta e oito centavos) anualmente.

**Tabela 16 – Custo com manutenção – VSAP x LED**

<b>Luminária tecnologia Vapor de Sódio (VSAP)</b>			
<b>Valor por unidade (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor mensal (R\$)</b>	<b>Valor anual (R\$)</b>
5,70	348	1.983,60	23.803,20
<b>Luminária tecnologia LED</b>			
<b>Valor por unidade (R\$)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor mensal (R\$)</b>	<b>Valor total (R\$)</b>
0,57	348	198,36	2.380,32

Fonte: (O autor).

Com posse dos dados acima e com os cálculos financeiros do tópico 4.2 é possível realizar o cálculo do payback. A Tabela 17 comprova que para recuperar todo o investimento feito para substituição das luminárias com lâmpadas VSAP para luminárias LED levaria em torno de 7 anos e 9 meses. Se levarmos em consideração que a vida útil do sistema de IP com luminárias LED é em torno de 10 anos, fica claro que o tempo de retorno financeiro do investimento é satisfatório.

**Tabela 17 – Cálculo do Payback**

<b>Investimento luminária LED (R\$)</b>	<b>Economia anual</b>			<b>Payback (anos)</b>
	<b>Energia Elétrica (R\$)</b>	<b>Manutenção (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>	
720.293,88	71.269,41	21.422,88	92.692,29	7,77

Fonte: (O autor).

Deve-se levar em consideração que o sistema de IP da Avenida Deputado Renato Azeredo equipado com lâmpadas vapor de sódio não atende todos os requisitos técnicos da norma NBR 5001/2012 e as luminárias tem quase 10 anos de uso. Com o passar do tempo às luminárias apresentam perda funcional do refrator, ou seja, tem o fluxo luminoso das lâmpadas prejudicado, sendo assim, mesmo que o município não investisse na tecnologia LED, seria obrigado a substituir as luminárias atuais por luminárias novas com lâmpadas vapor de sódio, porém não teria os ganhos financeiro, energético, ambiental, luminotécnico e principalmente em conforto e bem estar para a população.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados apresentados neste estudo de caso ficou evidente às vantagens da implantação da tecnologia LED no sistema de iluminação pública. O mesmo apresentou ganhos em todos os aspectos, sejam eles técnicos, energéticos, sociais, ambientais ou financeiros, provando ser uma tendência para efficientização do sistema de iluminação pública.

Com a eminente crise no setor elétrico, ações de efficientização para extrair um melhor rendimento e ainda obtendo economia energética, pode ser o diferencial para minimizar a crise. A aposta em novas tecnologias no setor de iluminação pública vem acarretando altos investimentos neste setor, cidades de grande porte como as capitais dos estados de São Paulo e Minas Gerais, São Paulo e Belo Horizonte respectivamente, estão em processo de estudos para viabilizar licitações no modelo de PPP (Parceria Público-Privada), para substituição de todo o parque de IP para a tecnologia LED, estima-se que a economia energética obtida com a instalação de LED na cidade de São Paulo, pode-se suprir toda a demanda energética para uma cidade do porte de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina.

É perceptível aos usuários o conforto visual obtido com a tecnologia LED, melhorando consequentemente a qualidade de vida, pois além do conforto, temos uma diminuição da criminalidade e o aumento da auto-estima dos habitantes da cidade. Isso é possível pelos altos índices de reprodução de cores da tecnologia LED.

Temos de destacar também o âmbito ambiental, aplicando LED no sistema de IP obtém-se uma diminuição significativa do elemento químico mercúrio no meio ambiente oriundo do descarte de lâmpadas, sem falar na economia com os custos com descarte, já que o mesmo deve ser especializado.

O uso de luminárias LED já começa a ser uma realidade para cidades de grande porte e com poder aquisitivo maior. Este cenário vem para contribuir para a redução de preço da tecnologia, pois está incentivando fabricantes a implantarem unidades no Brasil, diminuindo substancialmente os custos com fabricação deste equipamento. A redução de custos do investimento de implantação é o incentivo que falta para cidades de pequeno e médio porte iniciarem de vez a efficientização do sistema de iluminação pública.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5101: Iluminação pública – procedimento**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução n. 414/2010**. Condições gerais de fornecimento de energia elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília: ANEEL, 2010.

BORZANI, Joana. **Tipos de lâmpadas**, 2013. Disponível em <<http://joanamariaborzani.blogspot.com.br/2013/05/tipos-de-lampadas-paisagismo.html>>. Acesso em: 28 abr. 2016.

CITELUZ. Composição dos parques de iluminação pública. **Publicações Citeluz Serviços de Iluminação Urbana S/A**, maio de 2014.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **ND 3.4. Projetos de iluminação pública**. Belo Horizonte, nov. 2012.

COPEL, Distribuição. **Manual de iluminação pública**. Paraná, fev. 2012.

ELETROBRAS. **Guia técnico PROCEL RELUZ: iluminação pública eficiente**. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2004.

ELETROBRAS, **Iluminação pública**. 2016. Disponível: <<http://www.eletrobras.com/elb/main.asp?TeamID=%7BEB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57%7D>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

FRÓES DA SILVA, Lourenço Lustosa. **Iluminação pública no Brasil: aspectos energéticos e institucionais**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2006.

GIANELLI, B. F.; SILVEIRA, M. C. F.; THAUMATURGO, L. R. Y.; ASTORGA, O. A. M. **O emprego de tecnologia LED na iluminação pública: seus impactos na qualidade de energia e no meio ambiente**. [s.l.]: LAGTEE, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GODOY, Plínio. Qualidade na iluminação urbana. **O Setor Elétrico**, São Paulo, v. 111, abr. 2015.

GOOGLE MAPS, Mapa de Três Corações, 2016. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Tr%C3%AAAs+Cora%C3%A7%C3%B5es+++MG/@-21.6723247,-45.2732271,14z/data=!4m2!3m1!1s0x94cadc81fe05661f:0xe845426239a95408>> Acesso em: 25 set. 2016.

JESUS, Marcelo de Oliveira. Curvas fotométricas. **O Setor elétrico**, São Paulo, v. 73, fev. 2012.

LEÃO, Marcus V. Silva. **Eficientização do sistema de iluminação pública**: estudo de caso da Avenida Luiz Viana Filho, Monografia (Graduação) - Faculdade de Ciência e Tecnologia, Salvador, 2014.

LOPES, Leonardo Barbosa. **Uma avaliação da tecnologia LED na iluminação pública**, Monografia (Graduação) - Faculdade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LUMINOTÉCNICA EMPALUX. **Institucional**. 2015. Disponível em: <<http://www.empalux.com.br/?a1=1>>. Acesso em: 19 out. 2015.

O SEOTR ELETRICO. **Ampliação e remodelação da iluminação pública**, 2014. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-empresa/1638-ampliacao-e-remodelacao-da-iluminacao-publica.html>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

O SEOTR ELETRICO. **Iluminação pública**: de quem é a responsabilidade? 2015. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/1252-iluminacao-publica-de-quem-e-a-responsabilidade.html>>. Acesso em: 12 mai. 2016.

OSRAM. **Manual luminotécnico prático**, 2016. Disponível em: <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/Livros/ManualOsram.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2016.

PANESI, A. R. Q. **Fundamentos de eficiência energética**. São Paulo: Ensino Profissional, 2006.

PINTO, R. A. Projeto e implementação de lâmpadas para iluminação de interiores empregando diodos emissores de luz (LEDs). Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

PROCEL RELUZ. **Guia técnico**: iluminação pública eficiente. Rio de Janeiro: ELETROBRAS, 2004.

ROSITO, Luciano. **Medições luminotécnicas e avaliações de sistemas de iluminação pública**. São Paulo: CEIP, 2010.

SALES, R. P. **LED, o novo paradigma da iluminação pública**. Curitiba: IEP/LACTEC, 2011.

SANTANA, R. M. B. **Iluminação pública**: uma abordagem gerencial. Salvador: Editora da UNIFACS, 2010.

SIQUEIRA, Marcel X. Eletrobrás: PROCEL RELUZ – Alternativas para financiamento de projetos com o uso de LEDs. **Exposição e conferência internacional sobre LED**, São Paulo, 2010.

SOARES, Eduardo. Osram. **Apresentação Citéluz Serviços de Iluminação Urbana S/A**, ago. 2014.

TRÊS CORAÇÕES. **A cidade**, 2015. Disponível em: <<http://www.trescoracoes.mg.gov.br/>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e método. Porto Alegre: Bookman, 2001.