

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS  
CURSO BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA  
ÁDANY ALEXANDRE FERREIRA GRIPP**

**AUTOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INSTALAÇÃO DE POSTES AUTÔNOMOS  
EM LOCAIS OFF-GRID E O BENEFÍCIO ECONÔMICO DO RETROFIT DA  
ILUMINAÇÃO PÚBLICA OBSOLETA POR LED**

**Varginha, MG**

**2019**

**ÁDANY ALEXANDRE FERREIRA GRIPP**

**AUTOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INSTALAÇÃO DE POSTES AUTÔNOMOS  
EM LOCAIS OFF-GRID E O BENEFÍCIO ECONÔMICO DO RETROFIT DA  
ILUMINAÇÃO PÚBLICA OBSOLETA POR LED**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica do  
Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS como pré-  
requisito para obtenção do grau de bacharel, sob  
orientação do Professor Helciner Vitor Ferreira

**Varginha, MG**

**2019**

**ÁDANY ALEXANDRE FERREIRA GRIPP**

**AUTOEFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA INSTALAÇÃO DE POSTES AUTÔNOMOS  
EM LOCAIS OFF-GRID O BENEFÍCIO ECONÔMICO DO RETROFIT DA  
ILUMINAÇÃO PÚBLICA OBSOLETA POR LED**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovada em: 01 / 02 / 2019

---

Me. Eduardo Henrique Ferroni

---

Prof. Adilene Tirelli

---

Prof. Rafael Kerner

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, aos meus pais Anaques e Sandra que sempre incentivaram e fizeram tudo para que pudesse concluir meus estudos, ao meu irmão Átila que sempre me ajudou e esteve ao meu lado em todos os momentos e a minha namorada Janaina pelo companheirismo e dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por mais essa vitória. Aos meus pais Anaques e Sandra que se empenharam ao máximo para que pudesse concluir meus estudos. Ao meu irmão Átila pelo apoio incondicional. A minha namorada Janaina pelas palavras de incentivo, por todo amor e compreensão. Aos professores, Helciner Vitor Ferreira, Adilene Soares Tirelli, Rafael Kerner que de imediato aceitou trabalhar nesse projeto, pelos ensinamentos e paciência, meu muito obrigado. A Prefeitura Municipal de Seritinga pelos dados reunidos, esses indispensáveis para realização do trabalho. A amigos e parceiros de estudo nesta caminhada e também extensão de minha família nesses anos de graduação. Ao Centro Universitário do Sul de Minas- UNIS, por toda estrutura prestada ao longo do curso. Agradeço a todos que de uma forma ou de outra ajudaram e contribuíram para a conclusão desta etapa de minha vida.

“Em todo o espaço há energia... é só uma questão de tempo até que os homens tenham êxito em associar seus mecanismos ao aproveitamento desta energia.”

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade.”

Nikola Tesla

## RESUMO

Este trabalho apresentará uma abordagem financeira da iluminação pública do município de Seritinga, e ao término mostrará a rentabilidade de um *retrofit* na iluminação e busca alternativas para local onde a rede está mais afastada. Para isso realizou um levantamento de campo minucioso, recolhimento de dados e documentos para consulta, junto a Prefeitura Municipal. Ao final reuniu-se um banco de dados para a consulta das partes envolvidas, (Concessionária e Prefeitura), esclareceu as dúvidas referentes à viabilidade da instalação de postes autônomos e sugeriu uma alternativa para o sistema de Iluminação Pública a substituição das lâmpadas de Vapor de Mercúrio ou Sódio de Alta Pressão por LED, agregando qualidade na iluminação e diminuição da fatura de energia neste tipo carga.

**Palavras-chaves:** Iluminação Pública. Fotovoltaica. LED.

## **ABSTRACT**

*This paper presents a financial approach to public lighting in the city of Seritinga, presenting the profitability of a retrofit in lighting and search alternatives to the place where the network is further away. For this, it carried out a detailed field survey, gathering data and documents for consult together with the City Hall. At the end, a database was consulted for the consultation of the parties involved, (Concessionaire and City Hall), clarifying the doubts regarding the feasibility of the installation of autonomous poles and suggesting an alternative for the Public Lighting system to replace the Steam lamps of Mercury or Sodium High Pressure for the LED, adding quality in lighting and decrease of energy bill in this type of charge.*

**Keywords:** *Lighting. Street. Lights.*



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Iluminância.....	17
Figura 02 – Temperatura de Cor.....	19
Figura 03 – Equipamentos que compõem a iluminação pública.....	20
Figura 04 – Estrutura de luminária LED.....	22
Figura 05 – LED.....	23
Figura 06 – Método fluxo luminoso.....	25
Figura 07 – Método intensidade luminosa.....	27
Figura 08 – Configuração básica para projetos especiais de IP.....	28
Figura 09 – Orientação das luminárias em curvas.....	29
Figura 10 – Orientação das luminárias em pistas inclinadas.....	29
Figura 11 – Posteação no lado externo da curva e interno da curva.....	30
Figura 12 – Variação da iluminância para pistas convergentes aos trevos.....	30
Figura 13 – Bandeiras Tarifárias.....	38
Figura 14 – Bandeiras Tarifárias Atuais.....	40
Figura 15 – Mapa Global da Irradiação Solar.....	41
Figura 16 – Perfil de irradiância solar ao longo do dia.....	44
Figura 17 – Estrutura e Materiais - Placa Fotovoltaica.....	45
Figura 18 – Trevo de Seritinga.....	51
Figura 19 – Trevo de Seritinga diurno.....	51
Figura 20 – Luminária LED para Iluminação Pública.....	54
Figura 21 – Comparativo da luminária LED X Vapor de sódio.....	55
Figura 22 – Orientação solar de Seritinga, MG - Brasil.....	59
Figura 23 – Irradiação solar no plano inclinado de Seritinga, MG - Brasil.....	59
Figura 24 – Poste Autônomo.....	60
Figura 25 – Trevo de Seritinga noturno.....	62
Figura 26 – Luxímetro Digital Hikari HLX-881.....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índice de Proteção para Iluminação Pública.....	33
Tabela 02 – Níveis de Iluminância e Fatores de Uniformidade para Vias Públicas .....	33
Tabela 03 – Requisitos de luminância e uniformidade.....	34
Tabela 04 – Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação.....	34
Tabela 05 – Dados levantados do sistema de Iluminação Pública de Seritinga .....	52
Tabela 06 – Consumo anual com valor da concessionária CEMIG .....	53
Tabela 07 – Impostos e Taxas .....	54
Tabela 08 – Luminária Philips LED, modelo Chip .....	55
Tabela 09 – Dados das Lâmpadas em comparativo técnico .....	56
Tabela 10 – Ponto de vista econômico vapor de sódio x LED .....	57
Tabela 11 – Resumo cálculos .....	60

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Iluminância.....	17
Equação 2 – Fluxo luminoso.....	26
Equação 3 – Número de luminárias.....	26
Equação 4 – Nível de iluminância.....	27
Equação 5 – Fator de correção da altura.....	28
Equação 6 – ICMS.....	39
Equação 7 – Valor a ser cobrado do consumidor.....	39
Equação 8 – Energia da onda.....	42
Equação 9 – Velocidade da luz no vácuo.....	42
Equação 10 – Capacidade.....	47
Equação 11 – Potência mínima do gerador.....	47
Equação 12 – Energia produzida pelo módulo diariamente.....	48
Equação 13 – Potência do módulo.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais S.A.

cd/m<sup>2</sup> - Candelas por metro quadrado

CIE - International Commission on Illumination

°C - Graus Celsius

America INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

IP - Iluminação Pública

IRC - Índice de reprodução de cores

K – Kelvin

kHz - Quilo Hertz

kWh - Quilo Watts Horas

LED - *Light emitting diode* (Diodo Emissor de Luz)

lm/m<sup>2</sup> - Lúmens por metro quadrado

mm - milímetros

NBR - Norma Brasileira

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PROCEL RELUZ - Programa Nacional de Iluminação Pública e Sinalização Semafórica

Eficientes RCB - Relação custo benefício

TCC - Temperatura de cor correlata

VSAP - Vapor de sódio de alta pressão

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 FUNDAMENTOS FÍSICOS DA LUZ.....</b>	<b>16</b>
2.1 Fatores luminosos .....	16
2.2 Fatores visuais.....	17
<b>3 ILUMINAÇÃO PÚBLICA.....</b>	<b>20</b>
3.1 Equipamentos do sistema de iluminação pública.....	20
3.2 Tecnologia LED.....	22
3.2.1 Estrutura dos LEDs.....	23
3.2.1.1 Materiais utilizados: .....	23
3.2.2 Funcionamento dos LEDs .....	24
<b>4 LUMINOTÉCNICA.....</b>	<b>25</b>
4.1 Norma .....	25
4.1.1 Método do fluxo luminoso .....	26
4.1.2 Método da intensidade luminosa .....	27
4.1.2.1 Cálculo fotométrico para iluminação pública.....	27
4.2 Norma .....	28
4.3 Projetos de iluminação de vias rurais .....	29
4.3.1 Curvas, aclives e declives .....	29
4.3.2 Iluminação específica de trevos e acessos .....	30
4.3.2.1 Iluminação de trevos em vias rurais .....	31
4.3.2.2 Iluminação de intercessões em vias trânsito rápido ou arterial .....	31
<b>5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA....</b>	<b>32</b>
5.1 Projeto de iluminação pública .....	32
5.1.1 Classificação das vias e nível de tráfego .....	32
5.2 Legislação .....	34
5.2.1 Gestão energética municipal.....	35
5.2.1.1 Processo licitatório .....	36
5.2.2 Medição .....	36
5.3 Bandeiras tarifárias.....	37

5.3.1 Valor das contas de Energia da iluminação pública.....	39
<b>5.4 Lei de iluminação pública .....</b>	<b>40</b>
<b>6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 Radiação solar .....</b>	<b>41</b>
6.1.1 O Sol como fonte de energia .....	42
6.1.2 Processos de medição da radiação solar .....	42
<b>6.2 Distribuição da radiação solar .....</b>	<b>43</b>
6.2.1 Radiação direta e difusa.....	43
6.2.2 Posição do sol e reflexão na terra .....	43
6.2.3 Ângulos de relação sol e terra .....	43
6.2.4 Placa fotovoltaica .....	44
6.2.4.1 Estrutura de uma placa fotovoltaica .....	45
<b>6.3 Sistemas conectados à rede de distribuição.....</b>	<b>46</b>
<b>6.4 Sistemas fotovoltaico autônomos .....</b>	<b>46</b>
6.4.1 Equações para o dimensionamento das baterias.....	46
6.4.2 Cálculo para o dimensionamento do painel solar .....	47
6.4.3 Método da corrente máxima do módulo .....	48
6.4.3.1 O cálculo da energia produzida pelo módulo .....	48
6.4.4 Aplicações dos sistemas fotovoltaico autônomos .....	48
6.4.4.1 Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo .....	49
<b>7 EMBASAMENTO SOBRE A CIDADE.....</b>	<b>50</b>
<b>7.1 Interesse na iluminação pública .....</b>	<b>50</b>
<b>7.2 Trevos e intercessões .....</b>	<b>50</b>
<b>8 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>52</b>
<b>8.1 Dados obtidos da iluminação pública .....</b>	<b>52</b>
8.1.1 Avaliação do sistema atual .....	53
8.1.2 Luminária proposta para <i>retrofit</i> .....	54
8.1.3 Comparativo entre iluminação de vapor de sódio e de LED.....	55
8.1.3.1 <i>Retrofit</i> na substituição das luminárias.....	56
8.1.4 Órgãos públicos .....	57
8.1.4.1 Documentação de rede com iluminação pública .....	57

<b>8.2 Estudo de caso do trevo.....</b>	<b>58</b>
8.2.1 Dimensionamento azimutal .....	58
8.2.2 Dimensionamento dos equipamentos do poste solar .....	61
8.2.2.1 Bateria estacionária .....	61
8.2.2.2 Módulo fotovoltaico .....	61
8.2.2.3 Controlador de carga MPPT .....	61
8.2.3 Medições da iluminância .....	61
8.2.4 Valor do sistema <i>off-grid</i> ao longo de 20 anos.....	63
<b>9 CONCLUSÃO.....</b>	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Temos acompanhado no decorrer das últimas duas décadas a evolução nos sistemas de iluminação pública com o emprego da eletrônica nos processos de ignição acionamento e promoção da eficiência energética, ressaltamos nesse contexto, o emprego da tecnologia LED, que, respeitando os aspectos técnicos pertinentes vem se estabelecendo progressivamente pelos últimos dez anos, podendo ser utilizada tanto interna quanto externamente de forma a reduzir a insatisfação social em torno da tributação sobre o serviço e sua atual eficiência.

São perceptíveis os benefícios trazidos pela ampliação do serviço de iluminação pública em Seritinga, Minas Gerais, tanto em um maior aproveitamento do período noturno dos espaços públicos com a melhoria no tráfego de pedestres e veículos pelas vias, praças e acessos, quanto no aspecto econômico pelas melhorias no turismo, lazer e atividades comerciais, o que nos leva a várias questões de caráter prático e técnico.

O objetivo principal deste trabalho é realizar um estudo averiguando a viabilidade do emprego da Iluminação Pública a LED em toda a cidade, oferecendo uma opção de menor impacto econômico e maior eficiência dos serviços oferecidos, realizando também uma comparação de custos entre a energia da rede elétrica distribuída e a energia solar fotovoltaica, apontando as vantagens e desvantagens da utilização e funcionamento dos dois tipos.

A possibilidade de captação de energia solar aconteceria com a simulação da instalação de postes com painéis fotovoltaicos *off-grid* nas luminárias de fora da cidade, e assim contribuir com as partes envolvidas, diminuindo dúvidas da efetividade e da eficácia dos serviços públicos de iluminação, para consulta da Administração Municipal e Concessionária, com os dados levantados, mostrar comparações financeiras e compatibilizada com a norma vigente. Produzir fontes para discussão da medição atual, avaliar uma alternativa eficiente para redução da demanda atual e diminuindo agentes poluentes para melhorar o meio ambiente.



## 2 FUNDAMENTOS FÍSICOS DA LUZ

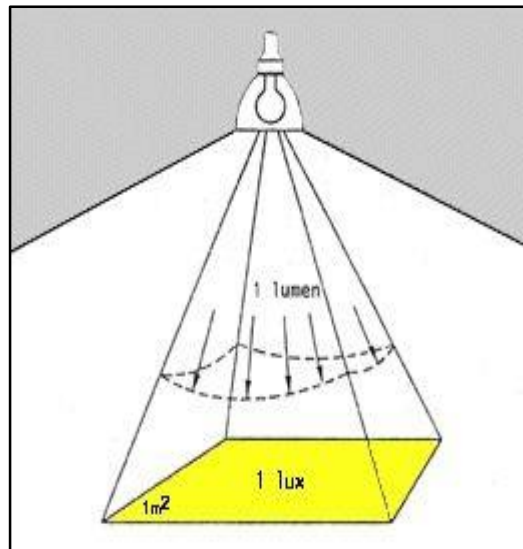
Serão descritos a seguir, conceitos necessários para a compreensão dos dados e tabelas utilizadas para caracterização das tecnologias empregadas na Iluminação Pública e alguns conceitos fundamentais para a compreensão dos fenômenos relacionados à iluminação.

### 2.1 Fatores luminosos

Para realização de um projeto de iluminação eficiente, é fundamental a compreensão dos seguintes conceitos e grandezas: (Finocchio, 2014).

- a) Fator ou índice de reflexão: é a relação entre o fluxo luminoso refletido e o incidente e varia em função das cores e dos acabamentos das superfícies e das suas características de refletância, por ser um índice não possui unidade de medida;
- b) O índice de reprodução de cor (IRC): mede quanto à luz artificial se aproxima do natural do sol, fator este preponderante na comparação de fontes de luz com a mesma TCC ou para a escolha da lâmpada;
- c) Fluxo Luminoso: O fluxo luminoso ( $\phi$ ) corresponde a energia radiante em todas as direções, na unidade do tempo. Medida em lúmens (lm) resulta no total de luz que pode ser emitida, ou observada, por uma fonte luminosa. Durante o período de vida útil de uma lâmpada;
- d) Fator de Fluxo Luminoso: Fator de fluxo luminoso (BF), ou fator do reator, é o valor do fluxo luminoso emitido considerando o desempenho do reator;
- e) Iluminância: A iluminância (E) quantifica a densidade de fluxo luminoso que incide sobre uma superfície, pela unidade de área ( $m^2$ ). A unidade de medida é o lúmen por metro ao quadrado ( $lm/m^2$ ), ou lux (lx), e seus valores podem ser obtidos a partir do aparelho de medição luxímetro, mostrada na Figura 01;
- f) Eficiência luminosa de uma fonte de luz (h): Razão do fluxo luminoso emitido, para a potência consumida pela fonte. A unidade é lúmen por Watt [ $lm/W$ ];
- g) Intensidade luminosa ( $I_p$ ): É a intensidade do fluxo luminoso projetado em uma determinada direção. A unidade é candela [cd]. (Finocchio, 2014).

Figura 01 – Iluminância



Fonte: (Procel, 2004).

A comprovação da qualidade da iluminação em ambientes de trabalho, incluindo o nível de iluminamento para os diversos tipos de vias, é baseada na verificação deste parâmetro, atendendo os valores estabelecidos pela Norma Técnica Brasileira NBR ISO 8995-1 (Iluminação de Ambientes Internos de Trabalho). Se apresenta de acordo com a Equação 1. (PROCEL, 2018).

$$E = \frac{l}{h^2} \quad (1)$$

E - iluminância

l - intensidade luminosa da lâmpada [cd]

h - altura[m]

## 2.2 Fatores visuais

Segundo Procel (2018), fatores que influenciam na resolução visual das vias, distorção da imagem ou cores, nitidez de imagem, entre outros parâmetros:

- a) Fator de Uniformidade: Resulta na relação entre a iluminância mínima exigida e a média atual (obtida por medições) para uma determinada área. Seu valor adimensional corresponde a escala entre zero e um;
- b) Uniformidade Longitudinal: Numa via pública, os posicionamentos das fontes luminosas

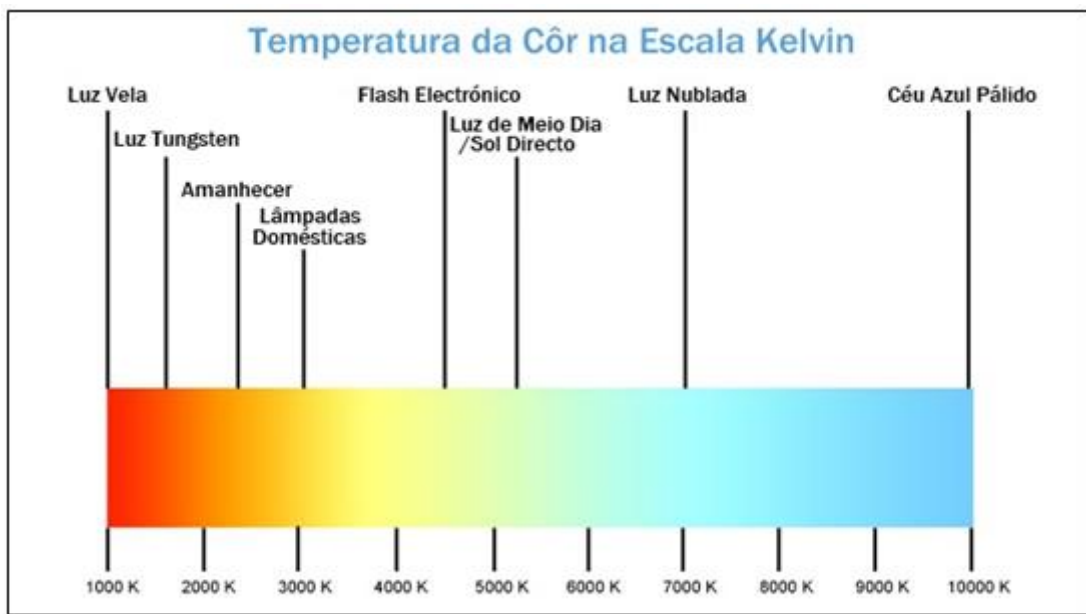
geram áreas mais claras e outras mais escuras, conhecido como efeito “zebrado”. O parâmetro de resulta neste efeito, que corresponde a relação entre os valores mínimo e máximo de iluminamento;

- c) Fator de Depreciação: Fator de depreciação corresponde a degradação do fluxo luminoso, considerando o tempo de operação e o acúmulo de poeira sobre as luminárias;
- d) Ofuscamento: Considera-se ofuscamento o fenômeno de desconforto visual, resultante de uma fonte luminosa de luz mais intensa do que a luminosidade geral. Na iluminação pública este fenômeno tem maior proporção no início da noite;
- e) Temperatura de cor: Representa a aparência da cor emitida pela fonte luminosa. Sua unidade é o kelvin (k), contudo, sua denominação não tem ligação ao calor emitido, e sim a tonalidade;
- f) Distorção Harmônica: Representa a relação entre a soma dos valores eficazes dos componentes harmônicos de uma forma de onda pelo valor eficaz da componente fundamental. Na iluminação pública, equipamentos eletrônicos com elevada distorção harmônica da corrente absorvida por uma carga não linear, tendem a lançar componentes harmônicas na rede, que distorcem as formas de onda da corrente do sistema elétrico;
- g) Fator de Potência: Fator de Potência (FP) é a razão entre potência ativa/útil (P) e potência aparente (S). Seu resultado, expresso num número adimensional entre zero e um, indica que quanto mais próximo do valor unitário mais eficiente é o circuito (equipamento, instalações, etc.), pois a energia consumida está sendo transformada em trabalho com baixo índice de perdas;
- h) Temperatura de cor correlata: (TCC), identifica-se que as fontes de luz podem emitir luz de aparência de cor entre “fria” e “quente”, sendo que as cores “quentes” possuem uma aparência avermelhada ou amarelada e as cores “frias” são azuladas. É expressa em kelvin (K);
- i) Índice de Reprodução de cor: O Índice de Reprodução de Cor (IRC) representa o grau de fidelidade das cores reais de um ambiente que uma fonte luminosa pode oferecer. Fontes luminosas com 100% indicam que a luz incidente sobre uma superfície não irá distorcer as cores.
- j) Luz: Radiação visível, ótica capaz de produzir uma sensação visual diretamente. Os limites previstos para a faixa espectral da radiação visível dependem do fluxo energético que atinge

a retina e da sensibilidade do observador. O limite inferior é estabelecido entre 360nm e 400nm e o limite superior entre 760nm e 830nm. (Finocchio, 2014).

Na Figura 02 tem-se a representação das diferentes tecnologias de lâmpadas e o IRC aproximado que estas oferecem. Os valores variam na faixa de 1.000k (quente – luz de velas) a valores acima de 8.000k (fria ou céu muito nublado). Sendo as de melhor qualidade visível à visão humana as cores mais frias. (Finocchio, 2014).

Figura 02 – Temperatura de Cor



Fonte: (Brilumen, 2018).

As diferentes tonalidades contribuem para a correta adequação do ambiente e da atividade a ser desenvolvida. Ambientes de trabalho necessitam de cores estimulantes, e para tal, usam-se lâmpadas de tonalidade mais fria. Em contrapartida, nas áreas de descanso e relaxamento a luz quente se faz mais indicada. (PROCEL, 2018).

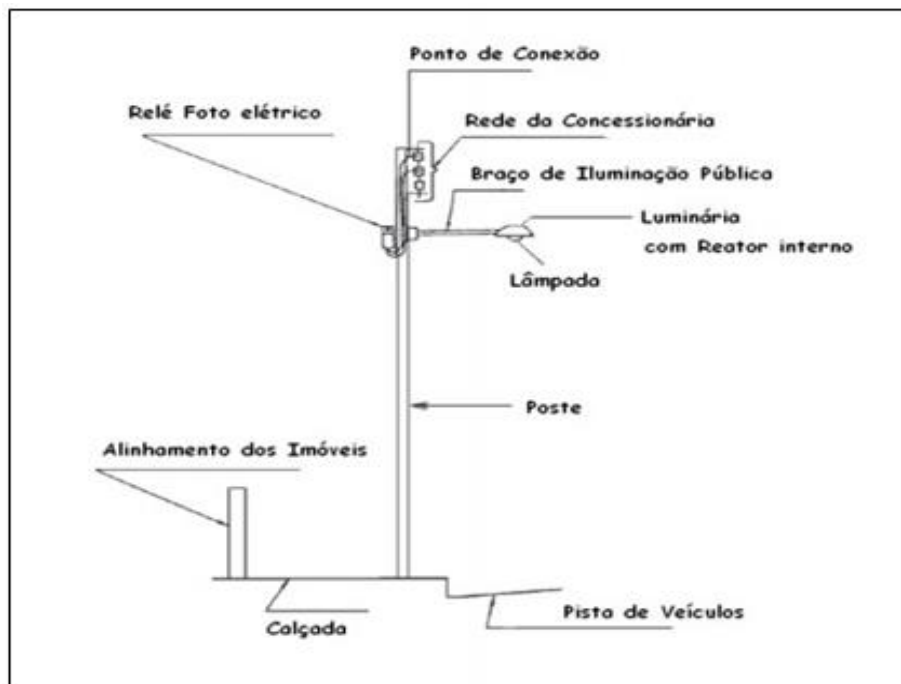
### 3 ILUMINAÇÃO PÚBLICA

A Iluminação Pública pode ser definida como o serviço que tem por objetivo prover de luz ou claridade artificial, no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, os logradouros públicos. O município exerce total responsabilidade sobre a manutenção do serviço de iluminação pública em todo o ambiente excludente do domínio privado, segundo as Resoluções Normativas da ANEEL nº. 414, de 09 de setembro de 2010 e nº. 479, de 03 de abril de 2012, no dia 1 de janeiro de 2014, e garantir que este serviço seja eficientemente gerido de forma a manter os níveis de iluminação, é de suma importância, visto que além de influenciar em fatores sociais, também contribui para a segurança. (STOCKO, 2013).

#### 3.1 Equipamentos do sistema de iluminação pública

As tecnologias empregáveis para iluminação pública, vivem constantes transformações, são amplamente usadas sem padronização. A divergência de maior atenção é a eficiência oferecida para a mesma aplicação. Avaliar o sistema de iluminação é necessário conhecer os equipamentos que compõem esse sistema destacando na Figura 03. (COPEL, 2012).

Figura 03 – Equipamentos que compõem a iluminação pública



Fonte: (Santana, 2010).

- a) Luminárias: Equipamento que abriga a fonte luminosa fazendo sua distribuição e/ou direcionamento. Este deve seguir os índices de proteção, que são definidos a partir dos agentes agressivos presentes no local de instalação;
- b) Lâmpadas: Atualmente, temos em mercado e em uso, diversos tipos de lâmpadas, as de iluminação pública são basicamente, as Lâmpada a Vapor de Mercúrio, Lâmpada a Vapor de Sódio Lâmpada Multivapor Metálico, ou as atuais de LED;
- c) Circuitos de Comando: Com a utilização de relés fotoelétricos, se faz possível a identificação do nível de iluminamento natural controlando o acionamento das lâmpadas;
- d) Braço: Para melhor distribuir a luminosidade, são utilizados que projetam a luminária à frente do poste mantendo em mente o melhor ângulo de fixação da luminária para com a horizontal para que não se comprometa o desempenho do conjunto óptico. Os braços mais comuns são do tipo BR-1, BR-2 e BR-3;
- e) Cabos e Ferragens: Recomenda-se para a conexão elétrica dos equipamentos previamente citados a utilização do cabo de cobre com dupla isolação em Polietileno reticulado, que possui bitola de 2,5 milímetros quadrados. Podemos citar dentre as ferragens, parafusos, arruelas, porcas, terminais, conectores, fita isolante entre outros.
- f) Reator Limitador de corrente elétrica que garante uma boa vida útil da lâmpada e iluminação eficiente podendo também ser regulados pela PROCEL e INMETRO quando sua eficiência for comprovada pelos órgãos. (COPEL, 2012).

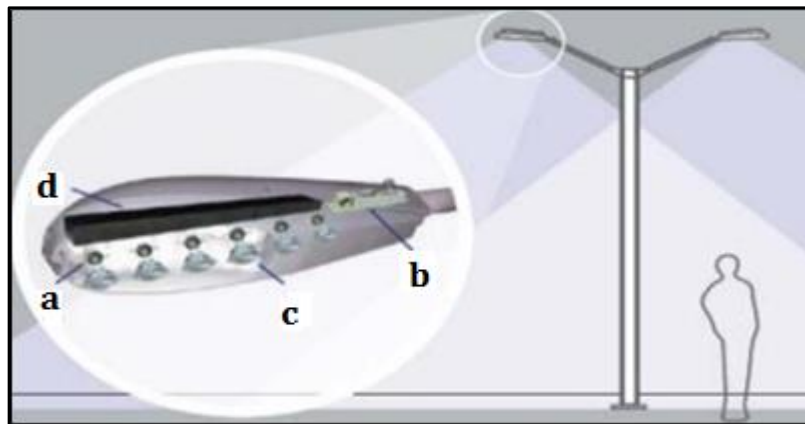
De acordo com (STOCKO, 2013), no Brasil, o consumo de energia elétrica destinado à iluminação é relativamente expressivo. Cerca de 20% do consumo total de energia elétrica está associado à produção de luz através da energia, assim fica evidenciada a importância da busca pela modernização do serviço oferecido uma vez que com a evolução nas tecnologias utilizadas conseguimos alcançar os níveis de iluminamento com potências cada vez menores.

Um novo conceito em iluminação tem se estabelecido de forma progressivamente inequívoca. Trata-se do emprego dos diodos emissores de luz, ou LED's (*light emitting diodes*), para constituir sistemas de iluminação destinados ao ambiente doméstico, comercial, industrial ou público. Assim, a redução no consumo de energia elétrica pode estar diretamente ligada à redução da emissão de poluentes na atmosfera. Estes elementos não são usados em lâmpadas com LED's, o que gera mais um benefício na utilização dessa tecnologia remetendo a benefícios relacionados ao meio ambiental. (STOCKO, 2013).

### 3.2 Tecnologia LED

O LED (*Light Emitting Diode*), que em português significa diodo emissor de luz, é um dispositivo eletrônico semicondutor, que quando polarizado diretamente, dentro do mesmo ocorre à recombinação de lacunas e elétrons livres. Com isso é possível gerar iluminação através desse dispositivo com baixo consumo de energia, o que propicia uma enorme eficiência energética nas lâmpadas onde forem utilizados. O emprego da tecnologia LED, principalmente no que diz respeito à iluminação pública, pode vir a contribuir significativamente com expressivas melhorias desses resultados. Uma luminária a LED é composta basicamente por quatro equipamentos, conforme a Figura 04. (NOVICKI; JACKSON, 2008).

Figura 04 – Estrutura de luminária LED



Fonte: (Stocko, 2013).

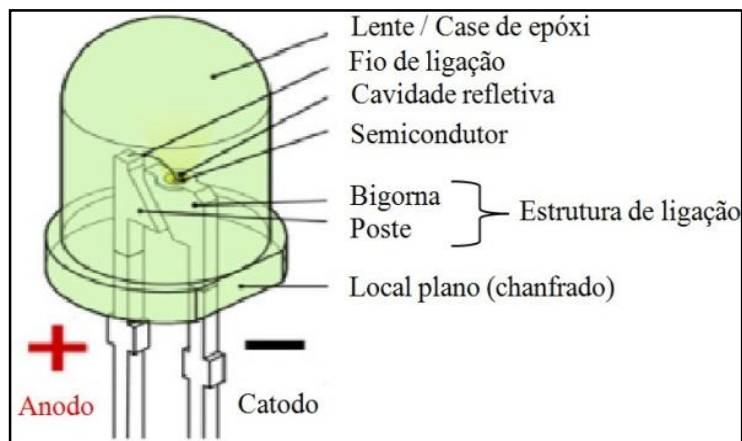
- a) LED – Emite fluxo luminoso, equivalente a lâmpada em uma luminária convencional;
- b) Fonte de Alimentação – Sistema de alimentação do LED com a função de controlar a corrente de alimentação e por consequência controla a potência dos mesmos, dimerização, em tempo integral e de modo eficiente, também conhecidos como “*drives*”.
- c) Lente – Tem a função de direcionar, concentrar e distribuir o feixe luminoso, proporciona um ganho de rendimento em iluminação.
- d) Dissipador de Calor – Responsável por melhorar a dissipação do calor produzida pelos componentes eletrônicos.

A mais recente tecnologia para iluminação trata-se de um semicondutor que, quando acionado por corrente elétrica de natureza contínua, produz luminosidade através da liberação de fótons. A luz emitida varia conforme o material da composição, podendo ser trabalhado nas diversas tonalidades da cor branca (quente a frio), vermelha, amarelo, verde e azul. Dentre seus benefícios estão: fecho de luz bem direcionado; material livre de metais pesados; zero emissão de raios ultravioleta e infravermelha; resistência a vibração; elevado IRC; alta eficiência; alta vida mediana, próximo a 50.000 horas; etc. Sua aplicação em iluminação pública já está sendo bem visada, contudo, seu alto custo impede uma maior evolução no setor. (GIANELLI, 2009).

### 3.2.1 Estrutura dos LEDs

Atualmente existem vários formatos de LED, no entanto, suas estruturas internas são similares ao LED mais comum. Na Figura 05 pode ser observada a estrutura do LED com relação aos materiais utilizados em sua confecção.

Figura 05 – LED



Fonte: (Combinado, 2013).

#### 3.2.1.1 Materiais utilizados:

- a) Lente/Case de epóxi: é uma cobertura que serve para a proteção e fixação do semicondutor além de promover a propagação da luz de uma forma específica que depende do seu formato. Se um LED usa plástico vermelho, é porque tem a mesma cor da luz e não é ele que determina a cor;
- b) Fio de ligação: o mesmo serve apenas para fazer a ligação entre o anodo e uma extremidade do semicondutor;



- c) Cavidade refletiva: além de servir como cavidade para comportar o semicondutor, também tem revestimento refletivo para concentrar a luz emitida em certa direção;
- d) Semicondutor: é o material responsável pela emissão de luz que dependendo do qual seja, emitirá uma luz de cor específica;
- e) Estrutura de ligação: composta por dois condutores chamados poste que é o anodo (+) e normalmente tem o terminal maior que o lado da bigorna, que é o catodo (-);
- f) Local plano (chanfrado): facilita a identificação do terminal do catodo.

### 3.2.2 Funcionamento dos LEDs

No silício e no germânio, que são os elementos básicos dos diodos e transistores, entre outros componentes eletrônicos, a maior parte da energia é liberada na forma de calor, sendo insignificante a luz emitida devido à opacidade do material. Os componentes que trabalham com maior capacidade de corrente chegam a precisar de irradiadores (dissipadores) de calor. Já em outros materiais, como o arsenieto de gálio (GaAs) ou o fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons emitido é suficiente para constituir fontes de luz bastante eficientes.

A luz é uma forma de energia que pode ser liberada por um átomo. Ela é feita de uma grande quantidade de pequenos pacotes tipo partículas que têm energia e momento, mas nenhuma massa. Essas partículas, chamadas de fótons, são as unidades básicas da luz. Os fótons são liberados como um resultado do movimento de elétrons. Em um átomo, os elétrons se movem em orbitais ao redor do núcleo. Elétrons em orbitais diferentes têm quantidades diferentes de energia. De maneira geral, os elétrons com mais energia se movem em orbitais mais distantes do núcleo. No LED isso é feito aplicando uma diferença de potencial entre os seus terminais. Inversamente, um elétron libera energia quando muda de um orbital mais alto para um mais baixo. Essa energia é liberada na forma de um fóton (luz). (GIANELLI,2009).

## 4 LUMINOTÉCNICA

Cada lâmpada tem capacidade de emitir determinado fluxo luminoso, expresso em lumens (lm). A energia elétrica é transformada em energia luminosa pela lâmpada, com determinado rendimento, em geral expresso em lumens por Watt (lm/W). A luz é produzida pela lâmpada de forma não direcionada, espalhada em todo seu entorno. Através do refletor interno das luminárias, a luz é refletida para ser direcionada ao plano de trabalho, passando depois pelo refrator. (SILVA, 2006).

*Retrofit*, é um termo utilizado principalmente em engenharia para designar o processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado. Para garantir a confiabilidade da proposta de *retrofit*, há a necessidade da elaboração do projeto luminotécnico, onde se define qual a tecnologia a ser aplicada e, por simulação, verifica-se se o fluxo luminoso emitido pela luminária atende o nível de iluminância mínima exigida por norma. Os LED's compensam os investimentos iniciais, uma vez que os custos com a tecnologia a alto vapor de sódio passam a serem maiores. (Oliveira,2017).

### 4.1 Norma

Para melhorar a convivência da iluminação pública com a arborização, é apresentada uma equação para o cálculo de variáveis que contribuem para a desobstrução da iluminação pública. A equação considera os ângulos de máxima incidência de luz nos sentidos longitudinal e transversal à via, a sua altura de montagem e a distância da, assim mostra também a área do fecho de luz na Figura 06. (Finocchio, 2014).

Figura 06 – Método fluxo luminoso



Fonte: (Procópio, 2014, p. 21).

#### 4.1.1 Método do fluxo luminoso

A partir do valor da iluminância  $E$  (em lux), indicada para a área a ser iluminada, utiliza-se a seguinte Equação 2:

$$\Phi_t = \frac{E \times S}{\eta \times f_u} \quad (2)$$

$\Phi_t$  - fluxo luminoso total (lm);

$E$  - iluminância requerida para a área (lux);

$S$  - área a ser iluminada (m<sup>2</sup>);

$\eta$  - fator de depreciação;

$f_u$  - coeficiente de utilização.

O valor de  $h$  é definido dependendo do grau de proteção da luminária utilizada, sendo IP 65 (0,85) ou IP 66 (0,90). O valor do coeficiente de utilização ( $U$ ) está relacionado ao fato de que apenas uma parte do fluxo luminoso emitido pelas luminárias é aproveitada. A outra parte não é efetivamente aproveitada na área a ser iluminada. A seguir, são apresentados os valores de  $U$  em função da porcentagem do fluxo luminoso que atinge a área a ser iluminada: (Finocchio, 2014).

- a)  $U = 1$ ; Se todo o fluxo luminoso dos projetores se concentra na área a ser iluminada;
- b)  $U = 0,75$ ; Se 50% ou mais do fluxo luminoso se concentra na área a ser iluminada;
- c)  $U = 0,60$ ; Se 25% a 50% do fluxo luminoso se concentra na área a ser iluminada;
- d)  $U = 0,40$ ; Se menos que 25% do fluxo luminoso se concentra na área a ser iluminada.
- e) O número total de luminárias ( $N$ ) é calculado através da Equação 3:

$$N = \frac{\Phi_T}{\Phi_1} \quad (3)$$

$N$  - número de luminárias;

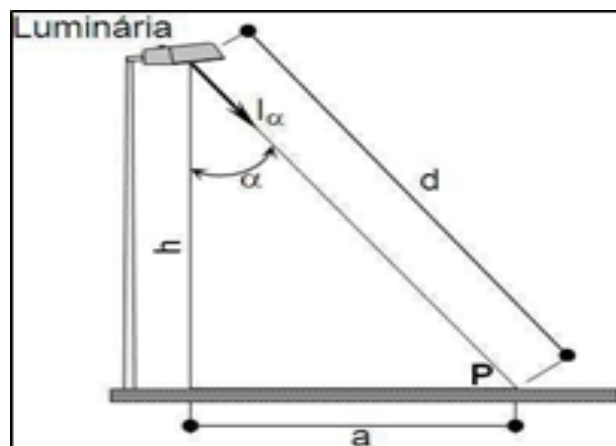
$\Phi_T$  - fluxo luminoso total (lm);

$\Phi_1$  - fluxo luminoso de cada lâmpada especificada (lm).

#### 4.1.2 Método da intensidade luminosa

Este método se baseia na lei do cosseno. Assim quando um ponto qualquer P é iluminado por uma luminária (ou projetor) a uma altura  $h$  do solo e, excetuando-se contribuições de quaisquer outras fontes de luz, tem-se que o iluminância no ponto P será igual à  $E_P$ . (Finocchio, 2014). Sendo  $I_\alpha$  a intensidade luminosa (cd) da luminária em direção ao ponto P,  $h$  a altura do solo em metros e  $\alpha$  em graus, conforme Figura 07.

Figura 07 – Método intensidade luminosa



Fonte: (Procópio, 2014, p. 24).

##### 4.1.2.1 Cálculo fotométrico para iluminação pública

O nível de iluminância para uma via pública pode ser calculado utilizando-se as curvas características fornecidas pelos fabricantes das luminárias e os métodos apresentados anteriormente. A Equação 4 apresenta a metodologia utilizada para o cálculo do nível de iluminância e a Equação 5 o fator de correção de altura. (Finocchio, 2014).

$$E = \frac{(V \cdot \Phi T \cdot Fc \cdot \eta)}{1000} \quad (4)$$

$E$  - nível de iluminância inicial da pista (lux);

$V$  - iluminância para 1.000 lúmens da lâmpada (valor fornecido pelo fabricante da luminária);

$\Phi T$  - fluxo luminoso total das lâmpadas utilizadas;

$Fc$  - fator de correção da altura de montagem;

$\eta$  - fator de depreciação.

$$Fc = \frac{(h^1)^2}{(h^2)^2} \quad (5)$$

$Fc$  - fator de correção da altura de montagem;

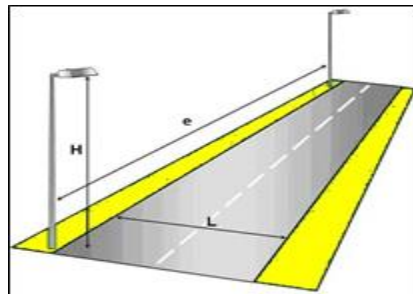
$h_1$  - altura das montagens;

$h_2$  - altura da montagem real do projeto.

## 4.2 Norma

Os projetos especiais devem atender a classificação viária os cálculos fotométricos, apresentados na Figura 08: (Finocchio, 2014).

Figura 08 – Configuração básica para projetos especiais de IP



Fonte: (Procópio, 2014, p. 7).

$$3H \geq L \quad e \geq 3,5H$$

L - largura da pista de rolamento

H - altura de montagem da luminária;

e - espaçamento entre postes.

Dessa forma, os postes devem ser locados aproveitando-se ao máximo o espaçamento, respeitando os valores definidos para Emed e U. Esta recomendação deve ser observada principalmente nos projetos de vias especiais e rurais. Considerando a largura da via (L), altura de montagem da luminária (H) e quando for o caso a largura do canteiro central (D), as seguintes alternativas para disposição dos postes podem ser utilizadas: (Finocchio, 2014).

- a) Posteação unilateral;
- b) Posteação bilateral alternada;
- c) Posteação bilateral frente a frente;
- d) Posteação no canteiro central.

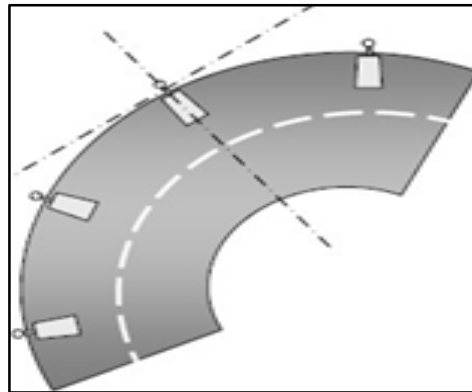
### 4.3 Projetos de iluminação de vias rurais

Os motoristas que utilizam as vias rurais iluminadas necessitam de conforto visual, boa uniformidade, baixo ofuscamento, orientação visual e a percepção das demais condições da via. Os critérios aqui apresentados podem ser aplicados a uma via de trânsito rápido ou principal.

#### 4.3.1 Curvas, aclives e declives

Para iluminação de curvas, as luminárias devem ser orientadas de modo que o eixo da mesma seja perpendicular ao raio de curvatura da pista, conforme Figura 09. (Finocchio, 2014).

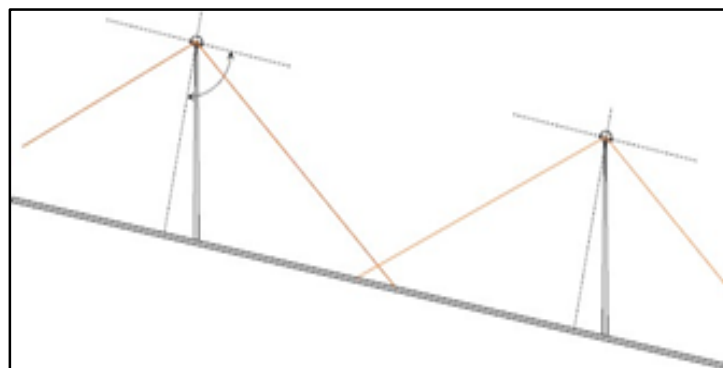
Figura 09 – Orientação das luminárias em curvas



Fonte: (PROCÓPIO, 2014, p. 10).

Nos aclives e declives as luminárias devem ser orientadas acompanhando a inclinação da pista de rolamento, conforme Figura 10. (Finocchio, 2014).

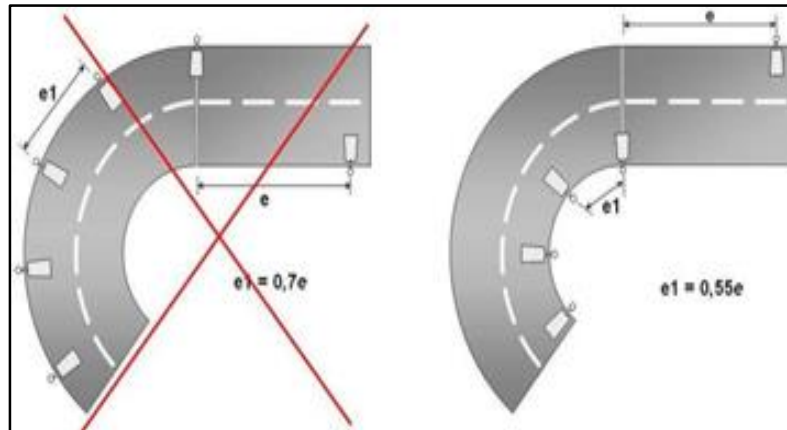
Figura 10 – Orientação das luminárias em pistas inclinadas



Fonte: (Procópio, 2014, p. 10).

Nas curvas inferiores a 1.000 metros e nas alças dos trevos, a posteação deve ser instalada no lado interno a fim de minimizar o risco de abalroamento dos postes, conforme Figura 11. Nestes casos, a altura de montagem pode ser reduzida. (Finocchio, 2014).

Figura 11 – Posteação no lado externo da curva e interno da curva

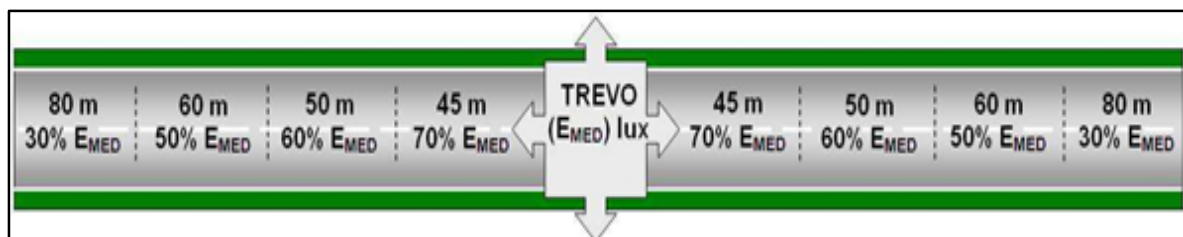


Fonte: (PROCÓPIO, 2014, p. 10).

#### 4.3.2 Iluminação específica de trevos e acessos

Nestes casos, a iluminação deve ser reduzida ou incrementada gradualmente, para que a acomodação visual do motorista seja feita sem a possibilidade de ocorrer cegueira momentânea por ofuscamento ou pelo escurecimento repentino. Esta iluminação deve se estender a uma distância mínima de 100 metros para trevos em áreas urbanas e 200 metros para trevos em vias especiais e rurais, conforme apresentado na Figura 12. (Finocchio, 2014).

Figura 12 – Variação da iluminância para pistas convergentes aos trevos



Fonte: (PROCÓPIO, 2014, p. 11).

A redução e o incremento gradual da iluminação podem ser implementados através do aumento ou redução do espaçamento (e) entre os postes.

#### 4.3.2.1 Iluminação de trevos em vias rurais

O nível de iluminância dos trevos em vias rurais deve ser no mínimo, 50% superior aos índices da via. O incremento do nível de iluminação poderá ser obtido através da redução do espaçamento. Se as vias de acesso não forem iluminadas, o cálculo da iluminação deve considerar os níveis de iluminância das vias especiais. (Finocchio, 2014).

#### 4.3.2.2 Iluminação de intercessões em vias trânsito rápido ou arterial

A maioria das vias de trânsito rápido ou arterial possui intercessões com um nível. Estas devem receber atenção especial quanto à locação dos postes e o nível de iluminância aplicado. Nestes casos, assim como nas vias rurais, a locação dos postes pode começar a partir das intercessões, podendo ter uma configuração independente da definida para o restante da via. (Finocchio, 2014).



## **5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA**

Apesar da crença remanescente de que a construção de novas usinas seja a única forma de ofertar energia, com a utilização de novas tecnologias existentes para economizar e gerar energia. Para promover a eficiência energética do sistema de iluminação pública a PROCEL criou o manual de instruções do ReLuz, são critérios e os procedimentos que orientam as concessionárias de energia elétrica, distribuidoras, geradoras e transmissoras, no cumprimento das etapas para obtenção de financiamento de projetos no âmbito do Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente - ReLuz. (MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA, 2010).

### **5.1 Projeto de iluminação pública**

A norma ABNT NBR 5101/2012 prevê as diretrizes que um projeto de iluminação pública deve seguir, de forma a garantir uma distribuição apropriada das intensidades luminosas visando uma visibilidade rápida, precisa e confortável respeitando as condições de altura, posição, espaçamento, posicionamento e afins também expressadas na norma em questão para que a iluminação de vias públicas consiga oferecer segurança dos tráfegos de pedestres e veículos, outras normas que também podem ser recorridas:

- a) ABNT NBR 5461 – Iluminação, terminologia;
- b) ABNT NBR 15129:2012 – Luminárias para Iluminação Pública;
- c) ABNT NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- d) ABNT NBR 5181:2013 – Sistemas de Iluminação de Túneis –Requisitos.

#### **5.1.1 Classificação das vias e nível de tráfego**

A princípio, classificamos a via que se pretende iluminar em urbanas, rurais, de ligação e especiais, onde cada qual será ainda subdividida de acordo com sua finalidade e intensidade. Os dois parâmetros devem obedecer às disposições previstas no Código de Trânsito Brasileiro, também disponível na ABNT NBR 5101, e devem ser definidos antes de identificar o melhor nível de iluminância para uma via, demonstrada na Tabela 01.

Tabela 01 – Índice de Proteção para Iluminação Pública

Local de Utilização	Grau de Proteção
Com pouca presença de poluição, pó e agentes agressivos	IP 23
Com presença média de poluição, pó e agentes agressivos	IP 44
Com forte presença de poluição, pó ou agentes agressivos	IP 54
Luminárias situadas a até 2,80m em relação ao solo	IP 44
Túneis	IP 55

Fonte: (PROCEL, 2009).

Os níveis de iluminação necessários para os tipos de vias devem atender aos requisitos de luminância, iluminância e uniformidade, estão descritos na Tabela 02.

Tabela 02 – Níveis de Iluminância e Fatores de Uniformidade para Vias Públicas

Descrição da Via	Volume de Tráfego	E <sub>min</sub> (lux)	U <sub>mín</sub>
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral; autoestradas	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
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	Intenso	30	0,4
	Médio	20	0,3
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado	Intenso	20	0,3
	Médio	15	0,2
	Leve	10	0,2
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial	Médio	10	0,2
	Leve	5	0,2
Vias de uso noturno intenso por pedestres (calçadões, passeios de zonas comerciais)	-	20	0,3
Vias de grande tráfego noturno de pedestres (por exemplo, passeios de avenidas, praças, áreas de lazer)	-	10	0,25
Vias de uso noturno moderado por pedestres (por exemplo, passeios, acostamentos)	-	5	0,2
Vias de pouco uso por pedestres (por exemplo, passeios de bairros residenciais)	-	3	0,2

Fonte: (Procel, 2009).

Os níveis de iluminação com o fator de uniformidade e iluminância medida em lux, estão descritas nas Tabelas 03 e 04.

Tabela 03 – Requisitos de luminância e uniformidade

<b>Classe de iluminação</b>	<b>Lmed</b>	<b>UO ≥</b>	<b>UL ≥</b>	<b>TI (%)</b>	<b>SR</b>
V1	2,00	0,40	0,70	10	0,5
V2	1,50	0,40	0,70	10	0,5
V3	1,00	0,40	0,70	10	0,5
V4	0,75	0,40	0,60	15	-
V5	0,50	0,40	0,60	15	-

Lmed: luminância média; UO: uniformidade global; UL: uniformidade longitudinal; TI: (incremento de limiar); SR: (razão das adjacências). NOTA 1: Os critérios de TI e SR são orientativos assim como as classe V4 e V5.

NOTA 2: As classes V1, V2 e V3 são obrigatórias para a luminância.

Fonte: (ABNT, 2012).

Tabela 04 – Iluminância média mínima e uniformidade para cada classe de iluminação

<b>Classe de Iluminação</b>	<b>Iluminância média mínima Emed (lux)</b>	<b>Fator de uniformidade mínimo Umin = Emin/Emed</b>
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: (ABNT, 2012).

## 5.2 Legislação

As condições de prestação de serviços de iluminação pública pelas concessionárias, são regulamentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para tal dispõem-se das seguintes Portarias:

- Portaria N° 466 ANEEL, de 12 de dezembro de 1997 – Determina as condições gerais de fornecimento de energia elétrica;
- Portaria N° 185 DNAEE, de 17 de outubro de 1988 – Contextualiza sobre os novos contratos de demanda de energia elétrica, considerando as medidas de racionalização por parte dos consumidores;
- Portaria N° 158 DNAEE, de 17 de outubro de 1989 – Determina as condições gerais da energia elétrica destinadas à iluminação pública;

- d) Portaria Nº 730 DANAEE, de 28 de outubro de 1994 – Fornece condições favoráveis às concessionárias de energia em investimentos e custeio em programas de eficiência energética.

A Constituição Federal (CF) do ano de 1988 determinou que a responsabilidade pela prestação do serviço de iluminação pública é da prefeitura de cada município, determinado pelo art. 30, inciso V da Constituição Federal que diz que:

**Art. 30** - Compete aos Municípios: V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial.

E mais tarde, em 2002 foi incluído o Artigo 149 que segue:

**Art. 149-A** Os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III. (Incluído pela Emenda Constitucional nº 39, de 2002).

### 5.2.1 Gestão energética municipal

O uso da energia elétrica e controle de seu desempenho respondem a um conjunto de fundamentos normas e ações da Gestão Energética Municipal (GEM), seus objetivos são:

- a) Ter domínio sobre o real consumo energético do município;
- b) Promover, otimizar e coordenar operações;
- c) Obter economia nas contas públicas mediante redução do consumo;
- d) Aplicar ações de gestão e manutenção com a finalidade de aumentar a vida útil das instalações e equipamentos;
- e) Promover a racionalização de energia;
- f) Capacitar para negociações com concessionárias; investir em sistemas mais eficientes.

### 5.2.1.1 Processo licitatório

Para prestar esses serviços a prefeitura é necessário abrir um processo de licitatório. Licitação é procedimento administrativo formal em que a Administração Pública, convoca, por meio de condições estabelecidas em ato próprio (edital ou convite), empresas interessadas na apresentação de propostas para o oferecimento de bens e serviços. Objetiva garantir a observância do princípio constitucional da isonomia e a selecionar a proposta mais vantajosa para a Administração, de maneira a assegurar oportunidade igual a todos os interessados e a possibilitar o comparecimento ao certame do maior número possível de concorrentes. (TCU, 2018).

### 5.2.2 Medição

Neste tópico será abordado o tempo de funcionamento do sistema para medição, como ocorre essa tarifação e considerações de como e formada a fatura de energia para este tipo de carga e o custeio deste serviço. Segundo a Resolução ANEEL nº 414/2010 a regulamentação do Setor Elétrico recomenda, mas não obriga o concessionário a instalar medição apropriada para a mensuração do fornecimento de energia para a Iluminação Pública. Os valores de consumo de energia ou demanda de potência ativas podem ser estimados, com base no período de consumo e na carga instalada, incluída a carga própria dos equipamentos auxiliares (reator/ignitor) ou das perdas no sistema, quando for o caso. (Aneel,2010).

De acordo com a REN 414/2010, da ANEEL:

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

De acordo com a REN 479/2012 da ANEEL:

**Art. 21.** A elaboração de projeto, a implantação, expansão, operação e manutenção das instalações de iluminação pública são de responsabilidade do ente municipal ou de quem tenha recebido deste a delegação para prestar tais serviços. (Revogado pela Câmara em abril de 2015).

A iluminação pública funciona à noite, ocasionalmente ocorrem escurecimentos diurnos que acionam os equipamentos. Para fins de faturamento a concessionária convencionou-se a consideração de doze horas de funcionamento diárias não importando a estação do ano e nem a região que se encontra a cidade. Este fato de números de horas faturáveis causa controvérsia, pois na primavera e no verão a um aumento nas horas de sol o que diminui as horas de funcionamento da iluminação pública, a ainda o problema com relés fotoelétricos que com o mau funcionamento ativam a iluminação causando desperdício de energia elétrica. Resumindo para municípios onde a concessionária não instalou medidor o consumo mensal de energia elétrica para fins de faturamento é estimado como sendo o produto da potência instalada (Lâmpadas + Perdas) pelo número de horas de funcionamento no mês, geralmente expresso em kWh (Quilowatts Hora). Neste caso os administradores ficam encarregados de informar qualquer alteração de carga no sistema.

No caso de fornecimento destinado para iluminação pública, efetuado a partir de circuito exclusivo, a concessionária deverá instalar os respectivos equipamentos de medição quando solicitados pelo consumidor. Apesar disso, em geral, o faturamento é efetuado através dos dados cadastrais (com base na potência das lâmpadas). Caso a alternativa de medição seja adotada de forma mais abrangente em circuitos de iluminação pública exclusivos, as informações cadastrais não serão mais necessárias para o faturamento e poderá então haver perda dessas informações, fato que vem gerando preocupação na composição dos próximos levantamentos nacionais de iluminação pública. Existem dois tipos de tarifa a B4a e B4b.

### **5.3 Bandeiras tarifárias**

O gasto com a geração de energia varia a depender dos meios utilizados, com uma baixa nos reservatórios de hidrelétricas, recorre-se à utilização das termelétricas acarretando despesas com os combustíveis. Para cobrir os custos energéticos as bandeiras tarifárias foram criadas como a melhor alternativa para apresentarem nas contas de energia os gastos de forma mensal, com acréscimo na conta já no mês da ocorrência do gasto adicional com a compra de energia, em que por muitas vezes passam despercebidas pelo consumidor.

As bandeiras tarifárias começaram a funcionar no dia 1º de janeiro de 2015. No mesmo ano, (04 de fevereiro 2015) o Poder Executivo designou a Conta Centralizadora dos Recursos de Bandeiras Tarifárias (CCRBT), como maneira de compartilhar, entre os consumidores do Sistema Interligado Nacional (SIN), os valores com termelétricas e com a aquisição de energia elétrica no mercado de curto prazo. (SILVA,2016).

Segundo Silva, a aplicabilidade das bandeiras é feita de acordo com os valores de Custo Marginal de Operação (CMO), ou seja, conforme o preço da unidade de energia produzida para atender o aumento da demanda de carga no sistema, uma elevação deste custo indica que a geração de energia elétrica está mais cara; pois pode mostrar níveis baixos de armazenamento de água nos reservatórios das hidrelétricas e condições hidro meteorológicas desfavoráveis devido as poucas chuvas nas bacias dos rios.

O Custo Marginal de Operação também é afetado pelo consumo de energia demonstrado na Figura 13, de maneira que o aumento do consumo, em decorrência a vários fatores como a elevação da temperatura climática, poderá elevar o Custo Marginal de Operação. Quando isso acontece, as usinas termelétricas entram em operação para equilibrar a falta de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas ou ao aumento de consumo e, assim, preservar a capacidade de geração de energia dessas hidrelétricas nos meses seguintes.

Os valores das bandeiras tarifárias também variam de acordo com o Encargo de Serviço do Sistema (ESS) são aqueles decorrentes da manutenção da confiabilidade e da estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN). Os custos de ESS por segurança energética advêm da solicitação de despacho do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) para realizar geração fora da ordem de mérito de custo, ou seja, despachar geração mais custosa (térmicas), visando garantir a futura segurança do suprimento energético.

Figura 13 – Bandeiras Tarifárias

<b>Bandeira verde</b>	Hidrelétricas operam normalmente. (geração térmica até R\$ 211,28/MWh)	Não há alteração no valor da tarifa de energia.	
<b>Bandeira amarela</b>	Usinas térmicas ativadas. (geração térmica de R\$ 211,28/MWh a R\$ 422,56/MWh)	Acresce na sua conta R\$ 1,00 a cada 100kWh.	
<b>Bandeira vermelha Patamar 1</b>	Usinas térmicas ativadas e alta demanda. (geração térmica de R\$ 422,56/MWh até R\$ 610/MWh)	Acresce na sua conta R\$ 3,00 a cada 100kWh.	
<b>Bandeira vermelha Patamar 2</b>	Usinas térmicas ativadas e alta demanda. (geração térmica maior ou igual a R\$ 610/MWh)	Acresce na sua conta R\$ 5,00 a cada 100kWh.	

Fonte: (Cemig, 2016).

Todo mês, a ANEEL divulga a bandeira tarifária em vigor para cada região do Brasil, exemplo a da CEMIG demonstrada na Figura 14, com base em informações do Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS). No qual as distribuidoras, informam aos consumidores a bandeira tarifária na conta de energia mensalmente. Segundo a ANEEL (2018) com o termino das chuvas, os reservatórios do Sul diminuíram o seu volume, impactando diretamente no custo da geração de energia, aumentando o uso de usinas termelétricas, o que torna o valor da energia um custo maior.

Em 2018 a bandeira estava verde nos meses de janeiro a abril, mudando para amarela em maio e estando previsto em junho a bandeira chegará a cor vermelha, ou seja, com o valor mais alto. Com a informação mensalmente disponível das bandeiras tarifárias no site da ANEEL, o consumidor a possibilidade de gerenciar melhor o seu consumo de energia elétrica e diminuir o custo da conta de luz. O avanço da tecnologia atualmente permite usar menos energia para atender a uma mesma necessidade. Obter os mesmos serviços, porém com uma quantidade menor de recursos energéticos, exemplo o sistema fotovoltaico e luminárias LED.

### 5.3.1 Valor das contas de Energia da iluminação publica

Para tal a utilização de alguns impostos e taxas devem ser demonstrados, pois afetam de forma definitiva o valor total, e são cálculos variáveis. Imposto (ICMS) de acordo com a CEMIG, com alíquota de 25%. Imposto comerciais e de serviço nas Equações 6 e 7:

$$ICMS = \frac{I \times A}{100 - A} \quad (6)$$

*I* - importe

*A* - alíquota vigente (25%)

Existe também a chamada cobrança “por dentro” dos tributos PIS, CONFINS, que vão pra União e juntamente com o ICMS que conforme as leis vai para o estado. (Edp, 2018).

$$V_{scc} = \frac{V_{tp}}{PIS + COFINS + ICMS} \quad (7)$$

$V_{scc}$  - valor a ser cobrado do consumidor

$V_{tp}$  - valor da tarifa publicada pela ANEEL



Figura 14 – Bandeiras Tarifárias Atuais

<b>B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b>	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Iluminação Pública - B4a - Rede de Distribuição	0,32277	0,33277	0,35277	0,37277
Iluminação Pública - B4b - Bulbo da Lâmpada	0,35211	0,36211	0,38211	0,40211

Fonte: (Cemig, 2018).

#### 5.4 Lei de iluminação pública

A Constituição Federal (CF) do ano de 1988 determinou pelo art. 30, inciso V da Constituição Federal que diz que:

**Art. 30.** Compete aos Municípios: V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial;

Os municípios necessitaram da Contribuição de Iluminação Pública (CIP) estabelecida no art. 149-A da Constituição Federal:

**Art. 149-A** Os Municípios e o Distrito Federal poderão instituir contribuição, na forma das respectivas leis, para o custeio do serviço de iluminação pública, observado o disposto no art. 150, I e III. (Incluído pela Emenda Constitucional nº 39, de 2002).

Para os pequenos municípios como no caso, uma boa saída pode ser a formação de consórcios que ampliem a atratividade do mercado na prestação dos serviços de Iluminação Pública. A ANEEL não pode interferir na prestação dos serviços feita pelas prefeituras municipais. Eventuais queixas a respeito de Iluminação Pública precisam ser formalizadas diretamente nas prefeituras, ainda que a distribuidora de energia elétrica é a empresa contratada.

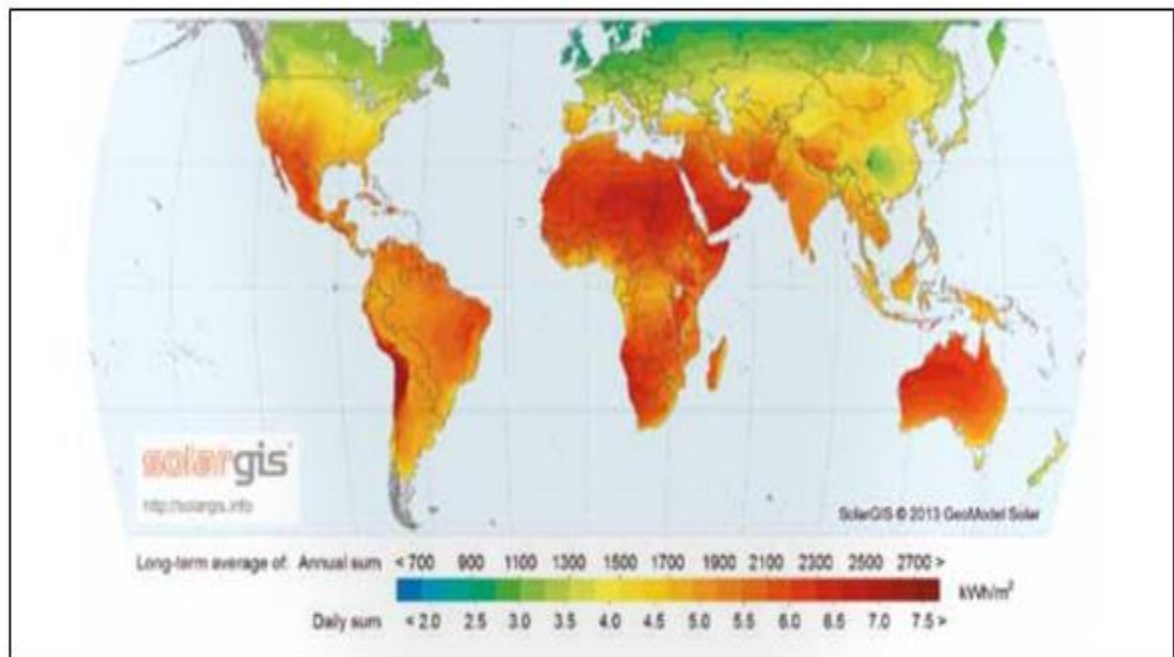
## 6 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica foi descoberta por Edmond Becquerel em 1839, ele constatou a diferença de potencial no extremo de uma estrutura semicondutora exposta à luz, em 1876 foi montado o primeiro painel fotovoltaico, a produção teve início em 1956. Devido à crise mundial de energia nos anos 70, houve a preocupação de estudar novas tecnologias para fontes de energia incluindo o sistema fotovoltaico. No final de 2013 o preço do módulo fotovoltaico de c-Si (silício) encontra-se cerca de 0,65 U\$/Wp nos EUA e em torno de 3 R\$/Wp no Brasil (ABINEE, 2012).

### 6.1 Radiação solar

A irradiação do sol no Brasil é muito grande. Como mostrado na Figura 15, sendo assim, o país é um excelente mercado para o setor energético, pois essa radiação solar que incide sobre a superfície é em torno de 2300 kWh/m<sup>2</sup> (ANEEL, 2015).

Figura 15 – Mapa Global da Irradiação Solar



Fonte: (Solsquare, 2015).

### 6.1.1 O Sol como fonte de energia

O Sol fornece energia na forma de radiação, que é a base de toda a vida na Terra. No centro do Sol, a fusão transforma núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio, e neste processo, parte da massa é transformada em energia. A radiação solar é eletromagnética e se propaga, emitindo uma luz branca. Devido à grande distância existente entre o Sol e a Terra e ao raio médio da mesma, apenas uma mínima parte da radiação solar emitida atinge a superfície terrestre. Esta radiação corresponde a uma quantidade de energia aproximada de  $1.367 \text{ W/m}^2$ , de acordo com a Equação 08: (CEPEL, 2014).

$$E = h \cdot f \quad (8)$$

$E$  - energia da onda (expressa em joules [J] ou elétrons-volt [eV ]);

$f$  - frequência (expressa em hertz [Hz]);

$h$  - constante de Planck, que vale aproximadamente  $6,636 \cdot 10^{-34} [\text{J}\cdot\text{s}]$ .

A luz viaja com uma velocidade constante no vácuo, a fórmula matemática apresentada em seguida relaciona a frequência, o comprimento da onda e a velocidade da onda eletromagnética de acordo com a Equação 09:

$$c = f \cdot \lambda \quad (9)$$

$c$  - velocidade da luz no vácuo (aproximadamente  $300.000 \text{ km/s}$ );

$\lambda$  - comprimento da onda (expressa em submúltiplos de metros);

$f$  - frequência da onda (em hertz).

### 6.1.2 Processos de medição da radiação solar

A medição da radiação solar pode ser efetuada com piranômetros, por sensores fotovoltaicos ou indiretamente através da análise das imagens de satélite. Os piranômetros são instrumentos de medição de elevada precisão, que medem a radiação solar num plano horizontal. (CEPEL, 2014).

## 6.2 Distribuição da radiação solar

A intensidade da radiação solar fora da atmosfera depende da distância entre o Sol e a Terra. Durante o decorrer do ano, pode variar entre  $1,47 \times 10^8$  km e  $1,52 \times 10^8$  km. Devido a este fator, a irradiância varia entre  $1.325 \text{ W/m}^2$  e  $1.412 \text{ W/m}^2$ . A atmosfera reduz a radiação solar através da reflexão, absorção (ozono, vapor de água, oxigênio, dióxido de carbono) e dispersão (partículas de pó, poluição). (CEPEL, 2014).

### 6.2.1 Radiação direta e difusa

Segundo Cepel, (2014). A luz solar que atinge a superfície terrestre é composta por uma fração direta e por uma fração difusa. A radiação direta vem segundo a direção do Sol, produzindo sombras bem definidas em qualquer objeto.

### 6.2.2 Posição do sol e reflexão na terra

A irradiância solar depende da altura do Sol. Esta é calculada a partir de uma base horizontal. Devido à sua trajetória, sendo que a altura muda durante o dia e durante o ano. A luz solar toma o percurso mais curto através da atmosfera quando a posição do Sol é perpendicular à superfície da Terra. O albedo varia de acordo com a composição da superfície terrestre. Trata-se de um dado inicial solicitado por alguns programas de simulação.

### 6.2.3 Ângulos de relação sol e terra

O nosso planeta, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado com relação ao plano equatorial, ela é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano. A posição angular do Sol, ao meio dia solar em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar ( $\delta$ ). ( $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ ). A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma localidade na Terra. Na Figura 16 vemos a irradiância ao longo do dia. (ALVARENGA, 2011).

Figura 16 – Perfil de irradiância solar ao longo do dia



Fonte: (Melos, 2015).

#### 6.2.4 Placa fotovoltaica

São impressos contatos metálicos nas células na parte frontal e posterior. É possível conseguir uma camada de contato em toda a extensão da célula, com a aplicação de uma folha de alumínio na parte posterior e translúcida na parte frontal. A reflexão da luz pode ser reduzida, com o depósito por vapor de uma camada antirreflexo na parte frontal da célula solar, feita de nitrito de silício ou de dióxido de titânio. (ALVARENGA, 2011).

- a) Células de Silício Monocristalino: São historicamente as mais usadas, pioneiras e comercializadas como conversor direto de energia solar em eletricidade. Seu rendimento elétrico é relativamente elevado entre 16% à 23% em laboratório;
- b) Células de Silício Policristalino: São mais baratas por exigirem um processo de preparação menos rigoroso e a eficiência cai um pouco apresentando um rendimento elétrico entre 11% à 18% em laboratório;
- c) Células de Silício Amorfo: Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o silício amorfo apresenta desvantagens como a baixa eficiência de conversão e as células apresenta um rendimento elétrico de 8% à 13% em laboratório.

#### 6.2.4.1 Estrutura de uma placa fotovoltaica

Esses módulos fotovoltaicos constituídos de células solares associadas eletricamente variando o tamanho do dispositivo entre 0,2 m<sup>2</sup> à 1,5 m<sup>2</sup>, geralmente ligadas em série. Assim, a tensão de circuito aberto, DDP (diferença de potencial) quando a corrente elétrica é nula, gira na ordem de 20 V. Após serem soldadas, as células são encapsuladas com a finalidade de isolá-las do exterior e protegê-las contra danos. De acordo com a Figura 17: (CEPEL, 2014).

Figura 17 – Estrutura e Materiais - Placa Fotovoltaica



Fonte: (Alvarenga, 2011).

- a) Cobertura frontal: habitualmente é usado um vidro temperado de baixo teor de ferro e de alta transparência, reduzindo assim as perdas por absorção.
- b) Encapsulante: polímero termoplástico transparente, isolante e resistente à umidade, à fadiga mecânica e à ação da radiação solar. EVA (Etil Vinil Acetato), por exemplo.
- c) Células fotovoltaicas, interconexões elétricas.
- d) Caixas de bornes: conjunto elétrico do módulo.
- e) Cobertura posterior: o material mais empregado é o PVF (Fluoreto de Poli Vinil), comercialmente conhecido por Tedlar.
- f) Moldura metálica: usualmente de alumínio anodizado, possibilitando a rigidez mecânica ao módulo e facilitar a fixação.
- g) Na Figura 17 é mostrada a estrutura de uma placa, cuja durabilidade é superior a 25 anos e atualmente está determinada pela degradação dos materiais usados no encapsulamento, ou seja, a durabilidade das células solares de silício cristalino é bastante superior (ALVARENGA, 2011).

### 6.3 Sistemas conectados à rede de distribuição

É necessário que os painéis fotovoltaicos sejam montados em áreas abertas, esses locais são alimentados pela energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos. Para fazer a captação da energia emitida pelo sol. Ao atingir os painéis, os raios solares (fótons) fazem os elétrons se movimentarem e como consequência é gerada a eletricidade em corrente contínua, para que a energia possa ser utilizada pelos, em corrente alternada, é necessário à utilização de um inversor CC/CA no sistema *on-grid*, que irá converter a energia na mesma frequência entregue pela concessionária, no nosso caso a CEMIG. (DASOL, 2013).

Já o sistema *off-grid* é utilizado principalmente, onde não haja rede elétrica próxima, ou isolados, como no caso dos postes autônomos. A energia produzida é armazenada em baterias, que por sua vez garantem o funcionamento do sistema em períodos com pouco, ou ausentes, de luz solar, como dias nublados ou à noite. Durante o dia, em momentos em que a produção de energia supera o consumo, este excesso é enviado ao banco de baterias para que, ela possa ser utilizada para abastecer a rede ligada ao sistema. É preciso dimensioná-las levando em conta as características climáticas do local e a demanda de energia sobre o sistema. Ainda existe o fato de que não é ecologicamente correta, por utilizar bancos de baterias que serão descartadas (DASOL, 2013).

### 6.4 Sistemas fotovoltaico autônomos

Os sistemas autônomos, isolados ou *OFF-GRID*, necessitam de algum tipo de armazenamento, este pode ser realizado com o uso de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos nos períodos em que não há geração fotovoltaica. *OFF-GRID* com o poste de iluminação fotovoltaico autônomo, pode-se definir o gerador fotovoltaico como sendo a placa fotovoltaico, esta placa converte a energia solar em energia elétrica, a unidade de controle e condicionamento de potência é o controlador de carga do poste solar, ele faz o controle de carga de todo o sistema, ou seja, ele conecta o painel fotovoltaico a bateria, fazendo o controle da energia que carrega bateria. (Pinho; Galdino, 2014).

#### 6.4.1 Equações para o dimensionamento das baterias

Para realizar o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizado o método da Equação 10. (CECHINEL DOUGLAS IHA YOSHIDA, 2014).

$$Ah = \frac{Ct \cdot Au}{T \cdot Pd(n)} \quad (10)$$

*Ah* - capacidade;

*Ct* - consumo total (Wh/dia);

*Au* - autonomia = Medida em dias, prevê um período sem insolação, normalmente varia entre 3 a 5 dia;

*T* - tensão da bateria utiliza-se 12V para sistemas pequenos;

*Pd* - profundidade de descarga no final da autonomia, geralmente adotado o valor 0,6 para as baterias estacionárias;

*Pdn* - profundidade da descarga no final de cada noite, quanto menor o valor maior a vida útil da bateria. Adota-se 0,2 para uma vida útil estimada de 4 anos.

#### 6.4.2 Cálculo para o dimensionamento do painel solar

Para o dimensionamento do painel fotovoltaico utiliza-se Equação 11. (CECHI- NEL DOUGLAS IHA YOSHIDA):

$$Wp = \frac{Ct}{H \cdot Fpp \cdot Fps} \quad (11)$$

*Wp* - potência mínima do gerador, ou seja, potência mínima necessário total dos módulos fotovoltaicos para se gerar a energia demandada pelas cargas;

*Ct* - consumo Total (Wh/dia);

*H* - Horas equivalentes de sol pleno, medido em horas/dia, valor. Corresponde ao valor médio diário de insolação medido em horas de uma determinada região;

*Fpp* - fator de perda de potência, ou seja, perdas devido ao fato da tensão da bateria ser inferior a tensão máxima de potência do módulo fotovoltaico;

*Fps* - fator de perdas e segurança, refere-se as perdas do sistema devido a fatores como temperatura de trabalho, tolerância na fabricação, poeira, degradação, sombras ocasionais ao longo do dia, desalinhamentos. Geralmente adota-se 0.8 mas pode variar entre 0 e 1.



### 6.4.3 Método da corrente máxima do módulo

Nesse método considera-se que não é possível ter o aproveitamento máximo da energia solar, pois o sistema fotovoltaico não está equipado com o recurso MPPT (rastreamento do ponto de máxima potência do módulo). O primeiro passo no cálculo da energia produzida pelo método através desse módulo em sua folha de dados, podem ser usadas as características em STC (condição padrão de teste do módulo) ou NOCT (condições normais de operação do módulo). (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

6.4.3.1 O cálculo da energia produzida pelo módulo conforme Equação 12 e a potência do módulo é calculada na Equação 13:

$$E_p = P_M \cdot H_S \quad (12)$$

$E_p$  - energia produzida pelo módulo diariamente [Wh];

$P_M$  - potência do módulo [W];

$H_S$  - horas diárias de insolação [horas].

$$P_M = I_{SC} \cdot V_{BAT} \quad (13)$$

$P_M$  - potência do módulo [W];

$I_{SC}$  - corrente de curto-circuito do módulo [A];

$V_{BAT}$  - tensão da bateria ou do banco de baterias [V].

A quantidade de horas diárias de insolação de uma localidade é um número prático que pode variar ao longo do ano e é diferente para cada região geográfica. Os valores que possibilitam bons resultados para o cálculo da energia nesse método estão entre quatro a seis horas (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

### 6.4.4 Aplicações dos sistemas fotovoltaico autônomos

Os sistemas fotovoltaicos autônomos, podem ser utilizados para fornecer eletricidade para residências em zonas rurais, na praia e em qualquer lugar onde a energia elétrica não esteja disponível. Os sistemas autônomos também encontram aplicações na iluminação pública, sinalização de estradas e na alimentação de sistemas de telecomunicações, assim, um sistema

fotovoltaico autônomo pode ser empregado para substituir geradores movidos a diesel, com a vantagem da redução dos ruídos e da poluição. Os sistemas fotovoltaicos exigem pouca manutenção, são silenciosos, ecológicos e não precisam de abastecimento de combustível. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

#### 6.4.4.1 Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo

Um sistema fotovoltaico autônomo é geralmente composto de uma placa ou um conjunto de placas fotovoltaicas, um controlador de carga, uma bateria e, conforme a aplicação, um inversor de tensão contínua para tensão alternada. Os módulos fotovoltaicos produzem energia na forma de corrente e tensão contínuas, e para algumas aplicações é necessário converter essa energia em corrente alternada através de um inversor. Em aplicações que requerem baterias deve ser empregado um controlador de carga, que é um carregador específico para aplicações fotovoltaicas. O controlador de carga é usado para regular a carga da bateria e prolongar sua vida útil, protegendo-a de sobrecargas ou descargas excessivas. Alguns modelos de controladores ainda têm a função de maximizar a produção de energia do painel fotovoltaico através do recurso denominado MPPT (Maximum Power Point Tracking - rastreamento do ponto de máxima potência). (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

## **7 EMBASAMENTO SOBRE A CIDADE**

Seritinga é um município brasileiro, localizado no sul de Minas Gerais. Segundo dados do IBGE, a população estimada no ano de 2015 era de 1789 habitantes. De acordo a Prefeitura Municipal, as principais atividades econômicas são, respectivamente: turismo, serviços públicos, agricultura de subsistência, pecuária e comércio. Em relação a eficiência energética, o município não possui uma Gestão Energética Municipal. No entanto, há o interesse da Prefeitura pelo investimento em projetos ligados à área de iluminação pública. Por ser uma cidade pequena e ter uma viabilidade para a realização do mesmo.

### **7.1 Interesse na iluminação pública**

Para o setor elétrico, a redução do desperdício resulta em postergar os investimentos dos recursos públicos, ou privados, na ampliação do sistema de geração, transmissão e distribuição de energia, que visam atender à crescente demanda. Expandido os benefícios, observando seu retorno a nível nacional, o país conta com a possibilidade da elaboração de uma estratégia municipal integrada, a concentração dos esforços para a economia de energia, a possibilidade de elaboração de projetos com visão global e a execução de inventários dos sistemas elétricos municipais.

### **7.2 Trevos e intercessões**

Os trevos e rotatórias são responsáveis pelas junções de vias rurais ou pelos acessos e saídas destas podendo ser de baixa ou alta complexidade e ter um ou mais níveis de pista. Estes, quando condições naturais de iluminação podem ser identificadas facilmente com o auxílio da sinalização, contudo, no período noturno a percepção é dificultada, principalmente à longa distância. A iluminação deve permitir aos motoristas identificar as características dos trevos, a visualização dos demais veículos acessantes bem como permitir a percepção dos veículos que já trafegam na via. Do ponto de vista de segurança, a condição mais crítica é quando temos apenas um nível, pois é quando a probabilidade de colisão é maior. O trevo da cidade está demonstrado por foto satélite na Figura 18, para uma melhor visão da via.

Figura 18 – Trevo de Seritinga



Fonte: (Google, 2018).

A Figura 19 mostra o trevo de Seritinga, onde há em andamento um projeto de iluminação que visa melhorias na qualidade e segurança da entrada da cidade afim de evitar acidentes provenientes da proximidade à duas curvas fechadas, onde foram avaliados os dados para o sistema de iluminação no local.

Figura 19 – Trevo de Seritinga diurno



Fonte: O autor.

## 8 ESTUDO DE CASO

Primeiramente, foi consultada a Prefeitura Municipal Seritinga, e foi exposto o estudo que se direcionaria a Iluminação Pública da cidade. A partir deste, foram reunidos documentos necessários para o início dos trabalhos. Contatos com a concessionária para aquisição dos dados como números de pontos de iluminação, potência de cada ponto e potência total. No entanto, a concessionária não informou os dados solicitados.

### 8.1 Dados obtidos da iluminação pública

Levantamento dos pontos de iluminação existente na cidade, mostrados na Tabela 05. Sistema que é encontrado em Seritinga, o sistema pertence ao Município, sendo a concessionária responsável por fornecer a energia elétrica.

Tabela 05 – Dados levantados do sistema de Iluminação Pública de Seritinga

<b>Tipo de lâmpada</b>	<b>Pontos</b>	<b>Potência Lâmpada (W)</b>	<b>Perda reator (W)</b>	<b>Potência+ Perda Reator (W)</b>	<b>Total Geral (kW)</b>
Vapor de Mercúrio	12	80	9,6	89,6	1,08
Vapor de Mercúrio	4	125	13,7	138,7	0,56
Vapor de Mercúrio	1	400	36	436	0,44
Vapor de Sódio	165	70	14	84	13,8
Vapor de Sódio	34	100	17	117	3,98
Vapor de Sódio	23	150	22	172	3,96
Vapor de Sódio	11	250	30	280	3,08
Total	250	-	-	-	26,96 kW

Fonte: O autor.

Verificando-se que pode ser realizado cálculo da fatura de energia, chegando a um consumo de 323,52 kWh/dia na Resolução 414 da ANEEL prever 12 horas de acionamento por dia e a um total mensal de 9,7 MWh e anual de aproximadamente 116,4 MWh. Sendo que o valor mensal da conta de luz repassada pela CEMIG fica em torno de R\$ 10.756,27 de acordo com a Tabela 07, mas os cálculos são variáveis de acordo com o critério visto na Tabela 06.

### 8.1.1 Avaliação do sistema atual

A variação de densidade da iluminação da iluminação obsoleta, comprovado por medições e cálculos, resulta da aplicação de diferentes tecnologias de lâmpadas, da falta de difusor óptico e também, da contribuição de iluminação externa. Para o cenário estudado, os níveis de iluminação atende, contudo, o fator de uniformidade não está adequado com o recomendado pela NBR 5101. Para uma melhor economia nos gastos com IP é melhor ser utilizada a tecnologia LED, fazendo assim um *retrofit*, além de ser melhor para o meio ambiente, que terá menos poluição sendo emitida, melhorando a qualidade da visão noturna e economizando dinheiro público. Na Tabela 06 encontram-se os dados referentes compilados do levantamento realizado no município os tipos e quantidades de lâmpadas e reatores eletromecânicos.

Tabela 06 – Consumo anual com valor da concessionária CEMIG

<b>Mês/Ano</b>	<b>Números de Dias</b>	<b>Histórico de Consumo (kWh)</b>
Jan	31	28.463
Fev	28	23.773
Mar	31	28.463
Abr	30	26.900
Mai	31	28.463
Jun	30	26.900
Jul	31	28.463
Ago	31	28.463
Set	30	26.900
Out	31	28.463
Nov	30	26.900
Dez	31	28.463

Fonte: O autor.

A fatura de energia é totalmente dividida pelos moradores da cidade, na taxa de iluminação pública cobrada pela CEMIG, essa taxa é repassada a população total, mas por residência e fica em torno de R\$ 30,00 reais por residência ou comércio. A demanda no caso é contratada, pois se fosse julgada de forma normal a conta sairia muito maior. Os repasses também contemplam manutenções eventuais e outros meios, no entanto com a substituição LED, esses repasses de economia podem até não ser tão altos na fatura pois o equivalente de iluminância das lâmpadas pedia uma potência parecida, mas no geral elas se pagam e ainda

podem ser mais eficientes, com menos prejuízos financeiros para os moradores. Poderia ser feito parceria com a prefeitura ou proposto para ser pago essa substituição. A Tabela 07 refere-se ao custo total para a prefeitura, depois de taxas infligidas pela concessionária CEMIG, segundo Resolução ANEEL Nº 2.255, é usada 2017B4b - Bulbo da Lâmpada e com ICMS PIS/COFINS.

Tabela 07 – Impostos e Taxas

<b>Dados</b>	<b>Equação</b>	<b>Resultado</b>
Potência Total Instalada	P	26.96 KW
Tempo de operação Mensal	t	360 h
Consumo IP CEMIG	$E=( P \times t ) / E=P$	26.96 KWh
Fator de potência	fp	0,92
Bandeira Tarifária	T	R\$ 0,3621
Custo Total Mensal	$C= E \text{ fp} \times T$	R\$ 8.013,91
Tarifa KWh + ICMS	Vscc	0,3422
Fatura	$F = C + ( Vscc \times C )$	R\$ 10.756,27

Fonte: O autor.

### 8.1.2 Luminária proposta para *retrofit*

A escolha dos modelos de teste será a partir do nível de fluxo luminoso e potência que os modelos no mercado oferecem, definiu-se pela tecnologia LED. Definiu-se pelo uso luminárias LED da marca Philips mostrada na Figura 20.

Figura 20 – Luminária LED para Iluminação Pública



Fonte: (Combinado, 2013).

De acordo com as informações construtivas fornecidas por fabricante, o custo de cada luminária é de R\$ 350,00, e a especificação da luminária se dá pela Tabela 08.

Tabela 08 – Luminária Philips LED, modelo Chip

<b>Especificações</b>	<b>Grandezas</b>
Tensão Nominal	90 a 305 Vac
Frequência	60 Hz
Potência	100W
Fator de Potência	> 0.92
Fluxo Luminoso	15.000 Lm
Temperatura de Cor	6.500 k
Vida Útil	50.000 h
Grau de Proteção	IP66

Fonte: (Philips, 2018).

### 8.1.3 Comparativo entre iluminação de vapor de sódio e de LED

A Figura 21 evidencia claramente a evolução da tecnologia em comparação a outras já existentes no mercado. Embora o emprego da tecnologia LED ainda possua alguns desafios a serem vencidos, principalmente seu alto custo inicial e na regulamentação de sua fabricação, a mesma apresenta grandes vantagens, tais como a qualidade de sua luz e sua eficiência energética. Devido ao processo de espalhamento que ocorre nas lâmpadas convencionais, o qual parte da luz emitida não é direcionada para a região principal a ser iluminada, provoca a poluição luminosa. Já com a luminária LED é possível assegurar uma orientação correta do sistema de iluminação. (GIANELLI, 2009).

Figura 21 – Comparativo da luminária LED X Vapor de sódio



Fonte: (Gianelli, 2016).



Um dos grandes benefícios que possivelmente decorrerão da utilização em larga escala de dispositivos de LED para iluminação geral é a diminuição de energia. Cerca de 50% de energia consumida com iluminação em todo o mundo poderia ser poupada com a utilização da mesma. Isto representa um decréscimo aproximado no consumo total de energia em termos mundiais. Atrelada à questão de redução do consumo de energia está a questão ambiental. Grande parte da energia elétrica produzida no mundo gera poluição, assim, a redução no consumo de energia elétrica está diretamente ligada à redução da emissão de poluente para a atmosfera. O combate ao desperdício de energia através da modernização ou da adequação dos sistemas de iluminação pública é, portanto, uma forma de preservação do meio ambiente. Nesse contexto há um comparativo na Tabela 09 sobre as duas tecnologias. (RODRIGUES,2012).

Tabela 09 – Dados das Lâmpadas em comparativo técnico

<b>Itens</b>	<b>Sódio em alta pressão</b>	<b>LED</b>
Vida Útil	16.000 horas	≥ 50.000 horas
Consumo Elétrico	Alto	Baixo (economia acima de 50%)
Faixa de frequência de operação	± 7%	± 20%
Tempo de Startup	≥ 5 minutos	2 segundos
Eficiência ativa	85,3 lm/W	157,5 lm/W
Índice de reprodução de cores (IRC)	IRC ≤ 50	IRC ≥ 75
Brilho adverso	Alto ofuscamento	Baixo ofuscamento
Aquecimento	> 300 °C	< 60 °C
Distorção Harmônica Total (DHT) (Tensão)*	1,46%	1,33%
DHT (Corrente)*	10,50%	7,17%
Poluição ambiental	Alta (chumbo, mercúrio, etc.)	Quase nenhuma
Custo de manutenção	Alto	Baixo

Fonte: (PROCEL, 2009).

#### 8.1.3.1 *Retrofit* na substituição das luminárias

O comparativo econômico, leva em consideração por principal o item consumo de energia elétrica de cada tecnologia, apresentado na Tabela 10. A análise técnica, visa uma comparação de características entre as duas tecnologias relativas à vida útil, operação, eficiência energética, padrões de iluminação e desempenho integrado do sistema. Com preço e porcentagem de economia gerada pelo cálculo feito no *retrofit* das duas tecnologias.

Tabela 10 – Ponto de vista econômico vapor de sódio x LED

Itens	Vapor de sódio	Led
Potência da lâmpada	250 W	100 W
Reator	Sim	Não possui
Perda no reator	30 W	Não possui
Potência do conjunto	280 W	100 W
Horas de uso diário	12 h	12 h
Consumo mensal	100,8 kWh	36 kWh
Fator de potência	0,92	0,92
Tarifa de energia	R\$ 0,3621 kWh	R\$ 0,3621 kWh
Conta de energia	R\$ 33.362,12	R\$ 11.992,75
Economia Gerada		35,94 %

Fonte: O autor.

As lâmpadas atualmente aplicadas possuem diferentes tempos de vida útil, e diferentes níveis de fluxo luminoso, tendo em vista a variação de dados técnicos entre fabricantes, a comparação teve cerca 80% de rendimento maior da lâmpada LED levando em consideração manutenções e substituições de ambas em 5 anos e a expectativa de retorno do investimento da tecnologia LED para a cidade, se pagaria em 4 anos.

A proposta de *retrofit* para a cidade de Seritinga prevê luminárias que atendam as condições mínimas (nível de iluminância e fator de uniformidade) exigidas pela norma NBR 5101 como vimos acima e visando lucro futuro como principal objetivo.

#### 8.1.4 Órgãos públicos

Para alterar a Iluminação Pública no município, deve-se apresentar os projetos para serem analisados e aprovados. Essas são as informações e os documentos necessários para realizar o procedimento. Após guardados para futuras avaliações e fiscalizações.

##### 8.1.4.1 Documentação de rede com iluminação pública

O projeto de Instalação, substituição ou extensão de rede com Iluminação Pública deve ser apresentado para análise e aprovação contemplando:

- a) Carta de apresentação de projeto, com assinatura do responsável técnico, para análise e aprovação;
- b) Projeto com assinatura original do responsável técnico, em 5 vias;
- c) ART com assinatura (original atualizada) do Projeto;
- d) Relação de materiais e serviços;
- e) Arquivo digital do projeto em Autocad;
- f) Referências Elétricas desenhadas no projeto;
- g) Declaração descritiva da carga, informando a quantidade e a potência unitária;
- h) Tabela com as coordenadas UTM de todos os postes projetados e existentes;
- i) Detalhamento das intervenções na rede existente, quando aplicável;
- j) Declaração de projetista ou empresa construtora, especificado no Padrão Técnico, em caso de Construção de rede de distribuição por terceiro;
- k) Proposta para governo de relatórios, projetos, cálculos, etc.

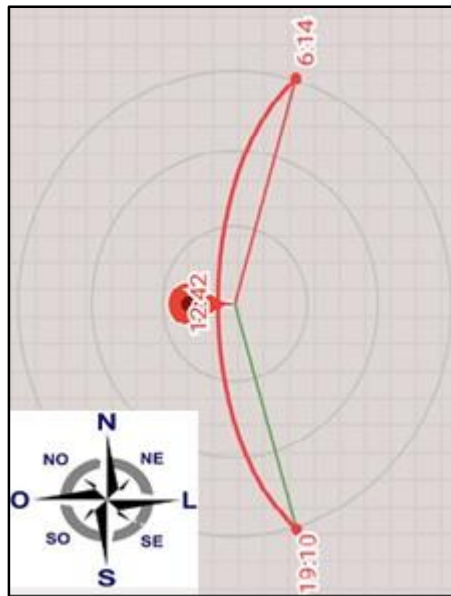
## **8.2 Estudo de caso do trevo**

Comparado com o sistema *on-grid* ele se difere em locais mais longe do sistema elétrico de potência, com melhor rendimento de lucro, mas a qualidade do sistema *off-grid* ainda é superior como por exemplo o trevo próximo a faculdade Unis, que tem a medição em lux até 3 vezes superior ao trevo calculado no trabalho.

### **8.2.1 Dimensionamento azimutal**

Direção, local e rota do Sol em alguns períodos do dia mostrados na Figura 22 a seguir. Rota que será ativado o sistema do poste autônomo. Verificado com aplicativos, mapas e feito as medições do local, orientando as placas fotovoltaicas para a posição correta.

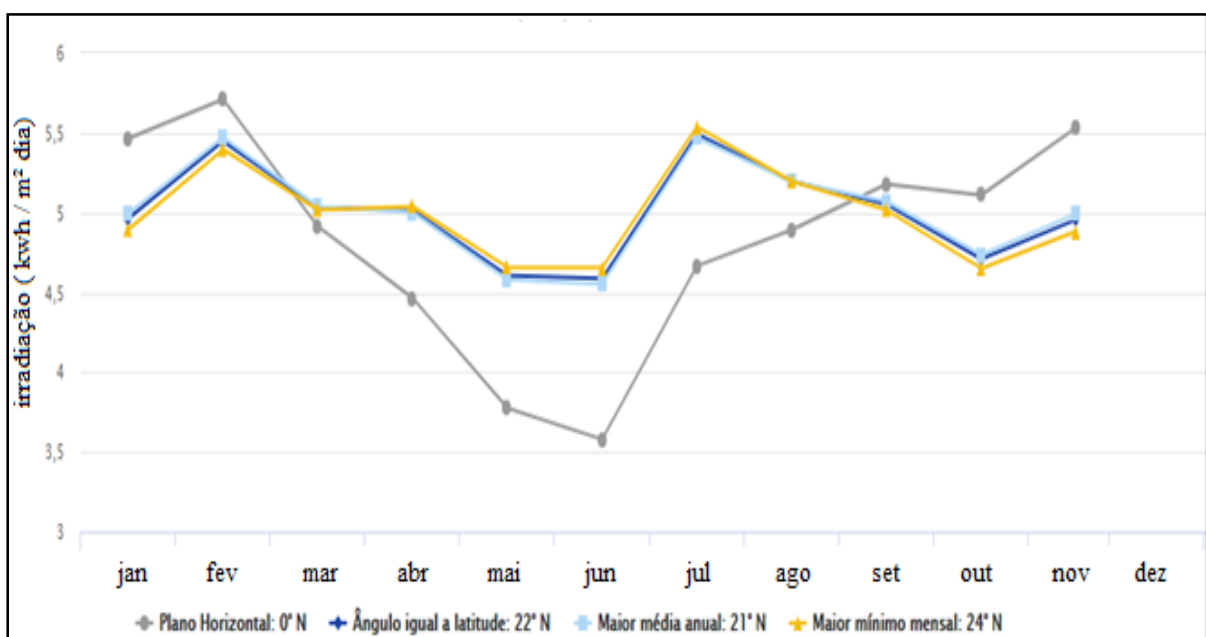
Figura 22 – Orientação solar de Seritinga, MG - Brasil



Fonte: O autor.

A orientação é uma parte fundamental para o projeto, verificado as coordenadas para o dimensionamento do projeto e lançado a um simulador para gerar o gráfico anual demonstrado na Figura 23. De acordo com o programa Sundata, que demonstra os índices adequados para a colocação das placas, simula quanto de irradiação solar há no local e angulação precisa do sol em relação ao local.

Figura 23 – Irradiação solar no plano inclinado de Seritinga, MG - Brasil



Fonte: (SUNDATA, 2018).

A Tabela 11 apresenta um resumo do sistema calculado.

Tabela 11 – Resumo cálculos

<b>Importância</b>	<b>Resultado</b>
Capacidade do Sistema FV	270 kWp
Potência Instalada	
Coordenadas	Latitude: 21°54'33"S Longitude: 44°31'09"W
Inclinação dos módulos	22°
Quantidade de Módulos	2
Fotovoltaicos	
Eficiência Estimada	75%
Radiação Solar	4,5 kWh/m <sup>2</sup>
Média Diária	

Fonte: O autor.

Dados referentes ao projeto implantado no local, para uma melhor visualização das proporções e padrões usados no contexto referido pelo simulador. A Figura 24 mostra o poste autônomo no período diurno, enquanto ele carrega sua bateria em média 6h diárias.

Figura 24 – Poste Autônomo



Fonte: O autor.

## 8.2.2 Dimensionamento dos equipamentos do poste solar

Para o dimensionamento dos equipamentos que compõem o poste de iluminação fotovoltaico foi utilizado como base principal de cálculo a potência da luminária, sendo esta potência 20W.

### 8.2.2.1 Bateria estacionária

Como foi apresentado, utilizando a potência da luminária e estimando o tempo de uso em 10h (dez horas), calcula-se o valor de Ah por meio da equação para bateria. Utiliza-se a profundidade de descarga da bateria igual a 0,2 do valor total da carga da bateria, a tensão de alimentação da luminária é 12V e o consumo total do equipamento durante o período de tempo estimado é de 200W h, assim a capacidade da bateria é 150 Ah. Portanto, a bateria estacionária escolhida que atende e supri o projeto é a Freedom DF500.

### 8.2.2.2 Módulo fotovoltaico

Para o dimensionamento do módulo fotovoltaico utiliza-se a equação das placas, assim os dados para o dimensionamento são: o consumo total de 200W h, as horas equivalentes de sol pleno 6h, o  $F_{pp}=0,9$  e o  $F_{ps}=0,8$ . Portanto, o equipamento escolhido para equipar o poste solar é um módulo de 275 Wp.

### 8.2.2.3 Controlador de carga MPPT

Para o dimensionamento do controlador de carga utiliza-se a corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico, sendo esta corrente fornecida no manual do mesmo. Desta maneira, multiplica a  $I_{cc}=5,1A$  (corrente de curto circuito) por um fator de segurança de 30%, logo a corrente é  $I_{cc}=6,63A$ . Portanto, o controlador de carga MPPT foi SCCM10-100 que suporta até 10A/100V.

## 8.2.3 Medições da iluminância

A Figura 25 mostra o trevo com os postes em funcionamento no período noturno, a iluminação está dentro da norma, mas ainda assim está um pouco escuro. Mas com o farol do carro também iluminando a via, fica bem nítida a visão do motorista na estrada, ajudando na direção tanto para transito quanto evitando acidentes recorrentes nos trevos.

Figura 25 – Trevo de Seritinga noturno



Fonte: O autor.

Para a verificação do nível de iluminação, realizou-se a medição da iluminância real a partir do Luxímetro digital. Na Figura 26, as medições foram executadas, com condições climáticas estáveis. Para avaliação do sistema atual, determina-se primeiramente a iluminância média. Neste estudo, a iluminância da via resulta em 26,72 Lux em 12m de diâmetro, podendo variar do menor fecho de luz com 5,42 Lux em em 16m de diâmetro a 127 Lux em 4m de diâmetro. No centro do trevo ficou bem iluminado e ajuda bastante o motorista a fazer a conversão para a cidade, porém nas laterais da pista ainda ficou escuro, mesmo estando dentro da norma, mas com o farol do carro ligado ela aumenta exponencialmente. A altura maior e um pouco mais de potência nos refletores seriam o excencial para o caso.

Figura 26 – Luxímetro Digital Hikari HLX-881



Fonte: O autor.

#### 8.2.4 Valor do sistema *off-grid* ao longo de 20 anos

O valor do sistema *off-grid* foi analisado para um período de 20 anos porque trata-se do tempo estimado de vida útil do módulo fotovoltaico. Nos demais componentes principais do poste solar, será preciso efetuar a troca da bateria a cada 4 anos, o controlador a cada 10 anos e a luminária a cada 10 anos. O valor a ser desembolsado para a substituição de cada equipamento em um período de 20 anos, assim como o custo total.

Portanto, o valor calculado para a substituição dos equipamentos do poste solar gira em torno de R\$ 3050,00. Agora, adicionando o valor de R\$ 4900,00 referente a aquisição do poste solar ao custo total no período de 20 anos tem-se o montante de R\$ 7950, 00. Para a linha chegar até o local somente o custo de compra de postes sairia em torno de R\$ 10.800 sendo 3km e 36 postes de madeira, cabeamento em torno de R\$ 16,700 e mão de obra não foi especificada pela concessionária pesquisada. No entanto foi uma medida rápida e eficaz com três vezes menos o investimento de levar uma rede elétrica até o local.



## 9 CONCLUSÃO

Foi possível observar após a conclusão desse estudo, um aumento da rentabilidade em quatro vezes, no decorrer de cinco anos, quando aplicado o *retrofit* da tecnologia obsoleta pelo LED, que em comparação com a anterior apresenta uma eficiência de aproximadamente 80%. Apesar do investimento inicial da tecnologia ter um custo mais elevado, constatamos o retorno deste investimento em aproximadamente quatro anos quando colocamos em pauta os custos com manutenção, substituição e serviços prestados bem como as questões ambientais, sociais e de segurança.

Confirmou-se então a viabilidade da aplicação nos locais *off-grid* do trevo estudado, pois atende as condições de iluminação da norma, no entanto sugerimos para melhor eficiência, a instalação de dois postes adicionais, ou o aumento da altura dos já existentes com lâmpadas de maior potência, ressaltando ainda que a iluminância seria dobrada no trecho uma vez que se trata de uma via de tráfego apenas de veículos.

A solução apresentada, seria então mais eficiente, por se ter constatado uma economia em três vezes do sistema autônomo de postes, quando comparado à extensão das linhas até os mesmos, porém, o sistema faz uso de baterias que se degradarão com o tempo, tornando o projeto inviável em vista de novas tecnologias na decorrência de vinte anos da vida útil do mesmo. Cada caso é específico, obtivemos bons resultados em um trevo deste porte, porém, em trevos maiores teríamos a necessidade de observar novas especificações e parâmetros.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Micro e Minigeração Distribuída: **Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigeração+Distribuída+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 07 fev. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?Version=1.0>>. Acesso 28 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 26 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Portaria Nº 466 de 12 de Novembro de 1997**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/655812/15399214/Eletrosul+Centrais+El%C3%A9tricas+S.A.+%28Portaria+de+Caducidade%29/3a459203-72c0-064a-4c71-2f7bbc286aa6?version=1.0>>. Acesso 28 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Portaria Nº 185 de 17 de Outubro de 1988**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1988185.pdf>>. Acesso 18 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Portaria Nº 158 de 24 de Abril de 2008**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1989158.pdf>>. Acesso 15 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Portaria Nº 730 de 28 de outubro de 1994**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/prt1994730.pdf>>. Acesso 29 mai. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução homologatória Nº 2.255 de 20 de junho de 2017**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20172255ti.pdf>>. Acesso 10 jun. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa Nº 414 de 9 de Setembro de 2010**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>>. Acesso 11 jun. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa Nº 479. De 3 de Abril de 2012**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/049/resultado/ren2012479.pdf>>. Acesso 15 jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5101: Iluminação pública — Procedimento. Rio de Janeiro. 2012**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5181: Sistemas de iluminação de Túneis. Rio de Janeiro. 2013**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro. 2004**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5461: Iluminação – Terminologia. Rio de Janeiro. 1991**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6023: Informação e documentação -Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14724: Informação e documentação –Trabalhos Acadêmicos – Apresentação. Rio de Janeiro, 2011.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15129: Luminárias para iluminação pública – Requisitos particulares. Rio de Janeiro. 2012**

BRASÍLIA. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2017: Ano Base 2016. Rio de Janeiro: EPE, 2017. 292 p.**

Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p. BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil.

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade**. Portugal: Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>> Acesso 19 mai. 2018.

CECHINEL DOUGLAS IHA YOSHIDA, J. D. S. A. **Aurélio cechinel douglas iha yoshida**. 54, 55. [S.l.:s.n]

CEMIG. **Bandeiras Tarifárias**. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Paginas/Bandeiras\\_tarif%C3%A1rias.aspx](http://www.cemig.com.br/ptbr/atendimento/Paginas/Bandeiras_tarif%C3%A1rias.aspx)>. Acesso em: 27 mai. 2018.

CEMIG. Companhia Energética do Estado de Minas Gerais. **Projetos de iluminação pública:ND.3.4**. Belo Horizonte, 2012. 62p.

CEPEL. **Centro de Pesquisas de Energia Elétrica 2014**. Disponível em: <<http://www.cepel.br/>> Acesso 08 jun. 2018

COELBA (Bahia). Grupo Neoenergia. **Principais Números: Coelba - Dados da concessão**. 2013. Disponível em:<[http://www.coelba.com.br/Pages/A\\_Coelba/principais-numeros.aspx](http://www.coelba.com.br/Pages/A_Coelba/principais-numeros.aspx)>. Acesso em: 1 maio 2017.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Manual de Iluminação Pública**. Paraná, 2012. Disponível em: < <https://www.copel.com/hpcopel/root/index.jsp> > Acesso 20 nov. 2018.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia. **Tarifa Convencional - subgrupo B4b**.

Disponível em:

<<https://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereço=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FC88B3866720272B90325768F005E60F4?OpenDocument&secao=Distri buicao%3ATaxas%2520e%2520Tarifas>> Acesso 20 nov. 2018.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Radiação Solar**.

Disponível em

:<[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301)>. Acesso em: 27 mai. 2018.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Energia Solar Fotovoltaica**. Disponível em :<

[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=321](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=321)>. Acesso em: 27 mai. 2018.

DASOL – Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Energia Solar Térmica**.

Disponível em < <http://abrava.com.br/> > Acesso 18 mai. 2018

FERRONI, E et al. **Energia Solar geração distribuída**. *Lumiere Eletric*. São Paulo, v 5, p 1-92. Outubro 2016.

FINOCCHIO, Marco Antonio. **Noções gerais de projetos de iluminação pública**. UTFPR.

Universidade Tecnológica Federal do Cornélio Procópio, Paraná 32p. 2014.

GIANELLI, B. F.; SILVEIRA, M. C. F.; THAUMATURGO L. R. Y.; ASTORGA, O. A., **O emprego da tecnologia LED na iluminação pública – seus impactos na qualidade da energia e no meio ambiente**, Universidade Estadual Paulista –UNESP.

GIANELLI, B. F. et al. **Emprego de Tecnologia LED na Iluminação Pública–Seus Impactos na Qualidade de Energia e no Meio Ambiente**. In: The 8th latin american congress on electricity generation and transmission–CLAGTEE. 2009.

GOOGLE EARTH. **Seritinga Rodovia**. Disponível em <<https://earth.google.com/web/@-21.9365547,44.5846756,1081.82141056a,971.54071629d,35y,0h,45t,0r/data=claathjgcimwedllngrinthlogm4zgqzobj4owe3ogq2nzkywzhymm5yrl dan8mwu81wcf0ymqm1kpgwconu2vyaxrpbmdhlcbtzxciaeoaign>> Acesso 17 jun. 2018

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. População Municipal de Seritinga.

Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/seritinga>> Acesso 10 jun. 2018

NOVICKI, Jackson Merise; MARTINEZ, Rodrigo. LEDs para iluminação pública. **Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) -Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR**, 2008. Disponível em:

<<http://www.cricte2004.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/41.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2018

OLIVEIRA, Bruno Vilas Boas: **Estudo de Viabilidade para Instalação de um Poste de Iluminação Considerando um Sistema Fotovoltaico Autônomo**. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR, 2017. Disponível em: <

[http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017\\_BrunoVillasBoasOliveira.pdf](http://www.uel.br/ctu/deel/TCC/TCC2017_BrunoVillasBoasOliveira.pdf)> Acesso 18 mai 2018

PHILIPS. **Guia Prático Philips Iluminação**. p.129. 2018

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014

PROCEL. **Manual de iluminação eficiente**. 1º edição. Julho de 2002. [S.l.]

RODRIGUES, C. R. B.; ALMEIDA, P. S.; SOARES, G. S.; JORGE, J. M.; PINTO, D. P.; BRAGA, H. A. C. **Um estudo comparativo de sistema de iluminação pública: estado sólido e lâmpadas de vapor de sódio em alta pressão**, *International Conference on Industry Applications – IEEE/IAS, INDUSCON2010*.

TCU – Tribunal de contas da União. **Licitações e Contratos. Brasília 2010**. Disponível em: < [http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/LIC\\_CONTR/2057620.PDF](http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/LIC_CONTR/2057620.PDF) >. Acesso 07 mai. 2018

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. p 27-43. São Paulo, 2012.

RELUZ. Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente -. **Iluminação Pública Municipal, Programas e Políticas Públicas**. Ministério das Minas e Energia, 2018.

Disponível em: <

[http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Livreto+Ilumina%C3%A7%C3%A3o+P%C3%BAblica\\_2018\\_02\\_19.pdf/b47c5c44-eebd-4556-ab10-53a1bbba1a42](http://www.mme.gov.br/documents/10584/0/Livreto+Ilumina%C3%A7%C3%A3o+P%C3%BAblica_2018_02_19.pdf/b47c5c44-eebd-4556-ab10-53a1bbba1a42)> Acesso 05 jun. 2018> Acesso 12 jun. 2018

STOCKO, Joilson Luiz; LAZZARETTI, Julio; SANTOS, Maycon Willian Claus dos. **Estudo de caso comparativo entre uma luminária LED e uma luminária convencional à vapor de sódio. 2013. 89 f.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <

<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1931> > Acesso 23 set. 2018

SILVA, Rutelly Marques da. Bandeiras tarifárias: **benefício ou prejuízo ao consumidor?**. Brasília, março de 2016 Disponível em: < <http://portaldoaluno.unis.edu.br/wp-content/uploads/sites/65/2015/09/Manual-Normatiza%C3%A7%C3%A3o.pdf> > Acesso 22 jun 2018.