

**FACULDADE PATOS DE MINAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

CLEITO DE LELLES RODRIGUES

**SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM ENERGIA
FOTOVOLTAICA: MONTAGEM DE PROTÓTIPO**

**PATOS DE MINAS
2018**

CLEITO DE LELLES RODRIGUES

**SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM ENERGIA
FOTOVOLTAICA: MONTAGEM DE PROTÓTIPO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof.^o. Me. Guilherme Thiago de Sousa Fernandes

**PATOS DE MINAS
2018**

Candidato:
CLEITO DE LELLES RODRIGUES

Título: SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM ENERGIA FOTOVOLTAICA:
MONTAGEM DE PROTÓTIPO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Patos de Minas
como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica –
FACULDADE PATOS DE MINAS 02/06/2018

Prof.º. Me. Guilherme Thiago de Sousa Fernandes
Orientador

Prof.º.
Examinador

Prof.º.
Examinador

Aprovado ()

Reprovado ()

ESTÁ AUTORIZADA INTEGRAL OU PARCIALMENTE A REPRODUÇÃO DESTE
TRABALHO, PARA FINS DE ESTUDO E/OU PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

AGRADECIMENTOS

Agradeço toda minha família, meu amigo Júnior Pedro pelo incentivo, minha filha Ana Flávia, minha companheira Sheila Souza, e principalmente ao Olímpio Kappes pelo apoio ao meu aprendizado e conhecimento técnico adquirido durante o curso e ao longo de todos esses anos. E aos professores que tive, pelo ensino repassado.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	7
2	Material e Método.....	8
3	Energia solar para iluminação de ambientes.....	9
3.1	Geração de energia elétrica através de células fotovoltaicas.....	9
3.2	Tecnologias fotovoltaicas.....	9
4	Introdução ao sistema de Iluminação.....	10
4.1	Painéis fotovoltaicos.....	11
4.2	poste de iluminação fotovoltaicos.....	11
4.3	Iluminação Pública por lâmpada LED.....	12
5	Resultados e discussões.....	13
5.1	Protótipos de poste de iluminação fotovoltaico com bateria de lítio e LED.....	13
5.2	Componentes utilizados na fabricação do protótipo.....	13
5.3	Conjunto de luminária.....	13
5.4	Bateria de Íons de Lítio.....	14
5.5	Carga das baterias de íons de lítio.....	17
5.6	Placa fotovoltaica.....	18
5.7	Sistema de gerenciamento de bateria BMS.....	19
5.8	Lâmpada Power LED.....	20
5.9	Placa eletrônica de controle e esquema eletrônico.....	21
5.1.1	LDR.....	23
5.1.2	Transistor Mosfet.....	23
5.1.3	Poste de sustentação.....	25
5.1.4	Compartimento do banco de baterias e placa eletrônica.....	26
6	Montagem e testes finais do protótipo.....	27
7	Considerações finais.....	30
8	Referencias.....	30

LISTA DE TABELAS E FIGURAS

1	Figura 01.....	10
2	Figura 02.....	11
3	Figura 03.....	14
4	Figura 04.....	14
5	Figura 05.....	15

6	Figura 06.....	16
7	Figura 07.....	16
8	Figura 08.....	17
9	Figura 09.....	18
10	Figura 10.....	19
11	Figura 11	20
12	Figura 12.....	20
13	Figura 13.....	21
14	Figura 14.....	22
15	Figura 15.....	22
16	Figura 16.....	23
17	Figura 17.....	23
18	Figura 18.....	24
19	Figura 19.....	24
20	Figura 20.....	25
21	Figura 21.....	26
22	Figura 22.....	26
23	Figura 23.....	27
24	Figura 24.....	27
25	Figura 25.....	28
26	Figura 26.....	29
27	Figura 27.....	29

SISTEMA DE ILUMINAÇÃO COM ENERGIA FOTOVOLTAICA: MONTAGEM DE PROTÓTIPO

Cleito de Lelles Rodrigues¹

Prof. Me. Guilherme Thyago de Sousa Fernandes²

RESUMO

A demanda por energia elétrica tem crescido gradualmente nos últimos anos, se tornando um desafio produzir energia de maneira sustentável e sem agredir o meio ambiente. Sabe-se que a luz solar é uma energia abundante, inesgotável e totalmente limpa. Objetivou-se, nesse estudo, a utilização do sistema fotovoltaico para iluminação de ambientes externos, através da montagem de um protótipo de poste de iluminação autônoma, demonstrando sua eficiência, funcionalidade e comparação do seu custo benefício para sua implantação. Desta forma, também complementa a energia convencional. Propõem-se a utilização desse sistema para fins de iluminação de praças, ruas, fazendas, sendo uma fonte de iluminação totalmente independente da energia gerada convencionalmente através das concessionárias de energia elétrica. Grande parte do estudo foi desenvolver o circuito eletrônico funcional do sistema, escolha do material empregado, a montagem física do protótipo, e comparação do consumo de energia elétrica se fosse aplicado à rede elétrica da concessionária. Obteve-se êxito nos resultados, análises e medidas realizadas ao longo do estudo e montagem do protótipo.

Palavras-chave: Poste de Iluminação. Energia solar. Bateria de Íons de Lítio. Protótipo.

ABSTRACT

Demand for electricity has been growing gradually in recent years, it has been a challenge to produce sustainable energy without harming the environment. It is known that sunlight is an abundant, inexhaustible and totally clean energy. The objective of this study was the use of the photovoltaic system for outdoor lighting, through the assembly of a prototype of an autonomous lighting pole. It has demonstrated its efficiency, functionality and comparison of its cost benefit for its implementation. In this way, it also complements conventional energy. It is proposed to use this system for lighting purposes in squares, streets, farms, being a source of lighting totally independent of the energy generated conventionally through the concessionaires of electric energy. Much of the study was to develop the functional electronic circuit of the system, the choice of material used, the physical assembly of the prototype, and the comparison of the electric power consumption if it was applied to the utility grid. The results, analyzes and measurements carried out during the study and assembly of the prototype were successful.

Keywords: Light post. Solar energy. Lithium Ion Battery. Prototyp

¹Graduando em engenharia Elétrica – FPM 2018. rodriguescl@live.com

²Engenheiro Eletricista, Mestre. Prof. e Coordenador da Graduação em Engenharia Elétrica FPM. coordenacaoeletrica@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento significativo do consumo de energia elétrica no contexto mundial, surge um grande desafio pela humanidade em busca de soluções para essa demanda, buscando cada dia soluções mais criativas que não causem tanto danos irreparáveis ao meio ambiente e os ecossistemas. E essas buscas futuras para ofertar energia elétrica apresentam uma fragilidade e dificuldade para o mercado consumidor no Brasil para os próximos anos (TAKENAKA, 2010).

Um das muitas opções para geração de energia complementar que seja limpa e sustentável é a energia solar fotovoltaica, consistindo em uma fonte de conversão direta, ou seja, convertendo energia solar em energia elétrica de modo não poluente, totalmente silenciosa não prejudicial ao meio ambiente e muito eficiente (RÜTHER, 2008).

A utilização da energia solar para iluminação pública traz diversas vantagens, ao mesmo tempo em que gera economia financeira e protege o meio ambiente evitando o consumo de energias não renováveis. Dentre outras vantagens podem-se destacar, longa duração e com pouca manutenção, é uma iluminação muito econômica, traz segurança à população onde não há iluminação pública, ótima relação custo benefício (ENERGIATOTAL, 2017).

Sabe-se que a região sudeste tem praticamente 12 horas de incidência de luz solar por dia o ano todo (APOLO11, 2018). Com esse fator de insolação, propõem-se a utilização da energia fotovoltaica para fins de iluminação de praças, ruas, fazendas, sendo uma fonte de iluminação totalmente independente da energia gerada convencionalmente vindo das concessionárias de energia elétrica.

O sistema alternativo de iluminação pesquisado consiste em um poste de iluminação autônomo, composto basicamente de uma placa fotovoltaica, bateria de lítio e luminária LED. Durante o dia a bateria é carregada através da placa fotovoltaica, e no período da noite a energia armazenada na bateria é consumida pela luminária produzindo certa quantidade de luz.

Justificou-se tal pesquisa pela grande demanda de energia elétrica nos dias atuais, e pelo fato dessa geração atualmente ser cada vez mais escassa e atender ao requisito de sustentabilidade, pois os reservatórios das hidrelétricas estão cada vez com níveis mais baixos de água, e as termoelétricas estão com custos cada vez

mais altos para geração de energia, devido à grande demanda e preço do petróleo no mercado mundial.

Objetivou-se o desenvolvimento de um protótipo de poste de iluminação autônomo, capaz esse de armazenar energia elétrica através de placa fotovoltaica e iluminar ambientes externos, e uma comparação do consumo de energia elétrica caso utilizado na rede elétrica convencional. O presente trabalho esta organizado em três Capítulos Assim Descritos: Energia Solar para Iluminação; Sistema de Iluminação; Protótipo de Poste de Iluminação Fotovoltaico com Bateria De Íons de Lítio (Li-Ion) e Lâmpada LED; Montagem e Testes Finais Do Protótipo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foi realizada uma revisão de literatura sobre o sistema de iluminação autônomo por energia fotovoltaica e posteriormente foi realizada a montagem do protótipo conforme apresentado.

2.1 Material

Foram utilizados na montagem do protótipo os seguintes materiais:

- Placa solar fotovoltaica.
- Oito baterias de Íons de Lítio.
- Luminária de uso em ambiente externo.
- Três lâmpadas LEDs.
- Poste de sustentação em alumínio.
- Caixa de armazenamento das baterias.
- Suportes, fios, placa eletrônica, transistores, resistor, colas, parafusos.

O procedimento para a montagem do protótipo está descrito em detalhes nos resultados obtidos.

2.2 Métodos

O esquema eletrônico do protótipo foi desenvolvido em laboratório de eletrônica na empresa Centro Técnico Integral de Patos de Minas MG, onde foram feitos testes e pesquisas na escolha dos materiais, primeiramente o layout

desenhado no computador e transferido para placa de fenolite e posteriormente feito a corrosão utilizando uma calda de percloroeto de ferro, em seguida colocação dos componentes eletrônicos através de solda de estanho. Após a requisição dos materiais foi realizado a montagem do protótipo no laboratório e levado a campo para testes e medições finais.

3. ENERGIA SOLAR PARA ILUMINAÇÃO DE AMBIENTES

3.1 Geração de Energia Elétrica através de Célula Fotovoltaica

A denominação do efeito fotovoltaico ou fotoelétrico nada mais é do que a transformação da luz solar em energia elétrica. A nomenclatura surgiu com a união de da palavra luz a unidade de medida de tensão elétrica o volt. Que em 1883 foi definido por Edmond Becquerel um físico Francês, demonstrando em ensaio e experimentos simples, consistindo de dois eletrodos dentro de uma solução condutora elétrica, comprovando que a tensão dos eletrodos aumentava de acordo que a luz solar incidia sobre o eletrólito (ANTONIO, 2012).

Segundo o mesmo autor, um engenheiro britânico Willoughby Smith contribuiu para desenvolver a energia fotovoltaica, quando percebeu que o selênio na sua estrutura é um material isolante que, portanto quando expostos a luz solar se comportava como um condutor elétrico, denominando-se, assim de fotocondutividade. Porém, mais tarde após três anos, Willoughby observou que o selênio poderia produzir eletricidade quando a luz solar incidia sobre ele, e não mais comportando somente como condutor. Willoughby também construiu placas fotovoltaicas em 1883, que foram as primeiras células de selênio.

O aproveitamento da energia solar pode ser convertido de duas maneiras, tanto na forma termoelétrica e fotoelétrica, para o trabalho de iluminação pública somente tem importância nessa pesquisa à energia fotoelétrica (STIVANIN; MONTEDO, 2011).

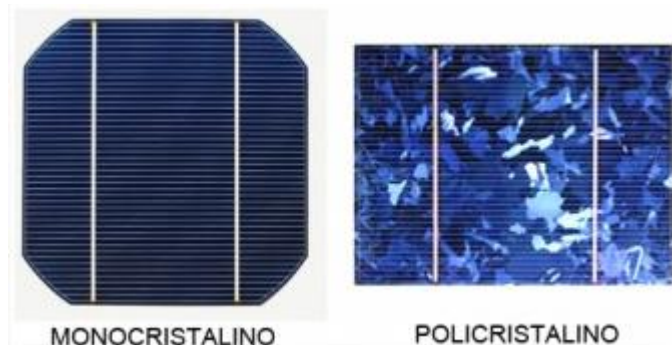
3.2 Tecnologias Fotovoltaicas

Com a intensa utilização de novas fontes de energia renováveis, buscam se tecnologias para sistemas fotovoltaicos, que se encontra em uma utilização

crecente. Com esse avanço estão pesquisando e explorando novos materiais para o aprimoramento da tecnologia fotovoltaica. O principal material que se utiliza na fabricação dessas placas é o silício, que constitui o segundo elemento químico mais encontrado na natureza. O silício tem sido processado de várias formas estruturais, como cristalino, policristalino e amorfo (CEMIG, 2012).

A fabricação de células fotovoltaicas atualmente aplica três tipos de tecnologias, com três gerações de classificação de acordo com as características e materiais. Essa primeira geração é constituída de silício cristalino (c-Si) que por sua vez se divide em silício policristalino (p-Si) e em silício monocristalino (mSi). Cobrindo 85% da utilização e comércio, é uma tecnologia confiável e eficiente (CEPEL, 2012).

Figura 1: Gerações de placas solares



Fonte: (ISOLARI, 2016)

4. INTRODUÇÃO AO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Como o sol é uma fonte de energia inesgotável e também renovável, podendo aproveitar essa energia como na forma de calor ou geração de eletricidade, é uma alternativa como fonte de energia para a atualidade. Com a abundância dessa energia, que é considerada não poluente a sua incidência nos diversos biomas. De acordo com Franco e Silva (2010) essa energia, contudo pode ser utilizada como solução para diversos segmentos ou áreas mais remotas aonde a energia elétrica convencional não chega. O Brasil é um país com abundância para a captação de energia solar.

4.1 Painéis Fotovoltaicos

Os conjuntos de painéis, ou módulos solares são os principais elementos de geração de energia no sistema fotovoltaicos, são constituídos de células fotovoltaicas em associações, que podem ser tanto em série ou paralelo ou mesmos em série e paralelo ao mesmo tempo, isso de acordo com tensões e correntes utilizadas. No entanto, a primeira parte desse sistema é formada pelo conjunto de modulo denominado gerador fotovoltaico, que tem função de captar a irradiação solar e converter em energia elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

4.2 Postes de iluminação fotovoltaicos

Constitui uma fonte de energia renovável, esse novo sistema já tem início com seu uso como alternativa para iluminação pública de ruas praças áreas urbanas e rurais. Esse sistema dotado de energia fotovoltaica tem um bom custo benefício, e praticamente ausentes de manutenção, quando são utilizadas em postes de iluminação em vias públicas por energia fotovoltaica (ALVES, 2011). A figura, a seguir, apresenta a aparência física do poste:

Figura 2: Poste de iluminação por energia fotovoltaica.



Fonte: (GOMES, 2014)



Fonte: (POVO, 2009)

De acordo com Alves (2011), essa tecnologia já existe no Brasil atendendo áreas remotas nas quais o sistema elétrico ainda não chegou, existe por 2 métodos distintos, poste autônomo independente equipado com módulo solar, e os poste interligado por meio de fios ligados a pequenas usinas geradoras fotovoltaica

4.3 ILUMINAÇÕES PÚBLICAS POR LÂMPADA LED

Segundo Santos (2016), o avanço dos LEDs no campo da iluminação nos últimos anos teve grandes avanços, pois possibilitaram a utilização em amplos tipos de equipamentos para iluminação. Tanto tiveram mudanças na iluminação residencial como também na iluminação pontual. Com esse mesmo autor utilização de LEDs na iluminação públicas se obtém várias vantagens:

Economia: O maior gasto dos municípios com iluminação está em áreas públicas ruas e praças. Essa comprovação foi feita através de um projeto com a substituição de 200 lâmpadas de vapor de mercúrio por luminária LED. Uma simples alteração obteve um resultado de aproximadamente 30 megawatts por ano de economia (SANTOS, 2016).

Sustentabilidade: A sustentabilidade é uma questão de necessidade hoje em dia, tanto na iniciativa pública quanto a privada, na escolha de projeto para iluminação. A tecnologia dos LEDs que se refere a apenas uma luminária pode evitar a emissão de até 400 quilos de dióxido de carbono no ar. Quando somados por todas existentes se obtém um valor muito significativo. Atualmente 25% de emissões de CO₂ é causada pela iluminação pública, embora a iluminação de LED não seja muito barata, entretanto é a que menos causa impacto ambiental (SANTOS, 2016).

Manutenção: A vida útil de uma instalação LED é muito maior quando se compara a lâmpadas fluorescentes, mesmo se gastando mais a princípio por uma iluminação LED, esse custo é sanado ao médio e longo prazo (SANTOS, 2016).

Segurança: Conseguem ter um conforto visual melhor com os LEDs na iluminação pública com isso se conseguem ter melhor desempenho visual no ambiente. Que nos dá um índice de reprodução de cores (IRC) muito melhor. A iluminação mesmo a noite fica mais nítida a visualização, podendo evitar atropelamentos, assaltos, acidentes nas ruas (SANTOS, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PROTÓTIPO DE POSTE DE ILUMINAÇÃO FOTOVOLTAICO COM BATERIA DE ÍONS DE LÍTIO (LI-ION) E LÂMPADA LED.

O propósito da pesquisa foi desenvolver uma iluminação autônoma eficiente, destinada a iluminar jardins, praças ruas, ou qualquer ambiente externo. Com uma potencia de 9 watts de luz branca com temperatura de cor de 6500K difusa, com abertura angular de 120° graus e com altura media da fonte de luz de 2,18m. As luminárias solares destinadas a esse propósito já existem a algum tempo no mercado, porém alguns modelos não têm eficiência luminosa nem autonomia, e sua durabilidade é muito reduzida, pois utilizam bateria de níquel metal hidreto ou chumbo – ácida, sem eficiência e reduzindo-se seu período de funcionamento e vida útil.

5.2 COMPONENTES UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Nessa pesquisa foram utilizados placa fotovoltaica genérica de 6V / 16w, de tamanho 42cm x 22cm, um conjunto de 8 baterias de íons de lítio de 3,7 volts e 4000mAh nominal do fabricante Ultrafire® modelo BRC 18650, ligadas eletricamente em paralelo. Formando um banco de baterias de 3,7 volts e 32 Amperes hora nominal, luminária externa com 3 Power LEDs 3 watts cada um unidade, totalizando uma potência de 9 watts, placa BMS (Battery Managment System), e circuito de controle.

5.3 Conjunto de Luminária

Nesse estudo foi feito a escolha de uma luminária genérica de alumínio destinada a iluminação externa com índice de proteção IP65 que protege contra água e poeira, com dimensões 35 cm x 9,5cm x 6 cm e peso bruto de 830 gramas. Utilizando como lâmpada três Power LEDs de 3 Watts e 150 Lumens em ligação elétrica paralelo, totalizando uma potência de 9 Watts e 450 Lumens. Após ter sido

feita essa escolha da potência de iluminação deu início aos cálculos de potências do banco de baterias e da placa solar. Abaixo fotos da luminária empregada no estudo:

Figura 3: Luminária utilizada no estudo.



Fonte: (AUTOR, 2018)

5.4 Baterias de Íons de Lítio

Foram utilizadas as baterias de íons de Lítio (Li-ion) da marca Ultrafire[®] de alta eficiência com capacidade nominal de 4000 mAh 14,8 W/h e 3,7 volts cada célula, tamanho 6,5 cm x 1,8 cm modelo BRC 18650, e segundo o fabricante suporta aproximadamente 500 a 700 ciclos profundos de carga e descarga, até que comece a perder parte da sua eficiência.

Figura 4: Conjunto de 8 baterias utilizadas no estudo.



Fonte: (AUTOR, 2018)

As escolhas da capacidade do banco de baterias e a placa solar são exclusivamente pelo fato da potência da luminária, baseando no consumo diário. Com isso foram feitos os levantamentos de potências e cargas, utilizando basicamente a Lei de Ohm.

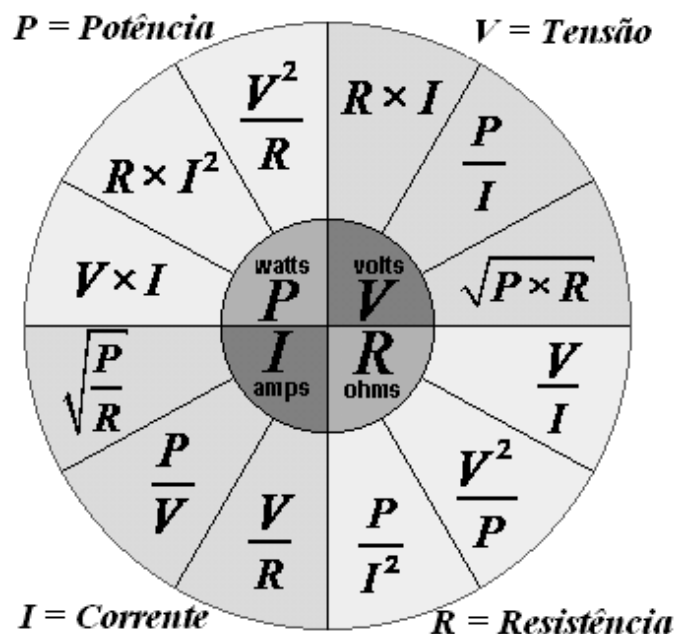
A potência elétrica dissipada por um condutor é definida como a quantidade de energia térmica que passa por ele durante uma quantidade de tempo. A unidade utilizada para energia é o watt (**W**), que designa joule por segundo (J/s) (FÍSICA, 2018).

$$\text{Pot} = \frac{E}{\Delta t}$$

Fonte: (FÍSICA, 2018)

A imagem a seguir demonstra todas as fórmulas para os cálculos de potência, corrente e tensão, algumas delas utilizadas no estudo para o banco de baterias e placa fotovoltaica.

Figura 5: Conjunto de Formulas da lei de Ohm.



Fonte: (PT, 2018)

No estudo foi utilizado a luminária de 9 watts o banco de baterias com carga total de 4,2 volts, 32 Ah e 118,4 Wh, seguindo a lei de Ohm foi calculado a corrente de consumo da luminária, sendo **P** potência em watts, **V** tensão, **I** corrente:

Figura 6: Formula usada para cálculo de corrente elétrica.

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \\
 9 &= 4,2 \times I \\
 4,2 \times I &= 9 \\
 I &= \frac{9}{4,2} \\
 I &= 2,14 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Fonte: (PT, 2018)

Fonte:(AUTOR, 2018)

Obtivemos nos cálculos através da potência de consumo da luminária uma corrente de 2,14 Amperes.

Segundo Apolo11 (2018) a ausência da luz natural durante a noite em Minas Gerais é aproximadamente 12 horas.

Portanto se a luminária tem uma corrente elétrica de consumo de 2,14 Amperes como foi calculado anteriormente e fica em funcionamento a noite durante aproximadamente 12 horas, então terá um consumo de 25,68 Amperes durante as 12 horas, como mostra a figura a seguir:

Figura 7: Cálculo de corrente em razão do tempo.

$$\begin{array}{r}
 \text{Corrente x Tempo} \\
 I \quad \times \quad h \\
 2,14 \quad \times \quad 12 \\
 \hline
 25,68 \text{ A/12h}
 \end{array}$$

Fonte: (AUTOR, 2018)

Visto que o banco de baterias deve fornecer a luminária no mínimo uma corrente de 25,68 A 12h, portando foi realizada a escolha da utilização de 8 células

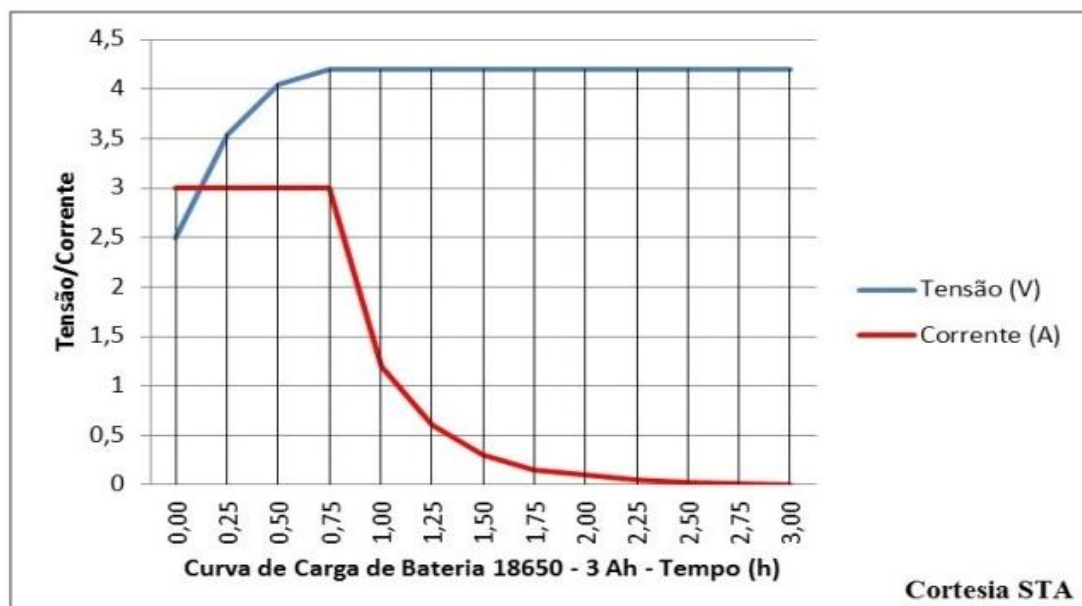
de 4 Ah 3,7 volts nominais, ligadas eletricamente em paralelo, que totalizaram um banco de 32 Ah, atendendo facilmente o consumo da luminária, mesmo ocorrendo parte do dia nublado diminuindo a eficiência da placa fotovoltaica, sendo assim garantindo total iluminação no período noturno.

5.5 Carga da bateria de íons de lítio

Tem-se facilidade para se carregar uma bateria de íons de lítio, devido os processos de segurança as questões de carga se complicam um pouco mais, havendo necessidades de circuitos de controle e proteção. Essa carga se ocorre até que a bateria atinja 4,2 volts em cada célula que é a carga completa, assim mantém a tensão de carga constante até que a corrente diminua para 10% da taxa inicial da carga. Essa tensão de carga e corrente no final do processo varia de fabricante (STA; RONTEK, 2018).

Segundo os mesmos autores, as baterias de íons de lítio comerciais como na sua maioria contém internamente um circuito de proteção aplicada à segurança, que protege a bateria quando está no processo de carga, que é ajustado para tensão no máximo 4,2 volts. O gráfico a seguir demonstra a curva típica de carga da bateria utilizada no projeto.

Figura 8: Curva típica de carga da bateria usada no estudo



Fonte: (STA, Rontek, 2018)

5.6 Placa Fotovoltaica

Segundo Apolo11(2018) a permanência da luz natural durante o dia em Minas Gerais é aproximadamente 12 horas.

No estudo realizado para a carga do banco de bateria que é de 32 Ah, foi escolhida a placa fotovoltaica dimensionada a fim de fornecer no mínimo 32 Ah durante as 12 horas de incidência de sol, para que realize a carga total do banco de baterias. A tensão escolhida da placa fotovoltaica é de 6 volts, pois o banco de baterias opera com tensão de 4,2 volts carregado, havendo necessidade da carga supridora seja maior, segue os cálculos na figura seguinte:

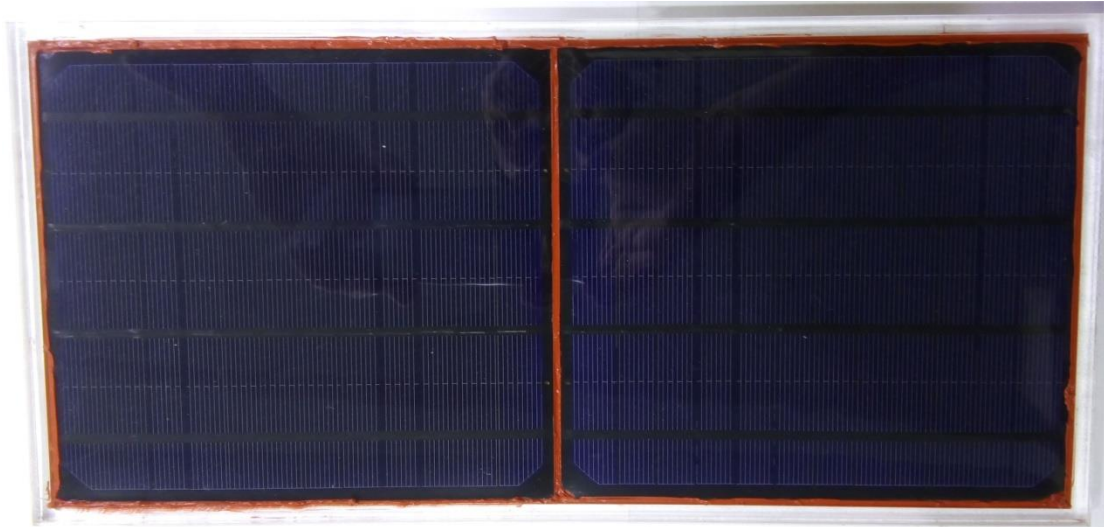
Figura 9: Calculo da potência da placa fotovoltaica.

$$\begin{array}{r}
 \mathbf{32\ A/h} \quad \mathbf{Banco\ de\ baterias} \\
 \mathbf{12h} \quad \mathbf{Horas\ de\ sol} \\
 \mathbf{6\ V} \quad \mathbf{Placa\ solar} \\
 \hline
 \mathbf{\frac{32}{12} = 2,66\ A} \\
 \hline
 \mathbf{2,66 \times 6 = 15,96\ W}
 \end{array}$$

Fonte: (AUTOR, 2018)

Obteve-se no cálculo para a placa fotovoltaica uma potência de 15,96 watts, comercialmente a placa fotovoltaica que mais adequou a esta potência calculada foi de 6 volts e 16 watts e potência de 192 W dia, com corrente de curto-circuito de 2,6667 Amperes, segundo as especificações do fabricante. No estudo foi utilizada a placa fotovoltaica policristalina, com uma área de superfície de 44 cm x 24 cm montada em superfície de sustentação em policarbonato.

Figura 10: Placa fotovoltaica utilizada no estudo



Fonte: (AUTOR, 2018)

5.7 Sistema de gerenciamento de bateria (BMS, Battery Management System)

É necessária a utilização, no caso das baterias de íons de lítio, um sistema de gerenciamento de bateria tipo BMS (Battery Management System), para assegurar a vida útil da bateria. São mais conhecidos por circuito de proteção (STA; RONTEK, 2018).

De acordo com STA e Rontek (2018) as muitas funções do BMS podem destacar algumas mais importantes:

- Assegura-se proteção de descarga evitando assim danos de curto circuito.
- Quando ocorre uma tensão de carga aplicada aos terminais durante a carga, Acima de 4,30 volts o circuito se abre evitando danos a bateria.
- Protege a bateria de descarga em excesso, ao chegar a tensão de 2,3 volts o BMS interrompe o processo de descarga (podendo sofrer variação com diversos fabricantes).
- A bateria quando exposta a temperatura acima de 100°C um circuito é aberto.
- Alguns modelos possuem proteção de inversão de polaridade (RONTEK, 2018).

Figura 11: BMS



Fonte: (AUTOR, 2018)

5.8 Lâmpada Power LED

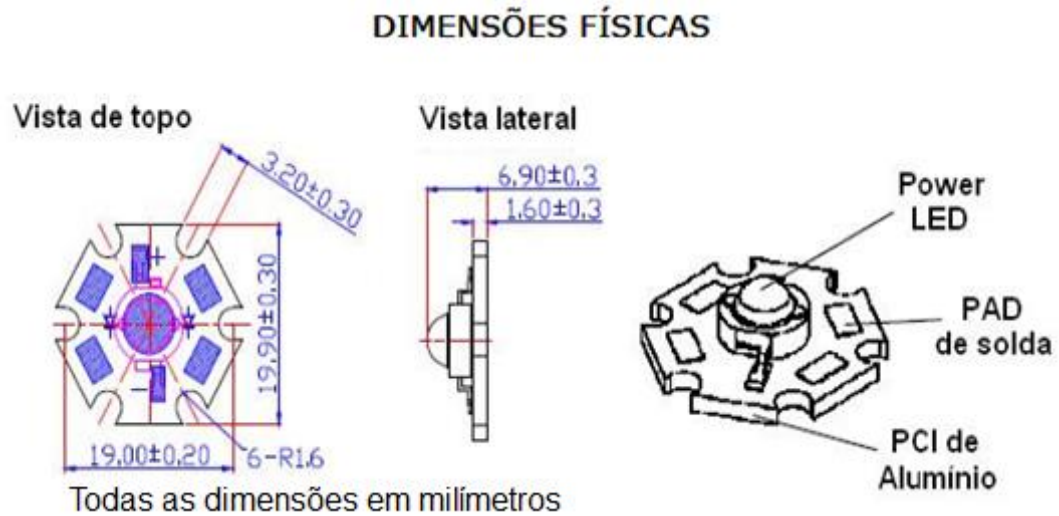
Consiste em uma lâmpada de LED de alta intensidade de luz montada em um dissipador de calor tipo estrela, nesse projeto foram utilizadas três unidades inseridas na luminária.

Figura 12: Lâmpada Power LED 3 watts



Fonte: (CROMATEK, 2018)

Figura 13: Dimensões físicas da lâmpada



Fonte: (CROMATEK, 2018)

O quadro a seguir mostra as especificações técnicas das lâmpadas:

Especificações Power LED 3W modelo LPWL-06CW3-BZ	
Tensão de alimentação máxima	4,3V
Tensão de alimentação mínima	3,4V
Corrente direta DC	700 m A
Temperatura de operação	-30°C a +110°C
Temperatura de cor	6500 K
Fluxo luminoso	150 Lumens
Durabilidade	10000 Horas
Abertura angular de emissão	120 Graus

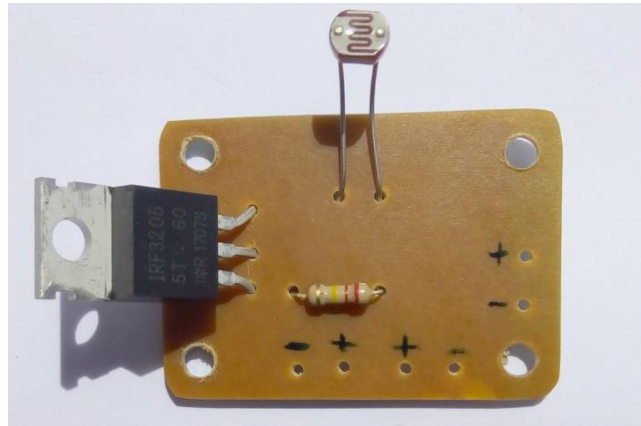
Fonte: (CROMATEK, 2018)

5.9 Placa eletrônica de controle e esquema eletrônico.

O esquema eletrônico desenvolvido no estudo tem a função principal do poste de iluminação, através dele que acontece todo ciclo de trabalho efetivo de iluminação, carga e descarga, acionamento do sistema. Através da placa fotovoltaica que as baterias são carregadas durante o dia e a noite através de um sensor LDR ou fotoresistor, variando sua resistência ôhmica de acordo com a luminosidade incidida (do inglês, Light Dependent Resistor), aciona um transistor,

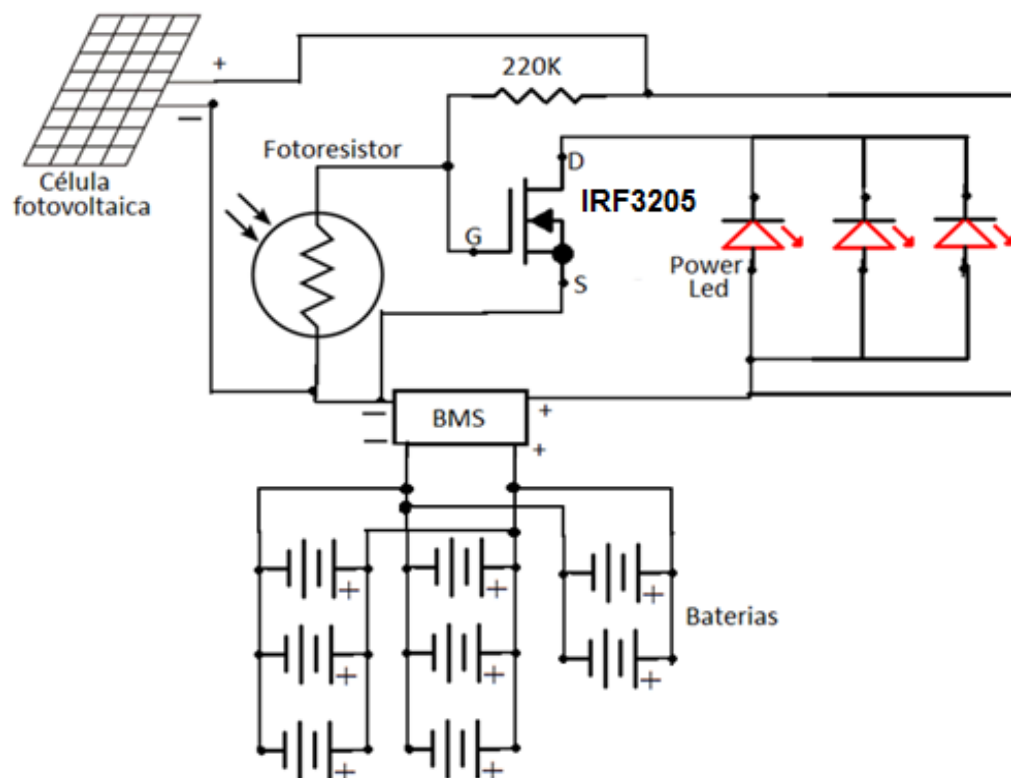
assim ligado a uma luminária. Para tanto, foi confeccionada manualmente uma placa de circuito impresso e posteriormente a colocação dos componentes eletrônicos.

Figura 14: Placa eletrônica de controle



Fonte: (AUTOR, 2018)

Figura 15: Esquema eletrônico completo



Fonte: (AUTOR, 2018)

5.1.1 LDR ou Fotoresistor

LDR nada mais é de que um resistor dependente de luz, sua sigla predomina do inglês (Light-Dependent Resistor), varia sua resistência ôhmica de acordo com a luz incidida sobre ele, ou seja, quanto maior a luz sobre ele, menor será sua resistividade (SILÍCIO, 2017).

Figura 16: LDR



Fonte: (SILÍCIO, 2017)

5.1.2 Transistor Mosfet

É um transistor de alta eficiência tipo Mosfet que suporta uma corrente de até 110 amperes e no máximo 55 volts (DATASHEETCATALOG, 2018). Ele é o responsável para efetuar o chaveamento da luminária no período noturno.

Figura 17: Característica completa do transistor IRF3205

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	110 Ⓞ	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	80	
I_{DM}	Pulsed Drain Current Ⓞ	390	
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	200	W
	Linear Derating Factor	1.3	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
I_{AR}	Avalanche Current Ⓞ	62	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy Ⓞ	20	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt Ⓞ	5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	0.75	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

Fonte: (DATASHEETCATALOG, 2018)

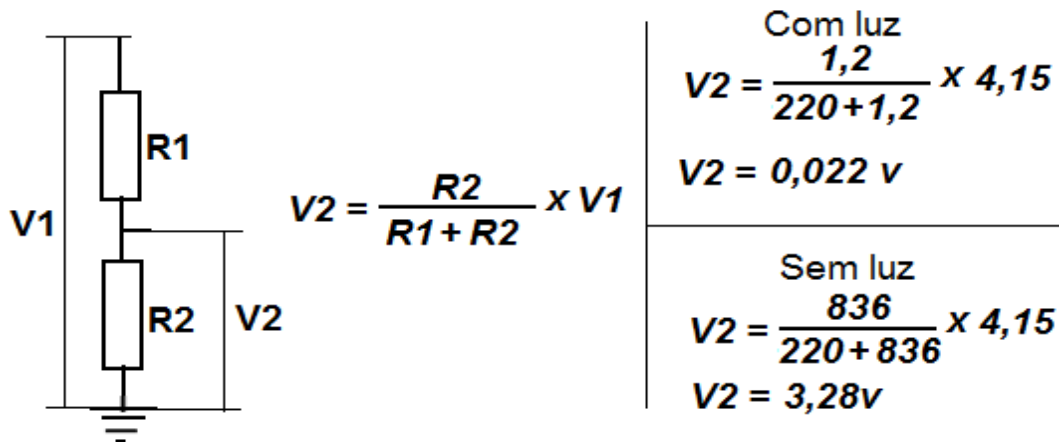
O circuito desenvolvido nesse estudo se baseia no divisor de tensão a partir de resistores, as tensões foram medidas nos terminais do LDR na presença da luz durante o dia e na ausência de luz durante a noite. Com luz incidida, a resistência ôhmica do LDR permaneceu próximo a 1,2 KΩ e na ausência de luz ficou próximo aos 836 KΩ, respectivamente, como mostra as figuras a seguir e parte do circuito desenvolvido com a fórmula matemática que foi aplicada ao divisor de tensão.

Figura 18: Formula do divisor de tensão

$$V2 = \frac{R2}{R1+R2} \times V1$$

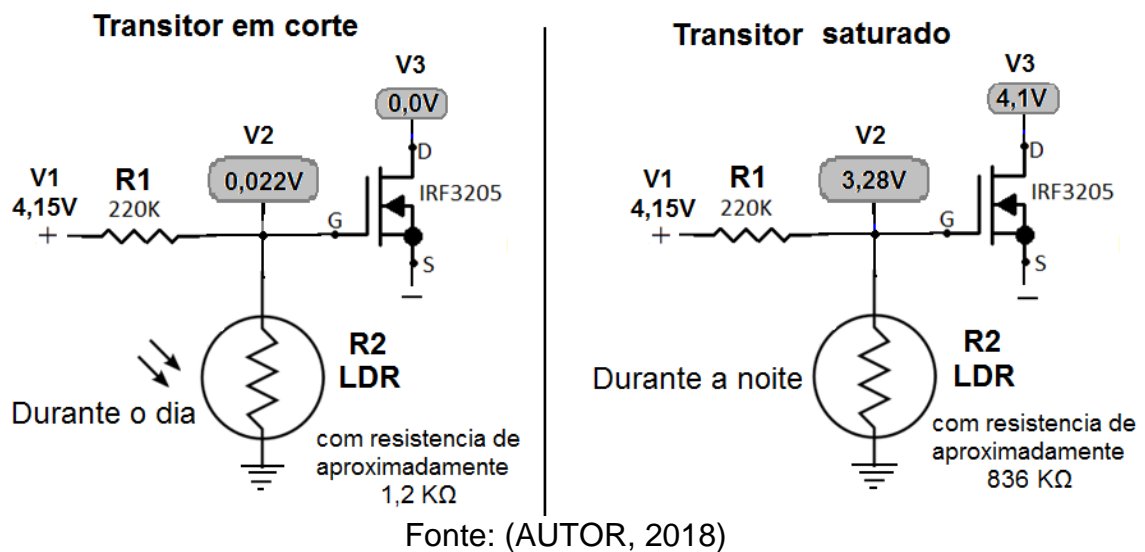
Fonte: (UFRGS, 2016)

Figura 19: Cálculo do divisor de tensão



Fonte: (AUTOR, 2018)

Figura 20: Corte e saturação do transistor Mosfet

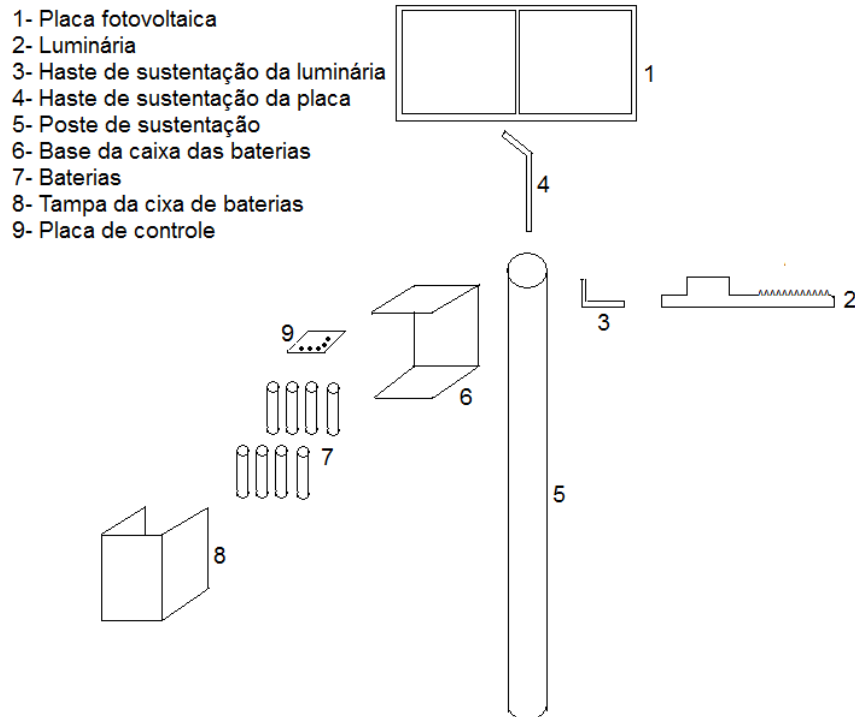


Os resultados das medidas realizadas na placa de circuito em funcionamento foram as esperadas de acordo com a fórmula matemática do divisor de tensão, os resultados obtidos com a tensão de 3,28 volts no gatilho foi o suficiente para saturar o transistor Mosfet IRF3205 assim acendendo a luminária no período noturno, por sua vez a tensão de 0,022 volts no gatilho corta a condução do transistor, desligando a luminária no período diurno.

5.1.3 Poste de sustentação

O poste de sustentação confeccionado neste estudo é composto de um tubo de alumínio de 50 mm de diâmetro e com comprimento de 2,50 metros, fixado diretamente ao solo. E também foram utilizados parafusos para fixação dos demais componentes. Na figura a seguir observa-se a vista explodida dos principais elementos do poste:

Figura 21: Vista explodida



Fonte: (AUTOR, 2018)

5.1.4 Compartimento do banco de baterias e placa de controle

É um compartimento destinado a acondicionamento das baterias e placa de controle, essa caixa é constituída de alumínio e possui internamente isolamento térmica com placas de isopor fixadas com fita adesiva para a proteção do calor do sol e suas frestas seladas com silicone acético para proteção de respingos de água da chuva.

Figura 22: Compartimento das baterias e placa de controle



Fonte: (AUTOR, 2018)

Como observado segundo Karel apud Wikipédia (2017), que a bateria de lítio tem uma limitação de temperatura e perde sua vida útil quando expostas a uma temperatura superior a 60°C.

Figura 23: Tabela térmica de acondicionamento

Perda permanente da capacidade X condições de armazenamento

Condições de armazenamento	40% carga	100% carga
0 °C	2% de perda depois de 1 ano	6% de perda depois de 1 ano
25 °C	4% de perda depois de 1 ano	20% de perda depois de 1 ano
40 °C	15% de perda depois de 1 ano	35% de perda depois de 1 ano
60 °C	25% de perda depois de 1 ano	40% de perda depois de 3 meses

Fonte: (WIKIPÉDIA, 2017)

6 MONTAGEM E TESTES FINAIS DO PROTÓTIPO

De acordo com Aquino (2016) deve-se levar em consideração o posicionamento da placa fotovoltaica em relação à inclinação do sol, que por sua vez é diferente em diversos estados do Brasil. O posicionamento da placa fotovoltaica ficou de acordo com a tabela a seguir, pois em Minas Gerais a posição correta da placa fotovoltaica é de 19° de inclinação em relação ao plano da terra.

Figura 24: Tabela de Inclinação de Painel Solar em Graus

Acre	15°	Paraíba	15°
Alagoas	15°	Paraná	25°
Amapá	15°	Pernambuco	15°
Amazonas	15°	Piauí	15°
Bahia	15°	Rio de Janeiro	22°
Ceará	15°	Rio Grande do Norte	15°
Espírito Santo	20°	Rio Grande do Sul	40°
Goiás	16°	Rondônia	15°
Maranhão	15°	Roraima	15°
Mato Grosso	15°	Santa Catarina	32°
Mato Grosso do Sul	20°	São Paulo	23°
Minas Gerais	19°	Sergipe	15°
Pará	15°	Tocantins	15°

Fonte: (AQUINO, 2016)

Após a montagem completa do protótipo, o mesmo é levado a campo na cidade de Patos de Minas, Minas Gerais, com coordenadas geográfica obtida através do GPS GARMIN® etrex vista HCX, latitude e longitude S 18°34'28.9" e W 46°31'31.6", utilizado como iluminação de um pequeno jardim residencial com medidas 2 x 4 metros, afim de obter os testes e resultados finais, tais como testes de luminosidade, angulo de emissão de luz, consumo, carga de bateria, tempo de iluminação durante a noite e tempo de carga durante o dia. Abaixo as fotos in loco do poste autônomo de iluminação:

Figura 25: Imagens in loco do poste de iluminação



Fonte: Autor, 2018

A área total iluminada atingiu de 8 metros quadrados com boa eficiência. O ângulo de refração da luminária atingiu 120° como determinou o fabricante da lâmpada, e uma intensidade luminosa medida através de um luxímetro registrou 364

Lux (fluxo luminoso incidido sobre uma superfície situada a 1 metro de distância da luminária). Horário médio que a luminária acendeu ao anoitecer por volta das 18h43min, e desligou ao amanhecer por volta das 05h53min, o banco de baterias completou a carga no final do dia com 4,2 volts, e ao amanhecer após o consumo da luminária no período noturno, a tensão do banco de baterias permaneceu por volta de 3,45 volts. A montagem do protótipo teve um custo financeiro de investimento, como mostra na tabela a seguir:

Figura 26: Tabela dos preços dos materiais.

Item Utilizado	Valor em R\$
Placa solar fotovoltaica.	26,00
Oito baterias de Íons de Lítio.	24,00
Luminária de uso em ambiente externo.	42,00
Três lâmpadas LEDs.	3,00
Poste de sustentação em alumínio.	10,00
Caixa de armazenamento das baterias.	5,00
Suportes, fios, placa eletrônica, transistores, resistor, colas, parafusos, outros.	12,00
	Total R\$ 122,00

Esse sistema de iluminação se fosse alimentado pela concessionária de energia elétrica teria um consumo médio de 3,24 KW mês, e um valor a mais na conta mensal de luz para um consumidor residencial bifásico médio porte de aproximadamente R\$3,14, com todos os impostos inclusos.

Figura 27: Cálculo do consumo mensal da luminária em KW/ mês.

Potência da Luminária = 9 Watts ou 0,009 Kwatts

Tempo de uso (dia/h) = 12 horas

$0,009 \times 12 = 0,1080 \text{ Kw/dia}$

$0,1080 \times 30 = 3,24 \text{ Kw/mês}$

Fonte: (AUTOR, 2018)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos pela pesquisa tais como eficiência, facilidade em fabricação, custos finais, quantidades de unidades por área, e ainda a possibilidade de dimensionar com tamanhos, potências diversas para atender qualquer ambiente de iluminação externa. Comprova-se viabilidade em utilização desse sistema iluminação alternativo e totalmente sustentável sem que cause quaisquer impactos ambientais significativos. Comprova-se também a viabilidade para a utilização como iluminação pública, utilizando potências maiores assim atendendo áreas extensas, e até mesmo substituir postes de iluminação convencional com lâmpadas vapor de sódio.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. T. **Infraestrutura Urbana: Poste de iluminação Fotovoltaico**. 2011. Disponível em: <www.infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/1-postes-de-iluminacao-fotovoltaicos-235547-1.aspx>. Acesso em: 26 fev. 2018.

ANTONIO, A. **Sua Energia Solar: A História da Energia Solar – Como Tudo Começou**. 2012. Disponível em: <www.suaenergiasolar.com.br/historia-energia-solar/>. Acesso em: 25 nov. 2017.

APOLO11. **Calendário solar e lunar: MG Belo Horizonte**. 2018. Disponível em: <www.apolo11.com/efemerides.php?uf=MG&cidade=MG+-+Belo+Horizonte>. Acesso em: 08 mar. 2018.

AQUINO, E. **Posicionamento correto do Painel Solar: Como devo posicionar meus Painéis Solares**. 2016. Disponível em: <www.eduardoaquino.com.br/posicionamento-correto-do-painel-solar/>. Acesso em: 18 mar. 2018.

CEMIG, Companhia Energética de Minas Gerais, (Org.). **Alternativas Energéticas: Uma Visão Cemig**. 01. ed. Belo Horizonte, MG: CEMIG, 2012. cap. 01, p. 80-110. v. 01.

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **As energias solar e eólica no Brasil**. 2013. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/download/casasolar/casasolar2013.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017.

CROMATEK. **Power LED 3w Emissão branca com dissipador**. 2015. Disponível em: <www.cromatek.com.br>. Acesso em: 04 mar. 2018.

DATASHEETCATALOG. **IRF3205: datasheets**. 2018. Disponível em: <www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/I/R/F/3/IRF3205.shtml>. Acesso em: 09 mar. 2018.

ENERGIATOTAL. **Iluminação pública por energia solar**. 2017. Disponível em: <www.energiatotal.com.br/iluminacao-publica-por-energia-solar>. Acesso em: 01 abr. 2018.

FÍSICA, Só. **Potência Elétrica**. 2018. Disponível em: <www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrodinamica/potencia.php>. Acesso em: 08 mar. 2018.

FRANCO, J. C.; SILVA, N. C.L. **Utilização de Energia Solar na Iluminação Pública**. 2010. Disponível em: <www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=2175>. Acesso em: 25 nov. 2017.

GOMES, G.Ms. **Poste solar sustentável**. 2014. Disponível em: <www.grupomsgomes.com.br/website/poste-solar/>. Acesso em: 24 fev. 2018.

ISOLARI. **Energia solar: Tipos de células fotovoltaicas**, 2016. Disponível em: <www.isolari.es/tipos-de-placas-fotovoltaicas>. Acesso em: 26 fev. 2018.

KAREL, W. *Revista Elektor* (Edição brasileira), "Tempo de vida das baterias de íons de lítio", ano 4, n.º 45/46, p. 58. In WIKIPÉDIA. **Bateria de íao lítio**: Capacidade de armazenamento. 2017. Disponível em: <www.pt.wikipedia.org/wiki/Bateria_de_íão_lítio>. Acesso em: 03 mar. 2018.

PINHO, J.; GALDINO J. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Disponível em: <www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2017.

POVO, Gazeta do. **Vida e cidadania**: Postes que usa energia solar. 2009. Disponível em: <www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/postes-que-usam-energia-solar-sao-instalados-no-parque-barigui-bt6c7w7ehhwrvjjm2itscu32>. Acesso em: 26 fev. 2018.

PT, Eletrônica. **Lei de Ohm**: Fórmula Matemática lei de ohm. 2018. Disponível em: <www.electronica-pt.com/lei-ohm>. Acesso em: 10 mar. 2018.

RÜTHER, R. **Potential of building integrated photovoltaic solar energy generators in assisting Daytime peaking feeders in urbanareas in Brazil**. 2008. Disponível em:< www.researchgate.net/publication/222666210_Potential_of_building_integrated_photovoltaic_solar_energy_generators_in_assisting_daytime_peaking_feeders_in_urban_areas_in_Brazil>. Acesso em: 18 mar. 2018.

SANTOS, M. **Iluminação pública com LEDs: vantagens que você deve conhecer**. 2016. Disponível em: <www.aecweb.com.br/cont/a/iluminacao-publica-com-leds-vantagens-que-voce-deve-conhecer_3614>. Acesso em: 10 mar. 2018.

SILÍCIO, V. **Sensor de Luz**: aprendendo a usar o LDR com Arduino. 2017. Disponível em: <www.portal.vidadesilicio.com.br/sensor-de-luz-com-ldr/>. Acesso em: 08 mar. 2018.

STA; RONTEK. **Como carregar uma bateria de litio-ion:** Carregamento das Baterias de Li-ION. 2018. Disponível em: <www.sta-eletronica.com.br/artigos/como-carregar-uma-bateria-de-litio-ion>. Acesso em: 04 mar. 2018.

STA; RONTEK. **Sistema de gerenciamento de bateria BMS:** Placas de proteção de baterias de lítio-íon. 2018. Disponível em: <www.sta-eletronica.com.br/artigos/placas-de-protecao-de-baterias-de-litio-ion>. Acesso em: 06 mar. 2018.

STIVANIN, N.L.F.; MONTEDO, U. B. **Viabilidade de autogeração de energia para iluminação pública, aplicado ao metrô de São Paulo, sob uma perspectiva de sustentabilidade.** 2011. Disponível em: <www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_TN_STO_145_912_18296.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2018.

TAKENAKA, F. O. **Avaliação do potencial de geração de energia solar fotovoltaica na cobertura das edificações do Campus I CEFET – MG, interligado à rede elétrica.** 2009. 118P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <www.core.ac.uk/download/pdf/30375405.pdf> acesso em 18 mar. 2018.

UFRGS. **Divisor de tensão de corrente.** 2016. Disponível em: <www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/cap_04/diviteco.htm>. Acesso em: 11 mar. 2018.