



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

CRISTOVAM ANDRÉ TRÓCOLI DE MOURA



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

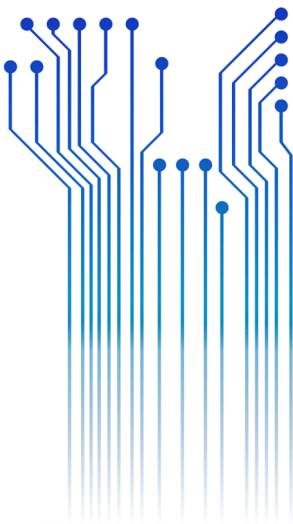
**ANÁLISE LUMINOTÉCNICA PARA MELHOR EFICIÊNCIA
DE LUMINÁRIAS AUTÔNOMAS DO PROJETO LITRO DE LUZ**



Departamento de
Engenharia Elétrica

Campina Grande

2016



CRISTOVAM ANDRÉ TRÓCOLI DE MOURA

ANÁLISE LUMINOTÉCNICA PARA MELHOR
EFICIÊNCIA DE LUMINÁRIAS AUTÔNOMAS DO PROJETO LITRO DE LUZ

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia/

Orientador:

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.

Campina Grande
2016

CISTOVAM ANDRÉ TRÓCOLI DE MOURA

ANÁLISE LUMINOTÉCNICA PARA MELHOR
EFICIÊNCIA DE LUMINÁRIAS AUTÔNOMAS DO PROJETO LITRO DE LUZ

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Energia Solar

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha família que me deu todo o suporte para que eu chegasse até aqui e à minha namorada que me estimula sempre a superar os meus limites.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família que me deu todo o suporte financeiro e emocional, me proporcionando uma vida tranquila onde eu pudesse focar nos meus estudos e chegar até o fim desta graduação. Mãe, obrigado pelo feijão que a senhora, mesmo cansada, tinha que cozinhar no fim de semana pra que toda segunda feira eu pudesse levar para Campina. Muito obrigado também por me apoiar e confiar em todas as decisões que eu tomo, por mais malucas que elas possam parecer, incluindo viagens sozinho para outros países. Por mais difícil que pudesse ser, meus pais sempre me apoiaram e acreditaram, mesmo sem entender o que eu estava fazendo ou pra que isso serviria, que eu estava indo no caminho certo. Obrigado pela confiança, prometo que não vou decepcioná-los.

Agradeço imensamente aos meus amigos e companheiros deste curso, sem eles eu não teria chegado até aqui, digo isso com toda certeza. Obrigado Mariana, Elton, Felipe, Beethoven, Victor, Renan, Álvaro e muitos outros. Obrigado pelas risadas, por todas as piadas e todos os cafés nas madrugadas, em meio a situações altamente estressantes e complicadas, sem esse nosso bom humor não teríamos logrado esse êxito.

Eles, sendo exceção, também merecem agradecimento muito especial. Meu professor e orientador neste trabalho, Tarso Vilela Ferreira, professor Leimar de Oliveira e professor Edmar Candeia Gurjão. Estes professores são muito preciosos pelo simples motivo de tratar os alunos como semelhantes. Nos tratam com muito respeito e nos escutam.

Agradeço à minha namorada, que acredita no meu potencial e tanto me apoia a chegar longe, sempre me aconselhando quando eu preciso e me dando força para seguir adiante.

Agradeço de uma forma muito especial todos os meus companheiros no Projeto Litro de Luz Campina Grande, por acreditarem nesse projeto junto comigo e trabalharem contribuindo para uma sociedade melhor, bem como, para uma universidade melhor.

Agradeço ao LAT (Laboratório de Alta Tensão) da UFCG, por cederem seu espaço e seu pessoal na elaboração dos testes presentes neste trabalho. Agradeço em especial aos técnicos Igor e Jenefer.

Enfim, agradeço ao curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, por ajudar a moldar meu caráter, me tornar um homem resiliente e persistente. Hoje acredito que eu posso tudo e que não existem limites para meus objetivos.

RESUMO

É um fato que a luz artificial é de extrema importância para o desenvolvimento do homem como indivíduo e em sociedade. No entanto, 1.3 bilhões de pessoas, o que corresponde a 19% da população mundial (IEA, 2011), ainda sofrem com a falta de eletricidade e, portanto, de luz elétrica em suas casas. Para ajudar a solucionar este problema a Organização Não Governamental Litro de Luz desenvolveu uma solução barata e eficiente de iluminar comunidades desprovidas de luz elétrica e assim melhorar a qualidade de vida de seus habitantes, principalmente em quesitos como segurança e educação. Neste trabalho é sugerida uma forma de tornar mais eficiente esta solução e apresentado um estudo luminotécnico comparativo para se comprovar a melhoria conseguida. A solução consiste em postes de luz com uma tecnologia que utiliza materiais recicláveis e de baixo custo, um pequeno painel solar, um pequeno circuito eletrônico e uma bateria. Com a implantação de postes como estes nessas comunidades, se tem a intenção de diminuir a probabilidade de violência nas ruas, estimular a educação e fomentar a circulação de pessoas durante a noite, aquecendo o comércio local e provendo maior qualidade de vida às pessoas.

Palavras-chave: Postes Solares, baixo custo, Energia Solar, qualidade de vida.

ABSTRACT

Artificial light is exceedingly important to the development of humankind and society. However, 1.3 billion people which represents 19% of world population, have no access to an electrical source. The NGO Liter of Light designed a cheap and efficient solution to electrical lighting in hopes of improving education and security for those who have no access to an electrical light source. This paper presents a way to make this solution more efficient and a comparative study that proves if the suggested improvement actually works. The idea consists of lampposts that utilizes simple technology that includes low cost and recyclable materials, a small solar panel and a battery. With the implementation of light poles, it is intended to decrease the likelihood of violence in the streets, encourage education, promote the movement of people at night, warming up the local market, improving and empowering the community.

Keywords: Solar lampposts, inexpensive, Solar Energy, Empowering communities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comunidade de Isla de Leon.....	18
Figura 2: Casas na comunidade de Isla de Leon, Cartagena	19
Figura 3: Esgoto a céu aberto em Isla de Leon, Cartagena.	19
Figura 4: Habitação em Isla de Leon antes da instalação da Lâmpada de Moser.	20
Figura 5: Habitação em Isla De Leon após a instalação da Lâmpada de Moser.	21
Figura 6: Protótipo de Solução noturna criada pela ONG Litro de Luz.....	22
Figura 7: Átomos de Boro (esq.), Silício (centro) e Fósforo (dir.) com número de elétrons na camada de valência.	25
Figura 8: Corte transversal de uma célula fotovoltaica mostrando o funcionamento do efeito fotoelétrico.....	26
Figura 10: Atlas solarimétrico brasileiro no mês de novembro.....	30
Figura 12: Gráfico da relação entre a profundidade média de descarga diária durante um ciclo e o número de ciclos.	33
Figura 15: Representação geométrica da unidade de medida candela	37
Figura 16: Representação Geométrica da Luminância.....	38
Figura 17: Exemplo de Curva Fotométrica	39
Figura 18: Exemplo de um Diagrama Isolux.....	39
Figura 19: Design de Poste criado pelo projeto Litro de Luz no Brasil junto com a ENETEC.....	40
Figura 20: Protótipo montado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG.....	41
Figura 21: Versão de circuito usada na montagem do protótipo.....	43
Figura 22: Montagem do circuito do poste usando borne	44
Figura 23: Circuito real montado na UFCG.....	45
Figura 24: LED SMD, 1W, branco frio usado na fabricação do poste.....	46
Figura 25: Bateria UNIPOWER usada neste protótipo.....	46
Figura 26: Placa Solar Komaes Solar usada neste protótipo.....	48
Figura 27: Exemplo de poluição luminosa e como ela afeta a visualização do céu estrelado.....	50
Figura 28: Sugestão de Melhoria para luminária do Poste LdL.....	50
Figura 29: Exemplo de montagem da sugestão de melhoria.....	51
Figura 30: Pontos de medição para o desenho da curva fotométrica da Luminária.....	52
Figura 31: Disposição dos pontos de medição para a curva Isolux.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de radiação solar diária média para várias localidades do mundo.....	27
Tabela 2: : Orçamento de Protótipo de Poste do Projeto Litro de Luz.....	40
Tabela 3: Tabela de descarga para corrente constante.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4: Tabela de dados gerais do poste do Litro de Luz.....	49
Tabela 5: Medições feitas para traçar curva fotométrica.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
CNP	Conselho Nacional de Petróleo
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
INB	Indústrias Nucleares Brasileiras
IEA	International Energy Agency
MME	Ministério de Minas e Energia
LAT	Laboratório de Alta Tensão
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	vi
Resumo.....	viii
Abstract.....	ix
Lista de Ilustrações.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xii
Sumário.....	xiii
1 Introdução.....	15
1.1 Objetivos.....	17
Os objetivos secundários deste projeto são apresentados a seguir:.....	17
1.2 Motivação.....	17
Estrutura do trabalho.....	23
1.3.....	23
2 Embasamento Teórico.....	24
2.1 Energia Solar Fotovoltaica.....	24
2.1.1 O Efeito Fotovoltaico.....	24
2.1.2 Tecnologias de Geração Solar.....	26
2.1.3 Potencial Solar no Brasil.....	27
2.2 Baterias.....	30
2.2.1 Baterias de Chumbo-Ácido.....	31
2.2.2 Bateria de Níquel-Cádmio.....	34
2.2.3 Características ideais para uso em sistemas fotovoltaicos.....	34
2.3 Fotometria e Luminotécnica.....	35
2.3.1 Luz.....	35
2.3.2 Fluxo Luminoso (φ).....	36
2.3.3 Intensidade Luminosa (I).....	37
2.3.4 Iluminância.....	37
2.3.5 Luminância.....	38
2.3.6 Curva Fotométrica.....	39
2.3.7 Diagrama de Isolux.....	39
3 Metodologia.....	40
3.1 O poste.....	40
3.2 Viabilidade Econômica.....	41
3.3 O Circuito.....	43
3.4 Tempo de Atividade do Poste.....	46
3.5 Sugestão de melhoria para luminária.....	49
3.6 Curva Fotométrica da Luminária LdL.....	51
3.7 Curva Isolux da Luminária LdL.....	53

4	Resultados	55
5	Conclusão	61
	Referências Bibliográficas.....	62

1 INTRODUÇÃO

A luz, definitivamente, é um dos fatores mais importantes para a evolução humana. Dificilmente a humanidade chegaria onde chegou se não tivesse inventado a luz artificial e certamente muitos avanços para o mundo modernos nunca teriam acontecido. A educação e a segurança pública são áreas diretamente impactadas pelo advento da luz artificial, que proporcionou avanços importantes às mesmas.

A falta de iluminação natural à noite sempre foi um problema nos grandes centros urbanos. Os problemas vão desde as pessoas não saberem para onde estão caminhando, por não conseguirem ver, até correrem o risco de sofrerem algum tipo de violência nas ruas.

A relação entre segurança e iluminação pública vem sendo percebida desde o surgimento das lâmpadas a gás. Considera-se que 80% (PURCELI, 2011) de nossas atividades sensoriais são responsabilidade da visão. Isso justifica o fato de ser natural não se sentir seguro num ambiente onde não se pode enxergar. A iluminação pública tem como parâmetro mínimo permitir o reconhecimento de pessoas a distâncias razoáveis, isso nos transmite essa sensação de segurança. Ambiente escuros criam situações favoráveis para que crimes aconteçam, pois, criminosos podem cometer os crimes sem serem reconhecidos pelas vítimas ou por passantes que, porventura, estejam próximos do local. Em zonas públicas, a distância mínima que a iluminação deve favorecer o reconhecimento da pessoa é de 3 metros (SANTOS, 2015) pois essa distância ainda permite a adoção de ações evasivas.

Para ajudar a solucionar este problema surge o projeto Litro de Luz. “Um Litro de Luz Brasil” é a Organização Não Governamental (ONG) representante oficial no Brasil do movimento global *Liter of Light*. A organização foi fundada nas Filipinas com o objetivo de desenvolver projetos econômica e ecologicamente sustentáveis para combater a falta de energia elétrica em regiões que não possuem acesso à ela, ou onde a população não possa arcar com seu custo. O principal foco são áreas públicas e

residenciais, onde a iluminação impacta diretamente a qualidade de vida da comunidade.

De acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizado em 2010, havia mais de 2,7 milhões de brasileiros vivendo sem acesso à eletricidade, principalmente em áreas rurais e no Norte do país. Esse número, entretanto, não abarca todas as 50 milhões de famílias pobres no Brasil, cuja ampla maioria não conta com acesso regular a energia elétrica.

A luz é indispensável para que as pessoas sejam capazes de realizar tarefas essenciais. Em lugares com pouca infraestrutura como as favelas espalhadas por todo o país, no sertão do Nordeste ou nas comunidades ribeirinhas do Amazonas, na região Norte, os ambientes são sempre muito escuros, o que dificulta a produtividade, a convivência, e o funcionamento normal das atividades familiares. Sem qualquer acesso à eletricidade, eles estão em desvantagem em praticamente todos os aspectos de suas vidas.

Em algumas áreas os habitantes simplesmente se acostumaram a viver na escuridão e utilizam meios perigosos, custosos e pouco eficientes para gerar luz, como geradores a base de diesel, lamparinas de querosene, fogueiras e velas. Entretanto, alguns desses meios geram riscos à saúde e também obrigam a população a utilizar recursos naturais locais de forma pouco eficiente, impactando negativamente o meio ambiente. Muitas famílias de baixa renda não têm escolha, usam constantemente lâmpadas com querosene que emitem fumaça tóxica, afetando principalmente as crianças. Sem falar nas conexões elétricas ilegais, que é o maior causador de incêndios em comunidades de baixa renda no Brasil.

Para ajudar a resolver esses problemas, Litro de luz desenvolveu uma solução simples e barata. Um poste de luz usando como matéria-prima placas solares, canos de PVC e materiais reciclados, como garrafas pet. Tais postes de iluminação pública são eficientes do ponto de vista econômico e ecológico. O circuito é elaborado para ser ligado automaticamente com a chegada da noite e desligado quando o dia amanhece. Essa inovação poderia ajudar muitos governos de diversos países a economizar quantias substanciais, facilitando o seu atendimento a regiões pobres e comunidades remotas.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo primário deste trabalho é sugerir uma melhoria para o poste solar criado pela ONG Litro de Luz.

Este trabalho tem como objetivos a apresentação do Projeto Litro de Luz e sua tecnologia na UFCG, projetar e construir um poste solar, no modelo proposto pela ONG, alimentado através de um painel solar e uma bateria, e propor uma melhoria na luminária utilizada no poste. Após a construção do poste será feita sua análise lumintécnica com o objetivo de se comparar a luminária originalmente usada com a melhoria sugerida neste presente trabalho.

Os objetivos secundários deste projeto são apresentados a seguir:

- Construção de um protótipo de poste da ONG Litro de Luz;
- Estudo luminotécnico das características do poste;
- Projeto de uma luminária de melhor eficiência, usando material reciclado;
- Testes com o sistema completo;
- Análise do desempenho do sistema.

1.2 MOTIVAÇÃO

Em novembro de 2015 o autor realizou uma experiência de intercâmbio voluntário na Colômbia. Esse intercâmbio foi viabilizado pela ONG AIESEC. A AIESEC é a maior ONG do mundo gerida por jovens estudantes, e seu trabalho é proporcionar experiências de intercâmbio voluntários e profissionais para jovens em diversos países do mundo.

Depois de uma extensa procura por vagas de intercâmbio que se assemelhassem ao perfil do autor, foi encontrada uma oportunidade no Litro de Luz em Cartagena, Colômbia, pois se percebeu que com esse projeto se poderia aliar os estudos de engenharia elétrica com um trabalho social pois, além de uma solução diurna para as

casas sem luz elétrica, a ONG havia desenvolvido uma solução noturna usando energia elétrica fotovoltaica. Além disso, Cartagena é uma das cidades mais pobres da Colômbia, apesar de ser patrimônio histórico e cultural da humanidade, 33,4% de seus habitantes vivem na pobreza e 4,7% em extrema pobreza. Somando-se a isso uma enorme desigualdade social com um coeficiente de Gini de 48,8%. (TECHO, 2014)

No dia seguinte à chegada na Colômbia, foi realizada a primeira instalação que seria na comunidade chamada *Isla de Leon* na periferia de Cartagena. Esta comunidade está localizada no setor chamado *El Pozón*, onde habitam aproximadamente 100 famílias em situação de extrema pobreza, segundo a ONG TECHO que exerce um trabalho de construir habitações nesta mesma comunidade (TECHO, 2014). Na Figura 1 pode-se observar uma fotografia de parte da comunidade *Isla de Leon* em Cartagena.

Figura 1: Comunidade de *Isla de Leon*.



Fonte: o próprio autor.

A maioria dos moradores desta comunidade são vítimas de um fenômeno comum na Colômbia, o *desplazamiento*. Os *desplazados*, como são chamados, são as pessoas que foram forçadas a deixar suas casas e se mudarem para outro lugar em condições desumanas. Em sua maioria são ex-proprietários de pequenas propriedades rurais no interior da Colômbia que foram expulsos pela guerrilha que ainda existe no país.

Figura 2: Casas na comunidade de Isla de Leon, Cartagena.



Fonte: o próprio autor.

A situação da comunidade era verdadeiramente precária. As habitações, em sua grande maioria, eram feitas de madeira de demolição e não tinham piso algum. Não havia nenhum tipo de saneamento básico e por isso se podia ver esgoto a céu aberto por todas as partes. O preocupante é que se vê uma grande quantidade de crianças e pessoas deficientes vivendo nesta localidade e sem nenhum acesso a serviços públicos.

Figura 3: Esgoto a céu aberto em *Isla de Leon*, Cartagena.



Fonte: o próprio autor.

Com relação as instalações elétricas do local, elas eram totalmente clandestinas. Os moradores haviam feito ligações em postes que se localizavam na rodovia próxima e

de lá traziam a energia em cabos presos a postes improvisados de madeira pelas pequenas vias da comunidade. Desta forma, muitas vezes as casas tinham eletricidade, porém as instalações eram precárias e causavam grande risco de acidentes. Pela escassez de instalações elétricas adequadas, muitas vezes, nas casas só havia um ponto de iluminação e mesmo durante o dia elas permaneciam escuras, tornando praticamente impossível uma atividade simples como ler um livro dentro de casa.

Figura 4: Habitação em Isla de Leon antes da instalação da Lâmpada de Moser.



Fonte: o próprio autor.

O trabalho da ONG Litro de Luz se propões a resolver este problema com uma solução bastante simples: uma garrafa pet preenchida com uma solução de água e cloro, presa ao teto das casas. Esta solução foi primeiramente proposta em 2002 por um mecânico brasileiro chamado Alfredo Moser, na cidade de São Paulo. Moser teve a ideia de criar o que ficaria mundialmente conhecido como a *Moser's Lamp*, ou a Lâmpada de Moser, durante os apagões que aconteciam no Brasil naquela época já que precisava trabalhar em sua oficina que era escura durante o dia.

Figura 5: Habitação em Isla De Leon após a instalação da Lâmpada de Moser.



Fonte: o próprio autor.

Aquela era a realidade de outra comunidade em que foi realizado o mesmo trabalho. A comunidade de *Palenque* tem a marca histórica de ter sido o primeiro quilombo existentes nas américas, porém pode-se ver que pouca coisa mudou desde a sua criação com relação à infraestrutura existente lá.

Durante o tempo de trabalho do autor na Colômbia, foi meta principal formar uma equipe local de estudantes de engenharia elétrica e eletrônica para juntos montarem o protótipo da solução que o Litro de Luz já havia desenvolvido para a noite. Uma garrafa pet cheia com água e cloro, um led em seu interior, um painel solar acoplado e uma bateria como mostrado na Figura 6.

Figura 6: Protótipo de Solução noturna criada pela ONG Litro de Luz.



Fonte: o próprio autor.

O autor retornou ao Brasil decidido a fundar uma célula do Litro de Luz em Campina Grande, com o objetivo de usar a tecnologia do projeto na Paraíba para ajudar as famílias que ainda vivem no escuro.

Com a ajuda dos professores Tarso Vilela e Edmar Candeia Gurjão, o projeto foi iniciado e hoje existem mais de 50 voluntários atuando em 5 diferentes projetos internos do Litro de Luz.

Figura 7: Líderes dos Voluntários do Projeto Litro de Luz Campina Grande



Fonte: o próprio autor.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em capítulos, onde, no primeiro capítulo se apresenta uma breve introdução, objetivos e motivação. No segundo capítulo são apresentados os conceitos principais para a compreensão deste trabalho. Em seguida, o terceiro capítulo se trata da metodologia utilizada. Os resultados estão no quarto capítulo. Por fim, se tem a conclusão no quinto e último capítulo.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Neste Capítulo serão apresentados os conceitos necessários para a compreensão do trabalho. Três temas serão discorridos, Energia Solar Fotovoltaica, Baterias e Fotometria.

2.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O Brasil é um país abundante em recursos naturais e possui capacidade econômica para investir na geração de energia solar fotovoltaica. Contudo, uma pequena contribuição advinda de fontes renováveis ainda é vista na matriz energética e percebe-se que o país se encontra em uma fase de transição, onde políticas públicas de incentivo e de regulamentação começam a promover esse tipo de geração elétrica. Nesse contexto, o estudo dessa tecnologia se torna cada vez mais difundido no país e o conhecimento de conceitos relacionados a esse tema se torna muito importante. Esses conceitos serão apresentados a seguir.

2.1.1 O EFEITO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico foi descoberto pelo físico francês Alexandre Edmond Becquerel em 1839. Caracteriza-se como sendo o aparecimento de uma tensão elétrica sobre um material semicondutor quando este é exposto à luz.

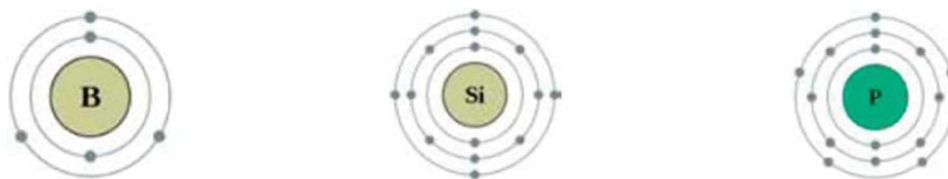
Os materiais ideais para a fabricação das células fotovoltaicas são os materiais semicondutores, e dentre eles o mais usado é o silício. Os semicondutores são assim chamados por possuírem características intermediárias entre os materiais isolantes e os condutores.

O silício é um dos materiais mais abundantes no planeta e está presente praticamente em toda areia, barro, rocha e solo. Usando métodos químicos e físicos adequados se chega a um cristal de silício puro. No entanto, o silício puro não é bom condutor elétrico por não possuir elétrons livres. Para solucionar este problema se utiliza um processo chamado de dopagem, onde se acrescenta porcentagens de outros materiais ao silício (FOGAÇA, 2016).

A estrutura atômica do silício é bastante favorável à sua utilização como semicondutor. Ele possui quatro elétrons de valência e necessita de mais quatro átomos vizinhos para formar uma ligação covalente. Quando se insere um elemento de 5 elétrons na camada de valência, como o fósforo ou o arsênio, este quinto elétron se encontrará fracamente ligado ao seu átomo de origem e, à temperatura ambiente, ficará livre. Este processo tornará o cristal de silício dopado com este material eletricamente negativo. O semicondutor nestas condições é chamado de Tipo N.

Quando se realiza um procedimento semelhante, mas desta vez utilizando o Boro para dopar o cristal de silício, se obtém um material com características elétricas opostas. Esse material é chamado de Tipo P e é eletricamente positivo, pelo excesso de cargas positivas presentes (LIMA, 2014). Na figura 8 se encontram representações atômicas do silício e dos materiais mais comuns usados para sua dopagem, fósforo e boro.

Figura 8: Átomos de Boro (esq.), Silício (centro) e Fósforo (dir.) com número de elétrons na camada de valência.

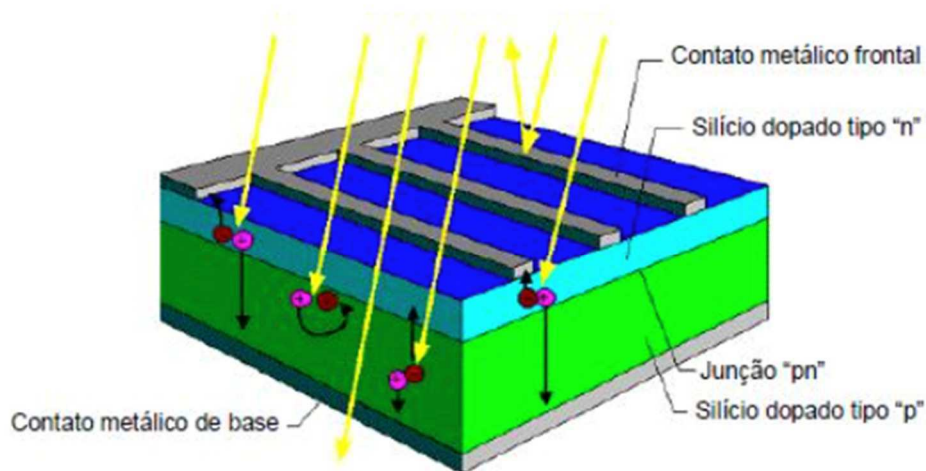


Fonte: GTES, 2014

Para se ter a célula fotovoltaica se faz necessária a presença dos dois tipos de materiais. Na região de encontro dos dois materiais, chamada Junção PN, acontecerá um movimento de elétrons que migrarão do semicondutor Tipo N para o semicondutor Tipo P. Esse movimento é interrompido por um campo elétrico formado na área de junção que impede que os elétrons continuem fluindo.

Quando a luz visível incide sobre a célula semicondutora, os elétrons se tornam energizados e ao se ligar um fio condutor nas duas camadas obtém-se uma corrente elétrica que fluirá de uma camada para a outra.

Figura 9: Corte transversal de uma célula fotovoltaica mostrando o funcionamento do efeito fotoelétrico.



Fonte: Seguel,2009

2.1.2 TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO SOLAR

Na década de 50 a eficiência das células fotovoltaicas era em torno de apenas 4,5%, isso significa que somente uma pequena quantia da energia solar recebida no painel era convertida em eletricidade. Essa pequena taxa de conversão correspondia a 13 Wp/m², a um custo de US\$ 1787/Wp. Atualmente a eficiência média mundial triplicou para 15% (143 Wp/m²), a um custo 1370 vezes mais barato, de US\$ 1,30/Wp. Em 2015, a máxima eficiência de que se tem notícia é de 23,5%, o que corresponde a 348 Wp/ m² (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Os painéis mais usados no mercado, com uma participação de mais de 95%, são os feitos de células de silício cristalino puro (c-Si). Estes painéis apresentam rendimentos de 13 a 17% (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2015).

Outra tecnologia mais barata porém menos eficiente são as células de película fina. Estas células são formadas pela decomposição de camadas extremamente finas de materiais semicondutores, dentre eles o Silício amorfo (a-Si) e o Teulereto de Cádmio (CdTe), sobre um material de apoio como o vidro, aço inoxidável ou até mesmo o plástico.

2.1.3 POTENCIAL SOLAR NO BRASIL

O Brasil tem um enorme potencial para Energia Solar por estar localizado muito próximo da linha do Equador. Por este motivo, possui uma variação muito pequena de radiação solar durante o dia e níveis muito altos de insolação durante o ano todo. Além disso, possui grandes reservas de quartzo de qualidade, o que pode gerar uma grande vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos de alto valor agregado (EPE, 2012).

A região Nordeste brasileira é onde se encontra o melhor potencial dentro do país, apresentando valores de irradiação solar entre os maiores globais, com as maiores médias e as menores variabilidades anuais. O Nordeste brasileiro pode ser comparado às regiões desérticas do mundo mais bem dotadas do recurso solar como, por exemplo, a região da cidade de Dongola, no deserto arábico do Sudão e a região de Dagget, no deserto de Mojave, Estados Unidos. É mostrado na tabela 1, valores de radiação solar diária, médias mensais, máximas, mínimas e anuais para as localidades desérticas citadas e outras cidades brasileiras, para efeito de comparação.

Tabela 1: Dados de radiação solar diária média para várias localidades do mundo.

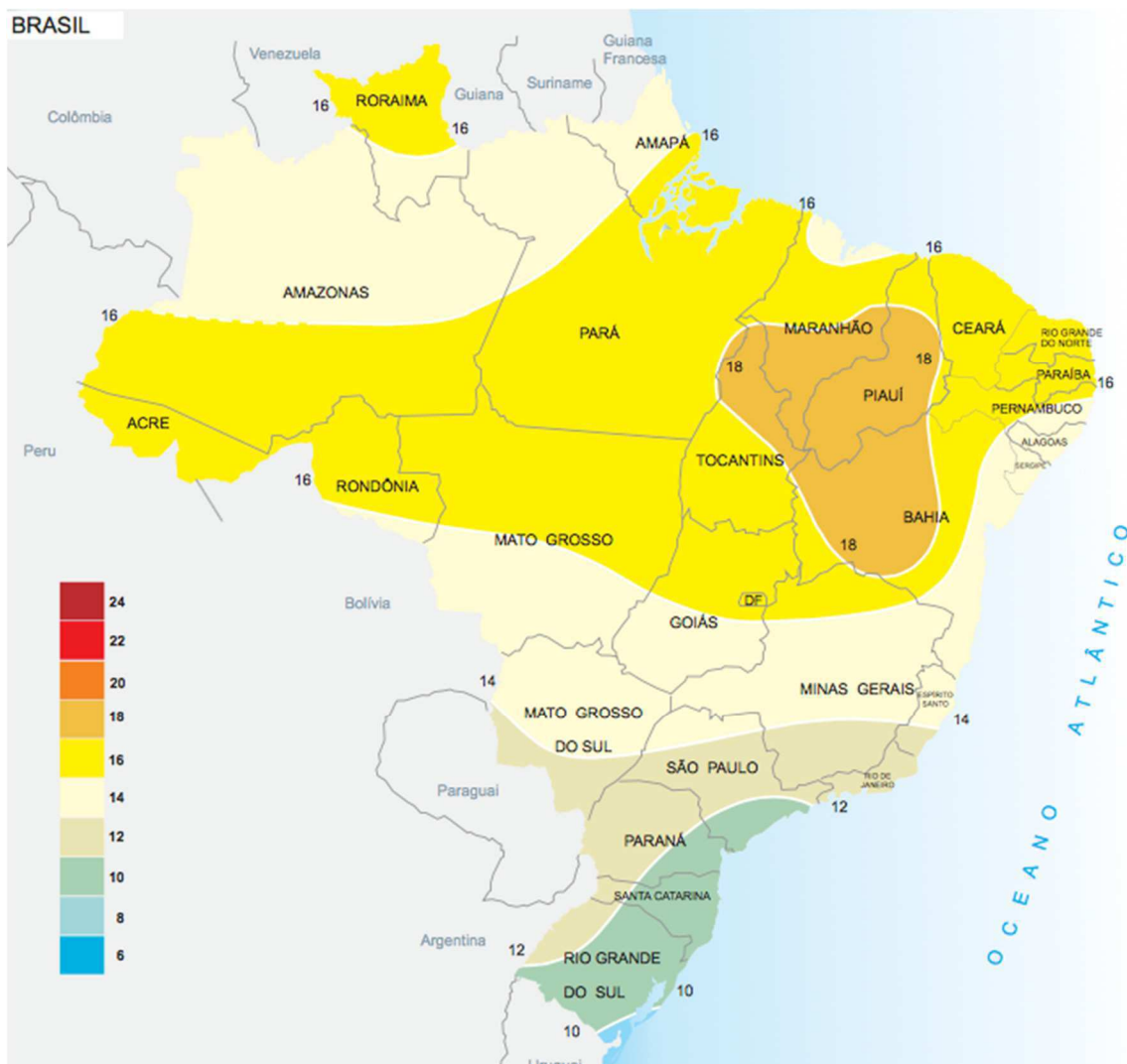
Localidade	Latitude	H_h (mínimo) (MJ/m ²)	H_h (máximo) (MJ/m ²)	H_h (anual) (MJ/m ²)	H_h (max)/ H_h (min)
Dongola-Sudão	19°10'	19,1(Dez)	27,7(Mai)	23,8	1,4
Dagget- USA	34°52'	7,8(Dez)	31,3(Jun)	20,9	4,0
Belém-PA-Brasil	1°27'	14,2(Fev)	19,9(Ago)	17,5	1,4
Florianópolis-PI- Brasil	6°46'	17,0(Fev)	22,5(Set)	19,7	1,3
Petrolina-PE- Brasil	9°23'	16,2(Jun)	22,7(Out)	19,7	1,4
B. J. da Lapa- BA	13°15'	15,9(Jun)	21,1(Out)	19,7	1,3
Cuiabá-MT- Brasil	15°33'	14,7(Jun)	20,2(Out)	18,0	1,4
B. Horizonte-	19°56'	13,8(Jun)	18,6(Out)	16,4	1,3

MG-Brasil					
Curitiba-PR- Brasil	25°26'	9,7(Jun)	19,4(Jan)	14,2	2,0
P. Alegre- RS- Brasil	30°1'	8,3(Jun)	22,1(Dez)	15,0	2,7

Fonte: CEPEL, 2000.

Segundo o Atlas Solarimétrico do Brasil, publicado no ano 2000, a radiação solar média no Brasil varia entre 8 e 22 MJ/m²dia e tem seu período de mínimo nos meses de maio, junho e julho. Nos meses de baixa as estações solarimétricas registram intensidades de radiação na faixa de 8 a 18 MJ/m²dia. A região de máxima radiação está compreendida entre o leste do estado do Pará, oeste dos estados do Ceará e Bahia e a fronteira sul do estado da Bahia. A localidade que apresenta menor radiação no Brasil, cerca de 8 MJ/m²dia, se encontra do estado do Rio Grande do Sul (TIBA, 2000).

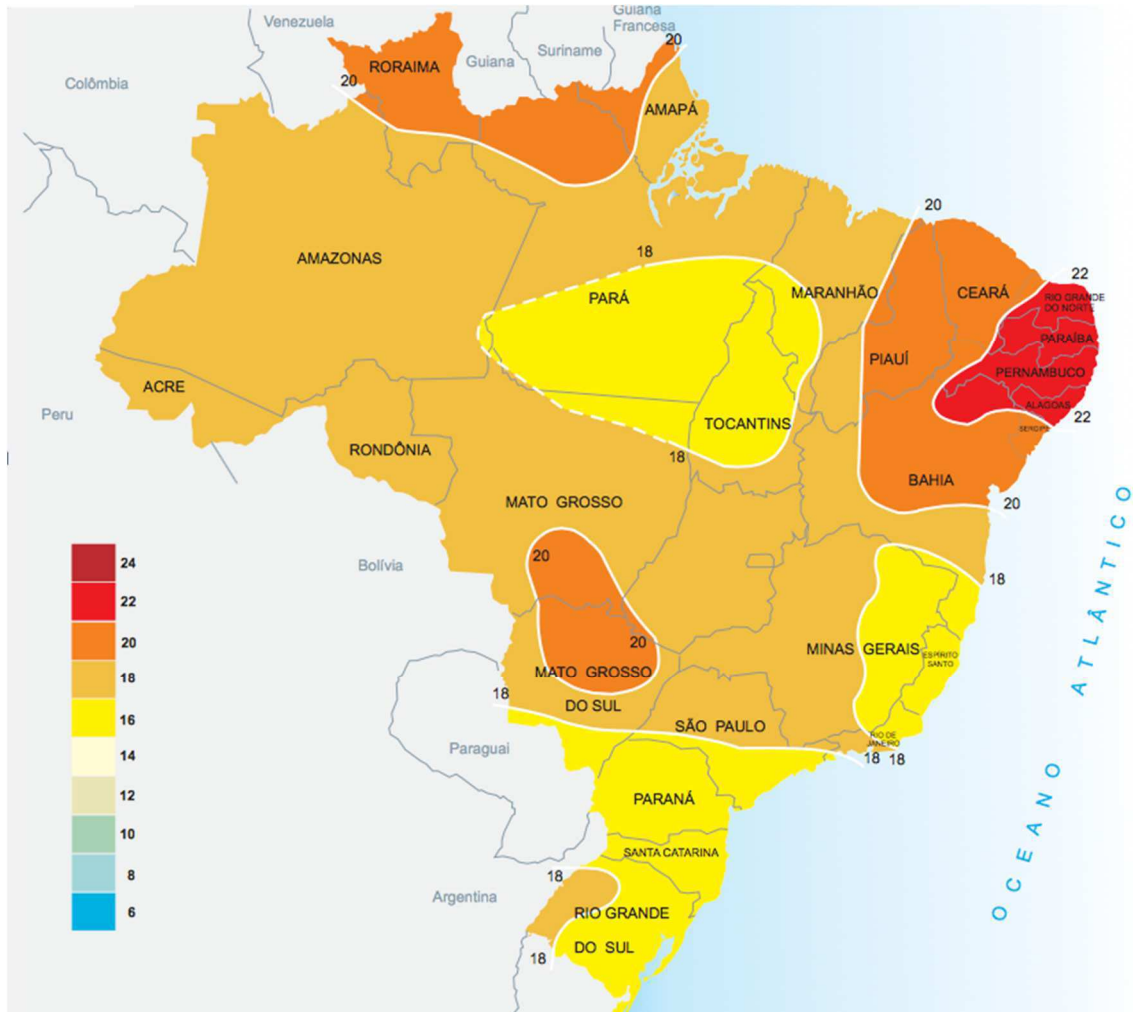
Figura 10: Mapa solarimétrico brasileiro no mês de junho.



Fonte: CEPEL, 2000.

Os meses que ocorrem as maiores medições é o trimestre outubro-novembro-dezembro, onde se observa as estações solarimétricas registrarem intensidades de radiação acima de 16 MJ/m²/dia, atingindo um ponto máximo de até 24 MJ/m²/dia. No Rio Grande do Sul, neste período, chega a ocorrer uma região de máxima de 24 MJ/m²/dia e 22 MJ/m²/dia em boa parte do Nordeste (TIBA, 2000).

Figura 11: Mapa solarimétrico brasileiro no mês de novembro.



Fonte: CEPEL, 2000.

2.2 BATERIAS

As baterias são elementos bastante desejáveis em um sistema fotovoltaico. Elas, também chamadas de acumuladores eletroquímicos, tem o papel de armazenar a energia que se produziu durante o dia, pelos painéis solares, para ser usada durante à noite ou grandes períodos de mau tempo.

Uma importante função das baterias também é a estabilização de corrente e tensão quando se está alimentando cargas elétricas, atuando durante transitórios que possam acontecer na geração.

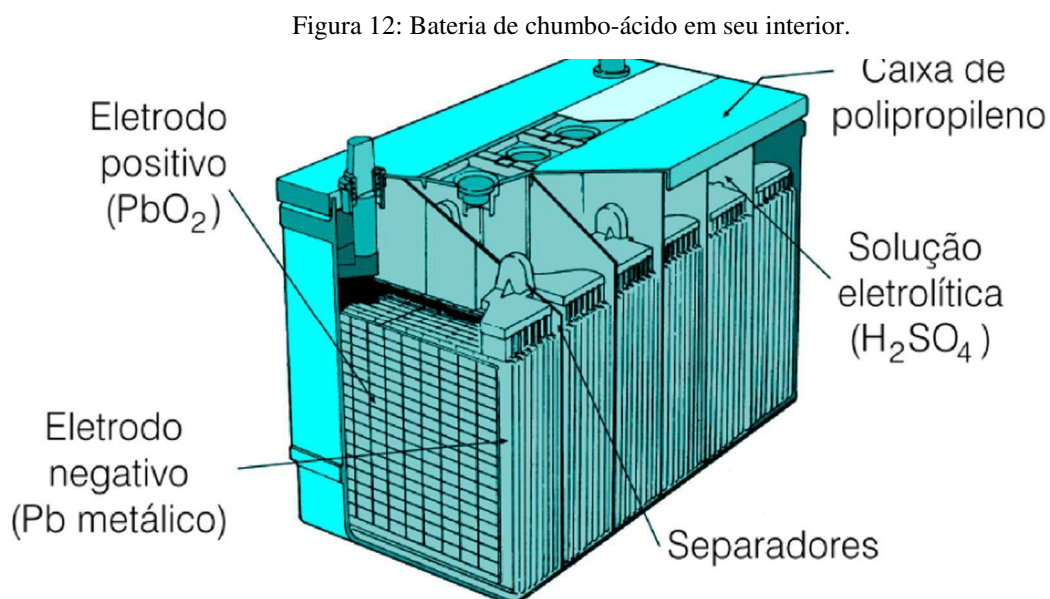
Para partida em motores, por exemplo, ela tem uma essencial função: prover uma intensidade de corrente muito superior àquela que o dispositivo fotovoltaico

poderia entregar. Essa corrente pode ser de 4 a 6 vezes sua corrente nominal, durante alguns segundos (BRAGA, 2008).

As baterias podem ser classificadas em: baterias primárias e secundárias. As primeiras citadas são dispositivos que uma vez usados já não possuem a possibilidade de serem recarregados e por isso devem ser descartados. Já as secundárias podem ser regeneradas, o que confere a elas a possibilidade para serem usadas em sistemas fotovoltaicos. Uma corrente elétrica aplicada em seus terminais pode reverter as reações eletroquímicas ocorridas na bateria para a geração da energia elétrica e dessa forma recarregar novamente a bateria. Os tipos de baterias mais comumente usados em sistemas fotovoltaicos são as baterias de Chumbo-Ácido e as baterias de Níquel-Cádmio.

2.2.1 BATERIAS DE CHUMBO-ÁCIDO

As baterias de chumbo-ácido são compostas por chumbo e seu eletrólito é uma solução aquosa de ácido sulfúrico. No seu interior existem células que são constituídas por duas placas de polaridade opostas, isoladas entre si e banhadas pelo eletrólito. Todos os seus elementos são interligados de uma forma conveniente para estabelecer sua tensão e capacidade nominal.



Fonte: Bocchi, 2000.

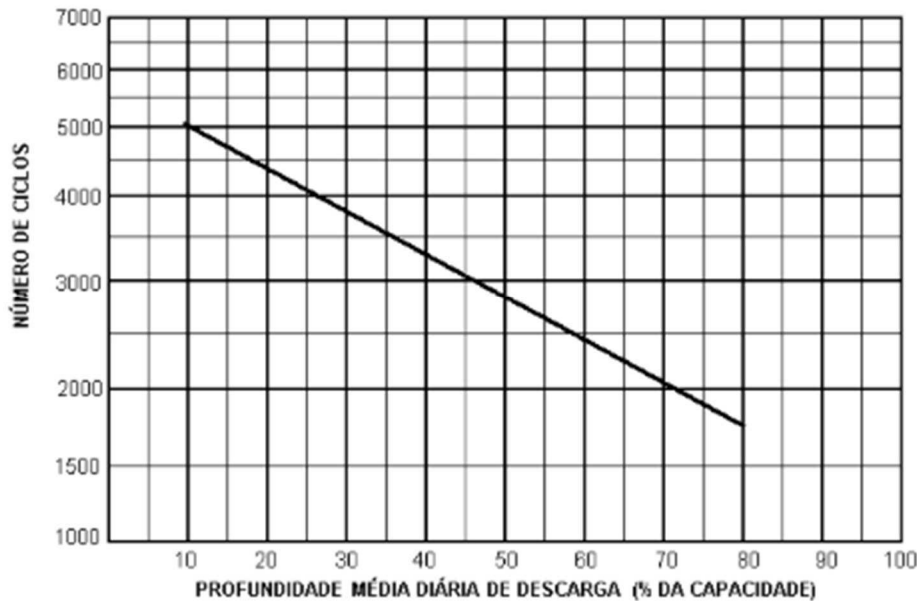
Estas baterias são as mais usadas e aplicam-se amplamente nos sistemas de geração fotovoltaicos pelo fato de ter uma grande variedade de tamanhos, grande disponibilidade no mercado e custo baixo.

A profundidade de descarga é um dos parâmetros mais importantes em uma bateria usada em sistemas fotovoltaicos. Este parâmetro representa o percentual em relação à sua capacidade nominal, que uma bateria pode fornecer sem que seja comprometida sua vida útil, ou seja, quanto ela pode descarregar sem que isso prejudique seu recarregamento. Existem baterias de baixa profundidade de descarga, geralmente usada em automóveis e baterias de alta profundidade de descarga, estas usadas em sistemas fotovoltaicos.

A Moura, uma importante fabricante de acumuladores eletroquímicos, disponibiliza em seu catálogo de baterias o gráfico da figura 13 que mostra a relação entre profundidade média diária de descarga e o número de ciclos que a bateria é capaz de realizar durante sua vida útil (BRAGA, 2008).

Observa-se que descargas que ultrapassam a capacidade de descarga da bateria de chumbo-ácido reduzem seu tempo de vida útil e até uma descarga muito profunda pode causar um dano irreversível e impedir que o processo químico aconteça novamente, inutilizando de uma vez por todas a bateria. Por isso, para aumentar a durabilidade desse tipo de bateria, é necessário o carregamento adequado delas, conforme recomendações do fabricante.

Figura 13: Gráfico da relação entre a profundidade média de descarga diária durante um ciclo e o número de ciclos.



Fonte: Catálogo de Baterias Moura, 2014.

Outro problema comum relacionado ao processo de descarga da bateria é a sulfatação. A sulfatação é definida como a formação de cristais de sulfato de chumbo nas placas dos elementos, diminuindo a vida útil da bateria. Os cristais que se acumulam sobre as placas formam uma barreira entre o eletrólito e o material ativo das placas. Para reduzir esse fenômeno, deve-se evitar manter a bateria descarregada por longos períodos, carregamentos parciais prolongados e a operação em temperaturas superiores a 45 °C (BRAGA, 2008).

O processo de carga também pode ser danoso para a bateria. Durante o carregamento a tensão nos terminais sobe lentamente até atingir um determinado valor de tensão, quando cessa a acumulação de energia na bateria. Quando se chega a esse ponto, se a corrente de carga não for interrompida, a bateria começa a consumir toda a energia entregue realizando a eletrólise da água contida no eletrólito. Esse processo ocasiona perda em excesso de água, o que cria a necessidade de manutenção para reposição do líquido na bateria.

2.2.2 BATERIA DE NÍQUEL-CÁDMIO

As baterias de níquel-cádmio(Ni-Cd) também são utilizadas em sistemas de geração elétrica fotovoltaica. Estas baterias apresentam uma estrutura física bastante semelhante às de chumbo-ácido, no entanto, elas utilizam hidróxido de níquel nas placas positivas e óxido de cádmio nas placas negativas. Como eletrólito é usado o hidróxido de potássio.

Segundo Braga (2008, p. 35):

As baterias de níquel-cádmio possuem inúmeras vantagens quando comparadas às baterias de ácido de chumbo o que as faz atrativas para utilizações em sistemas fotovoltaicos isolados. Algumas dessas vantagens são: o seu longo tempo de vida, pequena manutenção, sobrevivência a excessivas sobrecargas, excelente capacidade de retenção a baixas temperaturas e a não necessidade de ter uma tensão de regulação de carga. As desvantagens mais críticas das baterias de níquel-cádmio são o seu elevado custo e a sua limitada utilidade comparativamente com as baterias de chumbo-ácido.

2.2.3 CARACTERÍSTICAS IDEAIS PARA USO EM SISTEMAS FOTOLTAICOS

Não importando sua composição interna, as baterias usadas em sistemas de geração elétrica fotovoltaica apresentam algumas características que são de extrema importância para o bom funcionamento dos sistemas. Essas características são:

- Elevada vida cíclica para descargas profundas;
- Pouca ou nenhuma manutenção;
- Alta eficiência de carregamento;
- Boa confiabilidade;
- Não alterar, ou mínima alteração no seu desempenho quando trabalhando fora da faixa de temperatura de operação recomendada;
- Diminuta taxa de auto-descarga.

2.3 FOTOMETRIA E LUMINOTÉCNICA

Luminotécnica é o estudo das formas de utilização da luz artificial, em ambientes externo e internos para o auxílio das atividades humanas, levando-se em consideração as ações que são realizadas naquele ambiente. Os conceitos relacionados a seguir são de extrema importância para o entendimento dos elementos da luminotécnica.

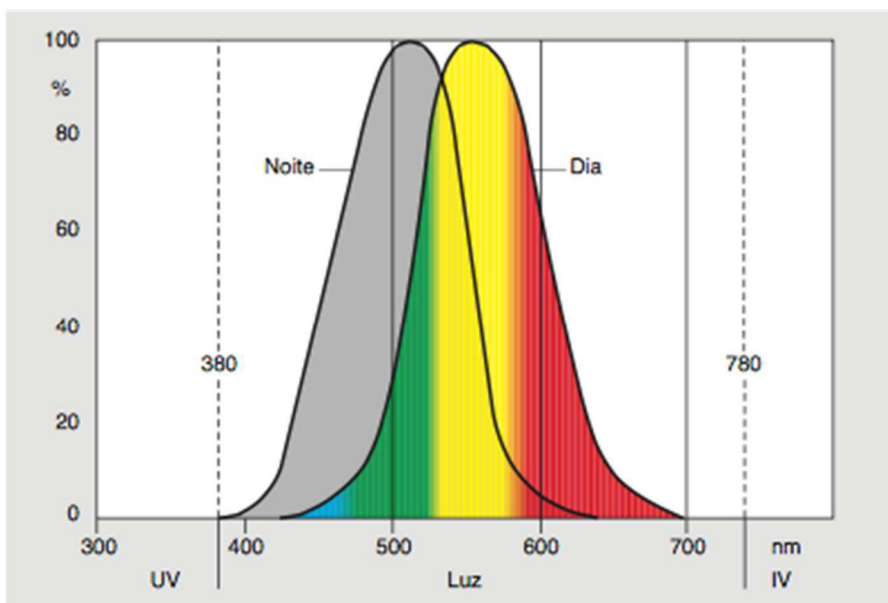
2.3.1 LUZ

A luz pode ser definida como sendo uma fonte de radiação que emite ondas eletromagnéticas. Essas ondas eletromagnéticas possuem diferentes comprimentos mas o olho humano somente consegue captar alguns deles. Luz é portanto a radiação eletromagnética capaz de produzir uma sensação visual (OSRAM, 2010).

A faixa de frequência de radiação das ondas eletromagnéticas que os homens conseguem captar está entre 380 e 780 nanômetros (SILVA, 2011).

A sensibilidade do olho humano é diferente dependendo da exposição à luz. Durante o dia, os seres humanos conseguem captar melhor as ondas de maior comprimento de onda (laranja, vermelho e amarelo). No entanto, durante momento com menor luminosidade como a noite e o entardecer, os olhos humanos captam melhor as cores com menor comprimento de onda (azul, verde, e violeta), como pode ser visto na Figura 13.

Figura 14: Curva de sensibilidade do olho humano a radiações monocromáticas.



Fonte: OSRAM, 2010.

2.3.2 FLUXO LUMINOSO (Φ)

Fluxo Luminoso é a potência de radiação emitida por uma fonte luminosa em todas as direções do espaço. É a radiação total da fonte luminosa, entre os limites de comprimento de onda visíveis ao olho humano (380 a 780 nm)

Sua unidade é representada pelo *lúmen* (lm), definido como sendo o fluxo luminoso emitido no interior de um sólido que se propaga através de um ângulo sólido de 1 esferorradiano por uma fonte puntiforme constante de 1 candela (cd), em todas as direções (SILVA, 2011).

Figura 15: Representação gráfica do Fluxo Luminoso

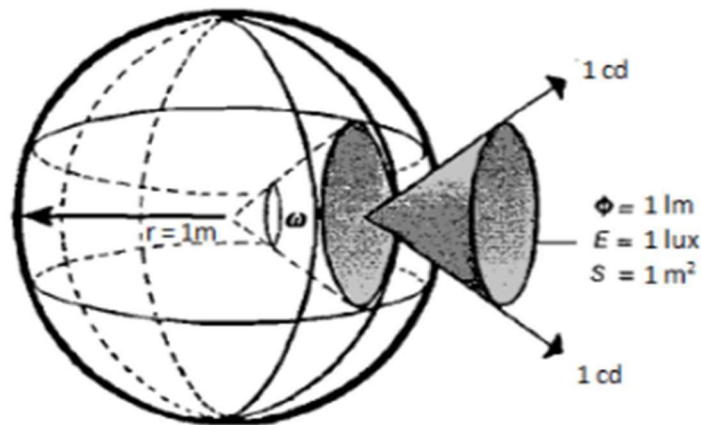


Fonte: Site da Kian Brasil.

2.3.3 INTENSIDADE LUMINOSA (I)

Intensidade luminosa se define como a potência da radiação visível que uma fonte de luz emite numa direção específica. Pode ser definida matematicamente como a razão entre o fluxo luminoso (ϕ) proveniente da fonte luminosa e se propaga no elemento de ângulo sólido (ω) com área de 1 esferorradiano (sr), como mostrado na equação 1. Geometricamente, um esferorradiano representa a área superficial da esfera unitária que mede 1 m². A unidade de Intensidade Luminosa é a candela (cd) (SILVA, 2011).

Figura 16: Representação geométrica da unidade de medida candela



Fonte: Moreira, 2001

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad (1)$$

2.3.4 ILUMINÂNCIA

A relação entre o fluxo luminoso sobre a superfície sobre a qual este incide é chamada de Iluminância ou Iluminamento. Em (2) é apresentada matematicamente esta relação.

(2)

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Na equação 2, S representa a superfície iluminada. A iluminância E é medida em *lux* (lx). O lux pode ser definido como a Iluminância de uma superfície de 1 m² que recebe um fluxo luminoso de 1 lúmen, na direção normal.

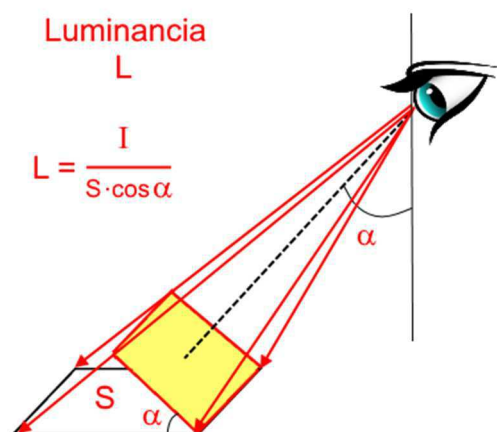
2.3.5 LUMINÂNCIA

De todas as grandezas mencionadas anteriormente, nenhuma delas é visível. Os raios de luz não são visíveis até que reflitam em uma superfície e cheguem aos olhos. Essa sensação de claridade que se tem quando uma superfície reflete luz se chama luminância.

$$L = \frac{I}{S \times \cos\alpha} \quad (3)$$

Matematicamente, a luminância é definida como a Intensidade Luminosa (I) emitida por uma superfície, em uma dada direção. O ângulo α representa o ângulo entre a superfície iluminada e a vertical.

Figura 17: Representação Geométrica da Luminância

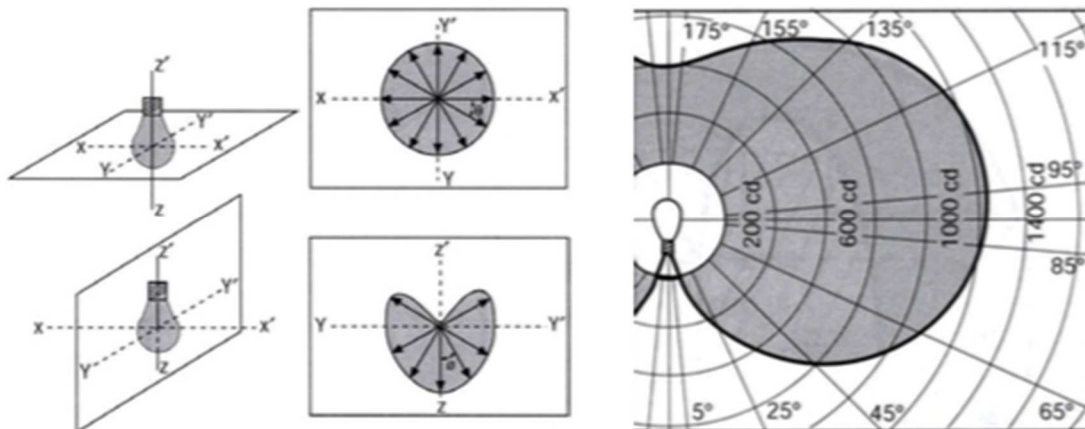


Fonte: Site da Kian Brasil.

2.3.6 CURVA FOTOMÉTRICA

A Curva Fotométrica ou Curva de Distribuição Luminosa é a variação da intensidade luminosa de uma fonte segundo um plano passando pelo centro, em função da direção. É representada como um diagrama polar onde a luminária é reduzida a um ponto no centro do diagrama e a intensidade luminosa é representada por vetores, nas várias direções. Se obtém a curva fotométrica quando se liga todos estes vetores.

Figura 18: Exemplo de Curva Fotométrica

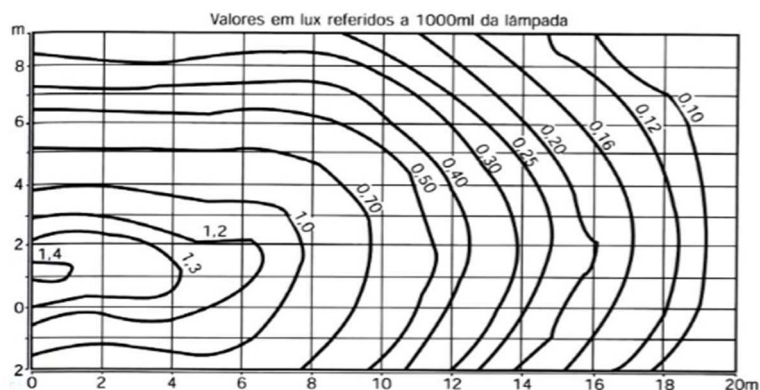


Fonte: Moreira, 1998

2.3.7 DIAGRAMA DE ISOLUX

A curva ou diagrama de isolux, representa uma linha traçada em um plano com um sistema de coordenadas adequado, ligando pontos de uma mesma superfície que tem iluminação (lux) igual.

Figure 19: Exemplo de um Diagrama Isolux



Fonte: Moreira, 1998.

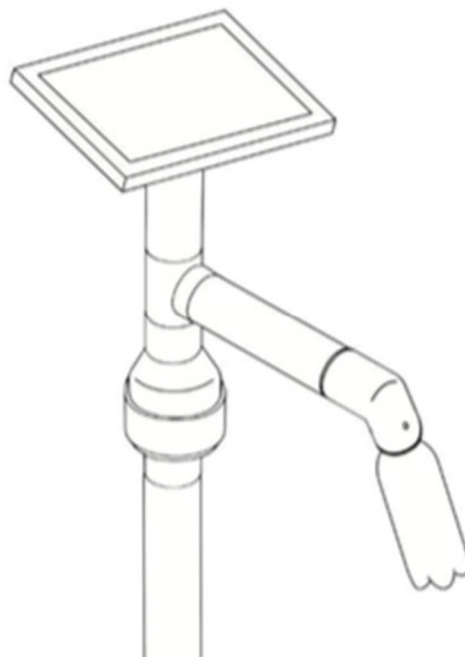
3 METODOLOGIA

Neste capítulo do trabalho serão apresentados o material e os métodos empregados no desenvolvimento do protótipo de poste baseado no modelo proposto pela ONG Litro de Luz, criado na Universidade Federal de Campina Grande. Seu processo de fabricação, princípio de funcionamento e medições luminotécnicas também serão mostrados. Será apresentada também uma sugestão de melhoria para a luminária usada atualmente no projeto, e os resultados foram obtidos com essa melhoria. Tais informações são dispostas ao longo das subseções a seguir.

3.1 O POSTE

O modelo de luminária autônoma que será apresentado neste trabalho foi desenvolvido em conjunto pela ONG Litro de Luz com a empresa júnior de consultoria da USP (Universidade de São Paulo), ENETEC.

Figura 20: Design de Poste criado pelo projeto Litro de Luz no Brasil junto com a ENETEC



Fonte: Lamparina Design, 2016

Este poste é uma variante dos modelos usados pelo Litro de Luz no mundo e está sendo utilizado por todas as células do projeto no Brasil, inclusive em Campina Grande.

No ano de 2016, a Lamparina Design, uma empresa de design de produtos da cidade de São Paulo, desenvolveu para o projeto, um manual ilustrado completo com todo o processo de montagem do poste, da estrutura ao circuito. Este manual se encontra em anexo a este trabalho, visando a completeza da informação e motivação do leitor.

O manual desenvolvido pela Lamparina Design foi usado com base para a montagem do protótipo que usamos para as medições.

Figure 21: Protótipo montado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG



Fonte: o próprio autor

3.2 VIABILIDADE ECONÔMICA

Foi feita uma análise de viabilidade econômica para os custos de uma unidade de poste do Projeto Litro de Luz. Todos esses valores foram retirados de lojas do comércio de Campina Grande, Paraíba. Essas informações estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2: Orçamento de Protótipo de Poste do Projeto Litro de Luz

Orçamento Poste Ldl			
Material	Preço	Quantidade	Total
Estrutura			
Tubo PVC 100 mm 3 m	R\$ 25.00	1	R\$ 25.00
Tubo PVC 50 mm 3 m	R\$ 17.50	1	R\$ 17.50
Redução Excêntrica 150x100 mm	R\$ 15.00	2	R\$ 30.00
Redução Excêntrica 100x50 mm	R\$ 6.26	1	R\$ 6.26
Joelho 45° Esgoto 50 mm	R\$ 2.45	1	R\$ 2.45
Cap Esgoto 50 mm	R\$ 4.50	1	R\$ 4.50
Tê Esgoto 50 mm x 50 mm	R\$ 6.48	1	R\$ 6.48
Luva Esgoto 50 mm	R\$ 2.35	1	R\$ 2.35
Luva Esgoto 150 mm	R\$ 32.00	1	R\$ 32.00
Componentes do Circuito			
Bateria 12v 7 A Unipower	R\$ 70.00	1	R\$ 70.00
Placa de 10w 18Vp	R\$ 122.90	1	R\$ 122.90
Leds	R\$ 5.00	4	R\$ 20.00
Dissipador 15 mm	R\$ 1.00	1	R\$ 1.00
Resistor de 10 k	R\$ 0.25	1	R\$ 0.25
Regulador de Tensão	R\$ 2.00	1	R\$ 2.00
Diodo 1N4007	R\$ 0.25	1	R\$ 0.25
Transistor MOS	R\$ 2.80	1	R\$ 2.80
Parafuso, Arruela e Porca	R\$ 1.00	1	R\$ 1.00
Conector em Barra Sindal	R\$ 3.00	1	R\$ 3.00
TOTAL			R\$ 349.74

Fonte: o próprio autor.

Esse valor de custo total de uma unidade de poste ainda pode ser reduzido pois o Projeto Litro de Luz a nível nacional possui parcerias com fornecedores de materiais de construção e componentes eletrônicos que fornecem seus produtos a preço de custo. O valor do poste ainda pode chegar a aproximadamente R\$ 260,00, segundo dados da própria ONG.

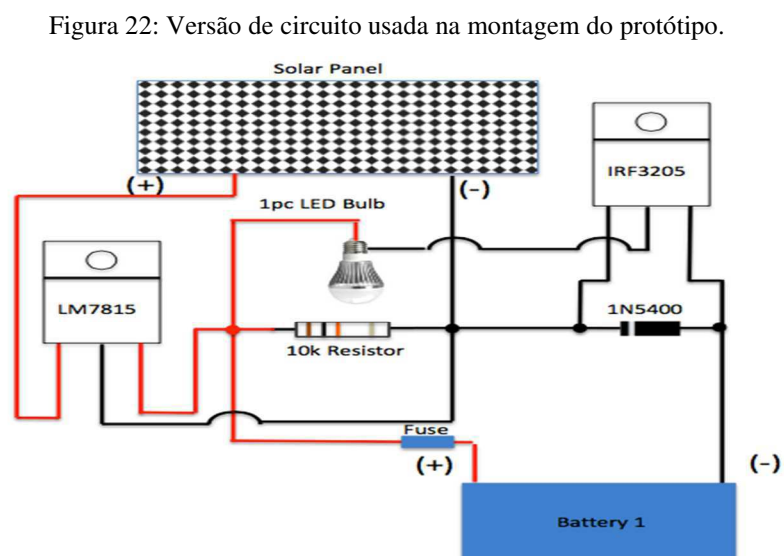
A viabilidade econômica de se instalar uma certa quantidade de postes deste modelo em uma comunidade é bastante e relativa e depende de cada situação. Na grande maioria das vezes, esses postes são instalados em locais esquecidos pelo poder público. Tais locais, poderiam demorar muito a receber a infraestrutura de iluminação pública adequada, ou nunca receberiam, desta forma o investimento sempre será válido.

Em contrapartida, analisando-se situações onde a instalação de postes convencionais seria, ou não, mais vantajosa que a instalação dos postes solares, o resultado é relativo. Se o local de instalação for de muito difícil acesso, como comunidades ribeirinhas ou muito distante de algum grande centro, levar uma linha de transmissão até lá poderia ser muito mais caro do que o investimento nos postes do Litro de Luz. No entanto, se a possibilidade de trazer uma linha de baixa tensão de algum ponto próximo não apresenta um custo tão significativamente alto, esta seria a melhor opção pois os postes solares requerem uma manutenção mínima de, a cada dois anos e meio, se trocar as baterias, o que representaria um novo investimento que a comunidade teria que fazer.

3.3 O CIRCUITO

Os circuitos usados no projeto Litro de Luz estão em constante aperfeiçoamento. O projeto dispense muito trabalho com pesquisa para aprimorar seus circuitos, deixando-os mais simples, mais baratos, com componentes mais fáceis de encontrar, porém sem perder a eficiência. O modelo de circuito sugerido pela ONG no Brasil é o apresentado na Figura 20.

Este circuito é bastante simples do ponto de vista do seu princípio de funcionamento e também em se tratando dos componentes utilizados na montagem.

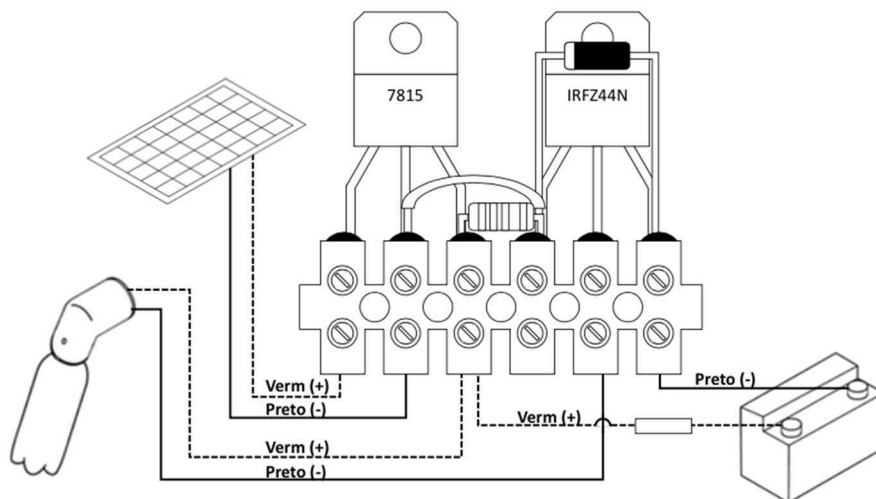


O circuito é composto por:

- 1 painel Solar: 10 W, 12 V (Vmp 17,56V);
- 1 Bateria 12 V, 7 Ah;
- 1 Transistor MOSFET IRF3205, IRFZ44N, IRF630A ;
- 1 Regulador de Tensão LM7815 15V;
- 1 Dissipador de Calor;
- 1 Diodo retificador 1N5400 3 A / 50V;
- 1 Resistor 10 k Ω , 1/4 W;
- 1 Fusível 3 A;
- 4 LEDs 1 W, 3V.

Dada sua simplicidade, o circuito proposto pode ser montado em um conector tipo sindal, bornes ou conectores em barra, o que dispensa confecção de placas de circuito impresso e reduz custos. Uma sugestão arranjo do circuito empregando conectores sindal pode ser visto na Figura 22.

Figura 23: Montagem do circuito do poste usando borne



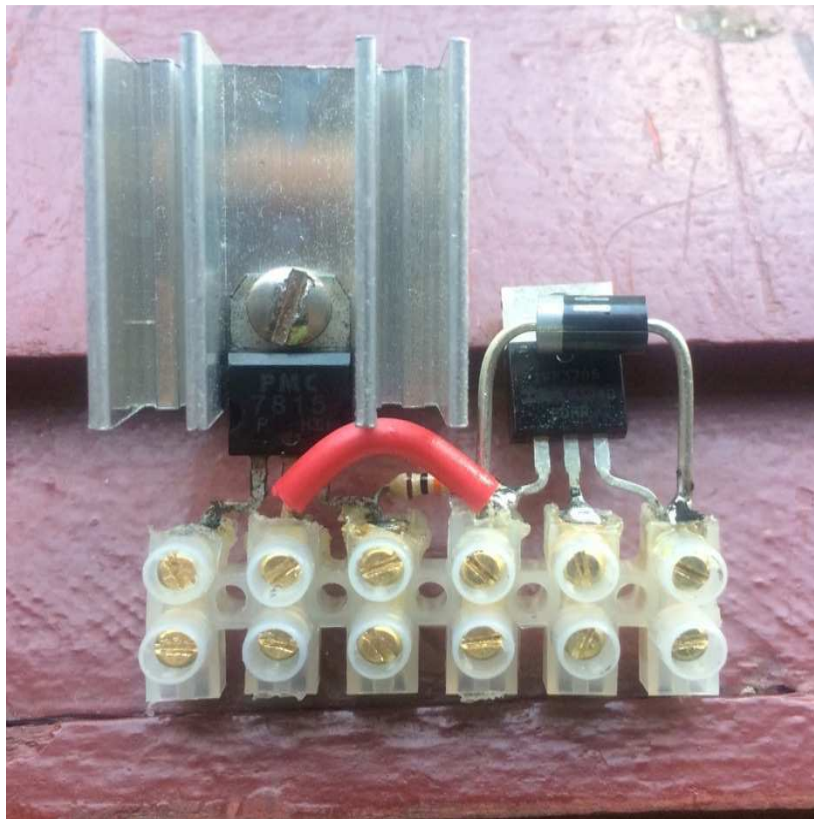
Fonte: Lamparina Design, 2016

Essa forma de montagem facilita muito as atividades do projeto pois possibilita a manufatura do circuito em qualquer lugar sem a necessidade de usar placas de circuito impresso. Outra vantagem desta forma é que torna possível a qualquer pessoa, com o

mínimo conhecimento técnico, montar o circuito com todos os seus componentes. A montagem tradicional em uma placa de circuito impresso iria requerer de quem a manuseia uma perícia muito maior para construir este circuito, sem contar a habilidade com solda. Em contraposição, com esta forma de montar o circuito, se prende com a ajuda de uma pequena chave de fenda, todos os componentes e cabos e somente se faz necessário o uso da solda para dar eventual reforço aos contatos do circuito, evitando um futuro problema de mal contato.

Na Figura 24 pode-se ver o circuito que foi montado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) na Universidade Federal de Campina Grande com o apoio dos técnicos do laboratório.

Figure 24: Circuito real montado na UFCG.



Fonte: o próprio autor.

3.4 TEMPO DE ATIVIDADE DO POSTE

Um parâmetro importante para o funcionamento e utilidade do poste proposto neste trabalho é a quantidade de horas que ele ficará aceso após ter sua bateria completamente carregada. Esse parâmetro depende da potência dissipada pelos LEDs e da corrente que é proveniente da bateria.

Neste estudo de caso usaram-se quatro LED SMD brancos de 1 W cada, de corrente total 0,3 A e faixa de tensão de operação entre 3,2 e 3,4 V. Os referidos LED estão representados na Figura 23.

Figure 25: LED SMD, 1W, branco frio usado na fabricação do poste



Fonte: Site da Lumens Led.

A bateria que foi utilizada para este protótipo foi uma bateria de chumbo-ácido modelo UNIPOWER 12V e 7Ah.

Figure 26: Bateria UNIPOWER usada neste protótipo



Fonte: Site da Unipower.

Levando em consideração a potência dos quatro LED e a capacidade de 7 Ah da bateria, estima-se que o poste poderia ficar até 20 horas, aproximadamente, funcionando até que a bateria fosse descarregada completamente. Supondo um tempo de funcionamento durante à noite de 10 horas seguidas, o poste teria uma autonomia de duas noites funcionando, se houvesse um dia de carregamento zero na bateria. Segundo o fabricante, esta bateria tem um tempo de vida médio de 2,5 anos se utilizada de forma adequada, não ultrapassando descargas abaixo de 10,5 V frequentemente. Como nenhum poste foi testado durante esse tempo, não se sabe se sob essas condições de uso sua vida útil seria afetada.

A corrente consumida pelos LED foi medida e se chegou a um valor médio de 0,22 A. Desta forma pode-se estimar uma taxa média de descarga diária da bateria de 2,2 A (31% da carga total da bateria), se for considerado um tempo médio de utilização de 10 horas diárias.

Segundo a Tabela 03, cedida pelo fabricante da bateria UNIPOWER em seu *datasheet*, se a carga ligada a bateria drenar uma corrente de 0,34 A por 20 horas isso acarretaria uma queda na tensão na bateria para valores próximos a 11,1 V. No caso de estudo deste trabalho, se foi medida uma corrente sendo drenada pelos LED de 0,22 A. Com valores próximos a esse se pode garantir que o poste poderia funcionar por mais de 20 horas seguidas sem acarretar uma descarga profunda abaixo dos valores recomendados pelo fabricante (10,5 V).

Tabela 3: Tabela de descarga para corrente constante.

Tabela de Descarga para Corrente Constante (A) à 25 °C												
Tempo	5 min	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	8 h	10 h	20 h
9,6 V	25,9	17,0	12,6	8,28	4,32	2,52	1,85	1,49	1,26	0,83	0,68	0,37
10,2 V	23,8	16,3	11,6	7,86	4,06	2,42	1,80	1,44	1,24	0,82	0,67	0,36
10,5 V	21,6	15,2	10,8	7,62	3,92	2,37	1,77	1,37	1,22	0,81	0,66	0,36
10,8 V	20,8	14,5	10,08	7,41	3,79	2,31	1,74	1,34	1,17	0,79	0,64	0,35
11,1 V	19,2	13,7	9,36	7,20	3,66	2,25	1,65	1,32	1,12	0,77	0,63	0,34

Fonte: Unipower, 2016.

Um outro parâmetro muito importante no sistema é o tempo de carga da bateria. É saber em quanto tempo o painel solar acoplado ao poste consegue carregar a bateria. Esse fator é uma variável que depende de quanto de sol o painel terá de exposição naquele dia.

A placa solar utilizada foi a Komaes Solar de 10 W, 12 V e 17,56 Vmp, representada na Figura 25. Sendo, pela informação de *datasheet* deste painel solar, a corrente de carga máxima de 0,6 A, num dia ensolarado (considerando-se uma insolação diária de 5 horas de pico equivalentes) se obtém uma carga máxima de 3 A na bateria, o que representa uma carga de 42,8%.

Figure 27: Placa Solar Komaes Solar usada neste protótipo.



Fonte: Site da SolarBrasil..

Pode-se verificar na Tabela 3 dados gerais relativos ao funcionamento do poste. Alguns desses dados foram obtidos pela observação do funcionamento do poste, como por exemplo os horários de funcionamento dos LED, esses dados podem variar dependendo de condições locais da região e da época do ano.

Tabela 4: Tabela de dados gerais do poste do Litro de Luz

Dados de Funcionamento geral do poste	
Horas que LEDs acendem	Entre 6:00pm e 7:00pm
Horas que LEDs apagam	Entre 5:00am e 6:00am
Taxa média de descarga da bateria por dia	31% (2,2 A/dia)
Tempo de carga da bateria	dia ensolarado
	dia parcialmente nublado
	dia nublado
	03:45:00 (0,6 A)
	05:30:00 (0,35 A)
	08:00:00 (0,25 A)

Fonte: Litro de Luz, 2016

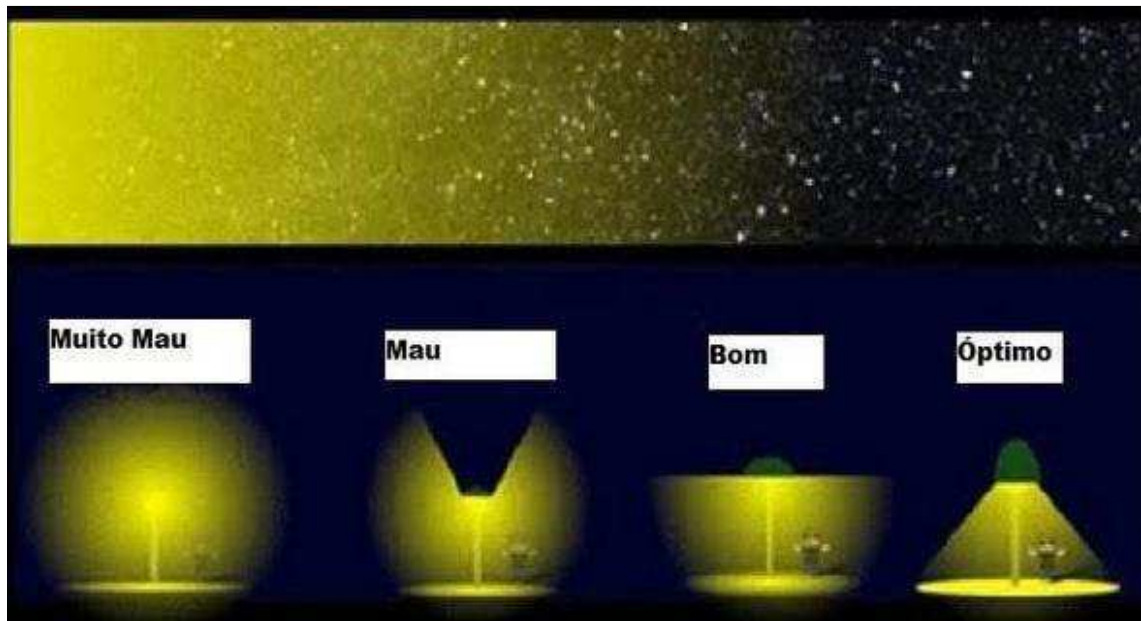
Os tempos de carga da bateria são calculados levando em consideração a taxa média de descarga diária de 2,2 A/dia. Para um dia ensolarado, com o painel trabalhando com sua corrente máxima de 0,6 A, seriam necessárias 3 horas e 45 minutos para carregar a bateria para sua capacidade máxima novamente de 7 A. Essas informações são baseadas em uma situação ideal, portanto o tempo real seria em torno do mostrado na Tabela 3.

Por sua vez, se foi verificado que em um dia nublado a corrente média gerada pelo painel era de 0,35 A. Com essa corrente, levando em consideração uma descarga de 2,2 A durante a noite, seriam necessárias 5 horas e meia para trazer a bateria a sua plena carga. Para a situação de um dia nublado foi seguido o mesmo procedimento acima.

3.5 SUGESTÃO DE MELHORIA PARA LUMINÁRIA

O desempenho luminotécnico dos postes do projeto Litro de Luz nunca haviam sido medidos, mas a necessidade de algumas melhorias era bastante evidente. A primeira delas é o desempenho da luminária utilizada no poste. Por se tratar apenas de uma garrafa pet, como visto na Figura 20, do ponto de vista da sustentabilidade ela funciona muito bem pois reutiliza um material que seria descartado. No entanto, do ponto de vista luminotécnico é uma péssima luminária pois perde muita luz para o alto, causando, inclusive o efeito da poluição luminosa. Este efeito está demonstrado na figura 28.

Figure 28: Exemplo de poluição luminosa e como ela afeta a visualização do céu estrelado



Fonte: Site da Kian Brasil..

Para solucionar este problema, será sugerida uma melhoria para a luminária atual do Litro de Luz. Esta melhoria, bastante simples, utiliza os mesmos materiais constituintes do poste e só necessita ser acoplada à luminária já existente. A melhoria sugerida para esta luminária representa, apenas, um acréscimo de R\$ 3,00 ao custo de cada poste. Ela é composta de um trecho de 25 cm de tubulação de PVC de 100mm e um cap de PVC de 100 mm, tudo isso revestido internamente com um material reflexivo. A proposta de luminária está representada nas figuras 29 e 30.

Figure 29: Sugestão de Melhoria para luminária do Poste LdL.



Fonte: o próprio autor

Figure 30: Exemplo de montagem da sugestão de melhoria.



Fonte: o próprio autor.

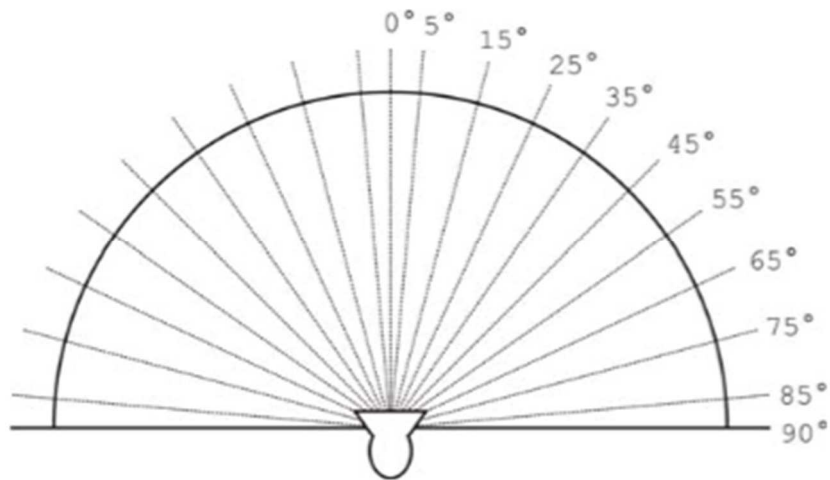
3.6 CURVA FOTOMÉTRICA DA LUMINÁRIA LDL

Para desenvolver a curva fotométrica da luminária do projeto Litro de Luz, utilizou-se do método citado no item 6.2 do Guia Experimental de Fotometria do Laboratório de Instalações Elétricas da UFCG, em anexo neste trabalho.

O método de medição pode ser descrito da seguinte maneira:

- i. O arranjo Luminária e LEDs foi posicionado sobre um plano horizontal;
- ii. Foi traçado um semicírculo na frente da projeção de iluminação com um raio de 1,5 m;
- iii. As medições foram feitas com a ajuda de um luxímetro nos pontos identificados na Figura 30;
- iv. Foi repetido o mesmo procedimento para o sistema com a luminária original (somente a garrafa Pet) e para o sistema com a sugestão de melhoria citada anteriormente;

Figure 31: Pontos de medição para o desenho da curva fotométrica da Luminária



Fonte: Guia Lab. de Instalações Elétricas da UFCG

O instrumento utilizado para as medições foi um Luxímetro Digital da marca Homis, modelo 999.900, como mostrado na Figura 32.

Figure 32: Luxímetro Homis 999.900



Fonte: o próprio autor.

Para analisar as melhorias que a nova luminária proposta poderia trazer ao sistema foi realizado duas medições para cada situação (a luminária original e a melhorada). A primeira medição mediu a iluminação direta proveniente do conjunto LED-luminária, e a segunda teve o objetivo de medir a luz que “escapa” da lâmpada pela sua parte superior, como abordado no tópico 3.5.

3.7 CURVA ISOLUX DA LUMINÁRIA LDL

A curva isolux foi traçada para se observar o nível de iluminação e a distribuição do mesmo na área iluminada sob o poste. Para tanto, foi traçada uma matriz de pontos no solo da seguinte maneira.

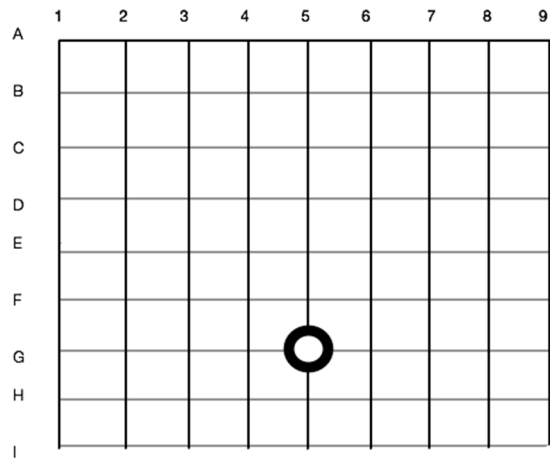
Figura 33: Disposição dos pontos de medição para a curva Isolux



Fonte: o próprio autor

A matriz tinha uma estrutura de 8 quadrados x 8 quadrados. Cada quadrado tinha 0,5 m de lado e as medições com o luxímetro foram feitas em seus vértices. Com esta disposição, totalizou-se 81 pontos de medição para cada luminária testada, como mostrado na Figura 34.

Figura 34: Matriz de pontos usada para medição neste experimento. A base do poste está localizada na posição G5.



Fonte: o próprio autor.

Este experimento foi baseado na norma, para iluminação pública, NBR 5101 (1992) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que caracteriza as vias onde serão usados estes postes como vias irregulares de acordo com seu artigo 3.17 que diz:

Passagens criadas pelos moradores, de largura, piso, declive e arruamento variáveis, que dão acesso a pedestres e, em raros casos, a veículos, com traçado irregular, na maioria dos casos, determinado pelos usuários do local ou pelas próprias construções.

4 RESULTADOS

Para se chegar às curvas fotométricas relativas aos dois conjuntos LEDs-luminária foram realizadas 4 medições, como descrito no item 3.6 deste trabalho. Os resultados destes ensaios estão representados na tabela 5.

O resultado das medições está exposto na Tabela 5.

Tabela 1: Medições feitas para traçar curva fotométrica

	Luminária Original		Luminária Melhorada	
	Luz fugitiva (lx)	Projeção de Iluminação (lx)	Luz Fugitiva (lx)	Projeção de Iluminação (lx)
90°	4,92	6,95	1,01	2,75
85°	4,34	8,03	0,97	2,75
75°	3,04	9,79	0,70	7,51
65°	2,70	11,10	0,66	11,58
55°	2,38	13,33	0,60	15,50
45°	2,15	14,48	0,58	15,99
35°	1,93	16,15	0,55	17,82
25°	1,87	17,25	0,58	19,08
15°	1,83	17,72	0,54	19,99
05°	1,65	18,45	0,43	21,15
0°	1,92	18,80	0,30	21,52

Fonte: o próprio autor.

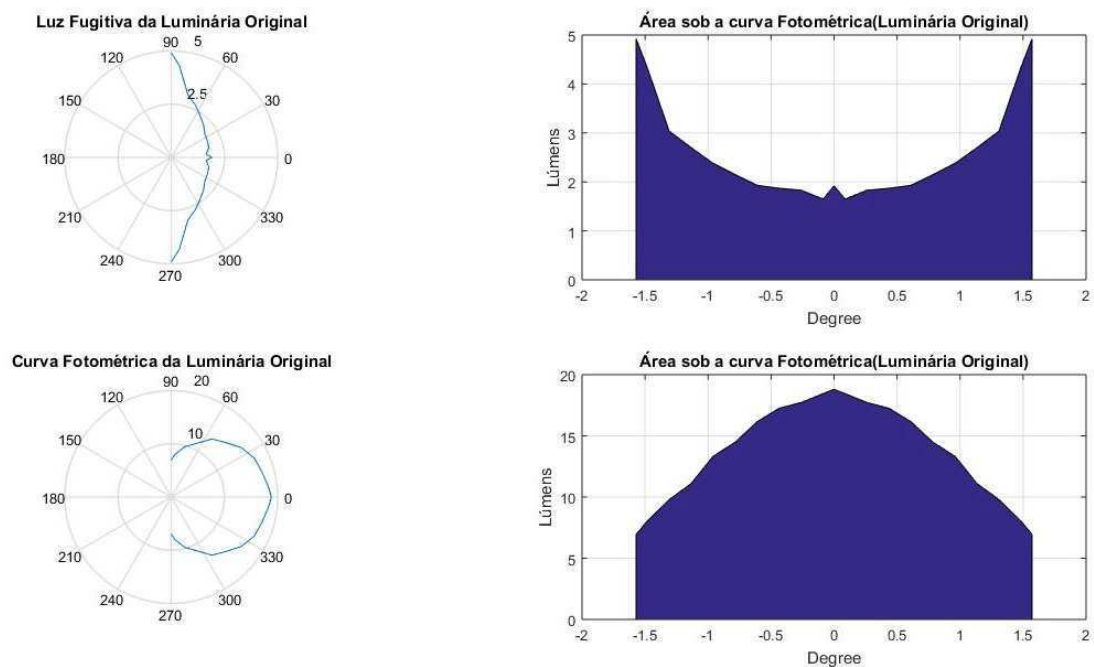
Pode-se perceber mudanças consideráveis, principalmente quando se observa as colunas de “ iluminação fugitiva “ para os dois casos. É claro perceber que foi diminuído consideravelmente esse fator para a luminária nova sugerida.

Quando se observa a Projeção de iluminação para as duas luminárias, se constata a melhoria no seu foco. Todos os valores relativos a ângulos mais centrais são maiores na luminária nova que na original, e ainda como esperado, os valores mais extremos (90° e 85°) tem valores menores para o arranjo sugerido e maiores para o arranjo original.

As curvas fotométricas foram plotadas com o auxílio do software Matlab® e estão dispostas nas Figuras 35 e 36. A partir das curvas obtidas, fica claro perceber a melhoria em relação as medições feitas (Luz fugitiva e Projeção da luminária). Observa-

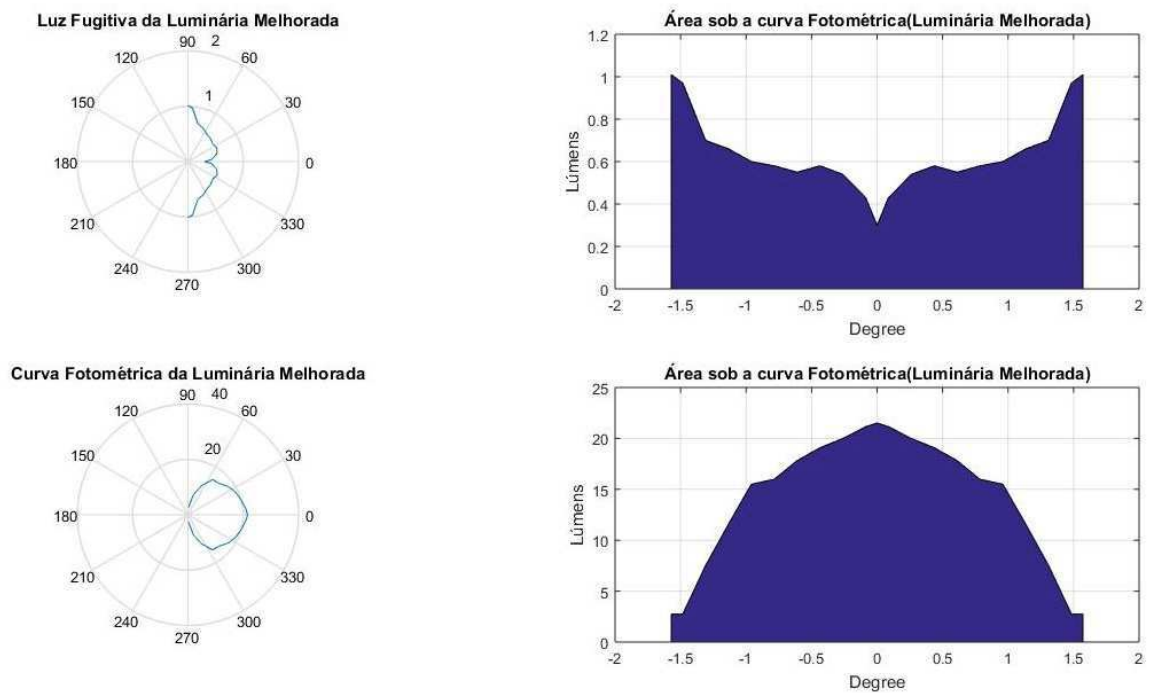
se que a o sistema com a luminária original possui valores de iluminação chegando quase até 5 lux nos ângulos mais externos, próximos a 90°.

Figura 35: Curvas Fotométricas para a Luminária Original LdL



Fonte: o próprio autor.

Figure 36: Curvas Fotométricas para a Luminária Melhorada LdL



Fonte: o próprio autor.

Para as vias irregulares mencionadas na NBR 5101 (ABNT), é especificado um iluminamento mínimo de 2 lux no nível do solo. Pode-se ver na Tabela 6 e 7 os iluminamentos medidos, utilizando a matriz da Figura 34.

Tabela 2: Valores de Iluminamento para sistema com a Luminária Original

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	0.84	1.03	1.22	1.27	1.29	1.27	1.13	0.94	0.74
2	1.12	1.24	1.48	1.68	1.64	1.63	1.45	1.23	0.94
3	1.21	1.53	1.81	2.02	2.10	2.13	1.84	1.50	1.13
4	1.43	1.74	2.07	2.21	2.49	2.42	2.14	1.73	1.28
5	1.49	1.83	2.14	2.32	2.64	2.58	POSTE	0.00	0.00
6	1.41	1.73	2.05	2.35	2.64	2.49	2.25	1.84	1.40
7	1.38	1.89	2.29	2.09	2.33	2.28	2.03	1.69	1.27
8	1.13	1.43	1.64	1.82	2.03	1.86	1.73	1.37	1.12
9	1.04	1.25	1.46	1.47	1.68	1.63	1.35	1.18	0.92

Fonte: o próprio autor.

Tabela 3: Valores de Iluminamento para sistema com a Nova Luminária

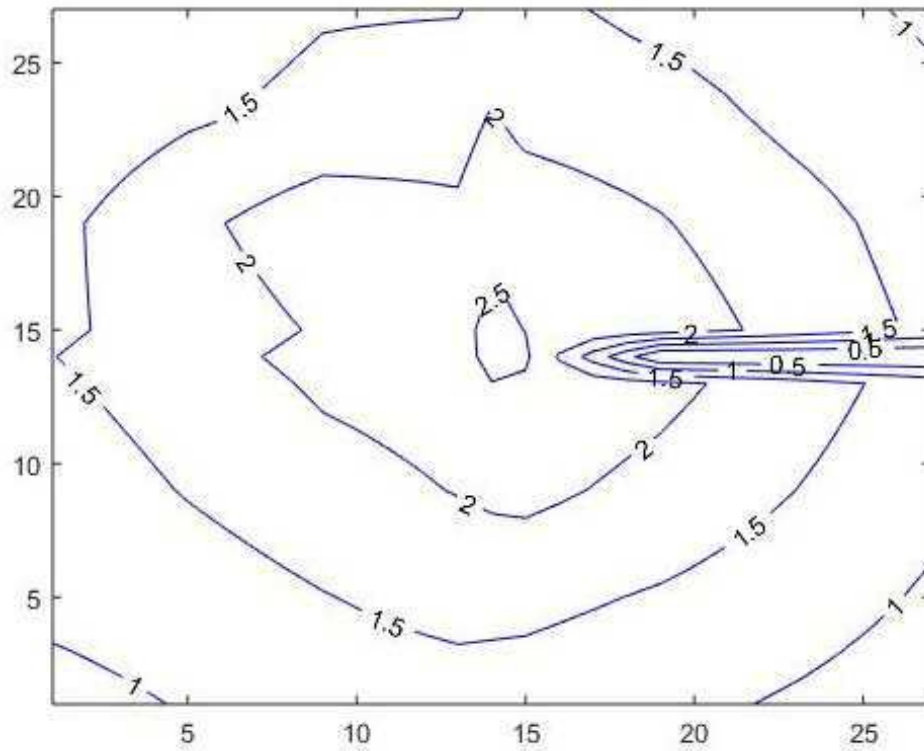
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1.03	1.01	1.30	1.42	1.47	1.46	1.29	1.09	0.80
2	1.09	1.40	1.61	1.88	1.96	1.85	1.61	1.40	1.09
3	1.28	1.75	1.99	2.13	2.38	2.37	2.03	1.70	1.31
4	1.28	1.93	2.24	2.42	2.81	2.69	2.38	1.95	1.49
5	1.48	1.98	2.24	2.67	2.94	2.89	POSTE	0.00	0.00
6	1.45	1.94	2.03	2.66	2.87	2.81	2.38	1.99	1.52
7	1.63	1.99	2.07	2.37	2.66	2.57	2.21	1.85	1.41
8	1.09	1.59	1.63	2.20	2.18	2.05	1.85	1.53	1.26
9	1.07	1.22	1.56	1.72	1.93	1.66	1.52	1.29	1.04

Fonte: o próprio autor.

Pode-se observar que a melhora acontece nos pontos mais próximos ao poste, por exemplo, os pontos mais significativos que estavam exatamente abaixo dos LED, F5 e E5, obtiveram aumentos mais perceptíveis. No entanto, pontos mais distantes do centro da medição, como A9 e I1, não se detectou melhora significativa. Portanto, percebe-se que de fato a luminária nova melhora o foco do sistema, porém não o iluminamento em todas as áreas, de maneira expressiva.

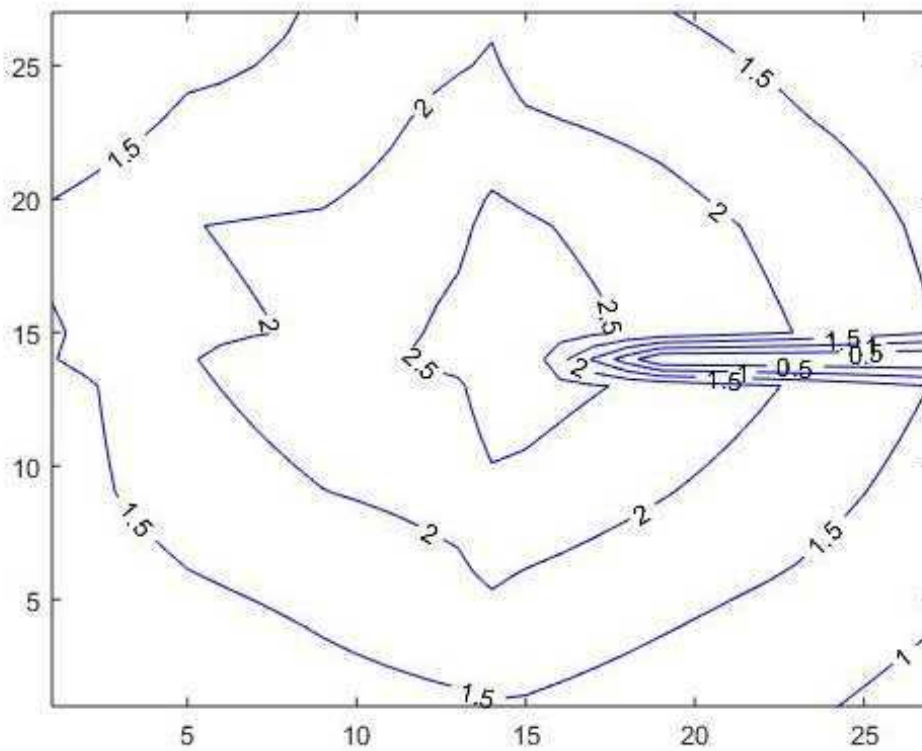
Com base nos dados das tabelas 6 e 7 se obtém as curvas Isolux mostradas nas Figuras 37 e 38. Nelas observa-se uma relativa melhoria quando se comparam os dois conjuntos testados. Se atentando ao centro das figuras, percebe-se um considerável aumento na região corresponde a 2,5 lux na curva da luminária melhorada. Isso mostra como o foco foi aumentado e se obteve uma região mais clara abaixo do poste. Esta sombra que se observa, com valores de 0.5 lux, é a sombra projetada pela base do poste, durante as medições.

Figure 37: Curva Isolux para Luminária Original LdL



Fonte: o próprio autor.

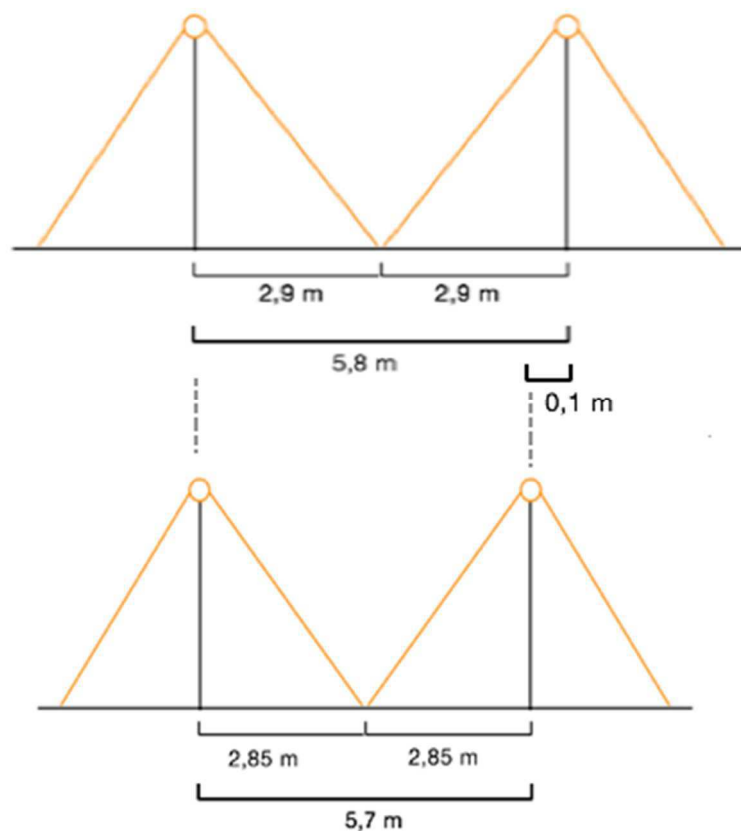
Figure 38: Curva Isolux para Luminária Melhorada



Fonte: o próprio autor.

Outro ponto importante que foi verificado, foi o aumento na distância que seria necessária entre um poste e outro. Foi verificado que o arranjo novo de luminária conseguiu uma distância um pouco maior em comparação com a luminária original. Esse aumento verificado foi de apenas 10 cm. Enquanto o poste com a luminária nova poderia ser disposto a uma distância de 5,80 m um do outro, o poste com a luminária original conseguia distâncias de 5,70 m, considerando o iluminamento mínimo previsto na NBR 5101 (ABNT). Uma representação gráfica está demonstrada na figura 39.

Figura 39: Representação gráfica da disposição dos postes com a luminária nova (acima) e com a luminária original (abaixo).



Fonte: o próprio autor.

Consegue-se uma economia de 3 postes em 1 km, usando a luminária sugerida. Com o investimento de R\$ 350,00 em média, por poste, se tem uma economia de R\$ 1057,00. Sendo um investimento de R\$ 3,00 para cada luminária nova utilizada, totaliza-se um custo de R\$ 522,00. Portanto, no fim, obtêm-se uma economia de R\$ 535,00, com o novo sistema LED-luminária.

5 CONCLUSÃO

Com este trabalho foi possível chegar à conclusão de que realmente era necessária uma mudança na luminária usada no Projeto Litro de Luz. A solução simples sugerida neste trabalho melhorou, de fato, as condições de operação do poste, pois foi diminuída, consideravelmente, a emissão fugitiva de luz com a nova luminária e a iluminação nos ângulos centrais aumentada, como visto nas curvas fotométricas. Outro ponto de melhoria foi observado no crescimento da área correspondente a 2,5 lux no centro da região de iluminação, como visto nas curvas Isolux. Por último, foi conseguido também, com o novo arranjo LEDs-luminária, um aumento no espaçamento entre os postes, conseguindo assim, uma economia de R\$ 535,00 em 1 km de postes instalados.

No entanto, melhorias ainda são possível de serem feitas e podem elevar mais ainda a eficiência da luminária. Melhorias simples como, por exemplo, usar um material reflexivo melhor no interior da luminária ou baixar um pouco mais a altura da base do poste.

Outros parâmetros que podem melhorar a eficiência do poste e necessitam estudos mais aprofundados são os componentes eletrônicos e a topologia do circuito utilizado. Uma solução que já se sente necessidade é o uso de um controlador de carga, o qual elevaria o custo do poste, porém poderia aumentar a vida útil da bateria empregada, diminuindo assim o custo com a manutenção e troca da bateria. Recomenda-se um estudo mais aprofundado sobre esses fatores do circuito.

Um fator referente à disposição dos LEDs no circuito também é uma importante melhoria a ser feita. Atualmente, os 4 LEDs estão ligados em série, o que não é interessante para o funcionamento do circuito, caso um deles queime ou rompa seus contatos o poste se apagará completamente. Deve-se estudar a possibilidade de se utilizar lâmpadas LED, vendidas no mercado. Existem lâmpadas LED da exata potência usada no circuito apresentado neste trabalho.

Por fim, é possível concluir que as melhorias citadas no presente trabalho são válidas e podem realmente gerar um ganho na eficiência do poste, gerando assim um impacto maior na vida das pessoas que vivem nas comunidades auxiliadas pelo projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 5101 - **Iluminação Pública**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. : . 1992. p. 7.

IEA, **World Energy Outlook-2011**. Paris, 2011, 3p.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "**Silício**"; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/silicio.htm>>. Acesso em 11 de outubro de 2016.

PURCELLI, Márcia, "**Cerca de 80% das informações que uma pessoa recebe vêm dos olhos**"; Globo. Disponível em <<http://g1.globo.com/bemestar/noticia/2011/10/cerca-de-80-das-informacoes-que-uma-pessoa-recebe-vem-dos-olhos.html>>. Acesso em 7 de setembro de 2016.

TECHO, **Cartagena Nueva Sede de Techo-2014**. Bogotá, 2014, 1p.

LIMA, Cláudio Moreira. **INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**. 2014. 26 f. TCC (Engenharia Elétrica)- Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia Solar no Brasil e no Mundo – 2015**. Brasília, 2015. 6 p.

CEPEL. **Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 111. 2000.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. 2018. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

OSRAM. **Manual Luminotécnico Prático** 1a. ed. [S.l.]: OSRAM, 2010

SILVA, Manoel L. de Matos. **Uma Contribuição para o Estudo Luminotécnico da UFCG - Campus de Campina Grande: Eficiência Energética e Qualidade da Energia Elétrica** . 2011. 3 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

SANTOS, Eduardo Ribeiro. **A Iluminação Pública como elemento de composição da Paisagem Urbana**. 2005. 76f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curitiba, RS.

