



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL**

MAYARA PEREIRA RODRIGUES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO
AUTÔNOMO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA BASEADA EM LED**

Abaetetuba-PA

2015

MAYARA PEREIRA RODRIGUES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO
AUTÔNOMO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA BASEADA EM LED**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, *Campus* Universitário do Baixo Tocantins, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial, sob orientação do Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis.

Abaetetuba-PA

2015

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

R696p Rodrigues, Mayara Pereira.
PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO PARA ILUMINAÇÃO
PÚBLICA BASEADA EM LED / Mayara Pereira Rodrigues. —
2015.
75 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de
Engenharia Industrial, Abaetetuba, 2015.

1. Energia Solar. 2. Sistema Fotovoltaico. 3. . Iluminação
Pública. 4. Design Inovador. I. Título.

CDD 620

MAYARA PEREIRA RODRIGUES

**PROJETO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO
AUTÔNOMO PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA BASEADA EM LED**

Este Trabalho de conclusão de curso foi julgado e aprovado, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Industrial pelo corpo docente da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Baixo Tocantins.

Abaetetuba, ____ de _____ de 2015.

Prof. Dr. Marcos Allan Leite Dos Reis

UFPA

Orientador

Prof. M.Sc. Eliomar Azevedo do Carmo

UFPA

Examinador

Prof. M.Sc. Hallan Max Silva Souza

UFPA

Examinador

Prof^a. M.Sc. Suellen Cristina Queiroz Arruda

Diretora da Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:
ao meu Deus,
à minha Mãe: Marizete do S. P. Rodrigues,
ao meu Pai: João Batista M. Rodrigues,
aos meus irmãos: Clayton, Claydson,
Kawanne e Júlia
ao meu namorado: Diego Mourão,
e à minha afilhada Maria Clara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, porque Ele me deu a força necessária para chegar até aqui, e sei que Ele está sempre comigo, me acompanhando em minha trajetória.

Agradeço aos meus pais, João Rodrigues e Marizete Rodrigues, por ter formado meu caráter, por ter sido responsável por quem sou hoje, direta e indiretamente, estando comigo em todos os momentos de minha existência. Além disso, foram aqueles que me proporcionaram todas as condições necessárias para cursar esta graduação. São eles a razão da minha vida, e o motivo que me faz levantar em cada desânimo.

Aos meus irmãos (Claydson, Clayton, Júlia e Kawanne), por estarem sempre torcendo por mim e me ajudando, de todas as formas, em tudo o que preciso.

Ao meu namorado, Diego Mourão, o qual foi e é o grande apoio da minha vida, aquele que sempre contribuiu de todas as formas no decorrer de minha graduação, seja com um conselho, uma contribuição material, um ombro amigo, etc.

À minha afilhada e sobrinha Maria Clara, que de sua maneira, me fazia sentir mais força de vontade para continuar a caminhada.

À toda a minha família, que contribui de todas as formas durante esses cinco anos de caminhada, e me ajudou a chegar até aqui.

À todos os professores da UFPA, Campus de Abaetetuba, que me proporcionaram o conhecimento científico que tenho hoje, o que me ajudou durante os cinco anos de curso e, principalmente, no desenvolvimento deste trabalho. Em especial, ao meu orientador, prof. Dr. Marcos Allan Leite dos Reis, pela ideia inicial que originou o Sistema de Iluminação Pública apresentado neste trabalho, gerando subsídio para a concepção do projeto, e pela confiança no desenvolvimento do meu trabalho, além de seu acompanhamento e grande apoio na elaboração do mesmo.

“A inteligência não é caracterizada pelo alto nível de conhecimento, e sim pela alta determinação na vontade de buscar o melhor pra si.”

Elisérgio Nunes

RESUMO

Atualmente, os assuntos abordando a questão da energia elétrica vêm ganhando mais espaço no cenário mundial, por vários fatores: as fontes de energia mais utilizadas estão causando grandes danos socioambientais, como, por exemplo, a grande poluição atmosférica com dióxido de carbono, proveniente da queima de combustíveis fósseis; devido ao grande consumo de energia, os apagões vêm se tornando mais frequentes, propiciando a falta de segurança pública; muitas pessoas ainda não têm acesso à sistemas de Iluminação Pública; entre outras. Neste contexto, surge a necessidade de novas alternativas energéticas que supram a necessidade humana de energia e reduzam os problemas apresentadas atualmente, a fim de consolidar o desenvolvimento sustentável. Dessa forma, esse trabalho objetiva apresentar um projeto de obtenção de energia elétrica através da energia solar, uma fonte de energia renovável que vem ganhando força no cenário global. A aplicação desse trabalho se dá no sistema de iluminação pública, visto que esta demanda um considerável consumo de energia elétrica, como no Brasil, por exemplo, onde corresponde a 3,0% de todo consumo. Por conseguinte, o projeto consiste de um sistema fotovoltaico que independe da rede de distribuição elétrica, é constituído de Painel Fotovoltaico de 55 W, bateria estacionária com autonomia para 2 dias de funcionamento sem geração de energia, controlador de carga com temporizador programável (o qual também exerce a função de relé fotoelétrico), conjunto de LEDs (Diodos Emissores de Luz) de 10 W que equivale a 70 W da lâmpada convencional de vapor de sódio e funciona totalmente em corrente contínua e tensão de 12 V, dispensando assim, a utilização de inversor de tensão. Além disso, o desenho da estrutura que suporta os componentes foi desenvolvido em software e apresenta um design inovador, único. Sua pintura eletrostática a pó, não precisa de solventes químicos e possui uma durabilidade maior para intempéries.

Palavras-chave: Energia Solar. Sistema Fotovoltaico. Iluminação Pública. Design Inovador.

ABSTRACT

Currently, the issues addressing the issue of energy are gaining more space on the world stage, by several factors: the most used energy sources are causing great social and environmental damage, for example, severe air pollution with carbon dioxide, from the burning of fossil fuels; due to the large energy consumption, the blackouts is becoming more frequentes, allowing the lack of public safety; many people still have no access to public lighting systems; among others. In this context, the need arises for new energy alternatives that meet the human need for energy and reduce the problems currently presented, in order to consolidate sustainable development. Thus, this paper aims to present a retrieval power project using solar energy, a renewable source of energy that is emerging on the global stage. The application of this work takes place in the street lighting system, since that demand considerable consumption of electricity, as in Brazil, for example, where corresponds to 3.0% of all consumption. Therefore, the project consists of a photovoltaic system that is independent of the power grid, consists of Photovoltaic Panel 55 W, stationary battery life for 2 days without power generation operation, charge controller with pre-programmed timer (who also serves as the photoelectric relay function), set of LEDs (Light Emitting Diodes) 10 W equivalent to 70W conventional sodium vapor lamp and works fully in DC and 12 V voltage, eliminating thus the use of voltage inverter. Furthermore, the design of the structure which supports the components was carried out in software and provides a novel, unique design. His electrostatic powder paint, needs no chemical solvents and has a durability to weather.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic System. Public Lighting. Innovative Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica no Brasil.....	19
Figura 2 – Aproveitamento térmico.....	21
Figura 3 – Concentrador solar.....	22
Figura 4 – Composição de uma célula fotovoltaica.....	24
Figura 5 – Efeito FV em uma célula de silício.....	25
Figura 6 – Célula, Módulo e Painel FV.....	26
Figura 7 – Configuração básica de um sistema FV.....	26
Figura 8 – Curvas I-V e P-V.....	28
Figura 9 – Célula de Silício Monocristalino.....	29
Figura 10 – Célula de Silício Policristalino.....	29
Figura 11 – Painel de Silício Amorfo.....	30
Figura 12 – Estrutura de um sistema autônomo.....	34
Figura 13 – Média anual de insolação diária no Brasil (horas).....	35
Figura 14 – Média anual de irradiação solar diária.....	36
Figura 15 – Lâmpada de LED Brilia MR16.....	38
Figura 16 – Circuito impresso com as lâmpadas de LED.....	39

Figura 17 – Irradiação solar diária em Abaetetuba-PA.....	41
Figura 18 – Painel solar Yingli YL55P-17b 2/5.....	44
Figura 19 – Bateria Tudor 12TE45.....	45
Figura 20 – Controlador de Carga SunLight-10.....	47
Figura 21 – Desenho a) do suporte do painel; b) da Luminária.....	48
Figura 22 – Desenho do sistema FV autônomo.....	48
Figura 23 – Diferentes modelos do sistema FV.....	49
Figura 24 – Fluxograma de desenvolvimento do projeto.....	50
Figura 25 – Funcionamento do sistema em diferentes horas do dia.....	50
Figura 26 – Diagrama Unifilar do Sistema.....	51
Figura 27 – Diagrama de Blocos do sistema FV.....	51
Figura 28 – Fluxograma do Processo de Fabricação da luminária.....	53
Figura 29 – Fluxograma do Processo de Fabricação do Suporte do painel.....	54
Figura 30 – Fluxograma do Processo de Fabricação do Poste.....	55
Figura 31 – Medição de iluminância.....	57
Figura 32 – Medidas de iluminância do sistema fotovoltaico.....	57
Figura 33 – Medidas de iluminância de um sistema convencional.....	58

Figura 34 – Tensão e Potência versus horas do dia (25/11/2014).....	60
Figura 35 – Corrente e Potência versus horas do dia (25/11/2014).....	60
Figura 36 – Tensão e Potência versus horas do dia (17/12/2014).....	61
Figura 37 – Corrente e Potência versus horas do dia (17/12/2014).....	62
Figura 38 – Ciclos da bateria em função da Profundidade de Descarga.....	65
Figura 39 – Vida útil da bateria em função da temperatura.....	65
Figura 40 – Temperatura no interior da luminária.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações da lâmpada Brilia MR16.....	38
Tabela 2 – Irradiação na cidade de Abaetetuba-PA.....	41
Tabela 3 – Especificações do painel Yingli YL55P-17b 2/5.....	44
Tabela 4 – Especificações da bateria Tudor 12TE45.....	46
Tabela 5 – Especificações do controlador SunLight-10.....	47
Tabela 6 – Custo do protótipo do Sistema Fotovoltaico.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a-Si	Silício Amorfo
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CdTe	Telureto de cádmio
CIGS	Disseleneto de índio
CIS	Disseleneto de cobre (gálio)
COELCE	Companhia Energética do Ceará
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
FV	Fotovoltaico (a)
HSP	Horas de Sol Pleno
I	Corrente Elétrica
IEA	International Energy Agency
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IP	Iluminação Pública
LED	Light Emitting Diode

m-Si	Silício Monocristalino
NBR	Norma Brasileira
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P	Potência Elétrica
p-Si	Silício Policristalino
PROCEL RELUZ	Programa Nacional de Iluminação Pública Eficiente
PWM	Pulse Width Modulation
V	Tensão Elétrica

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

eV	elétron-Volt
V	Volt
mm	milímetro
A	ampère
W	Watt
W/m ²	Watts por metro quadrado
kW/m ²	quilowatts por metro quadrado
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado
kWh/m ²	quilowatt-hora por metro quadrado
°C	graus celcius
lm	lumens
kg	quilograma
K	Kelvin
h	hora
h/dia	horas por dia
Ah	Ampère-hora

mV/°C milivolts por graus celcius

mA miliampère

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	18
CAPÍTULO 1 - ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	21
1.1 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR.....	21
1.1.1 Aproveitamento Térmico.....	21
1.1.2 Aproveitamento Elétrico.....	22
1.2 POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO BRASIL.....	23
1.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO FOTOVOLTAICO.....	24
1.4 ELEMENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	26
1.4.1 Gerador Fotovoltaico.....	27
1.4.1.1 Silício Monocristalino (m-Si).....	28
1.4.1.2 Silício Policristalino (p-Si).....	29
1.4.1.3 Silício Amorfo (a-Si).....	30
1.4.1.4 Outros materiais.....	30
1.4.2 Baterias.....	31
1.4.3 Controlador de Carga.....	31
1.4.4 Inversor.....	32
1.5 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	32
1.5.1 Sistema Híbrido.....	32
1.5.2 Sistema ligado à rede.....	33
1.5.3 Sistema autônomo.....	33
CAPÍTULO 2 – PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO..	37
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA.....	37
2.2 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DO SISTEMA.....	40
2.2.1 Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico.....	43
2.2.2 Dimensionamento da Bateria.....	45
2.2.3 Dimensionamento do Controlador de carga.....	46
2.3 PROJETO DO SISTEMA.....	47
2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO INDUSTRIAL DO SISTEMA.....	51

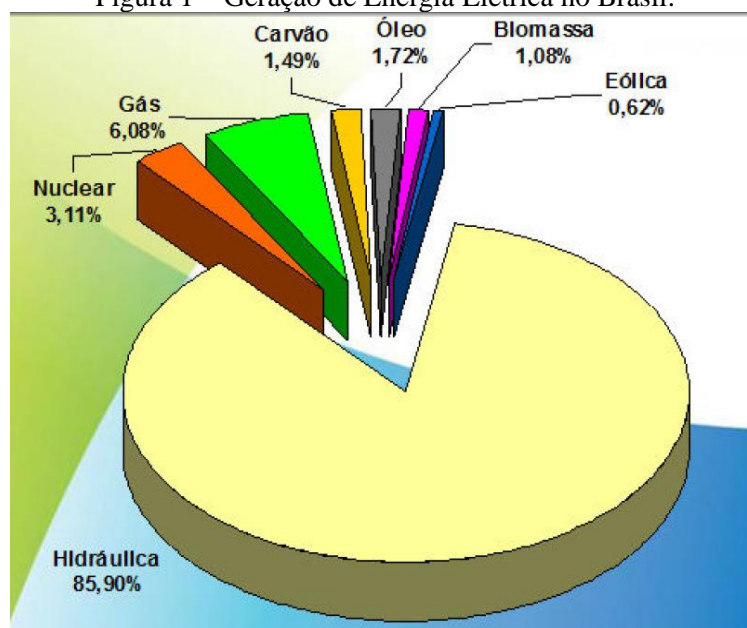
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
3.1 FUNCIONAMENTO DAS LÂMPADAS.....	56
3.2 POTÊNCIA DEMANDADA.....	59
3.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO INTERIOR DA LUMINÁRIA.....	62
3.4 CUSTO DE FABRICAÇÃO DO SISTEMA.....	63
CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	71
REFERÊNCIAS.....	73
ANEXOS:	
ANEXO A – Pedido de patente.....	77
ANEXO B – Planta baixa geral do projeto (medidas em milímetros).....	78

INTRODUÇÃO

O uso de energia (elétrica, mecânica, térmica, entre outros) no mundo vem alcançando elevados índices. Apenas no Brasil, o consumo de energia elétrica, por exemplo, aumentou quase 38%, de 2001 a 2012. Isso porque o Brasil é o décimo maior consumidor mundial de energia elétrica, segundo dados da Agência Internacional de Energia (no inglês, International Energy Agency - IEA). Outros países que superam o Brasil neste consumo, como China e Índia, obtiveram aumento de 153% e de 64%, respectivamente, no período de 2001 a 2009 (FERNANDES, 2012). Isso é resultante do desenvolvimento da sociedade, juntamente com a evolução e crescimento das tecnologias. Por estes motivos, grande parte da energia atualmente utilizada provém da queima dos combustíveis fósseis, como petróleo, gás natural e carvão. “[...] a atual matriz energética mundial depende ainda de cerca de 80% de combustíveis fósseis cuja queima contribui para aumentar rapidamente a concentração de gases-estufa na atmosfera” (REIS, 2011). Atualmente, é lançado mais de 46,5 bilhões de toneladas de dióxido de carbono por ano, sendo este o principal causador do aquecimento global e do aumento do efeito estufa (INSTITUTO CARBONO BRASIL, 2013). Além disso, os combustíveis fósseis são fontes de energia não-renováveis, já que o ritmo de consumo destes é bem maior do que seu ritmo de produção.

Relacionando-se à energia elétrica, de forma específica, observa-se que o Brasil tem como principal fonte as hidrelétricas, como apresentado na figura 1, além dos combustíveis fósseis. Porém, a demanda desse tipo de energia está apresentando grandes aumentos. Um exemplo da grande utilização de energia elétrica é na iluminação pública, a qual consiste em um serviço essencial à sociedade, pois contribui, de forma significativa, para a segurança nas cidades e para a melhoria na qualidade de vida das pessoas. No Brasil, de todo o consumo de energia elétrica, a iluminação pública é responsável por 3,0% (PROCEL RELUZ, 2014). Dessa forma, o setor hidráulico requer maior produção, porém alguns empecilhos aparecem para essa fonte de energia, como, por exemplo, questões ambientais e sociais: populações desabrigadas, morte e extinção de animais e vegetais, devastação de grandes áreas florestais, liberação de “gases estufa” na atmosfera, devido à morte da vegetação provocada pelo alagamento de grandes áreas, entre outras. Para a construção da hidrelétrica de Belo Monte, por exemplo, estima-se uma área de alagamento de 640 km², aproximadamente, a qual abriga de 20 a 40 mil pessoas, que deverão abandonar as suas terras, sem contar com a grande biodiversidade que será perdida, e extinta (PROCESSO DE ARTICULAÇÃO E DIÁLOGO, 2011).

Figura 1 – Geração de Energia Elétrica no Brasil.



Fonte: ONS, 2012.

Devido ao crescente consumo de energia elétrica, é possível observar que a frequência de apagões ocorridos nas cidades está aumentando, inibindo a população do acesso à Iluminação Pública durante as horas de apagão, proporcionando a insegurança local, já que o cenário fica propício para assaltos, roubos, acidentes de trânsito, entre outros.

Dessa forma, a busca por processos e tecnologias mais eficientes em termos de utilização da energia tem sido motivada por questões da natureza social, econômica e ambiental, visando o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a energia solar fotovoltaica (FV) possui lugar de destaque, a qual se caracteriza por ser renovável, cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética (REIS, 2011). As vantagens dessa alternativa, juntamente com o potencial de radiação solar no Brasil, criam base para o grande desenvolvimento e disseminação dessa alternativa energética. As características específicas dessa fonte energética, tais como, possibilidade de geração descentralizada; facilidade na instalação e manutenção; não poluidora, unidas à tendência de diminuição nos preços da energia gerada por essa fonte e ao encarecimento da eletricidade convencional, projeta uma ampliação do número de aplicações FV economicamente viáveis (OLIVEIRA, 1997). Com isto, o mercado apresenta a tendência de aumentar esta tecnologia, possibilitando, através de uma economia de escala, uma nova diminuição em seus custos.

O caráter descentralizado permite a instalação de pequenos centros geradores, localizados próximo ao consumo, o que possibilitaria às comunidades isoladas o acesso à energia elétrica, tendo em vista que ainda existem localidades sem fornecimento de energia elétrica, embora o Sistema Interligado Nacional atenda uma vasta área do território brasileiro

(SCHUCH et. al., 2011). A descentralização reduz as perdas no transporte da energia e possibilita a instalação de sistemas dimensionados para as atuais e reais necessidades locais. Considerando o aumento na demanda por energia, é possível aumentar a capacidade de geração dos sistemas. Desta forma, diminuem-se os investimentos iniciais na instalação das unidades geradoras.

Neste contexto, surgiu a ideia de desenvolver um sistema de iluminação pública, utilizando um sistema FV para a geração de energia elétrica, objetivando iluminar de maneira eficiente, segura, ecológica e econômica. O mesmo consiste em um conceito inovador de luminária, à qual estão acoplados todos os equipamentos necessários. A mesma funciona de maneira autônoma, utilizando a energia elétrica proveniente do painel fotovoltaico e armazenada em bateria. Sendo assim, o sistema objetiva garantir o serviço essencial de iluminação pública, utilizando como fonte de energia o sol, evitando apagões, melhorando a segurança pública, aumentando a eficiência energética de sistemas de iluminação pública e contribuindo com a redução de problemas ambientais e sociais causados pelas fontes de energia utilizadas atualmente.

O presente trabalho está estruturado em três capítulos: no Capítulo 1 será apresentado o estado-da-arte, ou seja, alguns conceitos básicos para o entendimento do sistema em questão. O Capítulo 2 irá abordar o processo de dimensionamento e construção do protótipo do sistema fotovoltaico. E no Capítulo 3, por sua vez, serão apresentados os resultados relacionados ao sistema desenvolvido, como funcionamento, geração de energia e custos. Por conseguinte, em Conclusões e Perspectivas, serão mostrados os objetivos alcançados por este trabalho, bem como, os passos seguintes sugeridos para o estudo e aperfeiçoamento do mesmo.

CAPÍTULO 1 – ENERGIA FOTOVOLTAICA

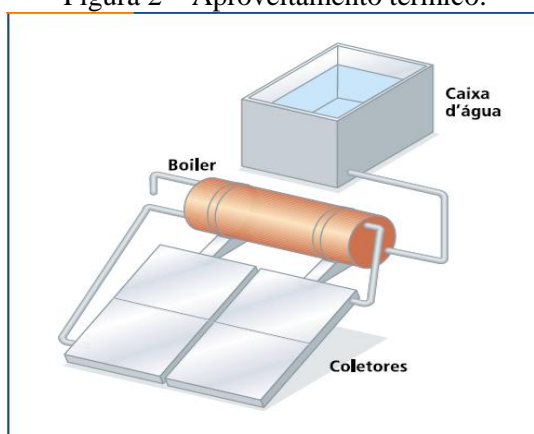
1.1 UTILIZAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

A energia solar pode ser utilizada de várias formas para contribuir com a vida na Terra. Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados são para o aquecimento de água e para a geração FV de energia elétrica. Assim, pode-se utilizar a energia térmica, para o aquecimento de água, por exemplo, utilizada em centros comerciais, particulares, domicílios, entre outros, além de energia elétrica, utilizada nas ruas, casas, indústrias, escolas, e outros.

1.1.1 Aproveitamento Térmico

Uma das formas de aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos consiste na utilização de coletor solar. As moléculas do coletor passam a agitar-se mais rapidamente quando recebem a energia solar, isto é, ocorre o aumento da temperatura, ou seja, o surgimento de calor, que é utilizado principalmente para o aquecimento de água, e também para acionar turbinas. Essa tecnologia é utilizada no setor residencial, em hotéis, hospitais, restaurantes, com sua instalação no telhado das edificações. A figura 2 representa um sistema solar de aquecimento de água, no qual o funcionamento consiste no caminho que a água percorre: proveniente da caixa d'água, a água vai em direção ao coletor, através de tubulações; ao passar pelo coletor, ela adquire maior temperatura e vai em direção ao reservatório térmico (no inglês, boiler), a partir do qual é direcionada ao consumo.

Figura 2 – Aproveitamento térmico.



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2002.

Outra forma de obtenção de energia térmica é através do concentrador solar, o qual tem como finalidade captar a energia solar incidente sobre vastas áreas e concentrá-la em uma pequena área, de maneira que a temperatura desta apresente uma elevação. A superfície refletora tem forma parabólica ou esférica para facilitar que os raios solares sejam refletidos para o foco (superfície menor), onde haverá o material a ser aquecido. Essa energia pode ser usada para a geração de vapor e, conseqüentemente, de energia elétrica. A figura 3 apresenta um exemplo de concentrador solar, do tipo parabólico.

Figura 3 – Concentrador solar.



Fonte: CECHINEL et al., 2014.

1.1.2 Aproveitamento Elétrico

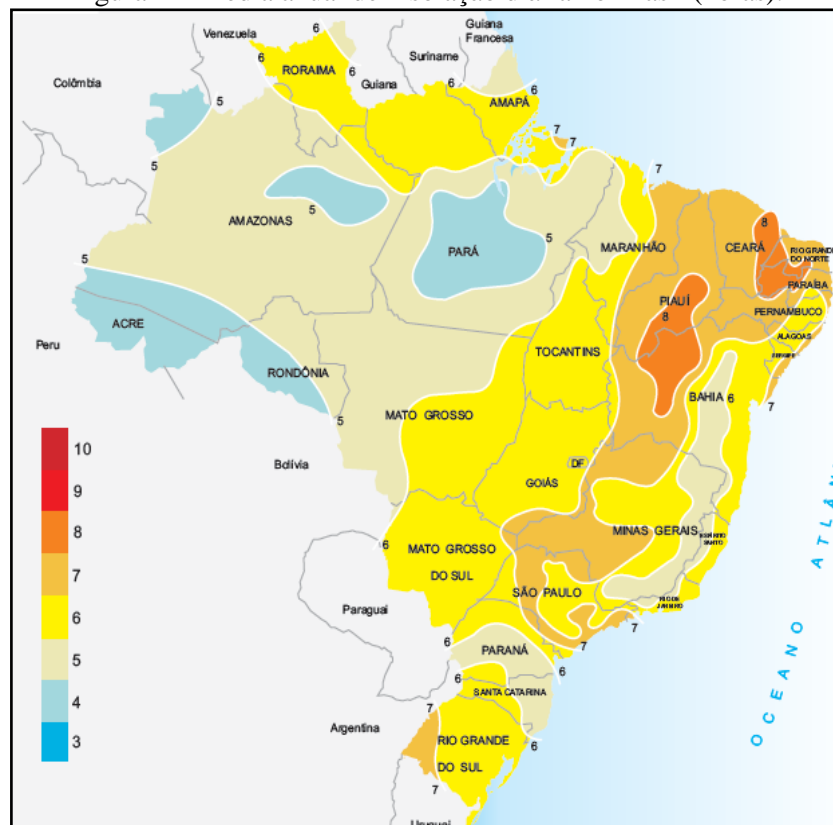
Além do concentrador solar (citado anteriormente), existem dois processos para a obtenção de energia elétrica a partir da energia solar: conversão termoelétrica e conversão fotovoltaica. A primeira caracteriza-se pela utilização de eletrodos, sendo que um transforma-se em cátodo, quando é aquecido pelos raios solares, e o outro transforma-se em ânodo, quando é colocado próximo ao cátodo. O surgimento de uma diferença de potencial propiciará a geração de eletricidade ao ligar o cátodo ao ânodo. Esse tipo de processo é utilizado na construção de medidores de temperatura, porém apresenta baixo rendimento e altos custos; por esse motivo não é tão empregado. A conversão fotovoltaica, por sua vez, é a forma mais utilizada atualmente para a obtenção de energia elétrica alternativa, a qual apresenta um grande potencial no Brasil, que será explanado a seguir.

1.2 POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO BRASIL

O Brasil é um país localizado, em sua maior parte, na região inter-tropical, e possui grande potencial para aproveitamento de energia solar durante todo ano (PEREIRA et. al., 2006). Em comparação, a Alemanha é um país que tem investido bastante em energia solar fotovoltaica: sua capacidade instalada se aproximou dos 25 mil megawatts de potência acumulados até 2011, considerando que a irradiação solar nos melhores parques alemães é inferior à dos parques brasileiros (ABINEE, 2012). Com essa informação, pode-se concluir que o Brasil possui um potencial bastante elevado para a obtenção de eletricidade por meio de painéis FV, maior ainda do que o potencial de países líderes em geração de energia solar.

A figura 4 apresenta a média de insolação diária no Brasil, dada em horas. Isto é, o tempo em que a radiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 , denominado Horas de Sol Pleno (HSP). Pode-se observar que na região Norte a insolação diária tem os menores índices, enquanto que os maiores índices constam na região Nordeste, observando a média apresentada no mapa. Vale ressaltar que estes dados podem mudar de acordo com o mês analisado, visto que a figura 4 é uma média, obtida com base nos gráficos de insolação diária dos meses do ano.

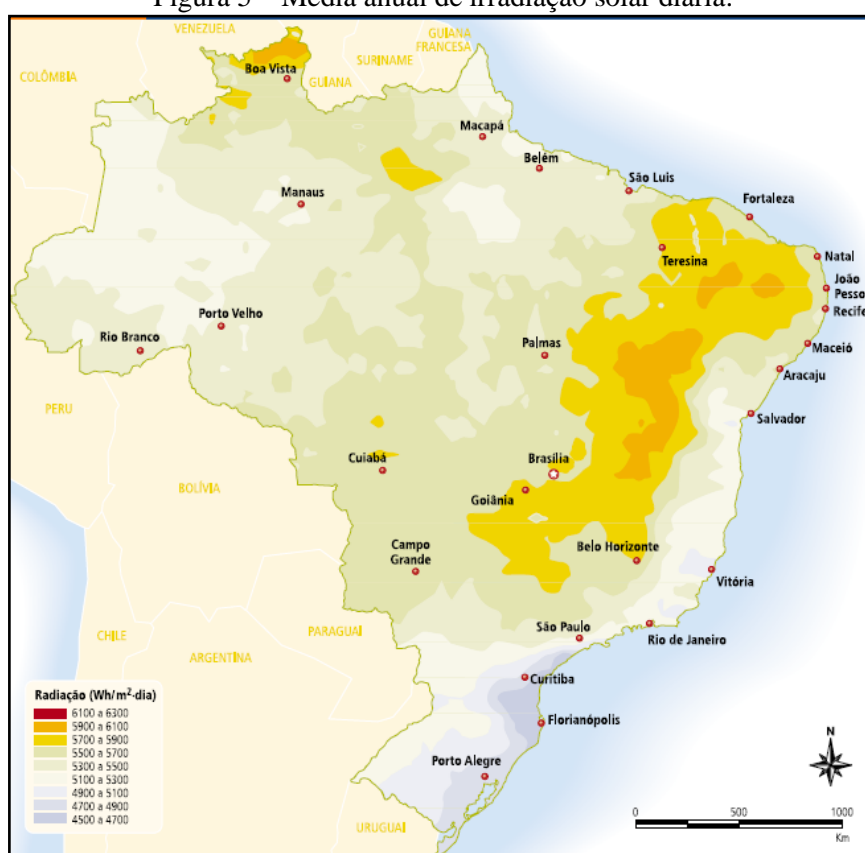
Figura 4 – Média anual de insolação diária no Brasil (horas).



Fonte: ATLAS, 2000.

A figura 5 apresenta a média de irradiação solar diária no território brasileiro, dada em Watt-hora por metro quadrado (Wh/m^2). Observa-se no gráfico que os maiores índices de irradiação estão em parte da região Nordeste e Sudeste: no norte da Bahia a irradiação é máxima, com valor de $6,1 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{dia}$. De acordo com o gráfico, poucas são as áreas do Brasil em que a irradiação é inferior a $5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{dia}$, como exemplo tem-se o norte de Santa Catarina, onde apresenta $4,5 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{dia}$. Apesar das diferenças nas características climáticas observadas no Brasil, pode-se verificar que a média anual de radiação apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo o país, observadas no mapa, o que confirma o grande potencial do país para o desenvolvimento FV (PEREIRA et. al., 2006).

Figura 5 – Média anual de irradiação solar diária.



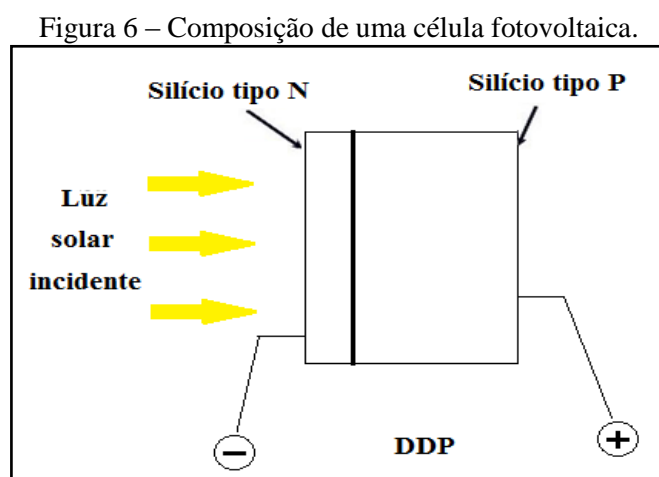
Fonte: ATLAS apud CECHINEL et. al., 2014.

1.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO FOTOVOLTAICO

O efeito fotovoltaico foi descoberto em 1839, por Edmond Becquerel, cientista francês e, cerca de 50 anos depois, Charles Fritts, inventor americano, construiu as primeiras células FV, constituídas de selênio e cobertas com um filme transparente de ouro (RIBEIRO, 2002).

O efeito FV consiste da obtenção de eletricidade através da conversão direta da radiação solar, por meio de materiais semicondutores (BRAGA, 2008). Isto é, a luz do sol incidente em células fotovoltaicas é convertida em energia elétrica. Essa conversão ocorre a partir de processos que se desenvolvem a nível atômico nos materiais de que as células são constituídas. Estes materiais são do tipo semicondutor, isto é, materiais com características intermediárias entre um condutor e um isolante. O material mais utilizado atualmente na fabricação de células fotovoltaicas é o silício, o qual passa antes, pelo processo de dopagem, pois é um mau condutor elétrico na sua forma pura. Tal processo consiste da inserção de pequenas quantidades de outros elementos (impurezas ou dopantes) no material em questão, o qual terá suas propriedades elétricas alteradas. Por exemplo, se ocorrer a dopagem de silício (4 elétrons na camada de valência) com o elemento fósforo (5 elétrons na camada de valência), o quinto elétron ficará fracamente ligado ao átomo de origem, deixando o silício negativamente carregado, conhecido como semicondutor do tipo N, onde se encontrará íons doadores de elétrons. Já a dopagem de silício com o elemento boro (3 elétrons na camada de valência), haverá falta de elétrons nas ligações, o que deixará o silício positivamente carregado, se comportando como semicondutor do tipo P, composto por íons receptores de elétrons.

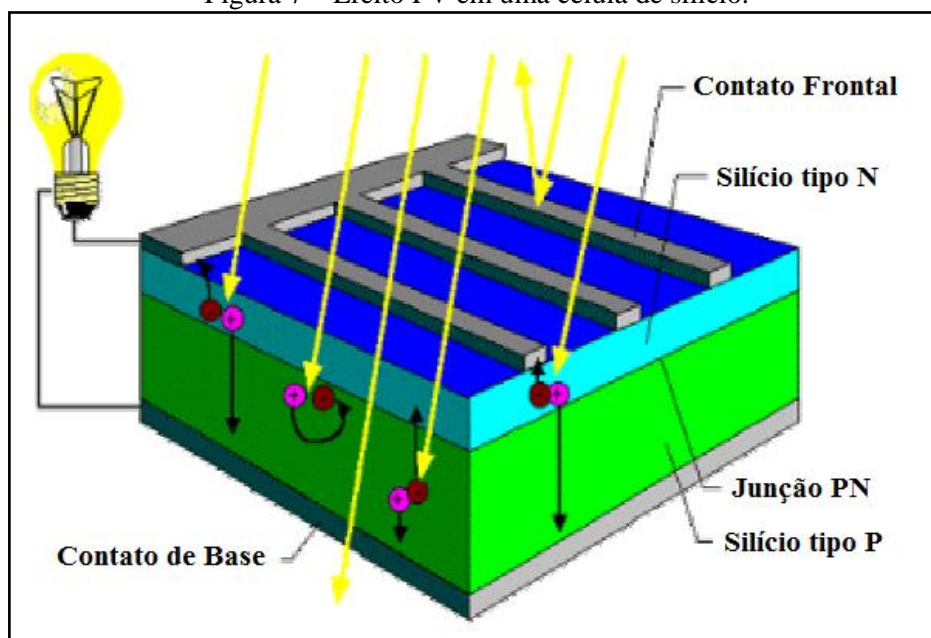
A célula FV é constituída por uma camada menos espessa de material tipo N e outra mais espessa de material tipo P, tal como mostra a figura 6. Com o contato dos materiais tipo P e tipo N, os íons doadores e receptores se acumulam na junção PN, devido às forças de atração, formando a região de depleção na interface das camadas. Esta bloqueia a passagem de cargas de um lado para o outro, devido ao campo elétrico e à barreira de potencial formada pelos íons. A incidência de luz no material tipo N provoca o surgimento de uma diferença de potencial nos extremos da estrutura.



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, 2004.

O material tipo N é direcionado ao sol e a energia dos fótons incidentes é absorvida pelos elétrons. Vale ressaltar que a energia dos fótons deve ser igual ou maior do que o gap de energia dos elétrons (E_g), isto é, a energia dos fótons deve ser suficiente para que ocorra a difusão dos elétrons da banda de valência para a banda de condução, no caso do silício E_g corresponde a 1,1 eV (BOYLESTAD; NASHELSKY, 2004). Caso a energia seja suficiente, ocorrerá a difusão, formando pares de elétron-lacuna (denominados éxcitons), sendo que as lacunas permanecem no material e os elétrons ficam livres e seguirão em direção ao contato, para a formação de corrente elétrica, a qual surgirá através de uma conexão externa entre os materiais. A condução dos elétrons ocorre no sentido do material tipo N para o material tipo P, já que eles são atraídos pelo alto potencial existente no segundo. Porém, o sentido convencional da corrente é do material tipo P para o material tipo N. Tal fenômeno é mostrado pela figura 7, a qual apresenta, com mais detalhes, o efeito FV no interior da célula. Em um sistema fotovoltaico autônomo, que será detalhado a seguir, quando um elétron abandona a última célula do painel e encaminha-se para a bateria, outro elétron entra na primeira célula solar, proveniente da bateria. É por este motivo que um dispositivo FV é considerado inesgotável (ALMEIDA; FERREIRA, 2010).

Figura 7 – Efeito FV em uma célula de silício.



Fonte: Adaptado de NASCIMENTO, 2004.

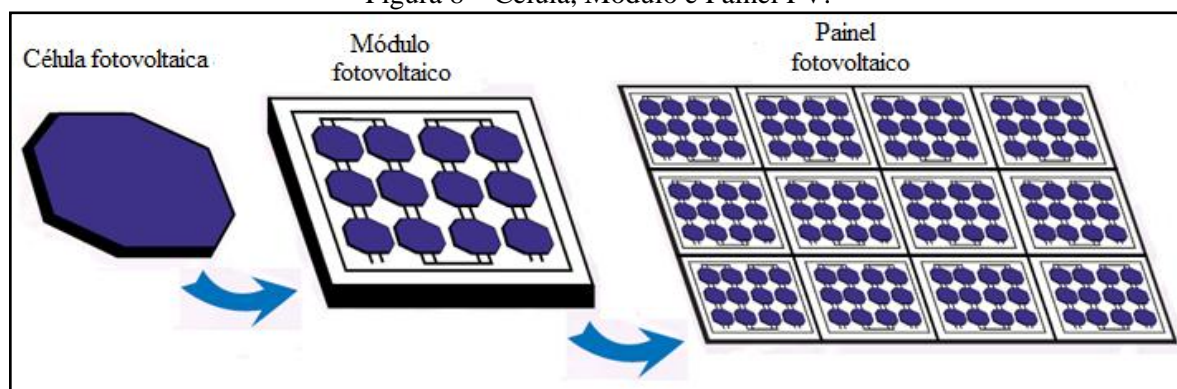
A intensidade da corrente elétrica resultante terá variação de acordo com a intensidade da luz incidente. Dessa forma, pode-se medir a eficiência de conversão das células solares através da razão entre a energia elétrica obtida e a energia solar incidida no painel, tal como a equação (1):

$$\text{Eficiência da célula (\%)} = \frac{\text{Energia elétrica resultante}}{\text{Energia solar incidente}} \times 100 \quad (1)$$

Portanto, o efeito FV engloba três fenômenos: a absorção de luz pelo material, a transferência de energia dos fótons para as cargas elétricas e a criação de corrente elétrica (NIEDHARDT, 2009).

Como apresentado pela figura 7, além dos materiais semicondutores, a célula FV apresenta dois contatos metálicos, em lados opostos, para fechar o circuito elétrico. O conjunto encontra-se encapsulado entre um vidro e um substrato, como aço, alguns plásticos, e outros, essencialmente para evitar a sua degradação por fatores ambientais, tais como, vento, chuva, poeira, vapor, etc, e assim, manter as condições ideais de operação por dezenas de anos (NASCIMENTO, 2004). O agrupamento de células solares forma o módulo FV, geralmente conectadas em série, para que a tensão seja maior, já que a tensão de uma única célula é muito baixa, e a tensão do módulo é dada pela soma das tensões das células. Enquanto que vários módulos interligados eletricamente, formam o painel FV, como mostra a figura 8. Estes podem ser ligados em série ou em paralelo, dependendo das características que o usuário deseja obter. Isto é, se ele deseja ter uma tensão maior para o sistema, os módulos devem ser ligados em série; porém se a necessidade for de uma corrente maior, os mesmos devem ser ligados em paralelo.

Figura 8 – Célula, Módulo e Painel FV.



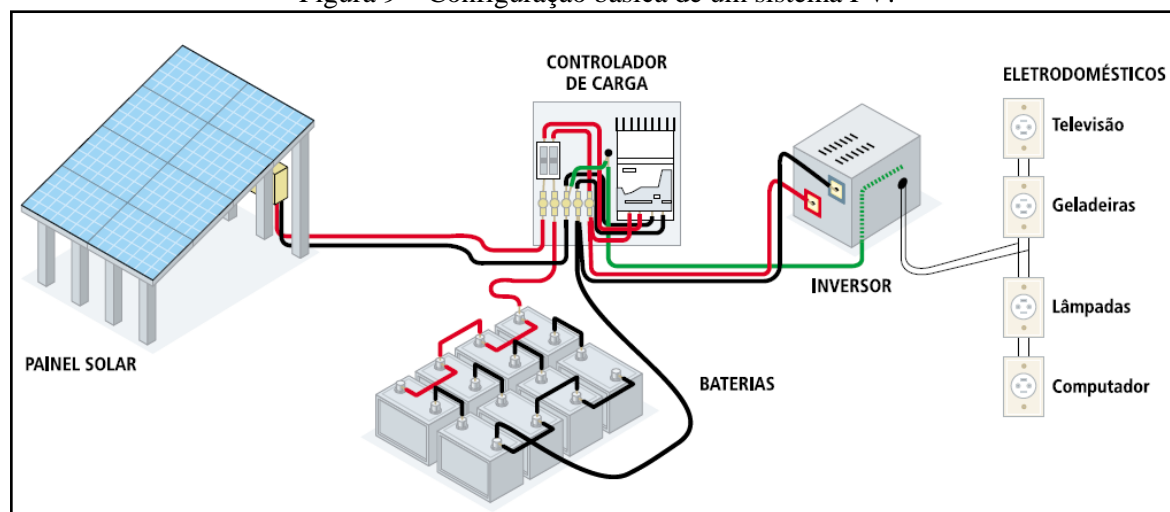
Fonte: Adaptado de BLUE SOL, 2009.

1.4 ELEMENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema FV é constituído de alguns componentes, ou elementos, para garantir seu funcionamento. Nesta seção serão abordados os elementos principais que compõem este tipo de sistema: gerador (painel) FV, baterias, controlador de carga e inversor, juntamente com suas respectivas características e funcionalidades. A figura 9 apresenta um desenho

esquemático dos elementos e suas ligações, o que representa a configuração básica de um sistema fotovoltaico.

Figura 9 – Configuração básica de um sistema FV.



Fonte: Adaptado de ANEEL, 2002.

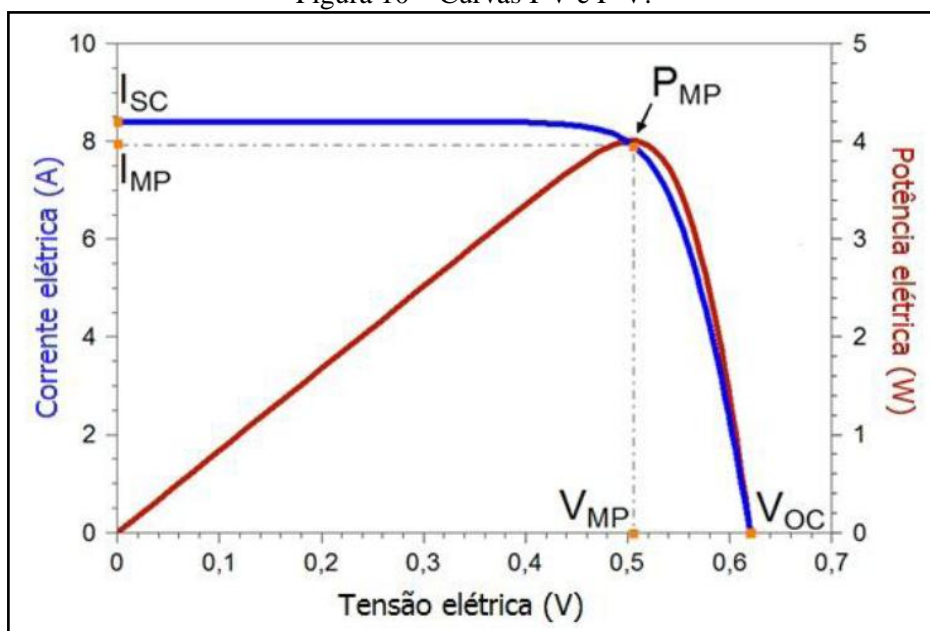
1.4.1 Gerador Fotovoltaico

O gerador FV, também conhecido como painel, é constituído por um ou mais módulos FV, os quais, segundo a Norma Brasileira (NBR) 10899 (ABNT, 2006) são formados por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica, através da conversão direta de energia solar. Normalmente, as células estão conectadas em série, a fim de produzir tensão suficiente para a utilização da energia produzida. Uma célula de silício (material mais utilizado atualmente) apresenta uma tensão muito baixa, aproximadamente entre 0,5 a 0,8 V (PINHO; GALDINO, 2014).

Alguns parâmetros podem afetar o rendimento dos painéis fotovoltaicos, dentre os quais se destaca o nível de radiação solar incidente. Este está diretamente ligado a localização do painel, sua orientação, que deve estar voltada para a o equador, e inclinação, a qual deve ser igual à latitude local para maximizar a energia produzida, considerando o ângulo mínimo de 15 graus (CARVALHO et. al., 2003). Além disso, o sombreamento é uma questão crítica em sistemas fotovoltaicos, pois para atingir seu maior rendimento, um painel fotovoltaico deve estar iluminado de forma homogênea. Se assim não estiver, a potência do sistema será determinada pela célula com menor nível de radiação e que conseqüentemente oferece menor nível de corrente.

Um painel FV não apresenta comportamento igual ao de uma fonte convencional. A tensão nos terminais de saída não é constante e depende diretamente da corrente e vice-versa. O ponto de operação do painel depende diretamente da carga, em outras palavras, se for conectada uma carga que demanda alta corrente, ocorrerá uma redução na tensão. Caso contrário, a tensão será elevada. Na figura 10 estão sendo apresentadas as curvas I-V (corrente versus tensão) e P-V (potência versus tensão), típicas de uma célula fotovoltaica de silício de 156 mm x 156 mm, mostrando a relação entre essas grandezas durante o funcionamento da célula em questão. Na figura, I_{SC} é a corrente elétrica de curto-circuito, V_{OC} é a tensão de circuito aberto, P_{MP} é a potência máxima ou de pico e I_{MP} e V_{MP} são, respectivamente, a corrente e a tensão no ponto de máxima potência. Pode ser observado pela figura 10, que com o aumento da tensão até o valor de máxima potência, a corrente da célula se mantém constante correspondente à corrente de curto-circuito, enquanto que a potência da célula cresce linearmente. No aumento da tensão após a V_{MP} , ocorre a queda acelerada tanto de corrente quanto de potência da célula de silício.

Figura 10 – Curvas I-V e P-V.



Fonte: PINHO; GALDINO, 2014.

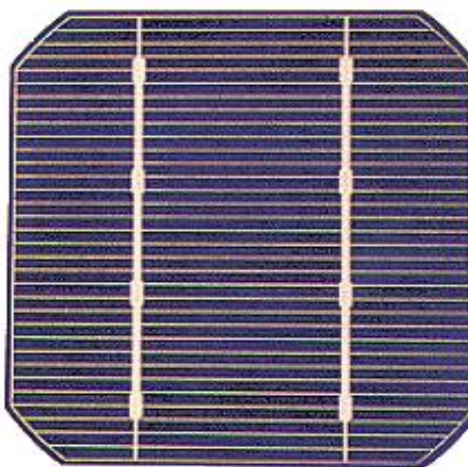
Esse comportamento, porém, é influenciado por alguns fatores naturais: a intensidade da radiação solar e a temperatura. A irradiância solar influencia na corrente elétrica: quando a mesma for de 1000 W/m², o módulo produzirá a corrente máxima (I_{SC}); a redução do valor da irradiância resulta em redução de corrente. Já a temperatura influencia na tensão de saída do painel: quanto maior a temperatura, menor a tensão de saída e a corrente não se altera.

O mercado de módulos FV vem crescendo de forma significativa nos últimos anos, devido à maior importância dada à energia solar e ao desenvolvimento de novas tecnologias no processo de fabricação dos mesmos (CECHINEL et. al., 2014). Atualmente, existem vários materiais utilizados na confecção das células fotovoltaicas, porém o silício ainda se destaca como o semicondutor mais utilizado. A seguir serão apresentados os principais materiais empregados na fabricação de células FV.

1.4.1.1 Silício Monocristalino (m-Si)

A célula de silício monocristalino (m-Si), apresentada na figura 11, é formada por uma estrutura cristalina homogênea ao longo de todo o material. Ou seja, é constituída de cristais homogêneos, que resultam em células de alto rendimento energético, com processo de produção mais rigoroso e mais custoso (ABINEE, 2012). Dentre as células FV que utilizam o silício como material base, as monocristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências, as quais giram em torno de 25% ($\pm 0,5$) (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 11 – Célula de Silício Monocristalino.



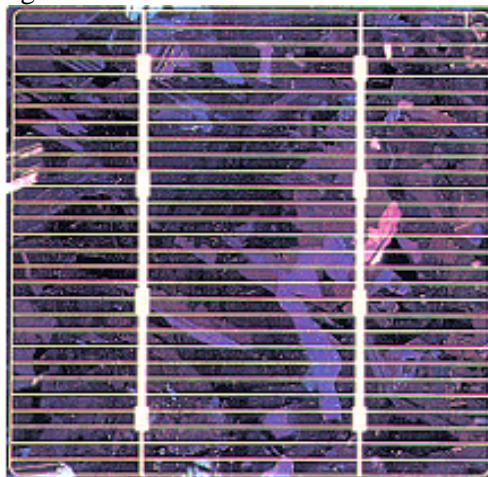
Fonte: CRESESB, 2008.

1.4.1.2 Silício Policristalino (p-Si)

A célula de silício policristalino (p-Si) é formada por pequenos cristais, colados uns aos outros e que têm um tamanho que vai desde alguns milímetros até alguns centímetros. Tais células apresentam uma eficiência na conversão de energia de aproximadamente 20,4%, com variação positiva e negativa de 0,5% (PINHO; GALDINO, 2014). Essa eficiência é baixa, comparada às células de m-Si, haja vista que a organização cristalina destas últimas é

maior. As células de p-Si são mais desordenadas estruturalmente, resultantes de mais de uma formação cristalina. Portanto, como consequência, as células de p-Si apresentam baixo custo. Nos últimos anos, a comercialização do silício policristalino no mercado fotovoltaico tem crescido, a nível mundial, em relação à tecnologia que utiliza m-Si (CECHINEL et. al., 2014). A figura 12 apresenta uma célula de silício policristalino.

Figura 12 – Célula de Silício Policristalino.



Fonte: CRESESB, 2008.

1.4.1.3 Silício Amorfo (a-Si)

As células de silício amorfo diferem das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. Estas células apresentam forma alotrópica não cristalina do silício, com eficiência inferior à das células de silício cristalino, de aproximadamente 10,1% ($\pm 0,3$) (PINHO; GALDINO, 2014). O silício amorfo pode ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, por isso é uma forte tecnologia para sistemas fotovoltaicos de baixo custo, já que apresenta um processo de fabricação relativamente simples e barato. Porém, mesmo apresentando custo reduzido, as células de a-Si são afetadas mais rapidamente por um processo de degradação, reduzindo a sua eficiência ao longo da vida útil (BRAGA, 2008). A figura 13 exemplifica um painel fabricado com silício amorfo.

Figura 13 – Painel de Silício Amorfo.



Fonte: CRESESB, 2008.

1.4.1.4 Outros materiais

Como foi apresentado, o silício é o material mais utilizado para fabricação de células FV, porém existem outros materiais também utilizados nessa tecnologia. Alguns deles são: telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS) (ABINEE, 2012). O primeiro é produzido na forma de filmes finos, sendo o mais recente competidor no mercado de painéis dessa estrutura. Já os outros citados também têm ganhado espaço no mercado, principalmente em se tratando de aplicações integradas a edificações (CECHINEL et. al., 2014). Além desses, materiais orgânicos e polímeros vêm se mostrando como interessantes matérias-primas para células solares, pois têm sido amplamente utilizados para desenvolver dispositivos optoeletrônicos, como estes. No entanto, os materiais orgânicos ainda não têm eficiência energética suficiente para competir com o silício, pois apresenta diferentes propriedades FV. Porém, estudos e pesquisas continuam em desenvolvimento, a fim de obter a melhor adaptação desse material a esse tipo de tecnologia, como, por exemplo, a inserção de corante vermelho de metila, para aumentar a absorção dos fótons da luz solar (REIS et. al., 2013).

1.4.2 Baterias

As baterias, também denominadas de acumuladores eletroquímicos, são utilizadas em sistemas autônomos (no inglês, Off Grid), isolados da rede elétrica, e têm a função de acumular a energia produzida pelas células fotovoltaicas durante os momentos de

luminosidade, a fim de poder ser utilizada à noite ou durante períodos sem energia solar suficiente. Pinho e Galdino (2014) definem este equipamento da seguinte forma:

Uma bateria é um conjunto de células ou vasos eletroquímicos, conectados em série e/ou paralelo, capazes de armazenar energia elétrica na forma de energia química por meio de um processo eletroquímico de oxidação e redução (redox) que ocorre em seu interior. Quando uma bateria carregada é conectada a uma carga elétrica, ocorre o processo reverso, ou seja, uma corrente contínua é produzida pela conversão de energia química em energia elétrica.

As baterias mais usadas em sistemas FV são as recarregáveis, do tipo estacionárias, isto é, recarregáveis porque podem ser reutilizadas várias vezes, apresentando vários ciclos de carga-descarga, e estacionárias porque são direcionadas para aplicações em que permanecem em regime de flutuação. As mais utilizadas são de chumbo (principalmente) ou de níquel-cádmio (BRITO; SILVA, 2006).

A profundidade de descarga de uma bateria é um parâmetro de extrema importância, já que determina a vida útil da mesma. Essa propriedade indica, em termos percentuais, quanto da capacidade nominal deste equipamento foi retirado a partir do estado de plena carga (COELCE, 2014). Quanto maior for sua profundidade de descarga, menos ciclos de carga-descarga haverá, e menor será sua vida útil. Baterias estacionárias comuns devem apresentar profundidade de descarga de, no máximo, 50% (PINHO; GALDINO, 2014).

1.4.3 Controlador de Carga

A função do controlador de carga, também conhecido como regulador, consiste no controle do fluxo de energia que carrega as baterias através da energia fornecida pelos geradores solares, evitando que elas sejam carregadas e descarregadas de maneira excessiva. Esse gerenciamento do processo de carga e descarga proporciona o aumento da vida útil das mesmas. Além disso, o controlador de carga bloqueia a corrente inversa entre bateria e painel, ou seja, na eventualidade da tensão no gerador ser inferior à tensão da bateria, o regulador de carga, através de diodos de bloqueio, evita que a bateria descarregue a energia para o painel (TIRADENTES, 2001).

Os controladores de carga utilizam o modo de operação PWM, que significa “Modulação por Largura de Pulso” (no inglês, Pulse Width Modulation), o qual permite carregar a bateria de forma rápida e segura. Com o modo PWM, o controlador gera uma onda quadrada pulsada na tensão de alimentação da bateria para manter sua carga constante ao máximo (UNITRON ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA, 2014).

1.4.4 Inversor

Os módulos FV geram energia elétrica em corrente contínua, porém a maioria dos aparelhos elétricos trabalha em corrente alternada. Por esse motivo existe a necessidade de um inversor, o qual tem a função de converter a tensão de corrente contínua para corrente alternada, com as características (frequência, formas de onda, etc.) necessárias para sua utilização. Alguns sistemas, porém, não incluem inversor, porque a carga opera em corrente contínua.

1.5 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas FV são de três tipos, de acordo com sua configuração. São eles: sistema híbrido, ligado à rede (no inglês, On Grid) e Autônomo ou desligado da rede (no inglês, Off Grid). Neste trabalho, maior atenção será dada ao sistema autônomo, pois se trata da configuração do sistema nele abordado.

1.5.1 Sistema Híbrido

O sistema do tipo híbrido é aquele resultante da interação de duas ou mais fontes de energia. Em outras palavras, a obtenção de eletricidade se dá através da energia FV e de outra fonte, como, por exemplo, a energia eólica, diesel, entre outras.

1.5.2 Sistema ligado à rede

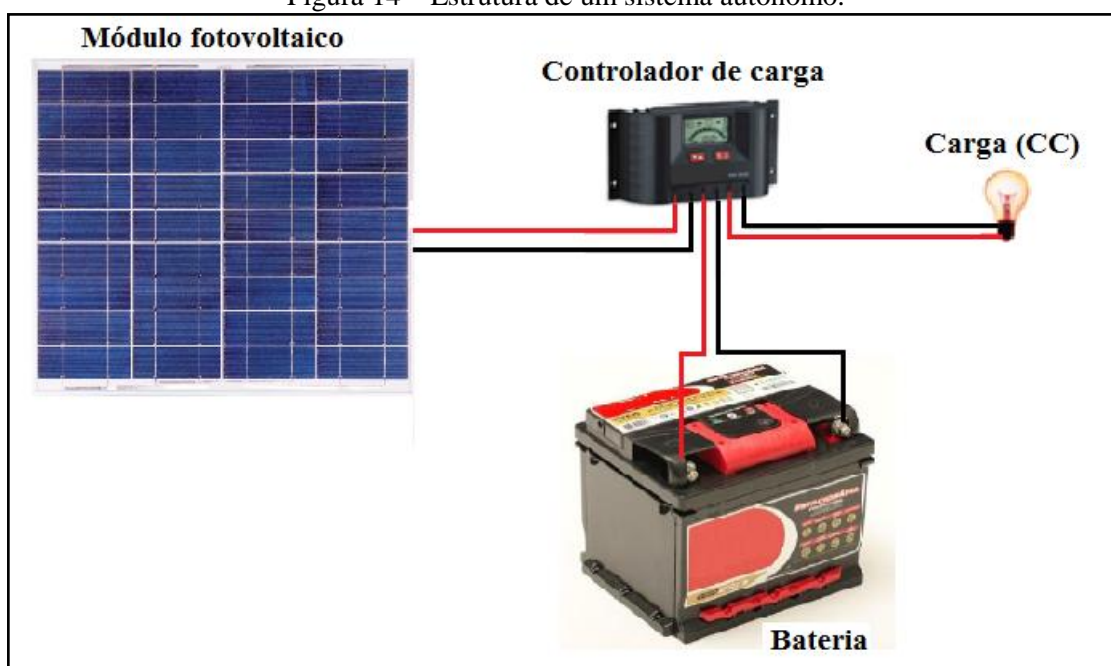
Este tipo de sistema é também denominado de sistema conectado à rede (On Grid), pois estão interligados à rede elétrica de energia, para a qual é destinada a máxima potência produzida pelo gerador fotovoltaico (CARNEIRO, 2009). Por isso, o mesmo não utiliza armazenamento de energia, logo não são utilizadas baterias, porém outros elementos têm seu papel fundamental na constituição desse sistema. O inversor, por exemplo, faz a transformação da tensão de energia, entregando à rede energia em corrente alternada. A relevância deste equipamento está em definir a eficiência do sistema, pois quanto mais eficiente o inversor, maior será o potencial aproveitado e injetado na rede de distribuição (PEREIRA, 2012). Além do inversor, existem outros instrumentos, por exemplo, os que controlam a quantidade de energia enviada à rede. O objetivo desse sistema é gerar

eletricidade para abastecer a rede elétrica de distribuição, fazendo com que a energia cedida à rede seja descontada da energia consumida da mesma.

1.5.3 Sistema autônomo

O sistema autônomo, não tem relação direta com a rede de energia. Este sistema depende basicamente da radiação solar para gerar energia, e de um sistema de armazenamento, onde a energia ficará depositada para ser utilizada em períodos sem luminosidade solar (TIRADENTES, 2007). Podem existir, porém, sistemas mais simples, sem bateria, que permitirão somente consumos proporcionais à irradiação solar. Além desses equipamentos, faz parte também desse tipo de sistema o controlador de carga e, em alguns casos, o inversor, quando é necessário adaptar as características da corrente fornecida pelo conjunto módulo-bateria às cargas, como, por exemplo, mudar a energia de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). A figura 14 apresenta a configuração de um sistema autônomo, sem inversor, semelhante ao sistema que será apresentado neste trabalho.

Figura 14 – Estrutura de um sistema autônomo.



Fonte: Autoria própria.

Em um sistema autônomo, como o apresentado na figura 12, a energia solar é transformada em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, ocorrido no painel fotovoltaico, e segue em direção à bateria, a qual será carregada sob controle do regulador de carga. Durante a inexistência de luz solar, o controlador regula a passagem de energia da bateria para a carga, neste caso uma lâmpada que funciona em CC. Se a lâmpada for utilizada

durante um período em que haja luminosidade solar, a energia gerada no painel segue diretamente para a carga, percurso também controlado pelo regulador de carga. Este tipo de sistema é empregado, principalmente, em localidades isoladas, não atendidas pela rede elétrica, como em zonas rurais, praias, ilhas, entre outras. Além disso, já existem aplicações destas na iluminação pública, por apresentarem inúmeros benefícios, tais como a não interferência de apagões.

CAPÍTULO 2 – PROJETO E CONSTRUÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA CARGA

A ANEEL, em sua Resolução nº 456 de 29 de novembro de 2000, define:

Art. 2º, inciso XXIV, quanto ao conceito de Iluminação Pública: serviço que tem por objetivo prover de luz, ou claridade artificial, os logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, inclusive aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno.

A Iluminação Pública (IP) é um serviço essencial à qualidade de vida das populações. Isso porque apresenta um papel de fundamental relevância para o desenvolvimento social e econômico das mesmas. A IP contribui significativamente na segurança pública, prevenindo a criminalidade, proporcionando o monitoramento eletrônico em áreas de risco e violência, embeleza as áreas urbanas e os bens públicos e propicia a utilização noturna de espaços de atividades de lazer, comércio e cultura. Além disso, contribui no tráfego de veículos e de pedestres (FERREIRA; SÁ, 2006).

A melhoria dos sistemas de IP representa melhor imagem da cidade, ampliando a cultura da utilização eficiente e racional da energia elétrica, o que contribui para o desenvolvimento social e econômico da população como um todo. Por esse motivo, a IP consome um percentual significativo de energia elétrica. Assim, é necessário encontrar maneiras mais eficientes de iluminação, que garantam o desempenho das necessidades da sociedade em melhores condições, além da redução do consumo de energia, cuja fonte atual apresenta significativos problemas. Nesse cenário, desenvolveu-se o sistema fotovoltaico para IP apresentado neste trabalho, caracterizado por inovação e melhoria.

Uma das características importantes deste sistema é a utilização de LEDs na iluminação. A sigla LED vem do inglês (Light Emitting Diode), que significa Diodo Emissor de Luz. Diferente das lâmpadas incandescentes ou de descarga, que emitem luz através da queima de um filamento ou pela ionização de alguns gases específicos, o LED produz sua luminosidade quando uma corrente elétrica flui através do semicondutor, resultando na liberação de fótons (CECHINEL et. al., 2014). Os LEDs apresentam numerosas vantagens em relação às lâmpadas convencionais, como: são dispositivos de pequeno porte e com alta emissão de luz, maior resistência a choques mecânicos, maior tempo de vida útil, redução de impactos ambientais (por não apresentarem gases tóxicos em seu interior), elevado índice de reprodução de cores, entre outros (NOGUEIRA et. al., 2013); além da característica de

consumirem menos energia, o que contribui para a diminuição dos danos ambientais (SANTANA, 2010).

Portanto, no sistema em questão foi escolhida a lâmpada de LED da marca Brilia, MR16, apresentada na figura 15.

Figura 15 – Lâmpada de LED Brilia MR16.



Fonte: Brilia, 2014.

Na tabela 1, estão todas as especificações da lâmpada utilizada.

Tabela 1 – Especificações da lâmpada Brilia MR16.

PARÂMETRO	VALOR
Tensão	12 V
Potência	5 W
Ângulo de abertura	38 graus
Fluxo luminoso	260 lm
Cor da iluminação	Branca
Candelas	670
Índice de Reprodução de Cor (IRC)	80
Dimensões (altura x diâmetro)	38 mm x 54 mm
Peso	0,030 Kg
Temperatura de Brilho	3000 K
Vida útil	30.000 h

Fonte: Autoria própria.

Como mostrado na tabela anterior, essa lâmpada possui vida útil corresponde a 30 mil horas, o que equivale a 6,84 anos, já que a mesma será utilizada durante 12 horas por dia (período noturno), durante todos os dias do ano. Essa é uma das grandes vantagens da tecnologia LED: sua extensa durabilidade. Além disso, essa lâmpada possui potência de 5 W, porém, de acordo com o fabricante, equivale a 35 W de potência, comparada a uma lâmpada convencional. Como um dos tipos de lâmpadas mais utilizadas atualmente na IP tem 70 W de potência, foram utilizadas 2 unidades da lâmpada de LED escolhida no sistema desenvolvido, para garantir maior similaridade com o sistema usual, em especial com a lâmpada de vapor de

sódio de 70W, mais utilizada atualmente. Assim, foi construído um circuito do tipo impresso, com placa de fenolite (fibra de vidro) que possui a superfície coberta, em 1 ou 2 faces, por fina película de cobre, nas quais são desenhadas pistas condutoras que representam o circuito onde serão fixados os componentes eletrônicos, neste caso as duas lâmpadas. Neste circuito também foi acoplado um fusível, o qual tem a função de bloquear a passagem de corrente que esteja acima do nível necessário, objetivando evitar a danificação das lâmpadas. A figura 16 mostra o circuito impresso com as lâmpadas de LED.

Figura 16 – Circuito impresso com as lâmpadas de LED.



Fonte: Autoria própria.

Foram realizados alguns testes com o circuito, objetivando obter mais dados sobre as lâmpadas. Esses testes foram realizados com o auxílio dos seguintes equipamentos:

- Fonte de tensão: DC POWER SUPPLY (Marca: Minipa; Código: MPL-3303M);
- Termômetro de Infravermelho: InfraRed Thermometer (Marca: ICEL Manaus; Código: TD-955).

O circuito de lâmpadas foi conectado à fonte de tensão, a qual foi programada na tensão de 12 V (tensão das lâmpadas). Com as lâmpadas ligadas, a fonte de tensão apresentou a informação da corrente do circuito, igual a 0,833 A. Com estes dados, corrente (I) e tensão (V), pode-se confirmar a potência do circuito através da equação (2):

$$P = V \times I \quad (2)$$

$$P = 12V \times 0,833A = 9,996 \cong 10 W$$

Com a utilização do termômetro de infravermelho, foi possível medir a temperatura máxima de dissipação de calor das lâmpadas, que é igual a 50 °C. Outras medições foram realizadas com o sistema já instalado em pleno funcionamento, para confirmar se o mesmo está satisfazendo os requisitos da Norma Brasileira de Iluminação Pública e compará-lo ao sistema usual. Os resultados dessas medições serão apresentados nas últimas seções deste trabalho.

2.2 DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DO SISTEMA

A fim de que ocorra um perfeito funcionamento do sistema e o mesmo mitigue as possíveis falhas, é necessário o dimensionamento dos equipamentos a serem utilizados. Esse processo objetiva adequar os equipamentos às necessidades da demanda, isto é, o dimensionamento de um sistema FV é o ajuste entre a energia solar recebida do sol pelos módulos FV e a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica. A partir do dimensionamento, obtêm-se as principais características dos equipamentos, e, assim, é possível fazer as aquisições corretas. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico abordado neste trabalho, foi utilizada a metodologia apresentada no livro “Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos” (PINHO; GALDINO, 2014). Vale ressaltar que todas as equações apresentadas neste trabalho, para o dimensionamento dos equipamentos, foram retiradas do mesmo livro, utilizado como referência.

Os blocos básicos do sistema FV em questão são: geração, equipamento de controle e armazenamento de energia. A partir dos dados meteorológicos e de uma boa estimativa da demanda a ser atendida, o projetista dimensiona ou especifica cada um destes blocos.

Para iniciar o dimensionamento do sistema, é indispensável fazer a avaliação do recurso solar. Nesta etapa busca-se quantificar a radiação solar global incidente sobre o painel solar. Para isso, é preciso obter a grandeza HSP, que é uma forma de se expressar o valor acumulado de energia solar durante um dia. Para este cálculo, utiliza-se a equação (3):

$$HSP = \frac{\text{Irradiação diária [kWh/m}^2\text{]}}{1 \text{ [kW/m}^2\text{]}} \quad (3)$$

Para a obtenção da irradiação solar diária, pode ser utilizado o mapa de irradiação solar apresentado na figura 14, assim como pode ser utilizado o mapa da figura 13 para determinar diretamente o número de HSP. No entanto, os dados dos mapas são médias dos dados de todos os meses do ano. Dessa forma, para uma melhor precisão dos dados e, conseqüentemente, um dimensionamento mais confiável, foi utilizado o software *Meteonorm 7.0*. Este é um programa computacional que oferece acesso a dados meteorológicos, como radiação solar, temperatura e outros, para aplicações solares em qualquer lugar do mundo. Diante do mesmo, foram obtidos os dados de irradiação solar na cidade de Abaetetuba (Pará), onde o sistema foi instalado. O software disponibiliza os dados de irradiação solar acumulada em cada mês. Desse modo, os valores mensais foram divididos por números de dias correspondentes a cada mês e, assim, obtidos os valores de irradiação diária para todos os

meses. Todos estes dados estão sendo apresentados na tabela 2, onde pode ser observado que a maior irradiação na cidade ocorre no mês de agosto, com 5,839 kWh/m².dia; enquanto que o mês de abril apresenta a menor irradiação, com 4,1 kWh/m².dia.

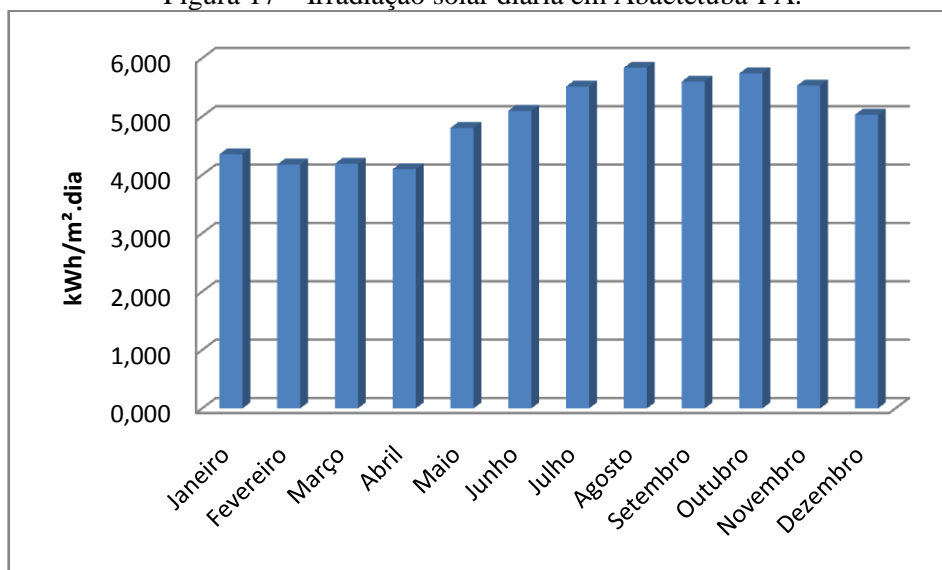
Tabela 2 – Irradiação na cidade de Abaetetuba-PA.

MÊS	IRRADIAÇÃO MENSAL (kWh/m ²)	DIAS NO MÊS	IRRADIAÇÃO DIÁRIA (kWh/m ² .dia)
Janeiro	135	31	4,355
Fevereiro	117	28	4,179
Março	130	31	4,194
Abril	123	30	4,100
Mai	149	31	4,806
Junho	153	30	5,100
Julho	171	31	5,516
Agosto	181	31	5,839
Setembro	168	30	5,600
Outubro	178	31	5,742
Novembro	166	30	5,533
Dezembro	156	31	5,032

Fonte: Autoria própria.

A figura 17 apresenta o gráfico resultante dos dados obtidos do software Meteonorm 7.0, com a irradiação solar diária em cada mês, na cidade de Abaetetuba. Para estes cálculos foi utilizado o método do mês crítico, o qual consiste no dimensionamento do sistema considerando o mês do ano no qual as condições médias são mais desfavoráveis para o sistema. Isso porque se supõe que o funcionamento adequado do sistema neste mês representa o funcionamento adequado também nos outros períodos do ano.

Figura 17 – Irradiação solar diária em Abaetetuba-PA.



Fonte: Autoria própria.

Assim, o valor utilizado para o cálculo de HSP é de 4,1 kWh/m².dia, que corresponde ao mês de abril (mês crítico), como segue abaixo.

$$\text{HSP} = \frac{4,1 \text{ [kWh/m}^2\text{.dia]}}{1 \text{ [kW/m}^2\text{]}} = 4,1 \text{ [h/dia]}$$

Portanto, sabe-se que na cidade de Abaetetuba, no mês de abril, o sol irradia 1 kWh/m² durante 4,1 horas por dia.

Depois do cálculo de HSP, deve-se calcular a demanda que será abastecida pelo sistema, ou seja, o consumo médio de energia (kWh) do equipamento, de acordo com sua utilização. Calcula-se o consumo médio mensal de energia (C_m), com base na equação (4):

$$C_m = \frac{P_e \times N_d \times D_m}{1000} \quad (4)$$

Nesta equação, P_e (W) é a potência nominal do equipamento (fabricante); N_d (h/dia) é o número médio de horas diárias de utilização do equipamento e D_m (dias/mês) é o número médio de dias de utilização do equipamento, por mês. Neste caso, a demanda consiste na energia consumida pelas duas lâmpadas de LED, sendo que cada uma possui 5 W de potência, totalizando em 10 W de consumo. Além disso, como se trata de iluminação pública, as lâmpadas devem permanecer acesas durante a ausência de luminosidade do sol, e são acionadas pelo temporizador do controlador de carga. Logo, elas acendem exatamente no momento em que o sol se põe e apagam ao nascer do sol. Esse intervalo corresponde a 12 horas aproximadamente, na cidade de Abaetetuba (INMET, 2014), e são utilizadas por este mesmo período em todos os dias do mês. Assim foi utilizado o valor 31, pois é o máximo de dias que pode compor um mês, isto é, nos meses de 31 dias o consumo será maior. Logo, se o sistema abastece os meses de maior consumo, ele é capaz de abastecer os outros meses.

$$C_m = \frac{10 \times 12 \times 31}{1000} = 3,72 \text{ kWh/mês}$$

Assim, de acordo com o cálculo cima, o consumo mensal de energia elétrica é de 3,72 kWh.

2.2.1 Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico

Para dimensionar o painel FV, inicialmente deve-se obter a quantidade de energia consumida diariamente em corrente contínua em determinado mês (L_{cc}). Para a obtenção dessa grandeza foi utilizada a equação (5):

$$L_{cc} = \frac{P_e \times N_d}{1000} \quad (5)$$

Substituindo o valor da potência nominal do equipamento e o número médio de horas diárias de utilização do mesmo, tem-se:

$$L_{cc} = \frac{10 \times 12}{1000} = 0,12 \text{ kWh/dia ou } 120 \text{ Wh/dia}$$

O valor de L_{cc} foi utilizado na equação (6), para calcular a energia ativa necessária diariamente (L). Nessa equação é necessária também a eficiência global da bateria (η_{bat}), a qual é informada pelo fabricante. Foi utilizado o valor de 89%, correspondente a bateria estacionária da marca Tudor, a qual foi escolhida para compor o sistema.

$$L = \frac{L_{cc}}{\eta_{bat}} \quad (6)$$

$$L = \frac{120 \text{ Wh/dia}}{0,89} = 134,84 \text{ Wh/dia}$$

A potência (P_m) necessária para o painel FV deve ser calculada de acordo com a equação (7):

$$P_m = \frac{L}{HSP \times Red_1 \times Red_2} \quad (7)$$

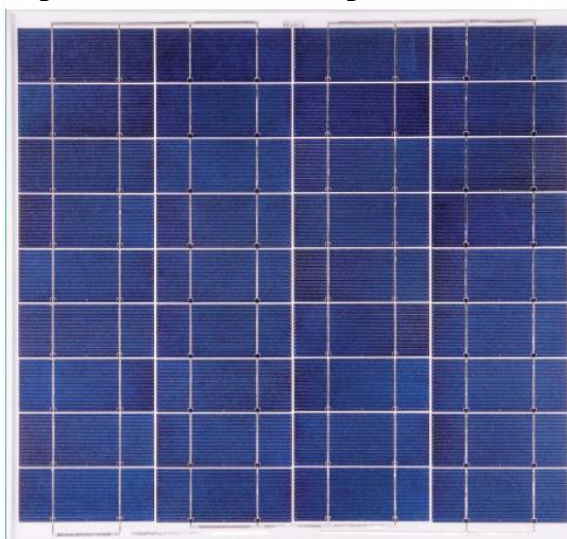
Nesta, L (Wh/dia) é a quantidade de energia consumida diariamente; HSP (h/dia) são as horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico no mês crítico; Red_1 (%) é o fator de redução da potência dos módulos fotovoltaicos, em relação ao seu valor nominal, englobando os efeitos de: um eventual acúmulo de sujeira na superfície ao longo do tempo de uso; degradação física permanente ao longo do tempo; tolerância de fabricação para menos, em relação ao valor nominal; perdas devido à temperatura. A este fator atribui-se o valor de 0,75 para módulos fotovoltaicos de silício cristalino; Red_2 (%) é o fator de redução da potência

devido a perdas no sistema, incluindo fiação, controlador, etc. A esta grandeza recomenda-se o valor de 0,9.

$$P_m = \frac{134,84}{4,1 \times 0,75 \times 0,9} = 48,73 \text{ W}$$

Assim, o painel a ser utilizado neste sistema deve ter uma potência mínima de 48,73 W, para abastecer a demanda requerida. Dessa forma, foi escolhido o painel solar FV Policristalino de 55W da Yingli Solar, código YL55P-17b, composto por 36 células solares, apresentado na figura 18.

Figura 18 – Painel solar Yingli YL55P-17b 2/5



Fonte: Minha Casa Solar, 2014.

As especificações do painel escolhido estão apresentadas na tabela 3:

Tabela 3 – Especificações do painel Yingli YL55P-17b 2/5.

PARÂMETRO	VALOR
Potência Máxima	55 W
Tolerância da Potência Máxima	(+/-) 5%
Eficiência do módulo	13,20%
Tensão na Máxima Potência	17,83 V
Corrente na Máxima Potência	3,08 A
Tensão de circuito aberto	22,07 V
Corrente de curto circuito	3,28 A
Dimensões (Largura x Altura x Comprimento)	660 x 630 x 25 (mm)
Peso	4,79 kg
Vida útil	25 anos

Fonte: Adaptada de Minha Casa Solar, 2014.

2.2.2 Dimensionamento da Bateria

Depois de obter a energia corrigida demandada pelas cargas por dia, resultante da equação (6), foi calculada a capacidade do sistema de acumulação segundo as equações (8) e (9):

$$CB_{C20}(\text{Wh}) = \frac{L \times N}{P_d} \quad (8)$$

$$CBI_{C20}(\text{Ah}) = \frac{CB_{C20}}{V_{\text{sist}}} \quad (9)$$

Onde CB_{C20} é a capacidade do banco de baterias em Wh para o regime de descarga em 20 horas e CBI_{C20} é a respectiva capacidade em Ah; N é o número de dias de autonomia, neste caso foram considerados 2 dias de autonomia, já que a cidade de Abaetetuba se localiza em uma região em que poucos são os dias sem sol no ano, ou seja, há maior disponibilidade de radiação solar; P_d é a máxima profundidade de descarga da bateria, considerando o período de autonomia; e V_{sist} é a tensão do sistema, neste caso 12 V.

$$CB_{C20} = \frac{134,84 \times 2}{0,5} = 539,36 \text{ Wh}$$

$$CBI_{C20} = \frac{539,36}{12} = 44,95 \text{ Ah}$$

Assim, a bateria utilizada deve ter uma capacidade mínima de 44,95 Ah para 2 dias de autonomia. De posse dessa informação, foi escolhido o modelo 12TE45 da marca Tudor, ilustrado na figura 19.

Figura 19 – Bateria Tudor 12TE45.



Fonte: Tudor, 2014.

As especificações dessa bateria se encontram na tabela 4:

Tabela 4 – Especificações da bateria Tudor 12TE45.

PARÂMETRO	VALOR
Tensão	12 V
Capacidade	45 Ah
Tensão de flutuação @ 25°C	13,40 a 13,80 V
Tensão de carga @ 25°C	14,60 (+/- 0,20) V
Tensão de equalização @ 25°C	15,50 (+/- 0,30) V
Compensação da temperatura	(-)0,03V para cada 1°C acima de 25°C
	(+)0,03V para cada 1°C abaixo de 25°C
Dimensões (Comprimento x Largura x Altura)	205 x 175 x 175 (mm)
Peso	11,6 Kg

Fonte: Adaptada de Tudor, 2014.

Em relação à vida útil da bateria, não há um valor pré-determinado, pois essa característica depende da profundidade de descarga sugerida para a mesma no dimensionamento do sistema, e da temperatura. Como neste trabalho há uma seção que retrata sobre as medições de temperatura realizadas, nesta mesma seção será determinada a vida útil da bateria.

2.2.3 Dimensionamento do Controlador de carga

O dimensionamento do controlador consiste no cálculo da corrente do mesmo (I), dada pela equação (10). Para isso, é considerada a corrente de curto circuito (I_{sc}) do painel fotovoltaico acrescida de um fator mínimo de segurança de 25%, assumindo que o painel pode receber uma irradiância de até 1,25 kW/m².

$$I = I_{sc} + \frac{25}{100} \times I_{sc} \quad (10)$$

$$I = 3,28 + \frac{25}{100} \times 3,28 = 4,1 \text{ A}$$

Portanto, o controlador de carga deve ter corrente mínima de 4,1 A. Desse modo, foi escolhido o modelo SunLight-10 da Morningstar Corporation, apresentado na figura 20. Este modelo de controlador é específico para projetos de energia solar que atendam iluminação externa, principalmente por possuir um sistema de controle de acionamento de carga, semelhante ao relé fotoelétrico, isto é, ele ativa a passagem de corrente elétrica para as lâmpadas quando não há luminosidade solar. Esse controle ocorre através do gerador FV, em outras palavras, o controlador detecta a ausência de luminosidade solar quando o painel para

de produzir energia. Além disso, ele utiliza um processo de carregamento de tensão constante por PWM.

Figura 20 – Controlador de Carga SunLight-10.



Fonte: Morningstar Corporation, 2014.

As especificações deste equipamento estão apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 – Especificações do controlador SunLight-10.

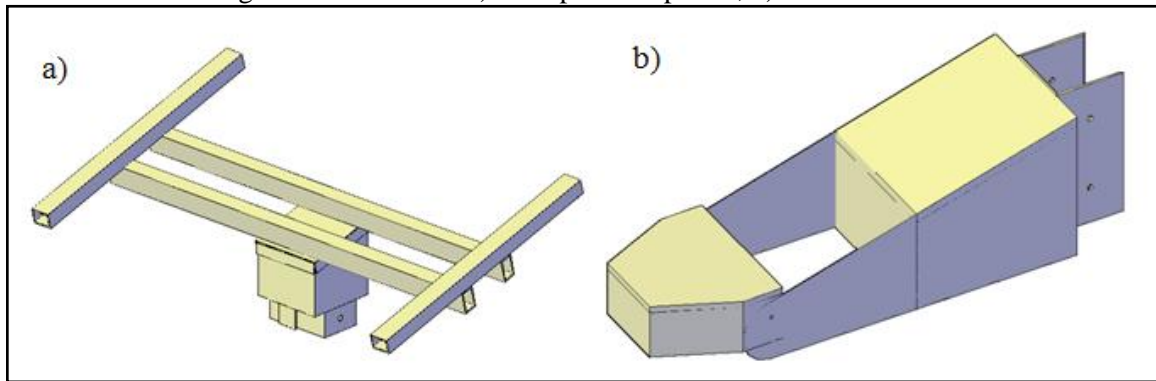
PARÂMETRO	VALOR
Tensão nominal	12 V
Carga nominal	10 A
Capacidade de sobrecarga de 25%	5 minutos
Tensão reguladora	14,1 V
Desconexão de Carga	11,7 V
Reconexão de Carga	12,8 V
Compensação de Temperatura	-27 mV/°C
Consumo próprio	8 mA
Temperatura de operação	-40 a +85°C
Peso	0,26 Kg
Vida útil	15 anos

Fonte: Adaptada de Morningstar Corporation, 2014.

2.3 PROJETO DO SISTEMA

O sistema fotovoltaico em estudo é constituído pelos componentes dimensionados na seção anterior, além de algumas estruturas que garantem o posicionamento adequado dos componentes. Tais estruturas são: o poste, o suporte do painel e a estrutura, a qual foi denominada “Luminária”, que suporta os outros componentes (bateria, controlador de carga e lâmpadas), sendo as duas últimas estruturas mostradas na figura 21, as quais foram projetadas com a utilização de um programa computacional. Mais detalhes das estruturas estão apresentados no Anexo B.

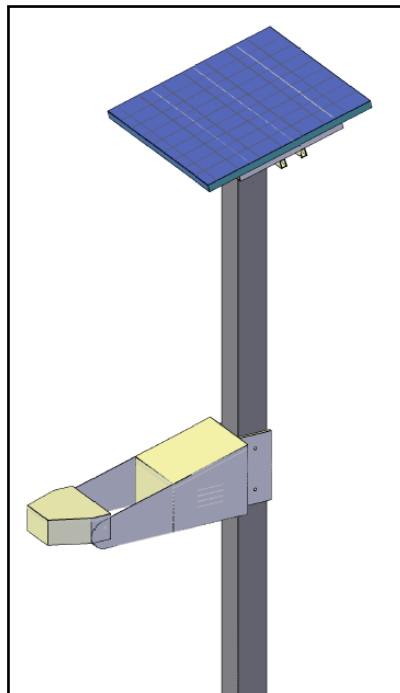
Figura 21 – Desenho a) do suporte do painel; b) da Luminária.



Fonte: Autoria própria.

Todo o sistema FV também foi projetado, apresentado na figura 22, a fim de analisar o arranjo físico do sistema.

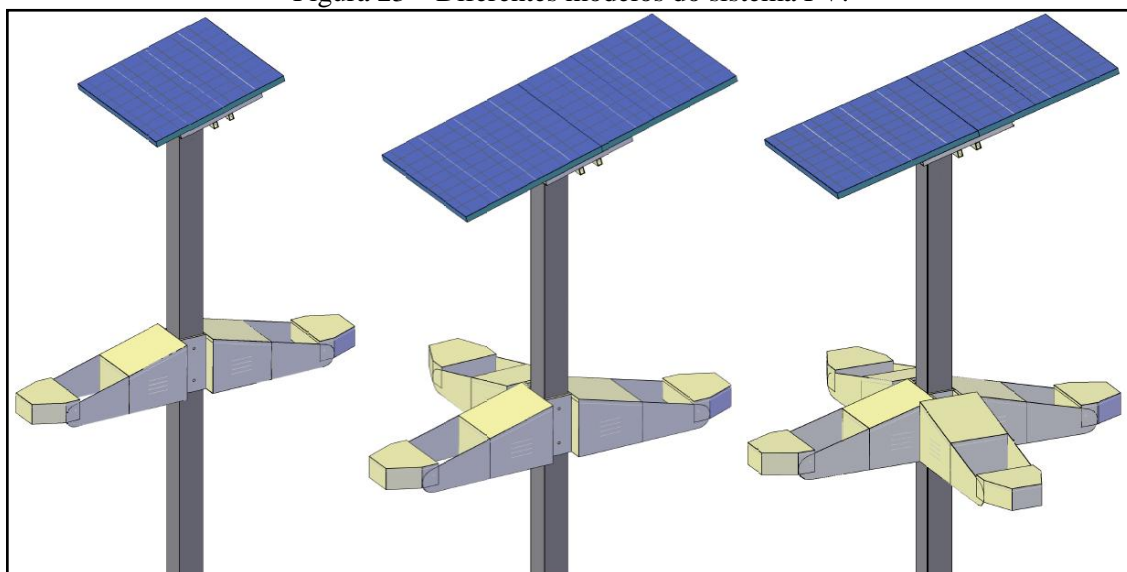
Figura 22 – Desenho do sistema FV autônomo.



Fonte: Autoria própria.

Outros desenhos do mesmo sistema foram desenvolvidos, mostrados na figura 23, sendo estes mais complexos, ou seja, com diferentes números de luminárias, também denominadas pétalas. Para estes modelos, o painel solar deverá ser dimensionado de acordo com o número de pétalas, de modo que, quanto maior esse número, maior será a carga a ser abastecida, e conseqüentemente, maior deverá ser a potência do painel fotovoltaico. As vantagens dos modelos com mais de uma pétala está na redução de custos do sistema, já que, uma única unidade de alguns componentes é suficiente para várias pétalas, como, por exemplo, o poste e o suporte do painel, sem a necessidade de haver um componente para cada pétala.

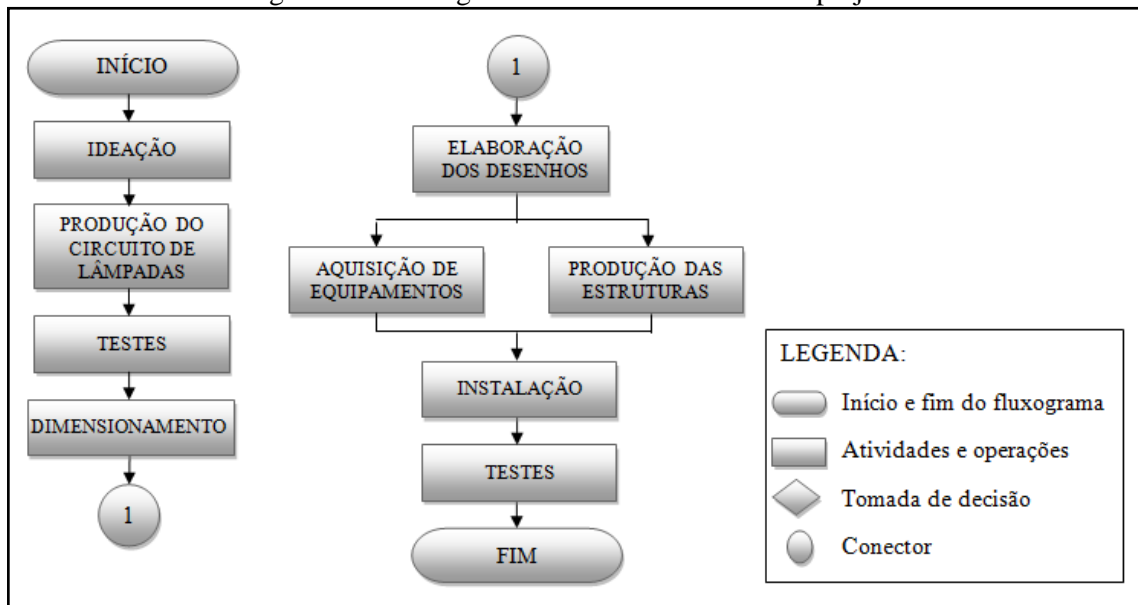
Figura 23 – Diferentes modelos do sistema FV.



Fonte: Autoria própria.

Após a elaboração dos desenhos e suas especificações, foi estudada a viabilidade financeira do produto para, então, ser confeccionado no caso de ser viável. Simultaneamente à aquisição dos equipamentos, as estruturas foram construídas, para o modelo de uma pétala, com chapa de ferro galvanizado, número 18, tubos de metalon galvanizado 30 mm por 20 mm e tubo de metalon preto 100 mm por 100 mm. A galvanização nada mais é do que a imersão da chapa em um banho contendo zinco fundido, com o objetivo de garantir maior resistência do material à corrosão (BREPOHL, 2013). Além da galvanização, as estruturas receberam pintura eletrostática a pó, o que não precisa de solventes químicos, garantindo o aumento da durabilidade do material à intempéries e a mitigação do impacto ambiental que os solventes químicos proporcionam. Com todos os elementos recebidos foi realizada a instalação do sistema para iniciar seu funcionamento, e, em seguida, os testes foram realizados, para o controle da produção de energia. A seguir, na figura 24, encontra-se o fluxograma do processo de desenvolvimento deste projeto, desde a concepção da idéia até os testes realizados no sistema já implantado.

Figura 24 – Fluxograma de desenvolvimento do projeto.



Fonte: Autoria própria.

O protótipo do sistema encontra-se implantando no Campus Universitário de Abaetetuba, da Universidade Federal do Pará, estando em pleno funcionamento desde novembro de 2014. A figura 25 apresenta o protótipo, operando durante o dia (produção de eletricidade) e durante a noite (iluminação pública).

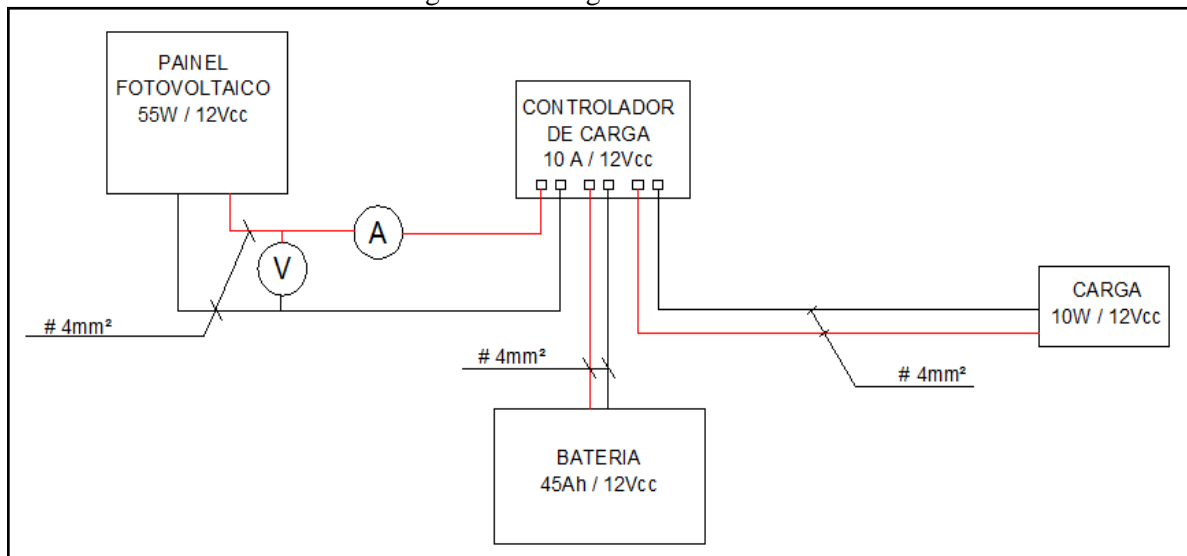
Figura 25 – Funcionamento do sistema em diferentes horas do dia.



Fonte: Autoria própria.

O projeto elétrico do sistema pode ser representado pelo diagrama da figura 26, o qual apresenta a configuração elétrica do sistema: todas as ligações existentes, a relação entre os componentes, o diâmetro dos cabos elétricos utilizados e as características elétricas de cada componente. Vale ressaltar que foram utilizados cabos de 4 mm², valor sugerido pelo fabricante do controlador de carga.

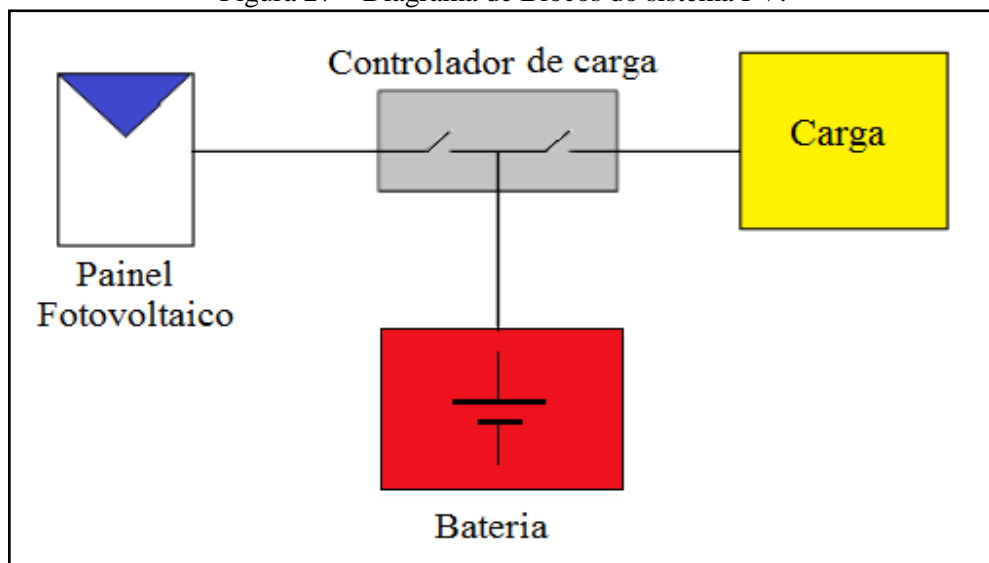
Figura 26 – Diagrama do sistema.



Fonte: Autoria própria.

Outra representação do sistema FV é através do diagrama de blocos, apresentado na figura 27, o qual determina todos os componentes do sistema representados pelos desenhos simbólicos referentes a cada equipamento.

Figura 27 – Diagrama de Blocos do sistema FV.



Fonte: Autoria própria.

2.4 PROCESSO DE FABRICAÇÃO INDUSTRIAL DO SISTEMA

A fabricação industrial do sistema se resume na produção das estruturas apresentadas na seção anterior, tendo em vista que os outros componentes são adquiridos de mercado. Portanto, a abordagem será transcorrida sobre o processo produtivo destas estruturas, ocorrido em indústria metalúrgica. Cada estrutura tem seu processo produtivo específico, adequado à

sua finalidade, o que implica em três fluxos de processos, que apesar de serem distintos, apresentam etapas semelhantes.

O processo produtivo de construção da luminária, estrutura que comporta a bateria, controlador de carga e lâmpadas é apresentado no fluxograma de processos da figura 28, e constitui-se de 15 etapas, as quais estão descritas a seguir:

1. RECEBIMENTO: receber a chapa de ferro galvanizado número 18, que consiste na matéria prima da luminária;
2. CORTE: desenvolver os cortes gerais das chapas, efetuados de acordo com as medidas de cada face projetada, utilizando a Guilhotina de 2 metros;
3. CONFORMAÇÃO DAS CHAPAS: realizar o corte dos cantos, através de Prensa Excêntrica de 15 toneladas;
4. VENEZIANAS: incluir orifícios (venezianas) na luminária, com a utilização de Prensa Excêntrica de 25 toneladas, a fim de garantir a circulação de ar no interior da luminária, evitando o superaquecimento dos equipamentos;
5. DOBRAR CHAPAS: criar os cantos e posicionar as faces da estrutura, utilizando a Viradeira manual, iniciando a estruturação da luminária;
6. ESTRUTURAR PEÇA: fechar as chapas para estruturar a peça, ou seja, unir as extremidades, utilizando a Pontadeira 220 V, deixando a peça de acordo com o arranjo físico projetado;
7. FURAÇÃO: criar orifícios necessários para a passagem de fios, parafusos, entre outros, específicos no projeto, utilizando a Furadeira;
8. SOLDAGEM: inserção de solda, com a máquina Solda MIG de 250 A, para melhor fechamento das extremidades e fixação de elementos;
9. ACABAMENTO: retirar a rugosidade da chapa, utilizando Esmerilhadeira 6", a fim de melhorar a estética da luminária;
10. CONFORME ESPECIFICAÇÕES?: tomada de decisão, a qual define a continuidade do processo ou o retorno às atividades anteriores. Os padrões de qualidade utilizados para tal decisão são as especificações do projeto do produto, isto é, caso o produto esteja de acordo com o projeto, a próxima etapa será a fosfatização, caso contrário, o produto retorna às etapas anteriores;
11. RETORNO ÀS ETAPAS ANTERIORES: o produto retorna para a etapa que possa garantir a melhoria de sua qualidade;
12. FOSFATIZAÇÃO: preparar a estrutura para receber a pintura eletrostática, através de um tratamento da superfície em que a estrutura é mergulhada em uma solução de fosfato e água,

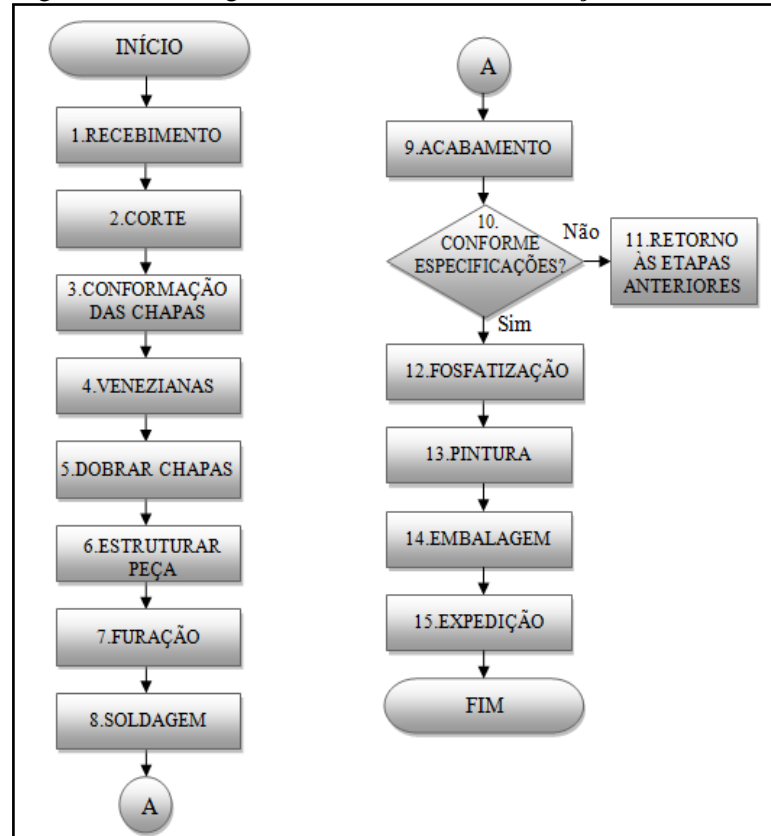
para eliminar todo material oleoso da chapa e proporcionar uma camada de proteção, a fim de aumentar a aderência da tinta em pó utilizada na próxima etapa;

13. PINTURA: pintura eletrostática a pó, cuja função é revestir a chapa com polímero term endurecível, a uma temperatura de 220 °C em estufa;

14. EMBALAGEM: proteger o produto durante a movimentação, estocagem e transporte;

15. EXPEDIÇÃO: transportar a luminária até o local de instalação.

Figura 28 – Fluxograma do Processo de Fabricação da luminária.



Fonte: Autoria própria.

O processo de fabricação do suporte do painel, apresentado no fluxograma de processos da figura 29, é semelhante ao processo anterior, porém algumas etapas não são realizadas, por isso é constituído por 11 etapas, conceituadas a seguir:

1. RECEBIMENTO: receber a matéria prima do suporte, que consiste em tubos de metalon nas dimensões 30 mm por 20 mm;

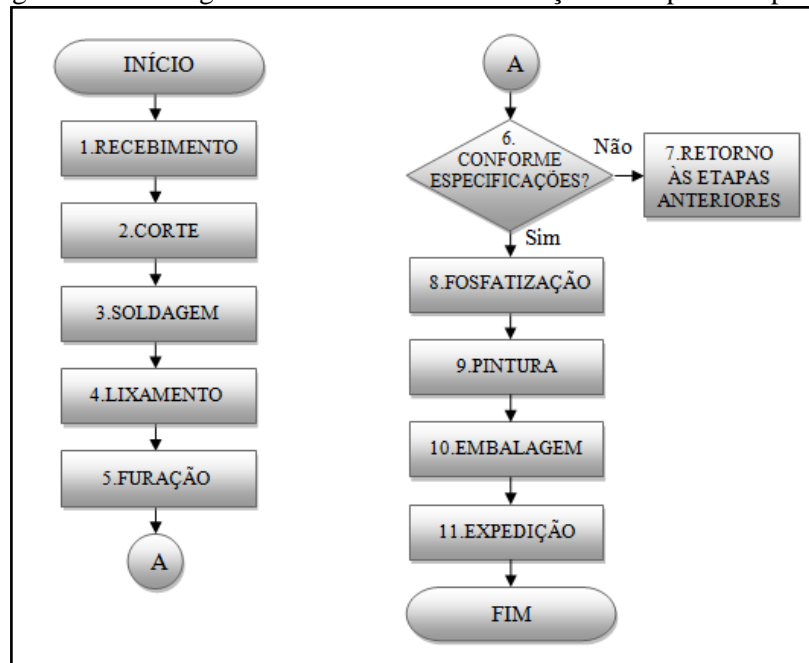
2. CORTE: cortar o metalon, utilizando a ferramenta Poli corte, nos comprimentos adequados, de acordo com o tamanho do painel solar;

3. SOLDAGEM: inserção de solda, com a máquina Solda MIG de 250 A, para fixar os tubos, unas aos outros, estruturando o suporte do painel;

4. LIXAMENTO: lixar a peça com a ferramenta Lixadeira, para reduzir a rugosidade da mesma, melhorando sua estética;

5. FURAÇÃO: criar orifícios necessários, através da Furadeira profissional 3/8” e 1/2”, para a passagem dos parafusos;
6. CONFORME ESPECIFICAÇÕES?: tomada de decisão semelhante ao processo produtivo da luminária;
7. RETORNO ÀS ETAPAS ANTERIORES: o produto retorna para a etapa que possa garantir a melhoria de sua qualidade;
8. FOSFATIZAÇÃO: mesmo tratamento de superfície descrito na produção da luminária;
9. PINTURA: ocorre da mesma maneira descrita no processo produtivo da luminária;
10. EMBALAGEM: proteger o produto durante a movimentação, estocagem e transporte;
11. EXPEDIÇÃO: transportar o suporte até o local de instalação.

Figura 29 – Fluxograma do Processo de Fabricação do Suporte do painel.



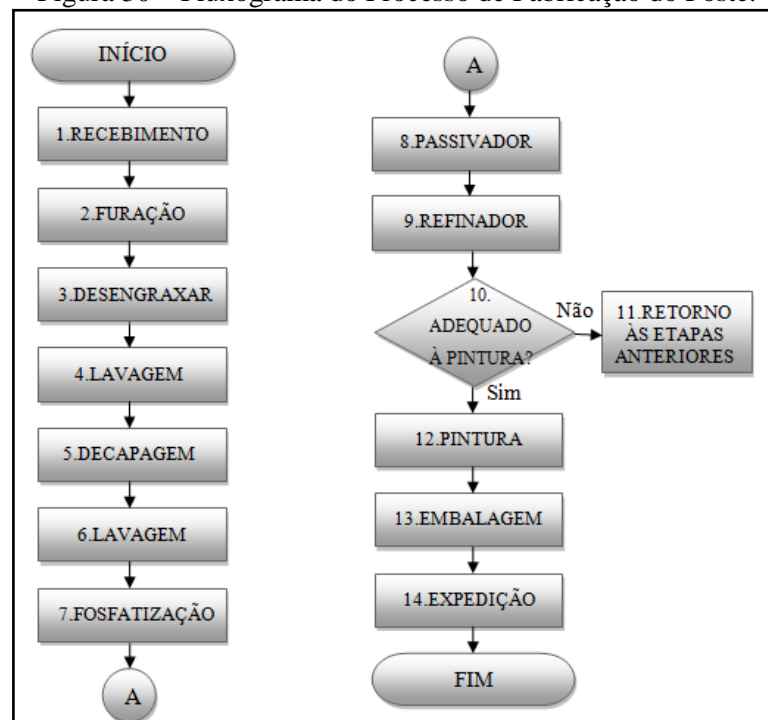
Fonte: Autoria própria.

O poste apresenta um processo produtivo um pouco diferenciado, com destaque para as etapas de tratamento da superfície, as quais se apresentam em maior número, pelo fato do tubo de metalon (matéria prima) não ser galvanizado. Dessa forma, esse tratamento procura dar mais resistência ao tubo, objetivando fazer o papel da galvanização. Este processo é abordado no fluxograma de processos da figura 30, sendo constituído por 14 etapas, detalhadas abaixo:

1. RECEBIMENTO: receber o tubo de metalon preto, nas medidas de 100 mm por 100 mm, que consiste na matéria prima do poste;
2. FURAÇÃO: criar orifícios necessários para a passagem de fios, parafusos, entre outros, específicos no projeto, utilizando a Furadeira profissional;

3. DESENGRAXAR: etapa que inicia o tratamento da superfície, na qual é utilizado um desengraxante, responsável pela eliminação de óleo existente na peça;
4. LAVAGEM: lavar a peça com água em alta pressão;
5. DECAPAGEM: eliminar a tinta da peça, proveniente de fábrica, utilizando solda cáustica;
6. LAVAGEM: lavar a peça com água em alta pressão;
7. FOSFATIZAÇÃO: eliminar o óleo residual na peça e criar uma camada de proteção;
8. PASSIVADOR: otimizar a camada de fosfato;
9. REFINADOR: preparar a superfície para a pintura, retirando todas as impurezas ainda existentes na peça;
10. ADEQUADO À PINTURA?: tomada de decisão, na qual a superfície do poste é analisada para verificar sua adequação à pintura eletrostática a pó. Caso esteja adequada, a peça segue para a pintura, caso contrário, a mesma retorna para etapas anteriores. Vale completar que os padrões de adequação da peça não foram disponibilizados pela empresa;
11. RETORNO ÀS ETAPAS ANTERIORES: o produto retorna para a etapa que possa garantir a melhoria de sua qualidade;
12. PINTURA: pintura eletrostática a pó, cuja função é revestir a chapa com polímero termoendurecível, a uma temperatura de 220 °C em estufa;
13. EMBALAGEM: proteger o produto durante a movimentação, estocagem e transporte;
14. EXPEDIÇÃO: transportar o poste até o local de instalação.

Figura 30 – Fluxograma do Processo de Fabricação do Poste.



Fonte: Autoria Própria.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 FUNCIONAMENTO DAS LÂMPADAS

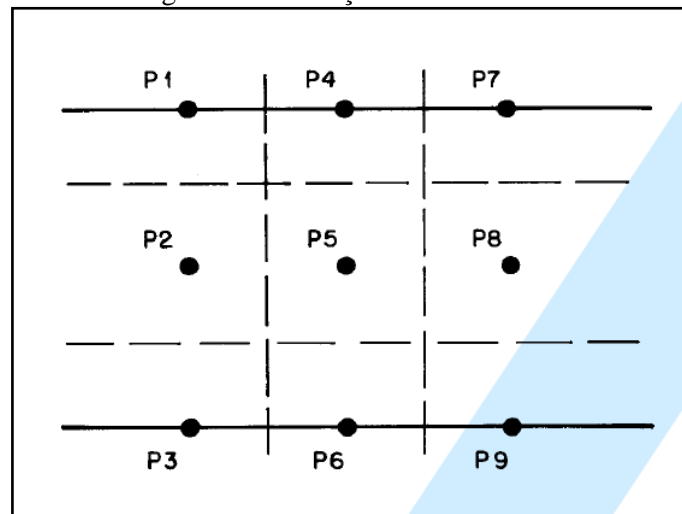
Quando se trata de Iluminação Pública, existem vários critérios que definem se a iluminação está adequada para o fim desejado. No Brasil, tais critérios foram normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 5101 (“Iluminação Pública”), a qual fixa requisitos, considerados como mínimos necessários à iluminação de vias públicas, os quais são destinados a propiciar algum nível de segurança aos tráfegos de pedestres e veículos (ABNT, 1992). Os requisitos de iluminação dependem do tipo de via pública, o que totaliza em onze, de acordo com a norma: vias arteriais, coletoras, especiais, irregulares, de ligação, locais, normais, principais, rurais, secundárias e urbanas. Para este trabalho, foi considerado o tipo “vias especiais”, o qual é definido como acesso e/ou via exclusiva de pedestres a jardins, praças, calçadões, etc. Essa consideração se deu por dois motivos: primeiramente, o sistema fotovoltaico desenvolvido é aplicável a estas vias, como, por exemplo, praças, devido ao fluxo luminoso das lâmpadas escolhidas; em segundo lugar, o local onde o protótipo foi instalado se enquadra nesse tipo de via.

Para as vias especiais, são fixadas condições específicas de iluminância e fator de uniformidade da iluminância. A primeira trata-se do fluxo luminoso incidente por unidade de área iluminada, medida em lux, enquanto que a segunda é a razão entre a iluminância mínima ($E_{\text{mín}}$) e a iluminância média ($E_{\text{méd}}$) em um plano especificado, dado pela equação 11.

$$U = \frac{E_{\text{mín}}}{E_{\text{méd}}} \quad (11)$$

As especificações para vias especiais são: iluminância média mínima ($E_{\text{méd.mín.}}$) de 10 lux e fator de uniformidade mínimo ($U_{\text{mín.}}$) de 0,2. A partir destes conhecimentos, foram realizadas as medições correspondentes das lâmpadas de LED utilizadas no protótipo, para confirmar se as características das mesmas se enquadram nas especificações normatizadas. De acordo com a NBR 5101, para o cálculo da iluminância média, deve-se delimitar a área iluminada pelas lâmpadas e dividi-la em subáreas, nas quais será realizada a medição de iluminância. A figura 31 mostra a divisão da área e os pontos de medição.

Figura 31 – Medição de iluminância.



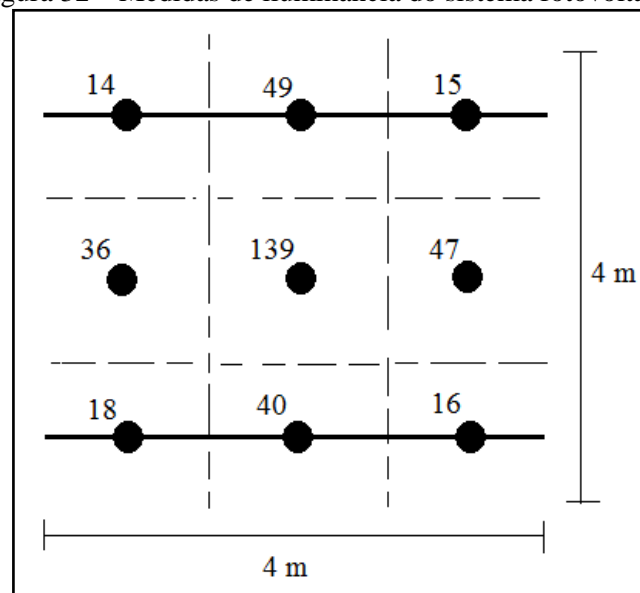
Fonte: ABNT, 1992.

Com base nisso, a iluminância média é calculada seguindo a equação 12:

$$E_{\text{méd.}} = \frac{P1 + P3 + P7 + P9}{16} + \frac{P2 + P4 + P6 + P8}{8} + \frac{P5}{4} \quad (12)$$

Assim, para a determinação das grandezas exigidas pela norma, foi delimitada uma área de iluminação das lâmpadas LED de 16 metros quadrados, e obtidas as medidas de iluminância apresentadas na figura 32, com a utilização do luxímetro digital (Digital Lux Meter), da marca Minipa.

Figura 32 – Medidas de iluminância do sistema fotovoltaico.



Fonte: Autoria própria.

Seguindo a equação 12, chega-se ao valor da iluminância média das lâmpadas:

$$E_{\text{méd.}} = \frac{14 + 18 + 15 + 16}{16} + \frac{36 + 49 + 40 + 47}{8} + \frac{139}{4} = 60,1875 \text{ lux}$$

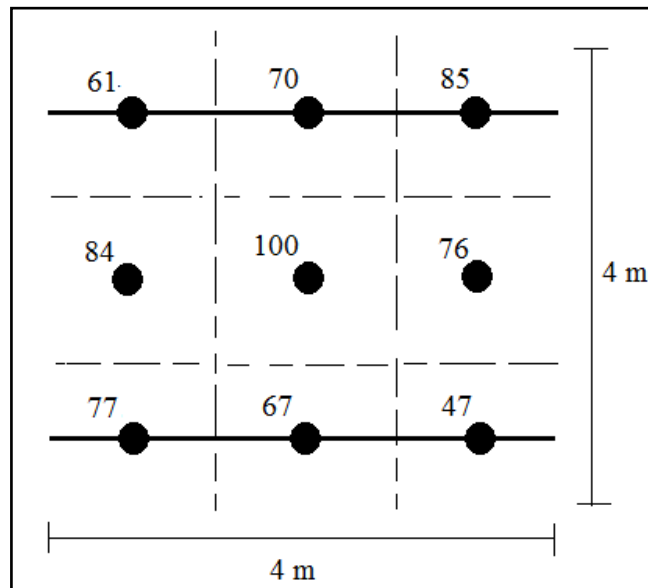
Sabendo-se que a iluminância mínima medida foi de 14 lux e a média encontrada foi de 60,1875 lux, calcula-se o fator de uniformidade através da equação (11):

$$U = \frac{14}{60,1875} = 0,2326$$

Portanto, observa-se que tanto a iluminância quanto o fator de uniformidade das lâmpadas de LED utilizadas no protótipo satisfazem as condições exigidas na NBR 5101, para vias especiais, já que os valores obtidos são maiores do que o limite mínimo especificado. Pode ser observado que o valor da iluminância encontrada está bem acima do valor exigido, porém o fator de uniformidade, mesmo estando dentro do padrão exigido, está bem próximo do limite mínimo, significando que as lâmpadas têm um foco mais fechado, o que justifica a grande diferença nos valores medidos.

O mesmo procedimento de medições realizado com o sistema fotovoltaico foi também desenvolvido com um sistema convencional, cuja potência da lâmpada é de 70 W, para efeito de comparação, delimitando uma área de 16 metros quadrados, e as medidas encontradas estão na figura 33.

Figura 33 – Medidas de iluminância de um sistema convencional.



Fonte: Autoria própria.

Utilizando a equação 12 novamente, tem-se o valor da iluminância média do sistema:

$$E_{\text{méd.}} = \frac{61 + 77 + 85 + 47}{16} + \frac{84 + 70 + 67 + 76}{8} + \frac{100}{4} = 79 \text{ lux}$$

E com a equação 11, obtém-se o fator de uniformidade:

$$U = \frac{47}{79} = 0,5949$$

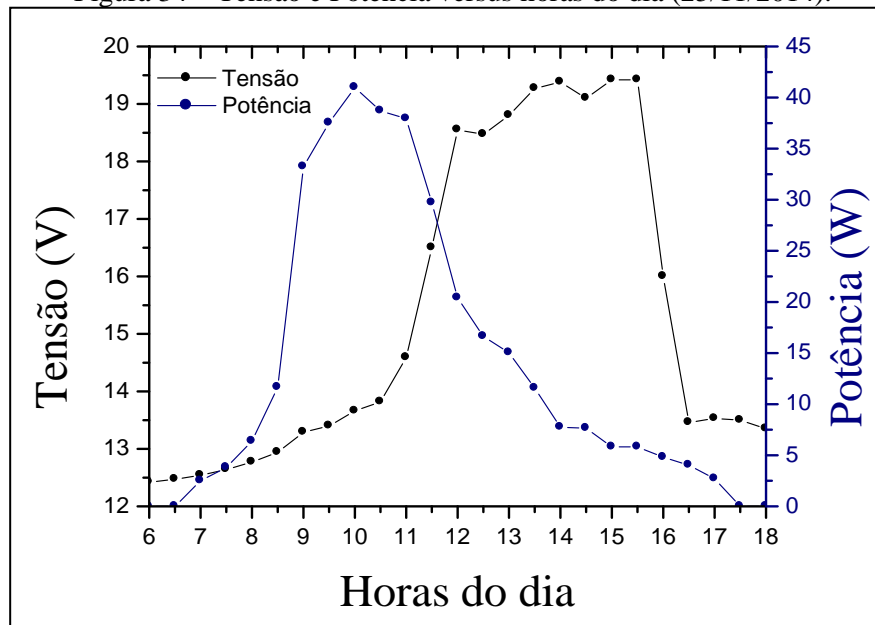
Logo, comparando os valores do sistema fotovoltaico e do convencional, conclui-se que nos valores de iluminância houve um aumento de 31,25%, já o fator de uniformidade do segundo é nitidamente maior, o que significa que a luminosidade da lâmpada convencional atinge vários pontos com intensidades uniformes, comparada às lâmpadas de LED.

3.2 POTÊNCIA DEMANDADA

As medições de grandezas relacionadas ao painel FV, com o sistema em pleno funcionamento, garantem o controle da geração de energia elétrica, através de dados, como tensão e corrente elétrica, que carregam a bateria, medidos no decorrer do dia, do nascer ao pôr do sol. Por isso, foram realizadas essas medições durante um dia do mês de novembro (25/11/2014) e de dezembro (17/12/2014), para caracterizar o funcionamento do painel em cada mês. As medidas foram realizadas com a utilização de dois equipamentos: Multímetro da marca ICEL Manaus (modelo MD-6111) e Alicata amperímetro da marca Fluke (tipo 336), os quais mediram tensão e corrente, respectivamente; já a potência demandada foi calculada através da equação (2). Os horários do nascer e pôr do sol variam de um dia para o outro, por isso foi utilizado o intervalo que pudesse garantir maior precisão, de 6h as 18h, para a realização das medições, sendo as mesmas obtidas em intervalos de meia hora. Com base nas medidas obtidas do dia 25 de novembro, foram desenvolvidos os gráficos apresentados nas figuras 34 e 35, os quais mostram o comportamento das grandezas no decorrer do dia.

A figura 34 apresenta o crescimento da tensão (curva em preto) até as 15h30min, cuja medida foi de 19,42 V, e posteriormente seu decréscimo; enquanto que a potência máxima (curva em azul) gerada pelo painel foi às 10 h, no valor de 40,98 W, ponto no qual a tensão (V_{MP}) foi de 13,66 V e a corrente (I_{MP}) foi de 3 A. Outra informação apresentada pelo gráfico, é que a tensão apresenta elevados valores no período de 12 h às 15h30min, horários em que o sol é mais intenso no local.

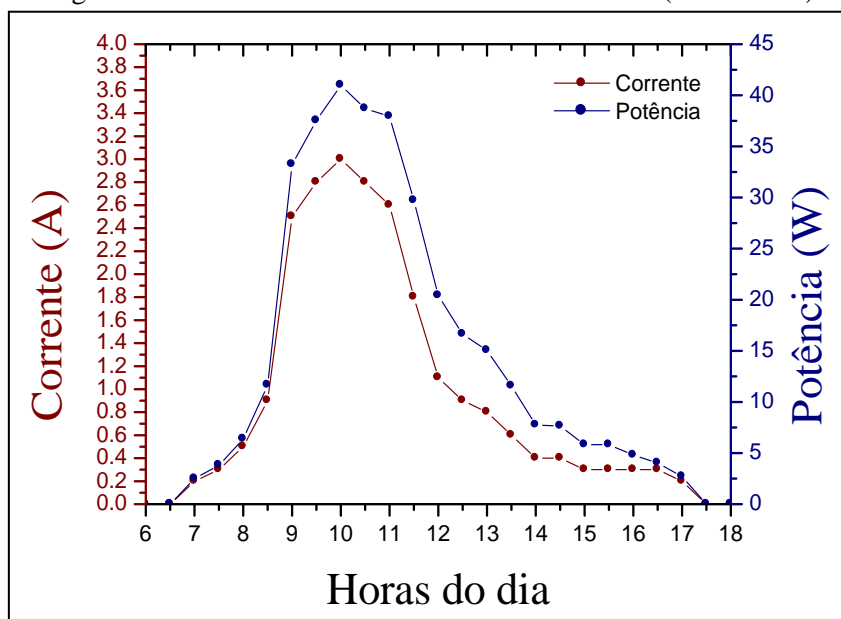
Figura 34 – Tensão e Potência versus horas do dia (25/11/2014).



Fonte: Autoria própria.

A figura 35, por sua vez, apresenta, além da potência, o comportamento da corrente (curva em vermelho) produzida pelo painel durante o dia, na qual se observa que a maior corrente é produzida no ponto de máxima potência, às 10h, ou seja, a máxima corrente elétrica é a própria corrente de máxima potência (I_{MP}). A medida da corrente de máxima potência confirma o valor dado pelo fabricante (3,08A).

Figura 35 – Corrente e Potência versus horas do dia (25/11/2014).

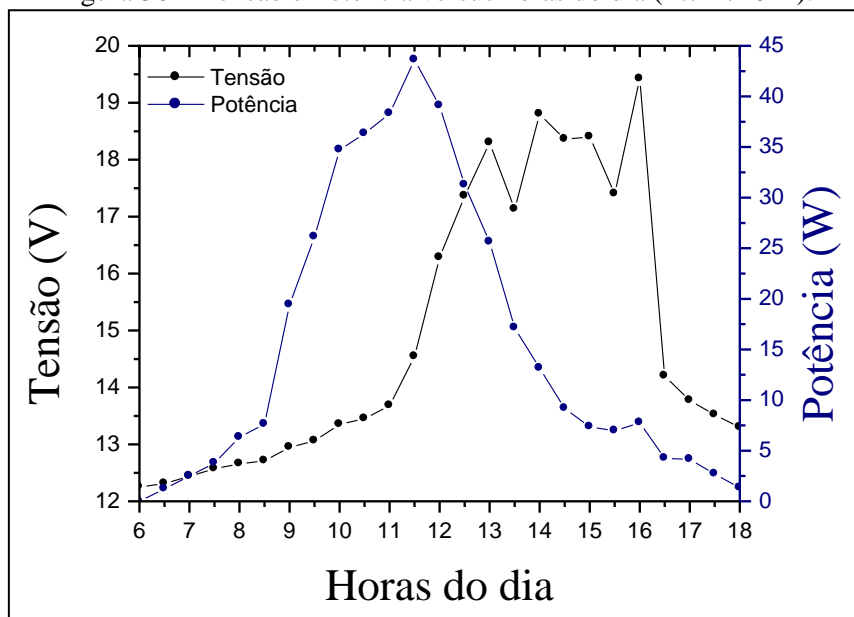


Fonte: Autoria própria.

Já as medições referentes ao mês de dezembro apresentaram outros resultados, como, por exemplo, a máxima potência elétrica produzida pelo painel foi de 43,62 W, o que ocorreu

no horário de 11h30min, ou seja, 1h30min mais tarde do que o mês anterior. Essa mudança de horário no pico de potência é justificada pela mudança no posicionamento do sol, devido ao movimento de translação da Terra, o que influencia no horário de potência máxima devido ao painel estar em uma posição fixa. No ponto de potência máxima, a tensão correspondente foi de 14,54 V. Vale ressaltar que a tensão elétrica produzida pelo painel fotovoltaico cresceu constantemente até as 13 h, a partir daí apresentou certa intermitência até às 16 h, e desde então começou a cair. A figura 36 ilustra o comportamento da tensão (curva em preto) e da potência (curva em azul) produzidas pelo painel no mês de dezembro.

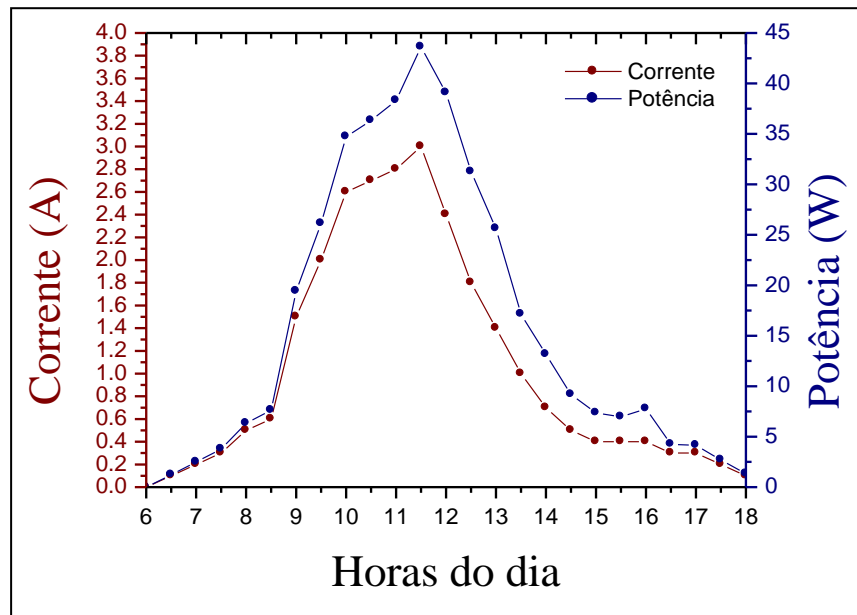
Figura 36 – Tensão e Potência versus horas do dia (17/12/2014).



Fonte: Autoria própria.

A corrente elétrica (curva em vermelho) produzida pelo painel apresentou o valor máximo de 3 A, o que ocorreu exatamente no ponto de máxima potência, o que significa que a corrente de máxima potência (I_{MP}) foi de 3 A. A figura 37 detalha o comportamento da corrente elétrica produzida no período de 6 às 18 h, no mês de dezembro, o que aborda o crescimento constante da grandeza até o seu pico, às 11h30min, e seu posterior decréscimo.

Figura 37 – Corrente e Potência versus horas do dia (17/12/2014).



Fonte: Autoria própria.

Com esses dados, infere-se que a potência máxima gerada pelo painel nos meses de novembro e dezembro corresponde à aproximadamente 75% e 80%, respectivamente, da potência de pico especificada pelo fabricante do painel (55 W). Assim, o equipamento escolhido é suficiente para suprir a demanda energética do sistema; além de que a não utilização de sua capacidade máxima contribui com sua vida útil, já que seu potencial não é explorado por completo, e ainda é capaz de abastecer mais cargas, caso necessário.

3.3 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO INTERIOR DA LUMINÁRIA

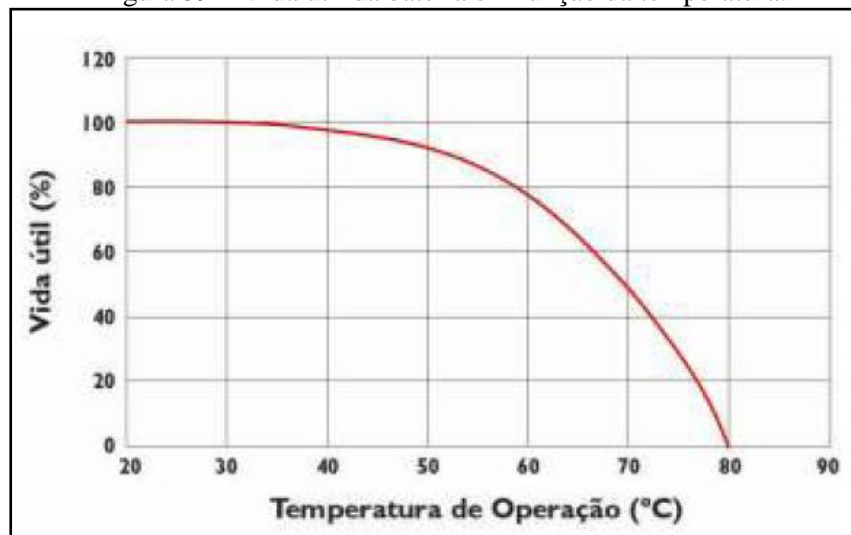
Alguns equipamentos podem ter suas características influenciadas pela temperatura. É o caso da bateria e do controlador de carga, que se encontram instalados dentro da luminária. Dessa forma, para determinar o quanto a temperatura no interior da luminária influenciará no funcionamento dos equipamentos, foram realizadas medições desta grandeza. Para a bateria escolhida, a profundidade de descarga e a temperatura influenciam em sua vida útil; logo, para a determinação desta, é necessário analisar algumas relações dadas pelo fabricante, apresentadas nas figuras 38 e 39, respectivamente.

Figura 38 – Ciclos da bateria em função da Profundidade de Descarga.



Fonte: Tudor, 2014.

Figura 39 – Vida útil da bateria em função da temperatura.



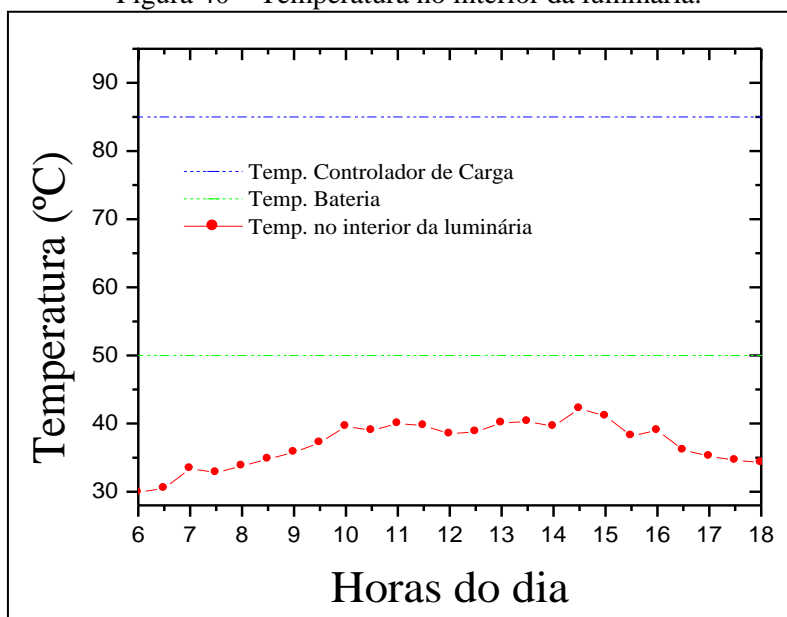
Fonte: Tudor, 2014.

Neste caso, é de suma importância fazer algumas análises para definir a vida útil da bateria, de acordo com as características do sistema: foi escolhida uma profundidade de descarga de 25% ao dia, sendo que a profundidade máxima é de 50%, já que garante dois dias de autonomia. Sendo assim, pode-se analisar que no pior caso, a bateria irá ser recarregada a cada dois dias, ou seja, seu ciclo ocorrerá a cada dois dias (com profundidade de 50%), como se a presença do sol ocorresse de forma alternada, então, de acordo com a figura 38, essa bateria apresenta 550 ciclos, aproximadamente, que correspondem a 3 anos de vida útil. No melhor caso, todos os dias o sol estaria presente, permitindo que a bateria fosse recarregada todos os dias, onde seu ciclo seria de um dia, e sua profundidade de descarga de 25%. Com essas condições, a figura 38 mostra que a bateria apresenta 1550 ciclos, que equivale a 4,24 anos de vida útil. Para uma melhor precisão da vida útil da bateria, optou-se por definir a

média entre os dois casos, a qual é de 3,6 anos, aproximadamente. Após a análise de profundidade de descarga deve ser realizada a análise de temperatura, de acordo com as medições de temperatura e a relação apresentada na figura 39. De acordo com as medições realizadas, a temperatura no interior da estrutura da luminária está entre 40 e 50 °C, o que significa que o valor de 3,6 anos de vida útil da bateria sofre redução máxima de 10%, de acordo com o gráfico da figura 39. Dessa forma, a vida útil da bateria para essa utilização com as características apresentadas é de 3,24 anos.

A temperatura em questão é resultante de uma medição realizada com Termômetro microprocessado MT-525, da marca Minipa, com precisão de 0,1%. Tal medição ocorreu durante um intervalo de tempo de 6 h as 18 h, período este em que a temperatura é mais elevada, comparado ao restante do dia, resultando no gráfico da figura 40, o qual apresenta também as temperaturas máximas de operação do controlador de carga e da bateria.

Figura 40 – Temperatura no interior da luminária.



Fonte: Autoria própria.

A temperatura máxima de operação do controlador de carga foi fornecida pelo fabricante, no valor de 85 °C. Enquanto que a temperatura máxima da bateria foi definida em 50 °C para manter-se um limite máximo de redução de sua vida útil em 10%, para assim firmar que a vida útil da bateria é de no mínimo 3,24 anos. Assim, de acordo com o gráfico, a temperatura no interior da luminária não interfere no funcionamento dos componentes, já que está abaixo dos limites máximos estabelecidos, interfere em pequeno grau, na durabilidade da bateria.

3.4 CUSTO DE FABRICAÇÃO DO SISTEMA

A Contabilidade de Custos surgiu da necessidade de se conhecerem os custos dos produtos para avaliar estoques e apurar o resultado das indústrias, tornando-se este o objetivo principal da Contabilidade de Custos (CREPALDI, 2004). Porém, para este trabalho, o objetivo da contabilidade de custos consiste apenas na determinação do valor desembolsado para a construção do protótipo do sistema fotovoltaico autônomo, aqui abordado. De acordo com Martins (2006), desembolso é o pagamento da compra de bens e serviços, também denominado de saída financeira.

O sistema fotovoltaico apresentado neste trabalho apresenta custos decorrentes dos equipamentos que o compõem e sua instalação, sem custos do consumo de energia propriamente dito, já que a energia provém diretamente do sol. Dessa forma, para determinar o custo total do protótipo construído, foram somados os preços de todos os equipamentos adquiridos, bem como o preço da instalação do poste. Ou seja, foi utilizado um princípio de contabilidade denominado “Registro pelo valor original”, que, de acordo com Crepaldi (2004) significa que os ativos são registrados pelo valor de entrada (valor da nota fiscal). Tais preços estão sendo apresentados na tabela 6. Vale destacar que os valores apresentados na tabela são os preços de aquisição dos componentes, isto é, valores para o cliente final, nos quais já estão inclusos todas as taxas e impostos referentes aos mesmos, inclusive fretes. Em outras palavras, nestes valores estão inclusos todos os gastos correspondentes ao produto, sendo eles custos propriamente ditos, diretos e indiretos, e despesas, como, por exemplo, impostos.

Tabela 6 – Custo do protótipo do Sistema Fotovoltaico.

Custo dos componentes do Sistema Fotovoltaico	
COMPONENTES	PREÇO (R\$)
Painel-55Wp	449,37
Bateria-45Ah	270,00
Controlador de Carga	655,00
Circuito com 2 Lâmpadas	62,00
Estrutura (luminária com poste e suporte do painel)	700,00
Instalação	65,00
Cabos e terminais	50,00
TOTAL	2.251,37

Fonte: Autoria própria.

Assim, o protótipo do sistema fotovoltaico desenvolvido neste trabalho apresentou um custo de fabricação de R\$ 2.251,37, considerando todos os custos e despesas envolvidos. Tal valor representa o desembolso para a construção do protótipo.

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Tendo em vista a melhoria da segurança pública, a garantia de iluminação pública às comunidades isoladas, a diminuição do consumo de combustíveis fósseis para produção de energia elétrica e, conseqüentemente, a mitigação dos impactos socioambientais causados por estas, foi desenvolvido um protótipo que consiste em um sistema fotovoltaico autônomo voltado para Iluminação Pública baseada em LED, a qual aproveita a luz solar para obter a energia elétrica que abastecerá as lâmpadas durante a noite. O sistema passou por várias etapas, para concretizar sua implantação. Inicialmente, seus componentes foram dimensionados, de acordo com a carga desejada, e, então, o desenho da estrutura que suportaria esses componentes foi elaborado em programa computacional específico, e, posteriormente, foi fabricado e instalado, estando, hoje, em pleno funcionamento. E para monitorar seu funcionamento e ratificar o bom desempenho dos equipamentos, foram realizadas as medições necessárias no mesmo. Uma delas consistiu na medição do desempenho das lâmpadas, que totalizam 10 W, para a análise de sua adequação à Norma Brasileira de Iluminação Pública (NBR 5101). Nesta, as lâmpadas apresentaram iluminância média de 60,18 lux e fator de uniformidade da iluminância de 0,2326, dados estes que confirmam sua adequação à norma estabelecida.

Além disso, a produção de energia elétrica apresentou resultados satisfatórios: a potência elétrica produzida pelo painel fotovoltaico apresentou valores máximos de potência de 40,98 W e 43,62 W, nos dois meses de medições realizadas. Por conseguinte, o painel atingiu sua potência máxima às 10 h e 11h30min, nos meses de novembro e dezembro, respectivamente, o que mostra a dependência da produção de energia elétrica em relação ao movimento de translação da Terra. Também a corrente elétrica medida esteve de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante, com máxima de 3 A, que consistiu com a corrente de máxima potência. A tensão de máxima potência, apresentada nos dois meses de medição, foi de 13,66 V e 14,54 V, respectivamente. Todos estes dados remetem à conclusão de que o painel fotovoltaico está com um desempenho satisfatório, pois garante a energia necessária para a demanda requerida, que inclui dois dias de autonomia, isto é, caso não haja iluminação solar em um dia, a bateria é capaz de manter as lâmpadas acessas por duas noites.

Além disso, medições de temperatura no interior da luminária foram realizadas no período de 6 h as 18 h, para analisar se esta grandeza influenciaria no funcionamento dos equipamentos. Foi concluído, então, com os dados obtidos, que a temperatura não compromete o funcionamento dos mesmos, já que está abaixo da temperatura máxima de

operação deles. Porém, a grandeza medida influencia na vida útil da bateria, apresentando uma redução máxima de 10%, valor este correspondente a cerca de 4 meses a menos na durabilidade da bateria, no entanto a mesma continua com mais de 3 anos de vida útil, o que ainda é considerado satisfatório.

Vale ressaltar também que a fabricação do protótipo do sistema fotovoltaico autônomo apresentou um custo total de R\$ 2.251,37, referente à aquisição de todos os equipamentos necessários e sua instalação, sendo que neste valor estão inclusos todos os gastos referentes ao protótipo, incluindo taxas, impostos, fretes, entre outros.

Apesar da aprovação do produto, em relação aos itens abordados acima, a tendência é que novas melhorias sejam incluídas no seu arranjo físico, com objetivo de adequar o produto às condições de cada área a ser instalado. Para patentear o produto desenvolvido foram realizadas algumas inovações no design do protótipo instalado, visando a melhoria e facilidade de manutenção do sistema (Vide pedido de patente no Anexo A).

Por fim, o Sistema Fotovoltaico autônomo desenvolvido neste trabalho apresenta potencial aplicabilidade, dando oportunidade para o seu aperfeiçoamento em futuros trabalhos, objetivando garantir uma iluminação de vias externas de maneira mais eficiente e sustentável.

Com base neste trabalho, outros podem ser desenvolvidos: com base na medição de grandezas do sistema funcionando à noite, tal como a descarga da bateria; ou com base na simulação de dois dias chuvosos para verificar o desempenho da bateria; ou realizando a instalação de um analisador de energia para observar as grandezas elétricas por um período de tempo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília: ANEEL, 2002. Disponível em:

<www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2013.

ALMEIDA, F. S. de; FERREIRA, T. da S. Estudo sobre a produção, utilização e uso dos painéis solares como fonte de energia renovável. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, n. 1, p. 257-261, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. 2012.

Disponível em: <www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em: 10 set. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101: Iluminação Pública**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: Energia Solar Fotovoltaica – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2006.

ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2000. 111 p.

BLUE SOL. **Os fotovoltaicos vieram para ficar**. 440. ed. 2009. p. 25-33. Disponível em: <www.andiv.com.br/.../rep.../ovidroplano_440_ago09-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em: 10 set. 2014.

BOYLESTAD, R. L.; NASHESKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. 8. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

BRAGA, R. P. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em:

<monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001103.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2014.

BREPOHL, D. C. de C. S. **Caracterização das camadas formadas no processo de galvanização à quente sobre uma chapa de aço livre de intersticiais**. Curitiba:

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013. Disponível em:

<repositorio.utfpr.edu.br/.../CT_PPGEM_M_Brepohl>. Acesso em: 12 nov. 2014.

BRILIA. Manual. Disponível em: <www.brilia.com>. Acesso em: 28 set. 2014.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. **O instalador**, 2006.

CARNEIRO, J. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. Azurém: Universidade do Minho, 2009. Disponível em: <repositorium.sdum.uminho.pt>. Acesso em: 02 out. 2014.

CARVALHO, P. C. M.; JUCÁ, S. C. S.; FREIRE, C. A. S. **Programa didático de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos autônomos**. Fortaleza: COBENGE, 2003.

Disponível em: <www.abenge.org.br/CobengeAnteriores/2003/artigos/EDS092.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2014.

CECHINEL, A.; YOSHIDA, D. I.; SÁ, J. D. **Estudo da viabilidade econômica da implantação de células fotovoltaicas para iluminação a LED da Estufa do Jardim Botânico de Curitiba**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. Disponível em: <nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/.../doc...2.../2012_2_07_monografia.pdf>. Acesso em: 4 abr. 2014.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica**. 2008. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/content.php?cid=321>>. Acesso em: 10 set. 2014.

COELCE. **Sistema individual de geração de energia elétrica com fonte intermitente – SIGFI**. 2014. Disponível em: <https://www.coelce.com.br/.../pe-020_2014_r00_cópia>. Acesso em: 02 out. 2014.

CREPALDI, S. A. **Curso Básico de Contabilidade de Custos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2004.

FERNANDES, D. Brasil é 10º maior consumidor mundial de energia elétrica. **BBC Brasil**, Brasília, 31 mar. 2012. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2012/03/120331_brasil_ranking_consumo_energia_df_rw.shtml>. Acesso em: 15 jul. 2014.

FERREIRA, B. M. G.; SÁ, R. P. R. **Aplicações não convencionais de Energia Solar Fotovoltaica**. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006. Disponível em: <paginas.fe.up.pt/~ee01075/RelatoriodeEstagio.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2014.

INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Mercado de Carbono**. 2013. Disponível em: <http://www.institutocarbonobrasil.org.br/#mercado_de_carbono>. Acesso em: 25 jul. 2014.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

MINHA CASA SOLAR. 2014. Disponível em: <minhacasasolar.lojavirtualfc.com.br>. Acesso em: 6 out. 2014.

MORNINGSTAR CORPORATION. **Regulador de Iluminação para Sistemas Fotovoltaicos: Manual do operador**. 2014. Disponível em: <www.morningstarcorp.com/wp.../02/SunLight-Manual-Portuguese.pdf>. Acesso em: 5 out. 2014.

NASCIMENTO, C. A. do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: <www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2014.

NIEDHARDT, J. T. **Novas perspectivas para a energia solar no Brasil**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2009. Disponível em: <www.solenerg.com.br/files/tccjosethomas.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2014.

NOGUEIRA, F. J.; CASAGRANDE, C. G.; RODRIGUES, C. R. B. S.; BRAGA, H. A. C. Aplicação dos diodos emissores de luz orientada a sistemas de iluminação pública. **CES Revista**, Juiz de Fora, v. 27, n. 1, p. 31-49, jan./dez. 2013.

OLIVEIRA, S. H. F. de. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos: Ênfase na Eletrificação de Residências de Baixo Consumo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1997. Disponível em: <lsf.iee.usp.br/lsf/pdf/mestrado/Mestrado_Sergio_Ferreira_Oliveira.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2014.

PEREIRA, A. C. **Geração de energia para condomínio utilizando sistema fotovoltaico autônomo – estudo de caso em edifício residencial com seis pavimentos**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg2/93.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2014.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RUTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1 ed. São José dos Campos: INPE, 2006. Disponível em: <http://www.ccst.inpe.br/wp-content/themes/ccst-2.0/pdf/atlas_solar-reduced.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/.../Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2014.

PROCEL RELUZ. Eletrobrás. **Iluminação Pública no Brasil**. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/main.asp?TeamID={EB94AEA0-B206-43DE-8FBE-6D70F3C44E57}>>. Acesso em: 29 ago. 2014.

PROCESSO DE ARTICULAÇÃO E DIÁLOGO. **Os impactos socioambientais de Belo Monte e a necessidade de um novo modelo de desenvolvimento**. 2011. Disponível em: <<http://pad.org.br/content/os-impactos-socioambientais-de-belo-monte-e-necessidade-de-um-novo-modelo-de-desenvolvimento>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

REIS, L. B. dos. **Geração de Energia Elétrica**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2011.

REIS, M. A. L. dos; ROMAN, L. S.; NERO, J. D. **Photosensitizing effect of methyl red dye in a doped organic photodetector**. *Chemical Sensors*, 2013.

RIBEIRO, F. de A. P. **Projeto de um sistema fotovoltaico para iluminação pública**. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2002.

SANTANA, R. M. B. **Iluminação Pública: uma abordagem gerencial**. Salvador: Universidade Salvador, 2010.

SCHUCH, L.; COSTA, M. A. D.; RECH, C.; MICHELS, L.; COSTA, G. C.; SANTOS, A. S. dos. Sistema Autônomo de Iluminação Pública de alta eficiência baseado em energia solar e LEDs. **Eletrôn. Potên.**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 17-27, 2011.




TIRADENTES, A. A. R. **Uso da Energia Solar para Geração de eletricidade e para aquecimento de água.** [Monografia]. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2007. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/MonografiaAtaloTiradentes.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2013.

TUDOR. **Catálogo técnico: Estacionária.** 2011. Disponível em: <tudor.com.br>. Acesso em: 6 out. 2014.

UNITRON ENGENHARIA, INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA. **Manual de instruções.** 2014. Disponível em: <unitron.com.br>. Acesso em: 5 out. 2014.

_____. **Resolução n.º 456 de 29 de novembro de 2000 da ANEEL.** Estabelece as disposições atualizadas e consolidadas, relativas às Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica, a serem observadas na prestação e utilização do serviço público de energia elétrica, tanto pelas concessionárias e permissionárias quanto pelos consumidores. Disponível em: <<http://www.aneel.org.br>>. Acesso em: 25 ago. 2014.


ANEXO A – Pedido de patente

 <p>UNIVERSITEC Agência de Inovação Tecnológica de UFPA</p>	 <p>Universidade Federal do Pará – UFPA. Agência de Inovação Tecnológica – UNIVERSITEC. Coordenadoria de Propriedade Intelectual – CPINT/EDA.</p>	 <p>SPI ÁREA DE PROPRIEDADE INTELECTUAL</p>
---	--	---

DECLARAÇÃO

Declaramos para os devidos fins, que a Sr^a MAYARA PEREIRA RODRIGUES, figura como uma das inventoras de um pedido de obtenção de patente denominada “SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÔNOMO DE ILUMINAÇÃO EXTERNA”, depositada em 22/01/2015, junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI, cujo titular é a UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ - UFPA.

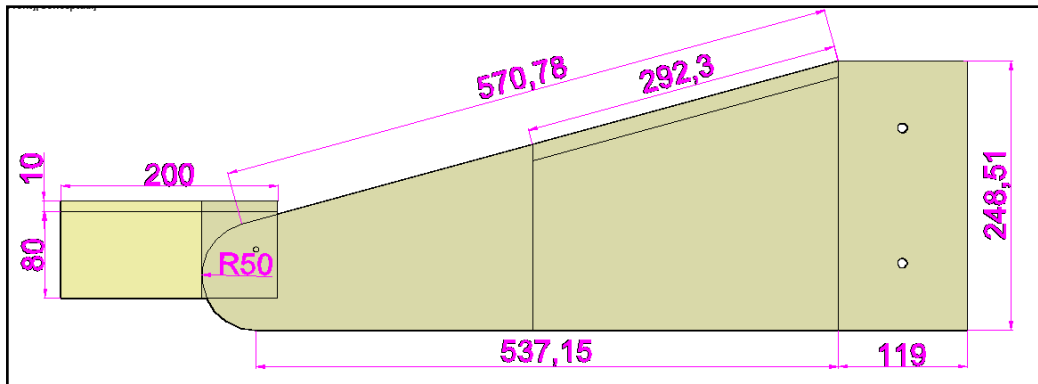
Belém (PA), 27 de janeiro de 2015


Rosângela Rita Miranda Cavaleiro
Coordenadora de Propriedade Intelectual
CPINT/UNIVERSITEC/UFPA
Portaria nº 3320/2014-Reitoria

Universidade Federal do Pará – UFPA.
Agência de Inovação Tecnológica – UNIVERSITEC.
Coordenadoria de Propriedade Intelectual – CPINT/EDA.
Endereço: Rua Augusto Corrêa, nº 01. Prédio de Incubação de Empresas de Base Tecnológica – PIEBT. Bairro: Guamá.
Cidade: Belém – PA. CEP: 66075 – 900. Telefone: (91) 3201-7258/8996. E-mails: spi@ufpa.br

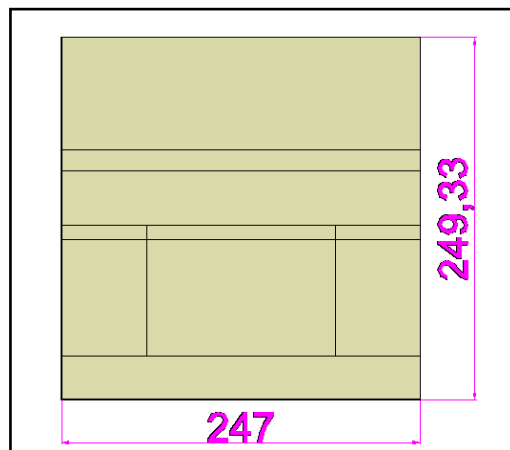
ANEXO B – Planta baixa geral do projeto (medidas em milímetros)

Vista Lateral da estrutura montada.



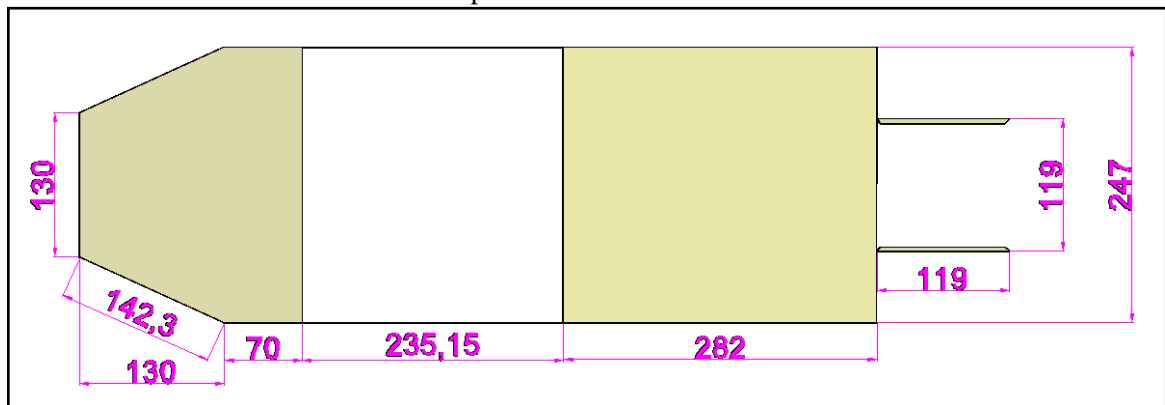
Fonte: Autoria própria.

Vista Frontal da estrutura montada.



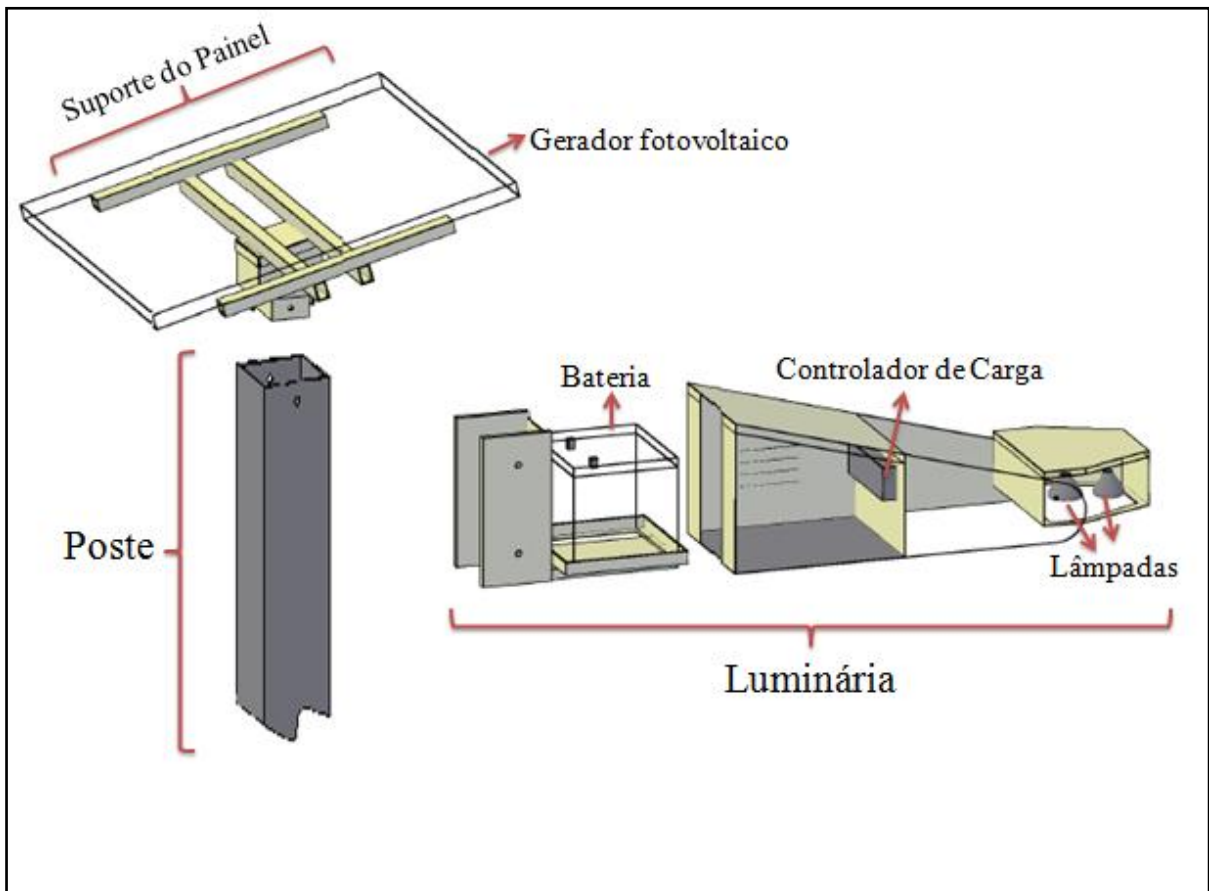
Fonte: Autoria própria.

Vista Superior da estrutura montada.



Fonte: Autoria própria.

Detalhes das estruturas.



Fonte: Autoria própria.