

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Regelii Suassuna de Andrade Ferreira

Projeto e Estudo de Sistema de Geração com Painéis
Fotovoltaicos

Campina Grande - PB

Maio de 2014

REGELII SUASSUNA DE ANDRADE FERREIRA

PROJETO E ESTUDO DE SISTEMA DE GERAÇÃO COM PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. GEORGE ROSSANY SOARES DE LIRA, D. Sc.

Campina Grande - PB

Maio de 2014

REGELII SUASSUNA DE ANDRADE FERREIRA

PROJETO E ESTUDO DE SISTEMA DE GERAÇÃO COM PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.

Aprovado em 30 de maio de 2014.

Prof. GEORGE ROSSANY SOARES DE LIRA, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador

Prof. TARSO VILELA FERREIRA, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Campina Grande - PB

Maio de 2014

A meus pais.

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, Francisca Rosângela S. de Andrade Ferreira e Francisco Cristovão V. Ferreira, pelo esforço, apoio e exemplo que sempre me deram e que foram essenciais neste e em tantos outros trabalhos.

Agradeço ao meu orientador, George, pela paciência, ajuda e incentivo durante cada etapa da realização deste trabalho.

Agradeço aos amigos que este curso me apresentou, com quem dividi e divido momentos de dificuldade e alegrias, Alice Vieira, Felipe Fideles, Lucas Omena, Mariana Camurça, Maryana Scoralick, Mauricio Henrique, em especial Filipe Lucena, Ilthon Lucas e Lucas Simões que me ajudaram diretamente na realização deste trabalho; e tantos outros.

Agradeço ao apoio do Laboratório de Alta Tensão, de seus professores e funcionários, sem os quais este trabalho não poderia ter sido concluído.

Resumo

Com o intuito de substituir os combustíveis fósseis por fontes de energia limpas e abundantes, tem se focado cada vez mais no estudo de energias renováveis. As pesquisas nessa área têm crescido bastante assim como os investimentos o que está barateando a tecnologia e tornando-a mais acessível. O Brasil possui uma localidade privilegiada para a geração de energia elétrica a partir de fontes de energias renováveis tais como energia eólica, hidráulica e solar, além de sua matriz energética atual ser predominantemente hidráulica, já se explora as energia eólica e solar no país embora essa última tenha apenas começado a crescer. Este trabalho tem como foco a energia solar e fará um estudo do sistema de geração de energia a partir de painéis fotovoltaicos demonstrando as principais características do sistema, os equipamentos utilizados, o dimensionamento, a instalação e experimentos em um sistema projetado e instalado.

Palavras-chave: Energias Renováveis. Energia Solar. Painéis Fotovoltaicos.

Abstract

In order to substitute the fuel fossil for clean and abundant energy sources it has been given a lot of focus on the renewable energy. The research in this area are as increasing as the investments, those are cheapening the technology and making it more accessible. Brasil has a privileged location for energy generation from renewable energy sources like wind, hydro and solar power, besides the current energy matrix be mainly hydro power, it has been explored wind and solar power there too, although this last one has just started to grow. This work has focus in the solar power and will be doing a study on the generation system from solar panels evidencing the main characteristics from the system, used equipments, system sizing, installation and experimentation on the designed and installed system.

Keywords: Photovoltaic Panels. Renewable Energy. Solar Energy.

Lista de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 2.1 | Configuração de um sistema fotovoltaico. | 15 |
| 2.2 | Componentes de um array solar. | 16 |
| 2.3 | Construção de uma célula fotovoltaica. | 17 |
| 2.4 | Construção de um painel fotovoltaico. | 18 |
| 2.5 | Circuito equivalente para um painel fotovoltaico. | 18 |
| 2.6 | Corrente versus Tensão (IxV), curva característica de um painel fotovoltaico. | 20 |
| 2.7 | Potência versus Tensão (PxV), curva característica de um painel fotovoltaico. | 20 |
| 2.8 | Efeito da temperatura na curva característica IxV. | 21 |
| 2.9 | Efeito da radiação solar na curva característica IxV. | 21 |
| 2.10 | Onda senoidal pura e onda senoidal modificada. | 25 |
| 2.11 | Exemplos de suportes para painéis fotovoltaicos. | 26 |
| 3.1 | Curva característica IxV para várias temperaturas da célula solar. | 32 |
| 3.2 | Curva característica IxV para vários níveis de radiação solar. | 32 |
| 3.3 | Projeto para montagem da estrutura mecânica. | 35 |
| 3.4 | Projeto - Perspectiva. | 36 |
| 3.5 | Projeto - Vista superior. | 37 |
| 3.6 | Projeto - Vista frontal. | 37 |
| 3.7 | Diagrama de instalação do sistema. | 40 |
| 3.8 | Quadro elétrico. | 41 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.1 | Montagem feita com emendas T e C para suporte do painel solar. | 44 |
| 4.2 | Suporte conectado ao perfilado de aço galvanizado. | 44 |
| 4.3 | Demonstração da conexão entre o painel solar e o suporte confeccionado. . | 45 |
| 4.4 | Painel solar instalado sobre Laboratório (LAT-UFCG). | 45 |
| 4.5 | Sistema montado no laboratório. | 46 |
| 4.6 | Bateria. | 46 |
| 4.7 | Diagramas de montagem para teste de curto circuito e circuito aberto. . . . | 48 |
| 4.8 | Diagrama de montagem. | 49 |
| 4.9 | Diagramas de montagem para teste do sistema operando com o controlador de carga. | 49 |
| 4.10 | Diagramas de montagem para teste do inversor. | 50 |
| 4.11 | Curvas características para o painel solar: Corrente versus Tensão (IxV). . | 53 |
| 4.12 | Curvas características para o painel solar: Potência versus Tensão (PxV). . | 54 |
| 4.13 | Saída do inversor - Onda modificada. | 57 |

Lista de Tabelas

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Comparação entre a vida útil e o custo de várias baterias. | 22 |
| 2.2 | Ângulo de inclinação de acordo com a latitude do local. | 27 |
| 2.3 | Distância máxima, em metros, para queda de tensão de até 5% em sistemas de 12 V. | 28 |
| 3.1 | Custos envolvidos. | 42 |
| 4.1 | Resultados dos testes de curto circuito e circuito aberto. | 51 |
| 4.2 | Tensão e corrente sobre a carga. | 52 |
| 4.3 | Teste do sistema com a presença do controlador de carga. | 56 |
| 4.4 | Resultados do teste com o inversor. | 56 |

Lista de Abreviaturas e Siglas

CA Corrente Alternada

CC Corrente Contínua

DTTV Limiar de Tensão para Dia (*Day Time Threshold Voltage*)

LAT Laboratório de Alta Tensão da UFCG

MPPT Rastreamento do Ponto de Máxima Potência (*Maximum Power Point Tracking*)

NTTV Limiar de Tensão para Noite (*Night Time Threshold Voltage*)

PWM Modulação por Largura de Pulso (*Pulse Width Modulation*)

Sumário

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introdução | 11 |
| 1.1 | Motivação | 12 |
| 1.2 | Objetivos | 12 |
| 1.3 | Organização do Trabalho | 12 |
| 2 | Fundamentação Teórica | 14 |
| 2.1 | Sistemas Fotovoltaicos - Visão Geral | 14 |
| 2.2 | Elementos Básicos de um Sistema Fotovoltaico | 15 |
| 2.2.1 | Painéis Solares | 16 |
| 2.2.2 | Baterias | 22 |
| 2.2.3 | Controlador de Carga | 23 |
| 2.2.4 | Inversor | 23 |
| 2.2.5 | Estrutura Mecânica | 25 |
| 2.3 | Diretrizes para Projeto e Instalação de Sistemas Fotovoltaicos | 26 |
| 2.3.1 | Localização e Orientação | 26 |
| 2.3.2 | Projeto Elétrico | 27 |
| 3 | Estudo de Caso: Projeto e Instalação de Sistema Fotovoltaico no LAT | 30 |
| 3.1 | Descrição do Ambiente para Instalação | 30 |
| 3.2 | Escolha de Elementos e Material | 31 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.2.1 | Painel Solar | 31 |
| 3.2.2 | Baterias | 32 |
| 3.2.3 | Controlador de Carga | 33 |
| 3.2.4 | Inversor | 34 |
| 3.2.5 | Estrutura Mecânica | 34 |
| 3.3 | Layout do Sistema - Projeto preliminar | 36 |
| 3.4 | Projeto Elétrico | 38 |
| 3.4.1 | Dimensionamento de Condutores | 38 |
| 3.4.2 | Especificação da Proteção | 39 |
| 3.4.3 | Especificação do Quadro | 40 |
| 3.5 | Custos Envolvidos | 41 |
| 4 | Testes e Resultados | 43 |
| 4.1 | Visão Geral do Sistema Projetado | 43 |
| 4.2 | Testes no Sistema | 47 |
| 4.2.1 | Curvas características | 47 |
| 4.2.2 | Sistema operando com controlador de carga | 48 |
| 4.2.3 | Teste com o inversor | 50 |
| 4.3 | Resultados e Discussões | 50 |
| 4.3.1 | Curvas características | 51 |
| 4.3.2 | Sistema operando com controlador de carga | 55 |
| 4.3.3 | Teste com o inversor | 56 |
| 5 | Conclusões | 58 |
| | Referências Bibliográficas | 60 |
| | Anexos | 61 |

Capítulo 1

Introdução

A geração distribuída de energia é caracterizada pela geração próxima ao consumidor [1], [2]. Este tipo de geração tem sido cada vez mais explorada no Brasil, especialmente após a implantação da regulação normativa da ANEEL nº 482/2012, que estabelece normas e procedimentos para micro e mini geradores. O consumidor instala pequenos geradores (como, por exemplo, painéis solares fotovoltaicos ou pequenas turbinas eólicas) e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade. A energia excedente dessa geração poderá ser injetada na rede elétrica dando ao consumidor crédito em suas contas de luz posteriores.

Os incentivos dados à geração distribuída de energia estão diretamente relacionados à utilização de energias renováveis para estes novos mini e micro geradores. Com a utilização de energias renováveis, como por exemplo energia solar, é possível que se tenha uma micro geração em edifícios e até residências.

A energia solar representa uma parcela importante das opções tecnológicas para o aumento do fornecimento de energia proveniente de fontes renováveis. Uma das razões para tal é o fato ser uma fonte abundante e melhor distribuída geograficamente, se comparada ao petróleo, por exemplo. Além disso a queda de preços tem incentivado bastante a instalações de novos sistemas. Acredita-se que esta forma de geração será competitiva contra as formas tradicionais utilizadas atualmente.

1.1 Motivação

O Brasil possui um grande potencial para geração de energia solar, tem-se uma boa radiação solar ao longo do ano principalmente na região Nordeste. A energia solar será então tema deste estudo, e espera-se que este trabalho possa ser uma base para pesquisas futuras.

Será estudado um sistema de geração utilizando painéis fotovoltaicos para a geração, controladores de carga para garantir a operação no ponto de máxima potência, baterias que armazenarão a energia gerada pelos painéis e inversores para alimentação de cargas de corrente alternada (CA).

1.2 Objetivos

Neste trabalho será feito o estudo para especificação de todo um sistema de geração fotovoltaica. Também será elaborado o projeto para a instalação e, por fim, resultados da geração serão avaliados. Além disso, este trabalho se apoia em estudos paralelos que serão realizados para simulação e controle do sistema.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um projeto e a instalação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de energia solar. Os objetivos específicos são: o estudo do sistema de geração de energia solar, o estudo dos procedimentos para o projeto de dimensionamento de um sistema fotovoltaico e a instalação do sistema no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG.

1.3 Organização do Trabalho

Este trabalho consiste de cinco capítulos. No capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica necessária ao desenvolvimento do trabalho. Será mostrada uma visão geral dos sistemas fotovoltaicos, em seguida serão apresentados os elementos principais de sua composição, e por fim as diretrizes para elaboração do projeto de instalação do sistema. No capítulo 3 é feito um estudo de caso para o sistema apresentado desde o ambiente para o desenvolvimento do projeto, a escolha dos elementos que irão compor o

sistema, até a apresentação do projeto desenvolvido. No capítulo 4 será apresentada uma visão geral do sistema instalado, em seguida os testes realizados para experimentação do sistema instalado e os resultados obtidos. Por fim o capítulo 5 conclui este trabalho e apresenta recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2

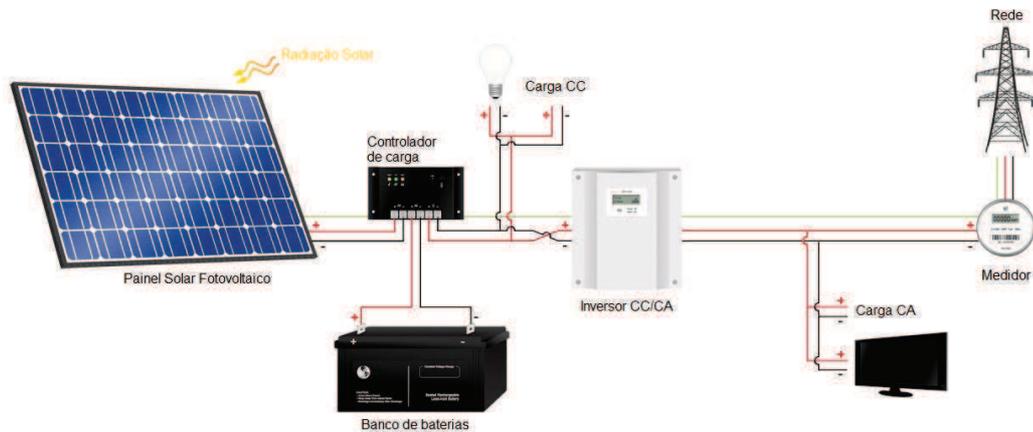
Fundamentação Teórica

Neste capítulo será fornecida a fundamentação teórica para o trabalho desenvolvido, apresentando uma visão geral sobre o sistema de geração com painéis fotovoltaicos, os elementos básicos do sistema e as diretrizes para o projeto e a instalação do mesmo.

2.1 Sistemas Fotovoltaicos - Visão Geral

Quando no projeto de um sistema de geração com painéis fotovoltaicos é importante levar em consideração vários equipamentos elétricos que complementam o sistema. A instalação específica do sistema fotovoltaico dependerá de alguns variantes, tais como: se a rede doméstica irá operar utilizando corrente contínua (CC) ou alternada (CA); se o sistema será ou não conectado à rede elétrica; se será necessário o armazenamento da energia elétrica gerada; entre outros. O diagrama a seguir, Figura 2.1, ilustra um esquema de configuração geral de um sistema fotovoltaico composto por um painel fotovoltaico, um controlador de carga, um banco de baterias e um inversor CC/CA. A energia gerada a partir da radiação solar incidente sobre o painel tem três saídas, de acordo com o esquema da Figura 2.1: a primeira após o banco de baterias para alimentação de cargas CC, a segunda e terceira saídas após o inversor para alimentação de cargas CA e para conexão do sistema com a rede elétrica.

Figura 2.1: Configuração de um sistema fotovoltaico.



Adaptação, disponível em: <<http://www.isustainable.org/solarenergy.php>>. Acesso em: abril de 2014.

Sistemas *stand alone* e *grid-tie*

Um sistema *stand alone* consiste em sua forma mais básica de painéis solares e uma bateria. A carga é então alimentada pelo painel solar quando há radiação solar incidente sobre o painel, ou pela bateria caso contrário. Um sistema de geração solar básico também pode possuir um inversor dependendo do tipo de carga que se necessita alimentar.

Um sistema *grid-tie* consiste de um sistema de geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos ligado à rede elétrica. Nos dias atuais os sistemas fotovoltaicos vêm evoluindo de pequenos sistemas *stand alone* para grandes sistemas *grid-tie*. Neste tipo de sistema há um controle que determina se o sistema fornecerá energia para a rede ou se absorverá energia da rede, isto é determinado pela capacidade de geração de energia do sistema fotovoltaico naquele instante.

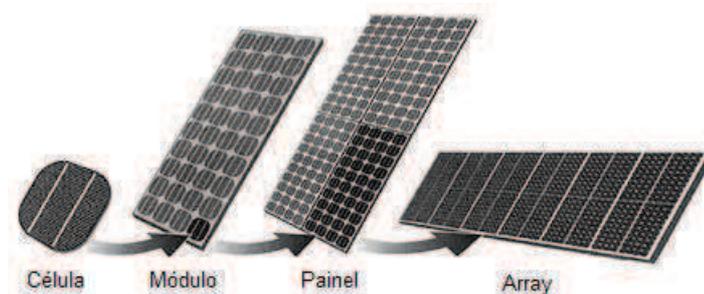
2.2 Elementos Básicos de um Sistema Fotovoltaico

Esta seção trata da descrição dos elementos que serão utilizados na implementação do projeto para instalação do sistema fotovoltaico a ser estudado, são eles: painel fotovoltaico, baterias, controlador de carga e inversor. Além disso, será também descrita a estrutura mecânica a ser desenvolvida para suporte do painel solar. Serão também abordados os sistemas conectados à rede e não conectados (*grid connected system* e *stand alone system*, respectivamente).

2.2.1 Painéis Solares

A tecnologia fotovoltaica utiliza células semicondutoras, geralmente alguns metros quadrados em tamanho. A célula solar é a unidade básica do sistema fotovoltaico, é tipicamente alguns centímetros em tamanho e produz aproximadamente 1 W. Para obter uma maior potência várias células são conectadas em série e paralelo, é então denominado painel solar (módulo solar). Um *array* (arranjo) solar é composto por um grupo de painéis fotovoltaicos eletricamente conectados em série e paralelo para gerar determinadas corrente e tensão [1]. A Figura 2.2 ilustra os componentes de um array solar.

Figura 2.2: Componentes de um array solar.



Adaptação, disponível em: <http://www.cmhc-schl.gc.ca/en/co/grho/grho_009.cfm>. Acesso em: abril de 2014.

Célula Solar

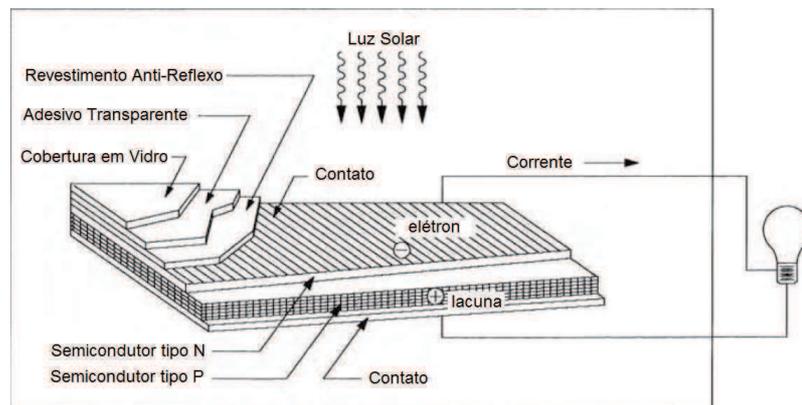
A célula solar converte luz diretamente em eletricidade através do efeito fotoelétrico. O efeito fotoelétrico é o potencial elétrico desenvolvido entre dois materiais distintos quando a junção comum entre eles recebe radiação de fótons [1].

A célula solar pode ser comparada à junção PN de um diodo. Quando essa junção absorve luz, a energia dos fótons absorvidos é transferida ao material criando portadores de carga que são separados na junção. Os portadores de carga podem ser pares de elétron-íon em um líquido eletrólito ou pares de elétron-lacuna em materiais semicondutores sólidos [3].

Na Figura 2.3 é mostrada a construção básica da célula solar. Contatos metálicos são colocados em ambos os lados da junção PN para captar a corrente induzida pela

colisão dos fótons. Em adição aos elementos básicos, outros recursos são incluídos com o propósito de melhorar a eficiência da célula. Por exemplo, a face frontal da célula possui um revestimento anti-reflexo para que a célula possa absorver o máximo de luz possível, minimizando os efeitos de reflexão. A proteção mecânica da célula é fornecida pelo adesivo transparente que é aplicado sobre a mesma [1].

Figura 2.3: Construção de uma célula fotovoltaica.



Adaptação [1].

Na Figura 2.4 é ilustrada a construção de um painel fotovoltaico combinado a uma estrutura para ser montado sobre um suporte.

Circuito elétrico equivalente

A física do painel fotovoltaico pode ser representada por um circuito elétrico equivalente, Figura 2.5.

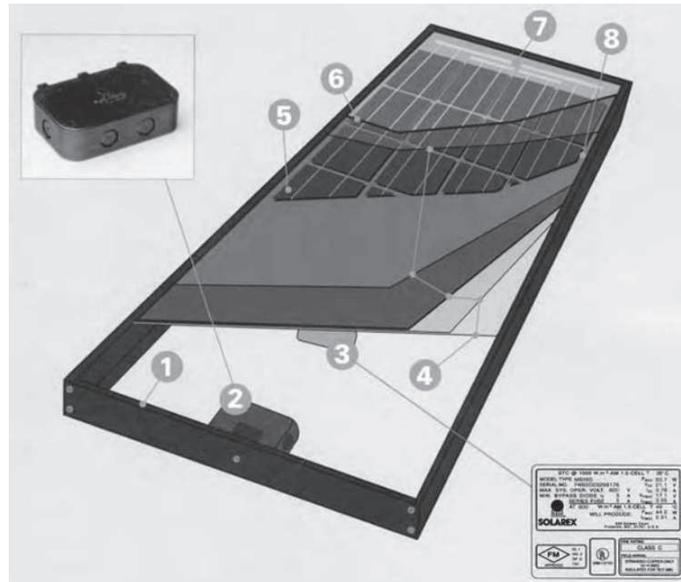
A corrente I que será entregue à carga é igual à corrente gerada pelo efeito fotoelétrico, I_{ph} , menos as correntes no diodo, I_d , e na resistência *shunt*, I_{sh} , ou seja,

$$I = I_{ph} - I_d - I_r. \quad (2.1)$$

A resistência em série R_s , representa a resistência interna do painel, e depende da profundidade da junção PN, das impurezas do material e da resistência dos contatos. A resistência *shunt*, R_{sh} , está inversamente relacionada à fuga de corrente para a terra [4].

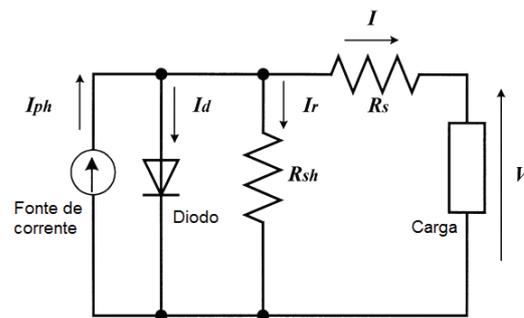
Figura 2.4: Construção de um painel fotovoltaico.

1 - estrutura; 2 - caixa para conexão a prova d'água; 3 - dados de placa; 4 - proteção contra intempéries; 5 - célula fotovoltaica; 6 - cobertura de vidro temperado com alta-transmissão; 7 - ponto de distribuição elétrico exterior; 8 - afastamento da moldura.



Fonte: [1].

Figura 2.5: Circuito equivalente para um painel fotovoltaico.



Fonte: [4].

A corrente no diodo é dada pela expressão,

$$I_d = I_D \left[e^{\frac{qV_{oc}}{AkT}} - 1 \right], \quad (2.2)$$

onde: I_D é a corrente de saturação do diodo, Q é a carga do elétron ($Q = 1,6 \times 10^{-19}$ C), A é uma constante referente ao ajuste da curva, k é a constante de Boltzmann ($k = 1,38 \times 10^{-23}$ J/K) e T é a temperatura em K [4].

Então, a corrente da carga é dada pela expressão:

$$I = I_{ph} - I_D \left[e^{\frac{QV_{oc}}{AkT}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}. \quad (2.3)$$

Este último termo se refere à fuga de corrente pela terra. Na prática esta corrente de fuga para terra é muito baixa se comparada às correntes I_L e I_d e em geral pode ser ignorada.

Curvas características

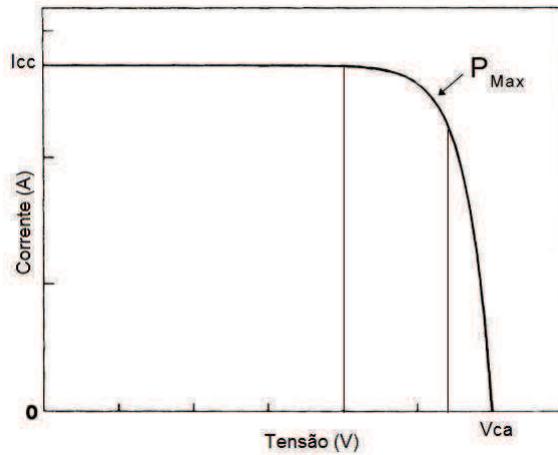
As características elétricas de uma célula fotovoltaica são geralmente representadas pela curva corrente versus tensão (IxV), na Figura 2.6 é mostrada a curva IxV característica para um painel fotovoltaico em dada condição de radiação solar. O ponto máximo de corrente do gráfico, quando a tensão é zero, é denominado de corrente de curto circuito, enquanto o ponto de máxima tensão, quando a corrente é zero, é denominado tensão de circuito aberto. Na região mais à direita do gráfico, a corrente decresce rapidamente com um pequeno aumento da tensão. Nessa região a célula opera como uma fonte de tensão constante com uma resistência interna [1], enquanto na região à esquerda ocorre uma pequena diminuição da corrente para grandes variações de tensão, o que denomina-se região de fonte de corrente.

Em uma determinada região do gráfico apresentado, a curva IxV possui um ponto de operação denominado ponto de joelho. Se comparados o gráfico da Figura 2.6 com a curva característica da potência versus tensão (PxV), apresentado na Figura 2.7, percebe-se que a maior potência produzida pelo painel ocorre no ponto de joelho da curva IxV.

Alguns fatores externos podem variar as curvas características do painel solar, tais como temperatura e radiação solar.

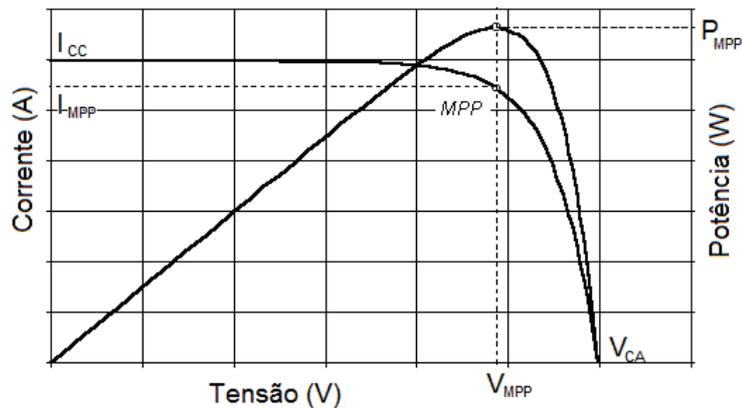
O principal efeito do aumento de temperatura nas células do painel solar é verificado com a diminuição da tensão de saída, de forma diretamente proporcional. O

Figura 2.6: Corrente versus Tensão ($I \times V$), curva característica de um painel fotovoltaico.



Fonte: autor.

Figura 2.7: Potência versus Tensão ($P \times V$), curva característica de um painel fotovoltaico.

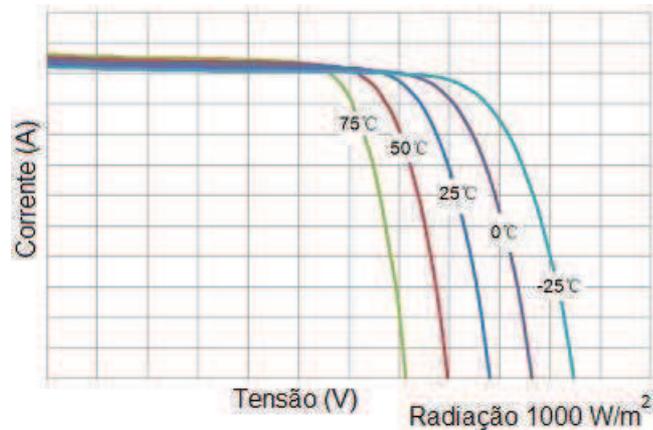


Adaptação, disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm>. Acesso em: abril de 2014.

aumento da temperatura também provoca um pequeno aumento na corrente produzida pelo painel, o gráfico apresentado na Figura 2.8 ilustra esse efeito.

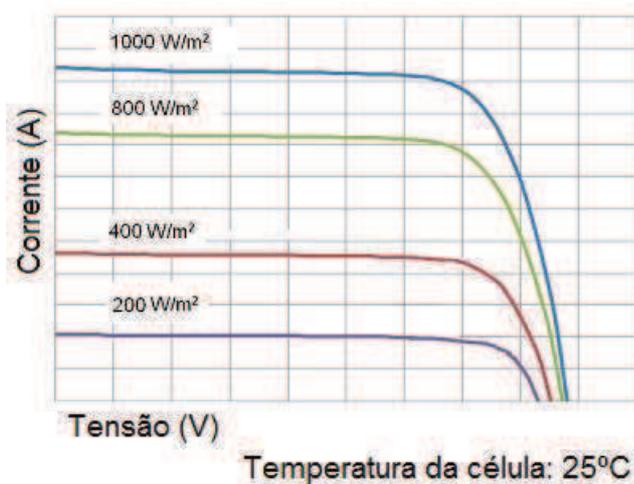
Quando há variação na radiação solar ocorre uma variação na corrente e tensão na saída do painel solar, estas variações são proporcionais à variação da temperatura, embora a variação da corrente ocorra de maneira mais acentuada. Esse efeito é ilustrado no gráfico da Figura 2.9.

Figura 2.8: Efeito da temperatura na curva característica IxV.



Disponível em: <<http://www.tradett.com/product/u75356p682283/poly-solar-panels.html>>. Acesso em: abril de 2014.

Figura 2.9: Efeito da radiação solar na curva característica IxV.



Disponível em: <<http://www.tradett.com/product/u75356p682283/poly-solar-panels.html>>. Acesso em: abril de 2014.

Manutenção

Os sistemas fotovoltaicos possuem a vantagem de não necessitarem de manutenção. Os módulos são constituídos em sua parte frontal de vidro temperado de até 3,5 mm, como apresentado anteriormente, são portanto resistentes a diversas variações climáticas. Devido à inclinação em que devem ser instalados são auto-limpantes, não sendo essencial que seja feita limpeza periódica embora caso seja possível é conveniente limpar a parte frontal do painel com água e detergente.

Periodicamente devem ser conferidas as conexões elétricas para verificar o ajustamento das mesmas e possíveis sinais de oxidação.

2.2.2 Baterias

As baterias são uma forma amplamente utilizada em diversas aplicações para armazenamento de energia. Existem vários tipos de recarregadores eletroquímicos, alguns deles são: acumuladores de chumbo ácido (Pb-acid), baterias de níquel cádmio (NiCd), baterias de níquel-hidreto metálico (NiMH), baterias de íons de Lítio (Li-ion), baterias de polímero de Lítio (Li-poly) entre outros.

A especificação da bateria é influenciada principalmente por: tensão de carga e descarga, relação entre carga e descarga, eficiência energética, eficiência de carregamento, impedância interna, aumento de temperatura, vida útil da bateria em ciclos de carga e descarga. Algumas características dos diferentes tipos de baterias citados são resumidos na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Comparação entre a vida útil e o custo de várias baterias.

| Meio eletroquímico | Ciclos de descarga | Tempo de vida (anos) | Custo relativo (R\$/kWh) ¹ |
|----------------------|--------------------|-------------------------|--|
| Chumbo ácido | 500 - 1000 | 5 - 8 | 460 - 690 |
| Níquel-Cádmio | 1000 - 2000 | 10 - 15 | 3450 |
| Níquel-metal híbrido | 1000 - 2000 | 8 - 10 | 920 - 1380 |
| Ions de Lítio | 1500 - 2000 | - | 1150 - 1840 |
| Polímero de Lítio | 1000 - 1500 | - | > 4600 |

O acumulador de chumbo ácido é o tipo mais comum de bateria recarregável usada hoje em dia e isso se dá principalmente à sua maturidade na indústria e à alta razão entre performance e custo que ela apresenta, apesar de possuir uma baixa densidade de energia. Este será o tipo de bateria utilizada neste trabalho.

2.2.3 Controlador de Carga

A principal função do controlador de carga em um sistema fotovoltaico não conectado à rede elétrica é manter a bateria em um alto estado de carregamento, enquanto a protege de sobrecarga pelos painéis fotovoltaicos e de descarga excessiva pela carga [5].

O algoritmo, ou estratégia de controle, utilizado pelo controlador de carga determina a efetividade do carregamento do banco de baterias e da utilização dos painéis fotovoltaicos, e também a habilidade do sistema de corresponder a demanda da carga [5]. O controlador de carga possui circuitos que identificam a tensão da bateria com a finalidade de determinar seu estado de carga. Esses circuitos lêem a tensão da bateria para controlar a intensidade da corrente que será injetada na bateria.

Algumas das principais características dos controladores de carga são:

- Proteção contra corrente reversa, desconectando os painéis para que não haja fluxo de corrente para os mesmos durante a noite;
- Controle de descarga da bateria, desligando a carga para evitar que o banco de baterias descarregue abaixo de valores limites;
- Monitoramento do sistema;
- Proteção contra sobrecorrente;
- *Pulse Width Modulation* PWM, técnica de controle utilizada para manter a bateria em sua carga máxima;
- *Maximun Power Point Tracker* MPPT, sistema de carga projetado para rastrear o ponto de operação do painel solar que corresponda a máxima energia.

2.2.4 Inversor

Um inversor, em especial aqueles utilizados para aplicações em módulos solares, convertem a corrente contínua (CC) que é gerada pelo painel em corrente alternada (CA) em uma dada frequência, para que então cargas CA possam ser alimentadas em um sistema *stand alone* (isolado) ou para que a energia gerada possa ser disponibilizada à rede elétrica em um sistema *grid-tie* (conectada à rede).

Um dos fatores a se levar em consideração na seleção do inversor para um sistema é o tipo de onda na saída do mesmo. Existem vários tipos distintos de inversores no mercado, são eles: onda senoidal pura, onda senoidal modificada, onda quadrada, entre outros. As formas comercialmente dominantes no mercado são os inversores de onda senoidal pura e onda senoidal modificada.

Inversor com Saída em Onda Senoidal Pura

É um inversor que produz uma onda senoidal suave² em sua saída. Pode ser também referenciado como inversor de onda senoidal. É utilizado em aplicações mais sofisticadas tais como aparelhos de regulação de laboratório, equipamentos aeronáuticos, aparelhos de som ou vídeo, entre outros.

Esses inversores tendem a ser mais complexos e são significativamente mais caros se comparados aos inversores de onda senoidal modificada.

Inversores com Saída em Onda Senoidal Modificada

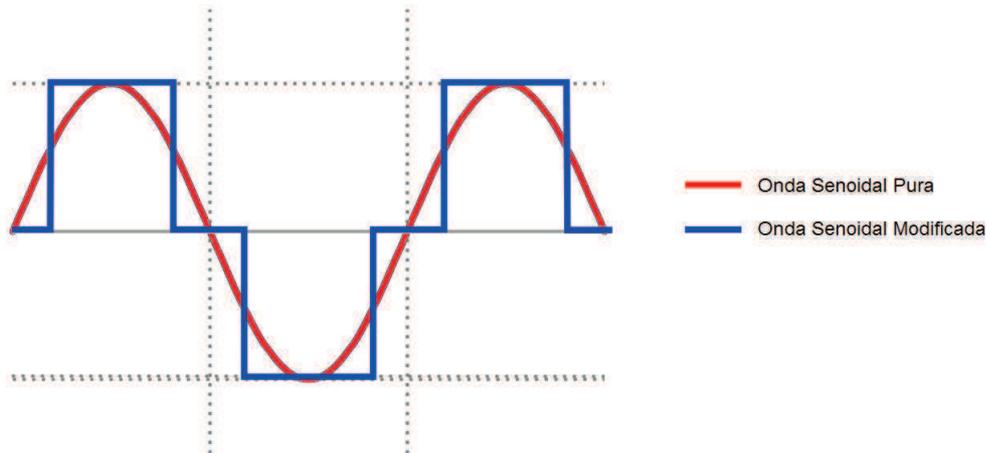
Esta terminologia se refere à uma onda de saída que se aproxima ligeiramente de uma onda senoidal. A forma de onda nos inversores disponíveis no mercado é uma onda quadrada com uma pausa antes da transição de polaridade, na Figura 4.13 é mostrada uma comparação entre uma onda senoidal e uma onda senoidal modificada.

A relação entre o tempo dos estados positivo e negativo da onda modificada pode ser ajustada para variar o valor RMS da tensão enquanto se mantém constante a frequência, esta técnica utiliza o método PWM. Os harmônicos, introduzidos no sistema pela utilização de inversores de onda senoidal modificada, dependem da largura do pulso e da frequência de modulação utilizados pelo inversor.

Este tipo de inversor é bastante utilizado em aplicações onde a introdução de harmônicos não é um grande problema, por exemplo, na operação de motores de indução (motores CA podem ter uma redução de aproximadamente 20% em sua eficiência), cargas de natureza resistiva tais como lâmpadas incandescentes tradicionais, entre outros.

²Uma onda senoidal suave é aquela que apresenta baixo nível de harmônicos, usualmente inversores com saída em onda senoidal pura apresentam em média 2% de harmônicos.

Figura 2.10: Onda senoidal pura e onda senoidal modificada.



Disponível em: <<http://mefano.wordpress.com/2010/01/16/>>. Acessado em: abril de 2014.

2.2.5 Estrutura Mecânica

Como apresentado na Figura 2.4, item 1, o painel solar possui uma estrutura metálica que é responsável por fixá-lo à estrutura onde se deseja que o painel seja instalado. A estrutura para instalação do painel solar é desenvolvida de acordo com o local da instalação do mesmo, e deve levar em consideração a inclinação do painel solar, calculada a partir da latitude do local. Esta alteração na inclinação é feita com o intuito de captar a máxima energia solar possível.

Existem vários tipos de estruturas disponíveis, desde um simples poste com suporte para dois ou três painéis até grandes estruturas de vigas com suporte para dezenas de painéis. Na Figura 4.7 são apresentadas algumas estruturas para suporte de painéis solares disponíveis no mercado.

Figura 2.11: Exemplos de suportes para painéis fotovoltaicos.



(a) Poste para dois painéis solares.



(b) Suporte para telhado para até três painéis solares.



(c) Suporte para dezenas de painéis fotovoltaicos.



(d) Estacionamento com energia fotovoltaica.

2.3 Diretrizes para Projeto e Instalação de Sistemas Fotovoltaicos

O projeto de um sistema fotovoltaico depende essencialmente da carga que ele irá alimentar, são fatores tais como: a tensão de operação do sistema, se a carga necessita de uma tensão CC ou CA; o perfil da carga, as horas diárias de utilização desta carga; a autonomia do sistema, quantas horas/dias o sistema (baterias) deve fornecer potência caso não seja possível o fornecimento de potência pelo painel solar. Os elementos que irão compor o sistema serão, então, selecionados a partir da definição destas variáveis.

2.3.1 Localização e Orientação

Para um melhor aproveitamento da potência que pode ser gerada pelo painel fotovoltaico é importante a instalação do mesmo com localização e orientação ótimas, para tal deve ser observado o seguinte:

- Localizar o painel o mais próximo possível do banco de baterias com a finalidade de reduzir a seção dos cabos.
- Afastar os painéis de objetos que possam projetar sombra sobre o mesmo.
- No hemisfério sul os módulos devem ser orientados de modo que a parte frontal esteja direcionada para o norte geográfico, embora o norte magnético possa ser utilizado sem introduzir erros significativos. Em instalações localizadas no hemisfério norte, orienta-se o painel para o sul geográfico.
- A inclinação do painel em relação ao plano horizontal deve ser calculada utilizando como referência a latitude do local onde o painel será instalado.

Um vez definida a posição do painel é necessário calcular o ângulo de inclinação que o mesmo deve ter em relação ao solo. Este ângulo toma por referência a latitude do local e pode variar de acordo com a Tabela 2.2 [6], embora pequenos desvios nesta inclinação possam ser admitidos.

Tabela 2.2: Ângulo de inclinação de acordo com a latitude do local.

| Latitude | Ângulo de Inclinação |
|---------------|----------------------|
| 0 a 4 graus | 10 graus |
| 5 a 20 graus | latitude + 5 graus |
| 21 a 45 graus | latitude + 10 graus |
| 46 a 65 graus | latitude + 15 graus |
| 66 a 75 graus | 80 graus |

2.3.2 Projeto Elétrico

Em seguida deve ser desenvolvido o projeto elétrico, que consiste no dimensionamento da seção dos condutores e eletrodutos a serem utilizados e da proteção do sistema. Então é elaborado o diagrama da instalação e é feita a seleção do quadro elétrico.

O dimensionamento dos condutores e cabos de ligação para a instalação deve ser feito de maneira apropriada, a fim de assegurar um bom funcionamento das cargas a queda

de tensão nos condutores entre os módulos e o controlador de carga e entre o controlador e as cargas não deve ser superior a 5%. Para melhor selecionar a seção dos condutores a Tabela 2.3 pode ser levada em consideração.

Tabela 2.3: Distância máxima, em metros, para queda de tensão de até 5% em sistemas de 12 V.

| Seção (mm ²) | 10 | 6 | 4 | 2,5 | 1,5 |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Corrente (A) | | | | | |
| 1 | 156 | 93 | 62 | 39 | 22 |
| 2 | 78 | 46 | 31 | 19 | 11 |
| 5 | 31 | 18 | 12 | 8 | 4 |
| 6 | 26 | 15 | 10 | 6 | 3 |
| 8 | 19 | 12 | 8 | 4,5 | 2,5 |
| 9 | 17 | 10 | 7 | 4 | 2 |
| 10 | 16 | 9 | 6 | 3,5 | 1,8 |
| 12 | 13 | 8 | 5 | 3 | 1,5 |
| 15 | 10 | 6 | 4 | 2 | 1 |
| 18 | 9 | 5 | 3 | 1,8 | 0,8 |
| 21 | 7 | 4 | 3 | 1,6 | 0,7 |
| 24 | 6,5 | 3,5 | 2,5 | 1,5 | 0,5 |
| 30 | 5 | 2,5 | 1,5 | 0,8 | - |

Para o dimensionamento do eletroduto, de acordo com as normas brasileiras, a taxa de ocupação do mesmo não deve ser superior a 40% para três ou mais condutores ou cabos. Essa taxa de ocupação é dada pelo quociente entre a soma das áreas das seções transversais dos condutores previstos, calculadas com base no diâmetro externo, e a área útil da seção transversal do eletroduto [8].

A proteção do sistema fotovoltaico deve ser feita em duas etapas, são elas: o aterramento do sistema e a proteção contra faltas e surtos.

O painel solar possui pontos específicos de aterramento, para a proteção do sistema estes pontos devem ser ligados ao sistema de aterramento local. Quando o sistema fotovoltaico a ser instalado fizer uso de inversor também deve possuir uma saída específica

que deve ficar aterrada protegendo assim o lado CA do sistema [9].

A proteção contra faltas e surtos é obtida com a utilização de dispositivos de proteção específicos. Um dispositivo de proteção de falta à terra típico detecta excessiva corrente de falta e é capaz de interrompê-la. Nos sistemas fotovoltaicos, esta proteção é feita através de um componente de proteção contra sobre corrente, localizado no lado CC do sistema, ou um sensor de corrente que mede a diferença de corrente entre os condutores positivo e negativo [9].

Capítulo 3

Estudo de Caso: Projeto e Instalação de Sistema Fotovoltaico no LAT

Este capítulo irá descrever o projeto elaborado para a instalação do sistema fotovoltaico no LAT. Serão apresentados: o ambiente onde o sistema virá a ser implementado; a seleção dos elementos necessários para o sistema; e por fim o projeto desenvolvido.

3.1 Descrição do Ambiente para Instalação

A instalação do sistema fotovoltaico será feita no LAT, foi determinado que o painel solar seria instalado no telhado e os demais equipamentos seriam alocados no Laboratório de Qualidade de Energia.

A melhor localização para o painel solar, dada as opções disponíveis no laboratório, foi encontrada sobre a sala ao lado do laboratório onde se pretende instalar o quadro e realizar experimentos. Esta sala foi selecionada tendo em vista que o próprio laboratório possui o telhado voltado para o sul, enquanto a sala ao lado, possui o telhado voltado para o norte, onde é desejável que o painel esteja.

Após definida a localização, o ângulo de inclinação do painel deve ser calculado; a cidade de Campina Grande está localizada a uma latitude de aproximadamente -7° , ou seja, 7° sul, a inclinação ideal para a instalação do painel será então 12° , de acordo com a Tabela 2.2.

3.2 Escolha de Elementos e Material

O sistema estudado será um sistema do tipo *stand alone*, não conectado à rede elétrica, que utilizará um único painel solar, um controlador de carga com controle de MPPT, uma bateria e um inversor, além de cargas para a realização de testes. Esta seção trata da apresentação dos elementos selecionados para o sistema em estudo.

3.2.1 Painel Solar

A seleção dos elementos do sistema se iniciou pela determinação do painel fotovoltaico a ser adquirido. Em geral, se especifica o painel solar a partir da demanda de potência da carga que ele alimentará, mas como este é um sistema generalista, o painel solar foi selecionado após a busca em lojas direcionadas ao ramo de energias renováveis de modo que foi adquirido o painel solar disponível de maior potência. Foi então definido que o painel solar do sistema seria de 245 W.

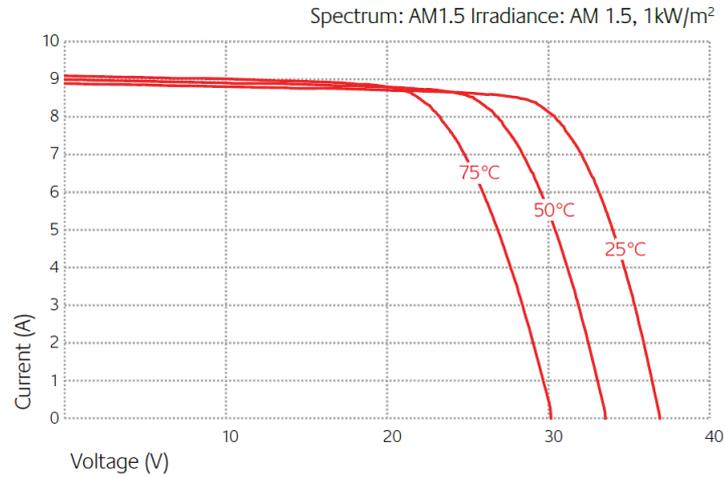
O painel solar possui as seguintes características elétricas para uma radiação solar de 1000 W/m^2 :

- Potência máxima de 245 W
- Tensão máxima de alimentação de 29,8 V
- Corrente máxima de operação de 8,23 A
- Tensão de circuito aberto de 36,9 V
- Corrente de curto circuito de 8,91 A
- Eficiência de 14,8 %

As curvas características do painel são apresentadas a seguir. Na Figura 3.1 é apresentada a característica de corrente versus tensão para algumas temperaturas da célula solar com uma radiação de 1 kW/m^2 . Enquanto na Figura 3.2 é apresentada a característica de corrente versus tensão para uma temperatura de 25°C e alguns valores de radiação solar.

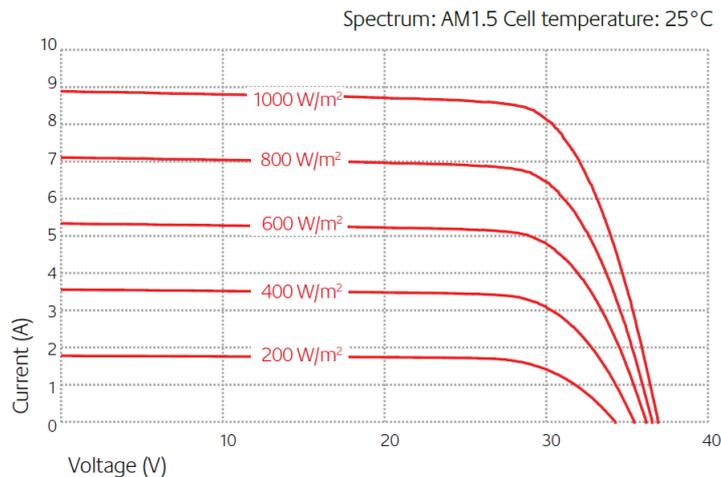
Mais informações sobre o painel solar adquirido podem ser encontradas no ANEXO 1.

Figura 3.1: Curva característica IxV para várias temperaturas da célula solar.



Fonte: *Datasheet* do Painel Solar (Anexo 1).

Figura 3.2: Curva característica IxV para vários níveis de radiação solar.



Fonte: *Datasheet* do Painel Solar (Anexo 1).

3.2.2 Baterias

Mais uma vez o parâmetro com maior influência para este dimensionamento é a carga. Para o dimensionamento do banco de baterias a ser utilizado deve ser levado em consideração a potência da carga a ser alimentada e a autonomia desta alimentação, ou seja, por quanto tempo a bateria será capaz de fornecer a potência necessária à carga. Com estes dados pode ser obtido o valor de Ampère-hora (Ah) da bateria que deve ser utilizada.

Por exemplo, uma bateria de 60 Ah em um sistema com tensão nominal de 12 V pode fornecer até 5 A durante 12 horas consecutivas ($5 \cdot 12 = 60$ Ah), o que equivale a uma potência de 60 W por 12 horas. Se a mesma bateria alimenta agora uma carga de 120 W, o que equivale a uma corrente de 10 A, somente será possível que esta bateria forneça potência à carga durante 6 horas ($10 \cdot 6 = 60$ Ah).

A bateria adquirida é de 105 Ah, ou seja é capaz de fornecer até 105 A em 1 hora, possui tensão de operação de 12 V, define-se então a tensão de operação do sistema.

3.2.3 Controlador de Carga

O controlador de carga deve ser dimensionado de acordo com a tensão de operação do sistema e a corrente máxima que ele deve suportar. Como já foram determinados que a tensão de operação do sistema é de 12 V e o painel especificado possui potência nominal de 245 W, a corrente do controlador será de aproximadamente 20 A.

Para o melhor aproveitamento da potência disponibilizada pelo painel solar, é desejável um controlador de carga com função de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) que rastreia o ponto de máxima potência para a operação do painel solar.

Dado isso, foi adquirido o controlador EPSOLAR Tracer-2210RN, com as seguintes características:

- Tensão do sistema: 12/24 V;
- Corrente média da bateria: 20 A;
- Corrente da carga: 20 A (max);
- Tensão máxima de entrada do painel solar: 100 VDC;
- Potência de entrada do painel solar: 260 W (para sistemas de 12 V);

Esse controlador possui quatro tipos de configurações para o controle de carga, são eles:

1. **Do Anoi-tecer ao Amanhecer:** nesse modo, a carga alimentada durante toda a noite, do anoitecer ao amanhecer. Quando o módulo solar apresenta tensão abaixo

do ponto limiar de tensão para a noite (NTTV - *Night Time Threshold Voltage*), aproximadamente 5 V, o controlador irá reconhecer a tensão limiar e ligará a carga após 10 minutos. Quando a tensão do painel ficar acima do ponto limiar de tensão para o dia (DTTV - *Day Time Threshold Voltage*), aproximadamente 6 V, o controlador reconhecerá a tensão limiar e desligará a carga após 10 minutos.

2. **Dia + Temporizador (de 1 a 15 h):** nesse modo a carga será alimentada desde o anoitecer durante o tempo determinado pelo usuário. Quando o módulo solar apresentar tensão inferior ao ponto limiar NTTV, o controlador reconhecerá a tensão limiar e ligará a carga após 10 minutos e pela quantidade de tempo indicada pelo usuário.
3. **Modo de Teste:** esse modo é usado para testar o sistema, funciona da mesma forma que o modo Do Anoitecer ao Amanhecer, embora não possua o tempo de espera de 10 minutos para ligar ou desligar a carga ao reconhecer as tensões limiars. O Modo de Teste simplifica verificação das instalações do sistema.
4. **Modo Manual:** Este modo liga e desliga a carga através de um botão.

Mais informações sobre o controlador de cargas adquirido podem ser encontradas no ANEXO 2.

3.2.4 Inversor

O inversor selecionado para a composição do sistemas foi sobre-dimensionado para suportar a ampliação do sistema. Foi então adquirido um inversor de 1200 W com tensão de entrada de 12 V e saída em 220 V - 60 Hz com onda senoidal modificada.

Mais informações sobre o inversor adquirido podem ser encontradas no ANEXO 3.

3.2.5 Estrutura Mecânica

Inicialmente foi estabelecido que os painéis seriam dispostos no telhado do laboratório na posição horizontal, ou seja, seu maior comprimento será no sentido das linhas de madeira que dão suporte às telhas do laboratório e o menor comprimento do painel será no sentido da queda d'água no telhado.

Já sabido que o telhado possui dimensões para até 12 painéis, o projeto com estes dados será apresentado em seguida. Foi determinado que os 12 painéis seriam distribuídos em quatro colunas de três painéis cada.

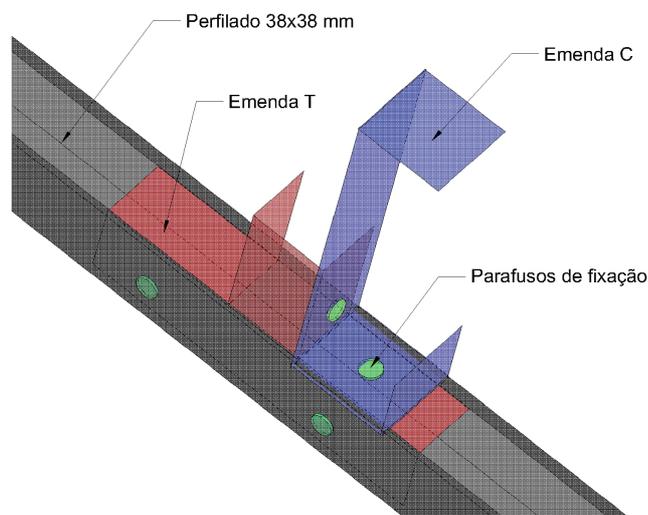
A estrutura a ser confeccionada para o suporte dos painéis será desenvolvida a partir de perfilados de aço galvanizado e de emendas em T e em C também fabricadas do mesmo material. Este tipo de material foi decidido com o intuito de baratear os custos totais da estrutura e a partir de uma pesquisa no mercado local dos elementos disponíveis.

Para facilitar a instalação de outros painéis na mesma coluna do perfilado atual foram fixados os suportes para os três painéis antes do perfilado ser fixado ao telhado, logo, foram adquiridas 24 peças de emendas em T e C e dois perfilados de 6 m, cada um. Para a montagem do suporte foram feitas perfurações nas emendas e no perfilado, onde se fez necessário, foram utilizados dois parafusos com rosca e arruelas para a fixação de cada peça, no total de 48 conexões para o suporte de até três painéis.

Para a fixação dos perfilados no telhado foram utilizados parafusos específicos para a telhas, que já era utilizada no local, os parafusos perfuram a telha e são fixados na madeira que dá suporte a elas.

Na Figura 3.3 é apresentado um esboço do suporte elaborado com as peças descritas.

Figura 3.3: Projeto para montagem da estrutura mecânica.



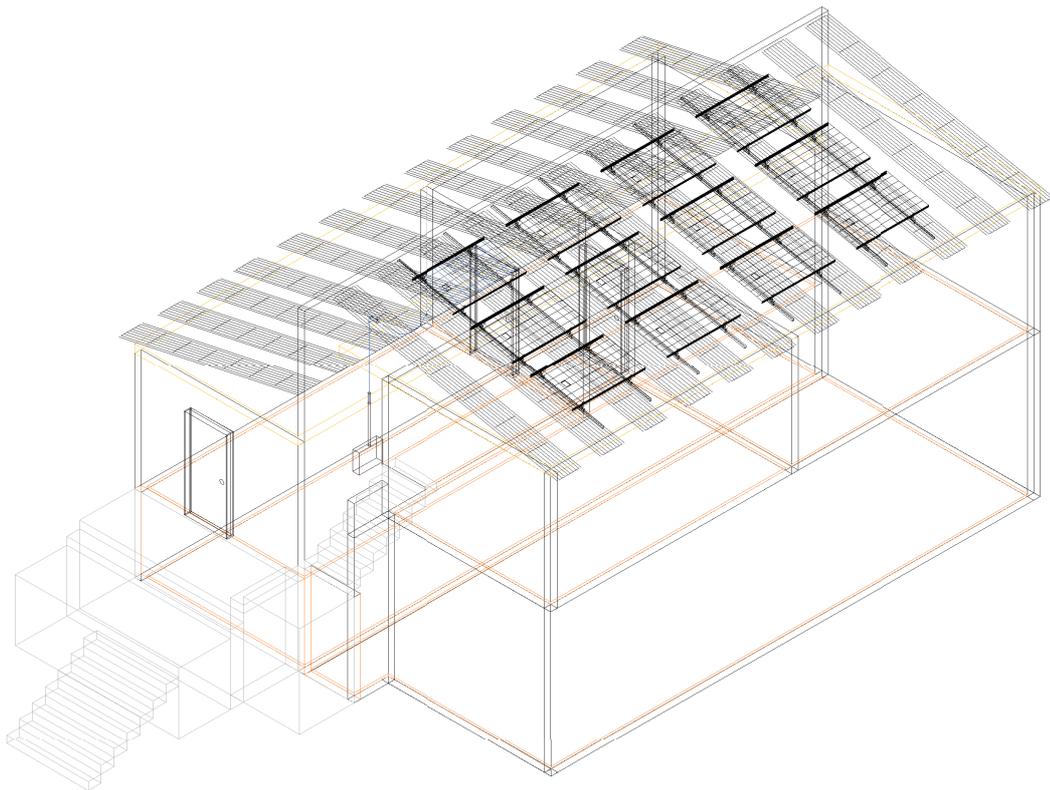
Fonte: autor.

3.3 Layout do Sistema - Projeto preliminar

O projeto foi desenvolvido no software AutoCAD a partir da medição das dimensões do espaço físico existente no laboratório, onde o sistema será instalado e operado. A partir dessas medidas foi feito um esboço do local e então foi possível determinar a quantidade de painéis que poderiam ser alocados no telhado do LAT da UFCG. O laboratório tem espaço suficiente para a alocação de até 12 painéis, levando em consideração um espaçamento entre eles para futura manutenção e ajuste dos mesmos.

A seguir é apresentado o projeto para a instalação do sistema fotovoltaico no LAT. Na Figura 3.4 é apresentada em perspectiva uma parte do laboratório, aquela que interessa ao projeto.

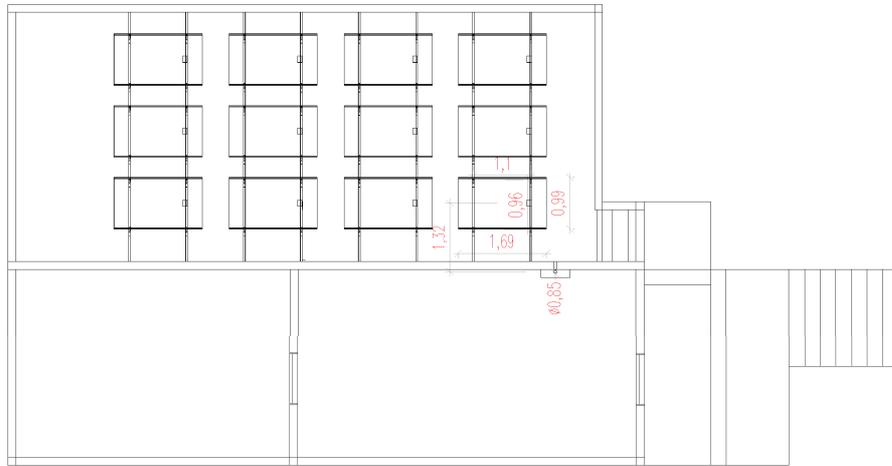
Figura 3.4: Projeto - Perspectiva.



Fonte: autor.

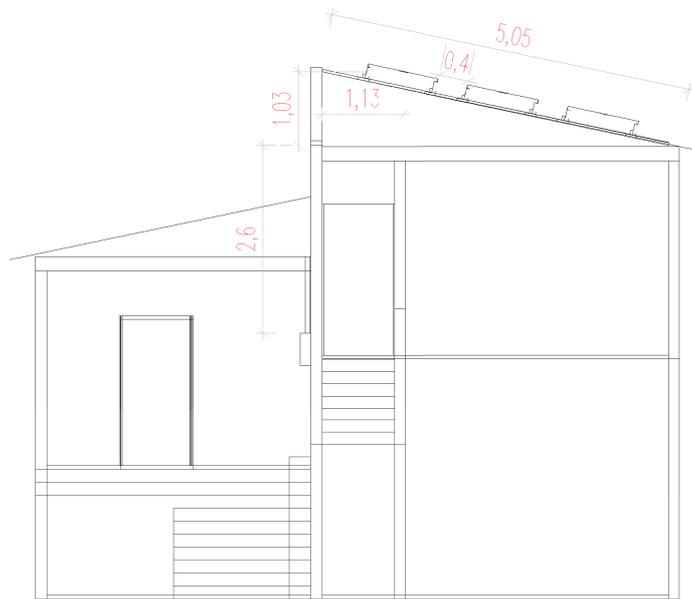
Nas Figuras 3.5 e 3.6 são apresentadas a vista superior e frontal do laboratório, respectivamente, com as dimensões que serão utilizadas para o dimensionamento de condutores futuramente.

Figura 3.5: Projeto - Vista superior.



Fonte: autor.

Figura 3.6: Projeto - Vista frontal.



Fonte: autor.

3.4 Projeto Elétrico

O projeto elétrico consiste no dimensionamento da seção dos condutores a serem utilizados, das chave seccionadoras para operação dos painéis e da proteção que será utilizada para o sistema. Em seguida, será elaborado o diagrama da instalação e a seleção do quadro elétrico.

3.4.1 Dimensionamento de Condutores

Inicialmente foram dimensionados os condutores que interligam o painel solar e o controlador de carga, pois tem-se aí a maior distância a ser levada em consideração.

De acordo com o projeto apresentado, a distância a ser percorrida pelo cabeamento do painel solar ao controlador é de aproximadamente 7 m. A corrente nominal do painel solar é de 8,23 A. Para que a queda de tensão no condutor não seja superior a 5% foi considerada a corrente na tabela imediatamente superior à corrente nominal do painel, ou seja, 9 A. Logo, de acordo com a tabela apresentada, a seção mínima do condutor seria de 4 mm², caso o painel solar operasse a 12 V. Como já é sabido, a tensão do ponto de máxima potência do painel solar é de 29,8 V, espera-se que esta seja a tensão de operação do mesmo. Caso seja considerado que o sistema opera com tensão de 24 V, valor encontrado na tabela deve ser dividido por 2 para o correto dimensionamento dos condutores [6].

É, então, determinado que a área da seção dos condutores deve ser de 2,5 mm², uma vez que o valor obtido, $4 \text{ mm}^2 / 2 = 2 \text{ mm}^2$ não é comercial.

Os demais condutores do sistema não apresentam comprimento significativo para um dimensionamento mais detalhado, logo admite-se que os mesmos serão de 2,5 mm², para o sistema de 12 V operando com uma corrente de 20 A. Levando em consideração que a queda de tensão não será superior a 5%, o comprimento máximo para as conexões feitas com cabo de 2,5 mm² será de 1,5 m.

Em seguida foi dimensionado o eletroduto que envolve os condutores desde a laje do laboratório até o quadro. Considerando que teremos condutores com 2,5 mm² de área de seção, com área total de 10,5 mm² para cabo PP de 3x2,5 mm², que será utilizado na instalação.

Como foi previsto que o laboratório possui dimensões para a instalação de até 12 painéis, a área total de ocupação do eletroduto pelos cabos dimensionados é de $12 * 10,5 = 126 \text{ mm}^2$. Considerando a ocupação máxima de 40% do eletroduto, o mesmo deve ter diâmetro mínimo de 20,03 mm. Logo pode utilizado um eletroduto com diâmetro de 25 mm.

No entanto, o diâmetro calculado leva em consideração que os painéis solares a serem adquiridos não terão potência fornecida maior que 245 W, para que não seja necessário futuramente a adição de novos eletrodutos, foram instalados 3 eletrodutos de 25 mm de diâmetro.

3.4.2 Especificação da Proteção

Para a proteção do sistema, o primeiro passo é o aterramento dos equipamentos à malha de terra do LAT. É então feita a conexão entre os contatos indicados no painel solar para aterramento e a rede de terra disponível no laboratório, assim como o aterramento do inversor, que também é conectado à malha de terra do laboratório.

O controlador de carga adquirido é capaz de identificar e desconectar o sistema no caso das seguintes ocorrências:

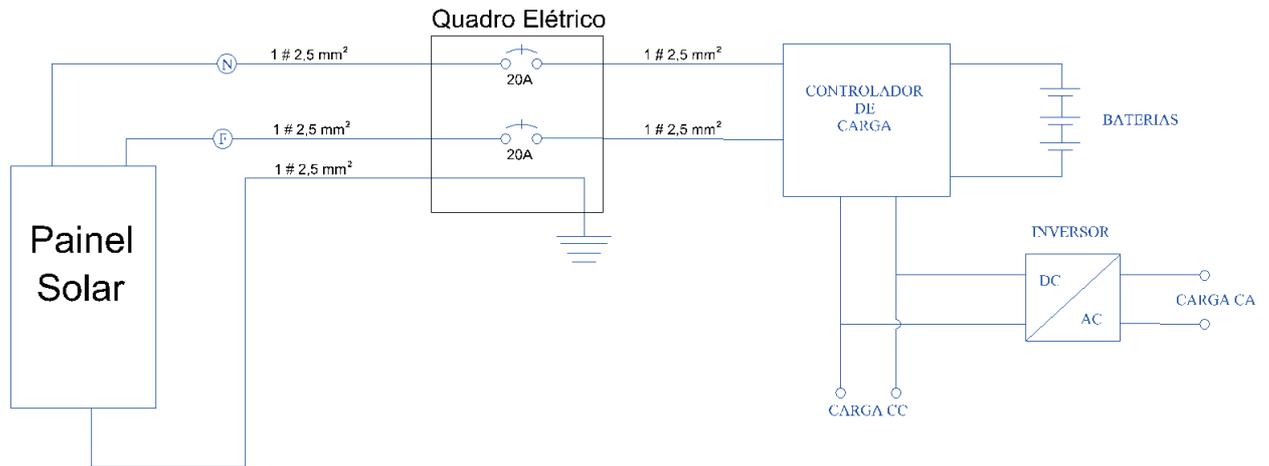
- Curto circuito dos painéis solares;
- Sobretensões vindas dos painéis - no caso da ocorrência de sobretensões os painéis serão mantidos desconectados até que o controlador identifique que a tensão caiu a níveis seguros;
- Sobrecarga - caso a corrente fornecida à carga exceda a corrente máxima o controlador irá desconectar a mesma.
- Curto circuito na carga;
- Reversão de polaridade do painel solar;
- Reversão de polaridade da bateria.

Uma vez que o controlador de carga interconecta os dispositivos do sistema, a proteção do sistema é feita a pelo mesmo.

Como último passo para o projeto elétrico é dimensionada uma chave para seccionamento dos painéis solares e então pode ser elaborado o diagrama da instalação. Foi determinado que para o seccionamento do painel será utilizado um disjuntor bipolar de 20 A. Com base na corrente nominal do painel, 8,23 A, o disjuntor dimensionado pode então ser utilizado para até dois painéis. Como o disjuntor não exerce função de proteção, neste caso, foi possível a utilização de um disjuntor sobre-dimensionado. É importante considerar que o disjuntor deve ser bipolar para que seja evitada a interrupção em separado de um dos contatos do painel.

Na Figura 3.7 é apresentado o diagrama para a instalação.

Figura 3.7: Diagrama de instalação do sistema.

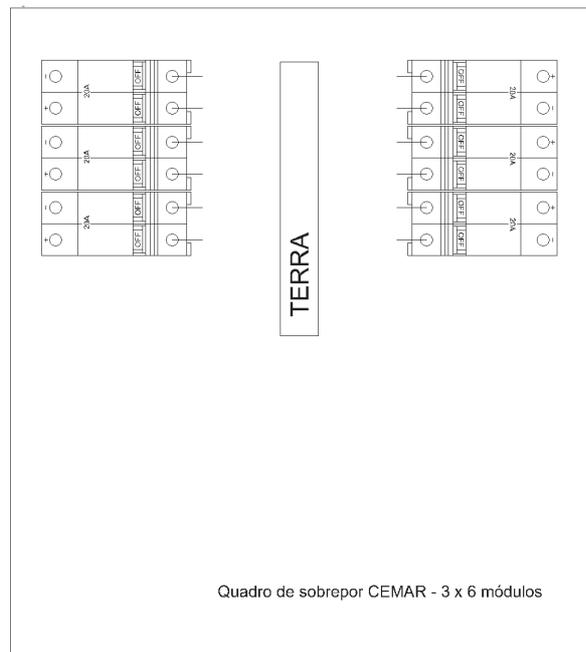


Fonte: autor.

3.4.3 Especificação do Quadro

O quadro elétrico é especificado com base no diagrama apresentado anteriormente e levando em consideração a instalação do total de 12 painéis, de modo que o quadro deve comportar até 6 disjuntores bipolares, considerando a ligação de dois painéis por disjuntor. Na Figura 3.8 é apresentado o quadro elétrico dimensionado.

Figura 3.8: Quadro elétrico.



Fonte: autor.

3.5 Custos Envolvidos

Os custos envolvidos na aquisição dos equipamentos necessários à instalação do sistema fotovoltaico estão apresentados na Tabela 3.1. Além dos equipamentos essenciais também foram somados os custos dos suportes e dos equipamentos auxiliares tais como condutores, disjuntores e quadro. Não foram considerados gastos com mão de obra.

O custo total da instalação foi de R\$ 3209,64, dividindo este valor pela capacidade de geração instalada, obtém-se o custo final de R\$ 13,10 /W.

Uma análise financeira mais detalhada sobre os custos envolvidos nesse projeto pode ser encontrada em Oliveira (2014) [7].

Tabela 3.1: Custos envolvidos.

| Equipamento | Preço (R\$) |
|----------------------|--------------|
| Painel Solar 245 W | 1013,70 |
| Controlador de Carga | 557,07 |
| Bateria Estacionária | 408,27 |
| Inversor | 464,07 |
| Suportes | 200,00 |
| Demais componentes | 320,00 |
| Frete | 246,53 |
| Total | 3209,64 |

Capítulo 4

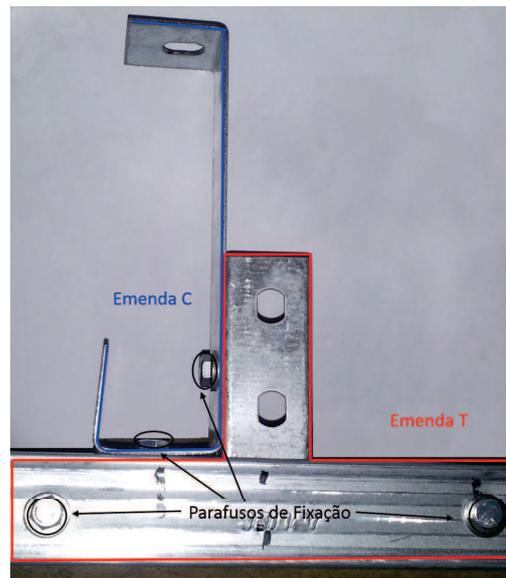
Testes e Resultados

Neste capítulo será apresentada inicialmente uma visão geral do projeto implementado, em seguida os testes a serem realizados no sistema fotovoltaico, apresentando também os resultados obtidos nestes experimentos e comparando-os aos resultados esperados.

4.1 Visão Geral do Sistema Projetado

As figuras a seguir apresentam fotos tiradas na montagem e após a instalação dos elementos do sistema. Na Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 estão apresentadas fotos das estruturas confeccionadas. Na Figura 4.1 são destacadas as emendas T e C utilizadas e os parafusos que fazem a conexão das mesmas e do perfilado.

Figura 4.1: Montagem feita com emendas T e C para suporte do painel solar.



Fonte: autor.

Figura 4.2: Suporte conectado ao perfilado de aço galvanizado.



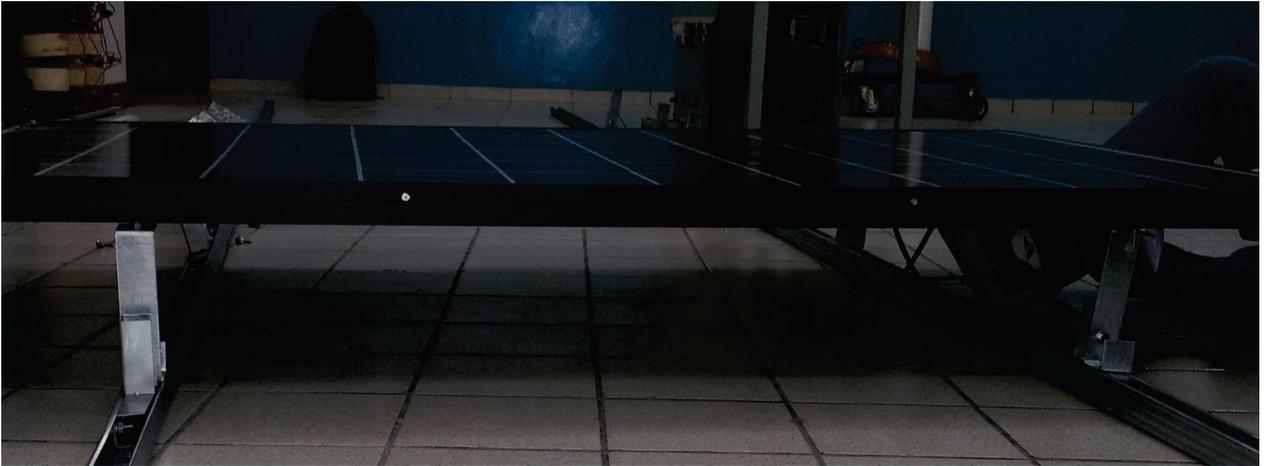
Fonte: autor.

Na Figura 4.4 é apresentada uma foto do painel solar instalado sobre o laboratório.

Na Figura 4.5 é apresentado o sistema montado no laboratório. Nesta figura é possível observar: o quadro elétrico instalado, o controlador de carga e o inversor sobre a bancada, assim como o reostato que será utilizado como carga nos experimentos que seguem e o osciloscópio que também foi utilizado em experimento.

Na Figura 4.6 é apresentada a bateria instalada no laboratório.

Figura 4.3: Demonstração da conexão entre o painel solar e o suporte confeccionado.



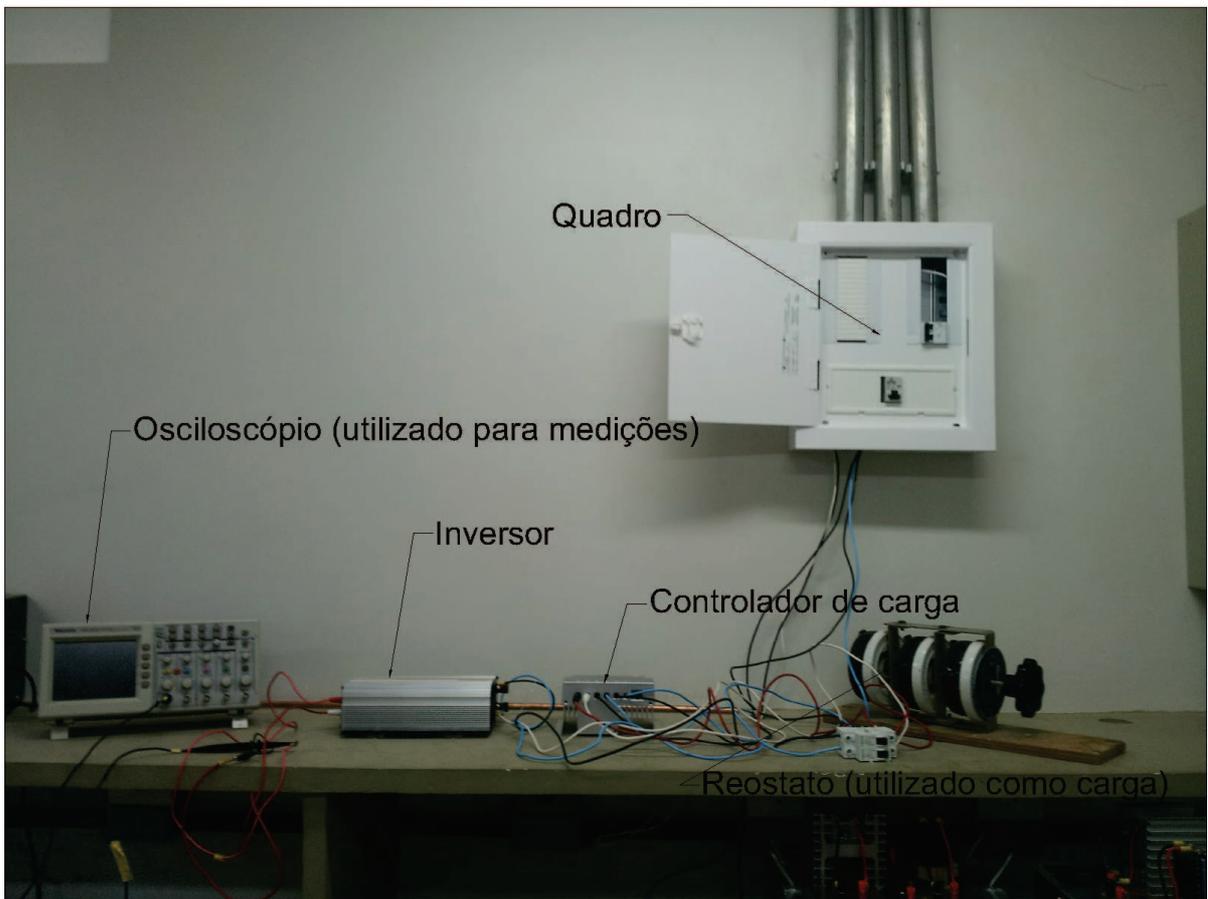
Fonte: autor.

Figura 4.4: Painel solar instalado sobre Laboratório (LAT-UFCG).



Fonte: autor.

Figura 4.5: Sistema montado no laboratório.



Fonte: autor.

Figura 4.6: Bateria.



Fonte: autor.

4.2 Testes no Sistema

Nesta seção serão apresentados os testes realizados para a experimentação do sistema instalado.

Os primeiros experimentos consistem no levantamento das curvas características do painel solar. O experimento seguinte busca observar o comportamento do sistema na presença do controlador de carga. E, por último, foi realizado o teste para verificar a operação do inversor.

4.2.1 Curvas características

Este experimento tem como principal objetivo o levantamento das curvas características do painel solar.

Na realização deste experimento serão utilizados o painel solar; o quadro elétrico para auxiliar na conexão dos elementos; um reostato de 200 W; além de multímetros para medições de corrente e tensão.

Testes de curto circuito e circuito aberto

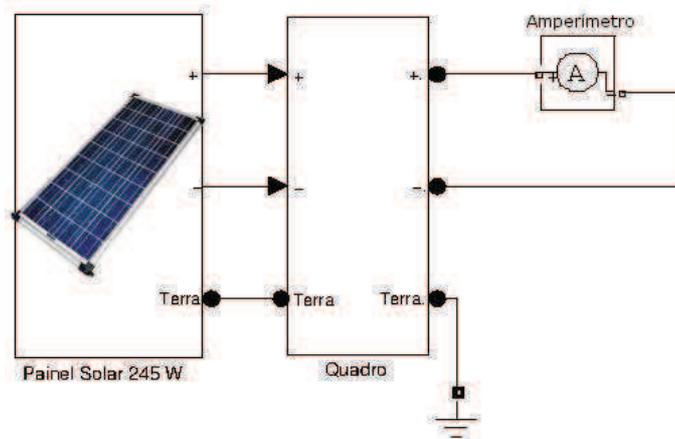
Primeiro serão realizados os testes de curto circuito e circuito aberto. Para o teste de curto circuito é inserido um amperímetro nos terminais de saída do painel para a medição da corrente de curto circuito naquele instante de operação. O diagrama da Figura 4.8(a) ilustra esta montagem. Para o teste de circuito aberto é inserido um volímetro nos terminais do painel com a finalidade de medir a tensão de circuito aberto naquele instante de operação. O diagrama da Figura 4.8(b) ilustra esta montagem.

Levantamento das curvas características $I \times V$ e $P \times V$

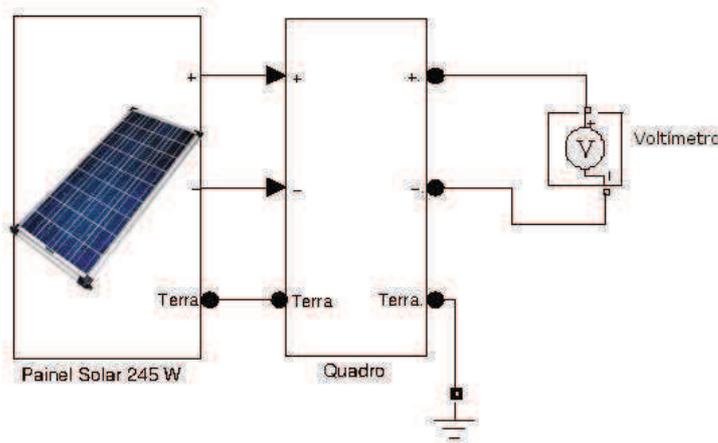
Em seguida, será utilizado um reostato como carga resistiva para o circuito conectando-o à saída do painel solar. Na Figura 4.8 é apresentado o diagrama da montagem descrita.

A resistência da carga é variada para que seja possível a obtenção de vários pontos das curvas características.

Figura 4.7: Diagramas de montagem para teste de curto circuito e circuito aberto.



(a) Diagrama para teste de curto circuito.



(b) Diagrama para teste de circuito aberto.

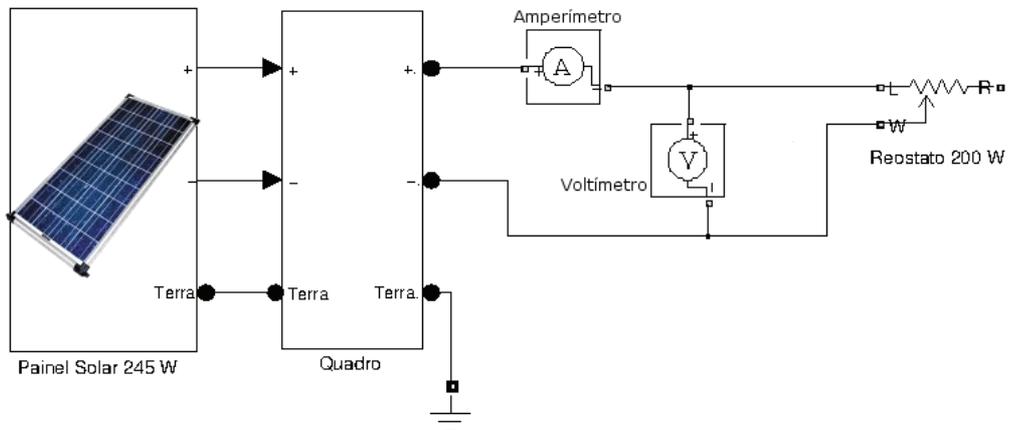
Fonte: autor.

4.2.2 Sistema operando com controlador de carga

Este experimento tem como objetivo verificar a operação do controlador de carga no sistema instalado. O controlador deve atuar no sistema gerenciando e controlando a carga e descarga do banco de baterias. Além disso o controlador instalado possui função de MPPT que busca a operação do painel em seu ponto de máxima potência.

Na realização deste experimento serão utilizados o painel solar; o quadro elétrico para auxiliar na conexão dos elementos; o controlador de carga; o banco de baterias; um reostato de 200 W; além de multímetros para medições de corrente e tensão.

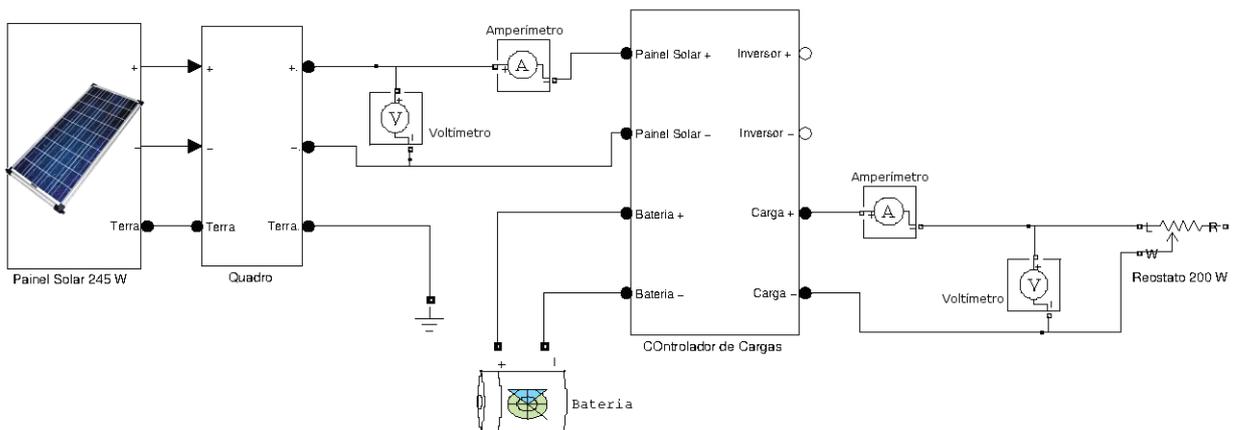
Figura 4.8: Diagrama de montagem.



Fonte: autor.

Para a montagem do experimento serão utilizados quatro multímetros, dois para medir corrente e tensão fornecidas pelo painel solar e outros dois para medir corrente e tensão fornecidas à carga. As medições são feitas para valores distintos de carga. Essas medições também devem ser espaçadas em tempos distintos para que se possa observar a bateria sendo carregada e descarregada. Para este teste é feita a montagem dos equipamentos de acordo com o diagrama apresentado na Figura 4.9.

Figura 4.9: Diagramas de montagem para teste do sistema operando com o controlador de carga.



Fonte: autor.

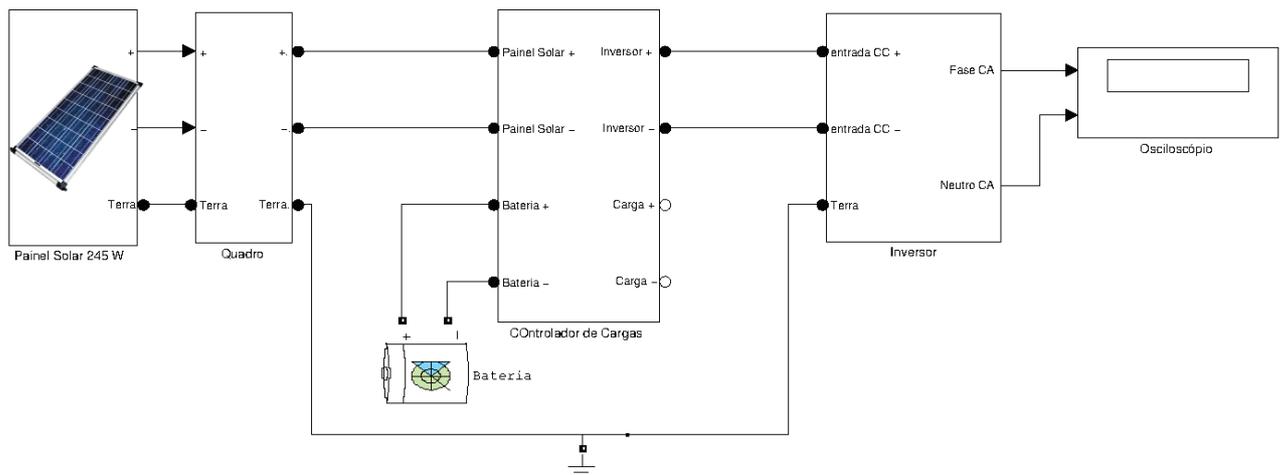
4.2.3 Teste com o inversor

Este experimento tem como objetivo verificar a operação do inversor adquirido para a composição do sistema.

Na realização deste experimento serão utilizados o painel solar; o quadro elétrico para auxiliar na conexão dos elementos; o controlador de carga; o banco de baterias; o inversor; e um osciloscópio.

Na realização deste teste é utilizado um osciloscópio para observar a forma de onda na saída do inversor, assim como para medir a frequência e os valores de pico e RMS da tensão de saída. Para este teste é feita a montagem dos equipamentos de acordo com o diagrama apresentado na Figura 4.10.

Figura 4.10: Diagramas de montagem para teste do inversor.



Fonte: autor.

4.3 Resultados e Discussões

Nesta seção serão apresentados os resultados para os teste já descritos. Quando possível esses resultados foram comparados com aqueles fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos adquiridos.

Os primeiros experimentos fazem o levantamento das curvas características do

painel solar. O experimento seguinte observar o comportamento do sistema na presença do controlador de carga. E por último verifica-se a operação do inversor.

4.3.1 Curvas características

Este experimento tem como objetivo o levantamento das curvas características do painel solar e a comparação das mesmas com os dados obtidos no *datasheet* fornecido pelo fabricante.

Testes de curto circuito e circuito aberto

Primeiro foram realizados os testes de curto circuito e circuito aberto. Os resultados obtidos nesses testes estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Resultados dos testes de curto circuito e circuito aberto.

| | |
|---|--------|
| Corrente de curto circuito (I_{cc}) | 9,67 A |
| Tensão de circuito aberto (V_{ca}) | 34,1 V |

Comparando os resultados obtidos com os fornecidos pelo fabricante do painel solar é possível perceber que a corrente de curto circuito encontra-se acima daquela apresentada no *datasheet* do painel (para 1000 W/m^2) que é de 8,91 A. Diante disso estima-se que a radiação solar no momento do experimento estava acima de 1000 W/m^2 , uma vez que a radiação é a maior responsável pela variação da corrente de curto circuito como pode ser observado no gráfico da curva característica IxV apresentado anteriormente na Figura 3.2.

A tensão de circuito aberto no entanto se apresentou abaixo do esperado pelas características do painel, levando em consideração que a radiação é maior que 1000 W/m^2 , é possível que a temperatura das células solares no momento das medições fosse superior a 25°C uma vez que a temperatura da célula é a maior responsável pela diminuição da tensão de circuito aberto do painel, como pode ser observado no gráfico da curva característica IxV apresentado na Figura 3.1. Foi verificada também que a temperatura externa ao laboratório era de 34°C o que indica que a temperatura da célula solar estava possivelmente acima deste valor.

Levantamento das curvas características IxV e PxV

Em seguida, utilizou-se um reostato como carga resistiva para o circuito conectando-o à saída do painel solar.

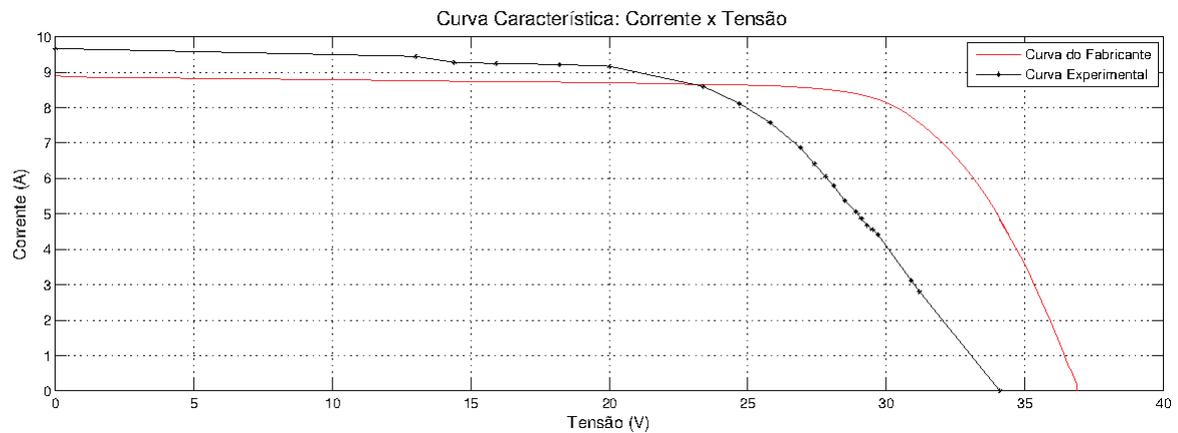
A resistência da carga foi variada entre os valores de $1,38 \Omega$ e $11,14 \Omega$ para que fosse possível a obtenção de vários pontos das curvas características. As medições obtidas nesse experimento estão dispostas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Tensão e corrente sobre a carga.

| Medição | Tensão (V) | Corrente (A) |
|---------|------------|--------------|
| 1 | 13,0 | 9,45 |
| 2 | 14,4 | 9,28 |
| 3 | 15,9 | 9,25 |
| 4 | 18,2 | 9,22 |
| 5 | 20,0 | 9,17 |
| 6 | 23,4 | 8,60 |
| 7 | 24,7 | 8,12 |
| 8 | 25,8 | 7,58 |
| 9 | 26,9 | 6,87 |
| 10 | 27,4 | 6,41 |
| 11 | 27,8 | 6,06 |
| 12 | 28,1 | 5,79 |
| 13 | 28,5 | 5,37 |
| 14 | 28,9 | 5,07 |
| 15 | 29,1 | 4,68 |
| 16 | 29,3 | 4,68 |
| 17 | 29,5 | 4,56 |
| 18 | 29,7 | 4,41 |
| 19 | 30,9 | 3,12 |
| 20 | 31,2 | 2,80 |

A partir dos dados dessas medições e dos resultados obtidos nos testes de curto circuito e circuito aberto foram levantadas as curvas característica para o painel solar com o auxílio do software MATLAB. Na Figura 4.11 está apresentada a curva experimental de corrente versus tensão (IxV) para o painel solar. Também é apresentada na Figura 4.11 a curva IxV fornecida pelo fabricante do painel solar para efeito de comparação com a curva obtida nas medições.

Figura 4.11: Curvas características para o painel solar: Corrente versus Tensão (IxV).

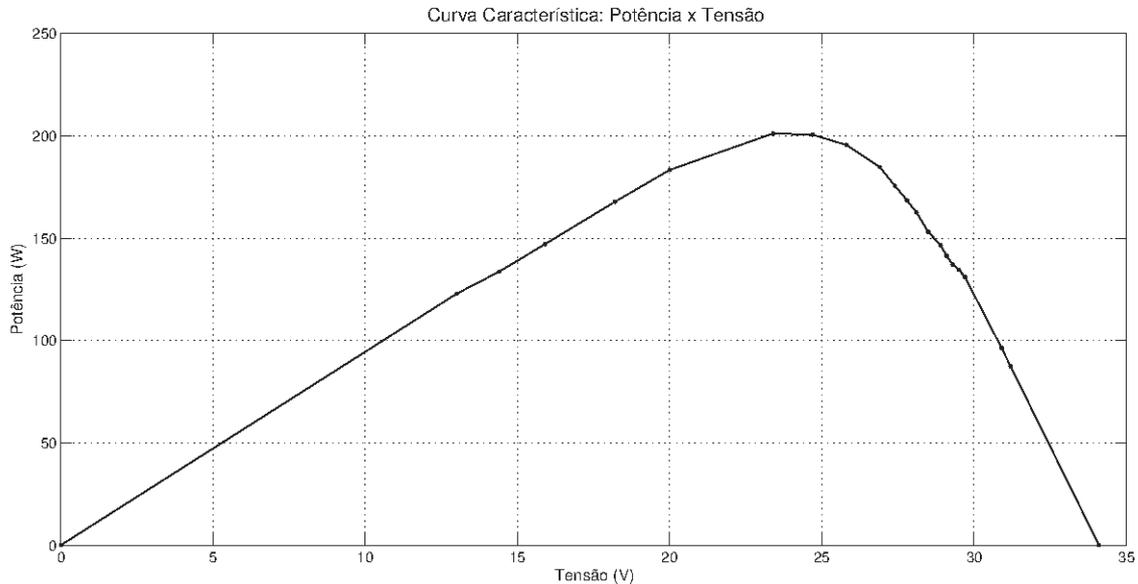


Fonte: autor.

Analisando a curva de Corrente x Tensão observa-se a presença de trechos não tão suaves quanto o esperado, por exemplo entre os pontos medidos $V = 13 \text{ V}$ e $V = 14,4 \text{ V}$. Essa não suavização da curva pode ser explicada pela variação na radiação solar entre as medições. Uma vez que não se pode garantir a radiação constante para o experimento estas variações acabaram por modificar o gráfico; variações na temperatura também podem ter ocorrido embora suas ocorrências sejam mais lentas e difíceis de se perceber no gráfico. Outro ponto que sustenta a explicação da queda da radiação solar durante as medições é o ponto do gráfico $I = 0 \text{ A}$, obtido com o teste de circuito aberto. Esse ponto apresenta um deslocamento no eixo x significativo dos demais, isto ocorre pois a tensão de circuito aberto feita anteriormente às demais, como sugere-se se que a radiação solar tenha caído durante as medições este ponto se apresentou deslocado dos demais. Para tentar contornar estas variações nas medições impostas pelo ambiente, poderiam ser feitas várias medições em dias distintos e assim obter uma média dessas medições para a construção dos gráficos.

Na Figura 4.12 está apresentada a curva experimental de potência versus tensão (PxV) para o painel solar.

Figura 4.12: Curvas características para o painel solar: Potência versus Tensão (PxV).



Fonte: autor.

Analisando o gráfico apresentado na Figura 4.12 pode ser percebido o ponto de máxima potência para as medições, este ponto ocorre quando a tensão encontra-se igual a 23,4 V. Observa-se que esse valor é distinto daquele apresentado pelo fabricante como ponto de operação de máxima potência. Essa variação ocorre devido, principalmente, as condições de radiação solar e temperatura não serem aquelas especificadas no *datasheet* do equipamento, e também devido a falta de continuidade nos valores utilizados para a construção da curva.

Com a análise dos dados da Tabela 4.2 e dos gráficos apresentados nas Figuras 4.11 e 4.12 é possível também observar os estágios de operação do painel solar. No primeiro estágio o painel opera como fonte de corrente. Isso se dá devido à pequena variação de corrente dada uma considerável variação da tensão. O segundo estágio de operação é intermediário entre os estágios de fonte de corrente e fonte de tensão, caracterizado por ser o estágio de maior potência. No terceiro estágio o painel opera como fonte de tensão, ou seja, para uma pequena variação da tensão ocorre uma considerável variação da corrente.

4.3.2 Sistema operando com controlador de carga

Este experimento tem como objetivo verificar a operação do controlador de carga no sistema instalado. O controlador deve atuar no sistema gerenciando e controlando a carga e descarga do banco de baterias, além disso o controlador instalado possui função de MPPT que busca a operação do painel em seu ponto de máxima potência.

Na realização deste experimento variou-se a resistência do reostato de $5,43 \Omega$ a $1,36 \Omega$. Essas medições também foram espaçadas em tempos distintos para que pudesse ser observada a bateria sendo carregada e descarregada.

A partir dos valores obtidos nas medições foi calculada a potência fornecida pelo módulo solar e a potência solicitada pela carga. Sendo assim foi possível determinar a parcela de potência fornecida à carga pelo painel solar e aquela fornecida pelo banco de baterias. Para tal conclusão foi levado em consideração que a potência que foi medida no painel solar subtraída da potência medida na carga é igual à potência fornecida pela bateria, no caso de um resultado positivo para a subtração, ou fornecida à bateria, no caso de um resultado negativo, ou seja,

$$P_{carga} - P_{painel} = P_{bateria}. \quad (4.1)$$

Na Tabela 4.3 estão apresentados os valores das medições realizadas assim como os valores calculados para a potência do painel solar e da carga. Também está apresentada a parcela de potência fornecida pela bateria ou fornecida à bateria determinando seu estado de operação.

A partir dos dados obtidos é possível identificar a operação do controlador de carga. Quando o painel solar não fornece potência suficiente para a alimentação da carga o controlador atua fazendo que a potência restante necessária à alimentação da carga seja fornecida pela bateria, sendo assim a carga não será desligada.

Tabela 4.3: Teste do sistema com a presença do controlador de carga.

| Painel Solar | | | Carga Resistiva | | | Bateria | |
|--------------|--------------|----------|-----------------|--------------|----------|----------|----------|
| Medições | | Potência | Medições | | Potência | Potência | Carga/ |
| Tensão (V) | Corrente (A) | (W) | Tensão (V) | Corrente (A) | (W) | (W) | Descarga |
| 25,4 | 1,71 | 43,43 | 12,7 | 2,34 | 29,72 | 13,71 | Carga |
| 25,7 | 1,99 | 51,14 | 12,6 | 2,34 | 29,48 | 21,66 | Carga |
| 25,1 | 2,11 | 52,96 | 12,6 | 4,02 | 50,65 | 2,31 | Carga |
| 26,6 | 8,6 | 228,76 | 13,9 | 4,50 | 62,65 | 170,04 | Carga |
| 25,7 | 9,05 | 232,59 | 13,9 | 5,51 | 76,59 | 166,11 | Carga |
| 25,7 | 8,77 | 225,39 | 13,5 | 9,25 | 124,88 | 100,51 | Carga |
| 22,7 | 2,75 | 62,43 | 11,8 | 11 | 129,80 | 67,37 | Descarga |
| 27 | 2,8 | 75,6 | 12 | 8,8 | 105,60 | 30 | Descarga |

4.3.3 Teste com o inversor

Este experimento tem como objetivo verificar a operação do inversor adquirido para a composição do sistema.

O osciloscópio é utilizado para observar a forma de onda na saída do inversor, assim como para medir a frequência e os valores de pico e RMS da tensão de saída.

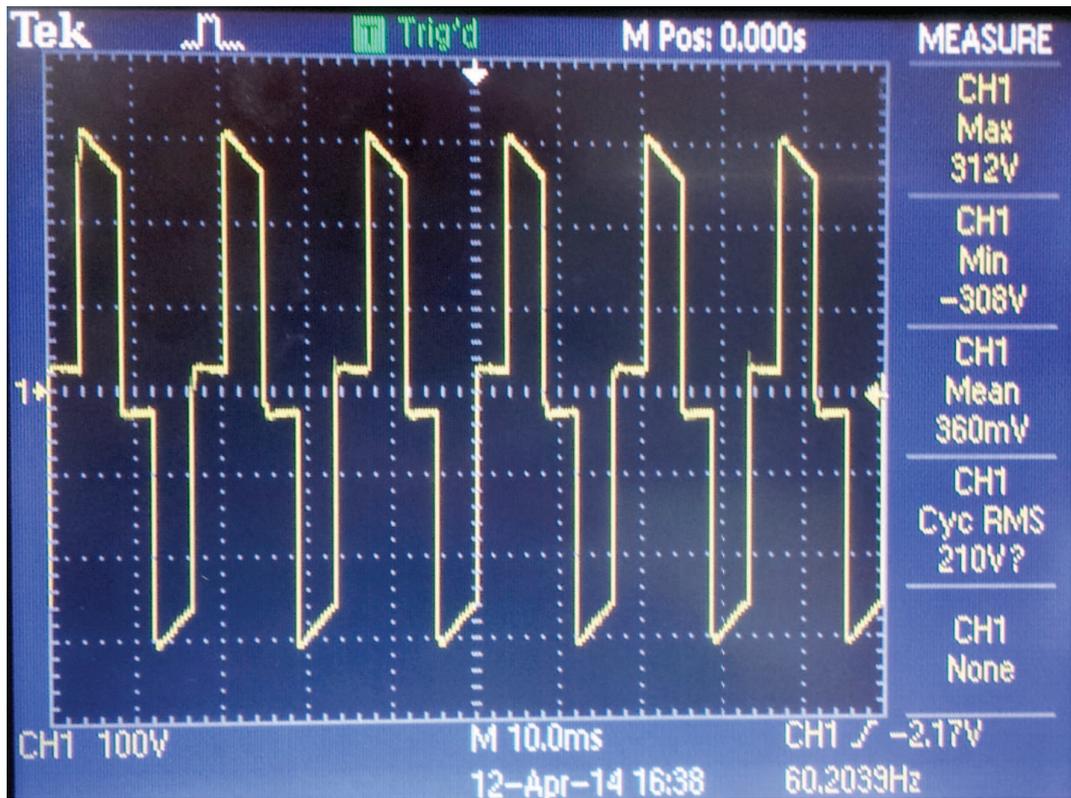
Na Figura 4.13 é apresentada a forma de onda na saída do inversor obtida no osciloscópio.

Como esperado, na saída do inversor foi observada uma forma de onda do tipo senoidal modificada. Foram também medidos com o auxílio do osciloscópio o valor da frequência da onda, os valores das tensões de pico e o valor RMS. Estas medições são apresentadas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Resultados do teste com o inversor.

| | |
|---------------|--------|
| Frequência | 60 Hz |
| Tensão Máxima | 312 V |
| Tensão Mínima | -308 V |
| Tensão RMS | 210 V |

Figura 4.13: Saída do inversor - Onda modificada.



Fonte: autor.

Capítulo 5

Conclusões

Atualmente é dado grande incentivo à geração de energia a partir de fontes renováveis e a geração de energia fotovoltaica tem se destacado entre elas pelo fácil acesso desta energia aos pequenos consumidores, uma vez que um painel fotovoltaico pode ser instalado até em uma residência, embora ainda seja necessário um alto investimento inicial. Esta fonte de energia renovável é o objeto de estudo deste trabalho.

O presente trabalho desenvolveu o projeto e a instalação de um sistema de geração de energia elétrica a partir de energia solar. Os objetivos específicos alcançados ao longo desse trabalho foram a familiarização com o tema abordado e o estudo dos procedimentos para o projeto de dimensionamento de um sistema fotovoltaico.

O estudo desenvolvido na experimentação do sistema instalado mostrou que os procedimentos utilizados apresentaram bons resultados, embora alguns dos testes tenham obtido resultados não alinhados com o que era esperado, isso ocorreu devido a condições que não podem ser controladas, tais como radiação solar e temperatura. Para tentar contornar tais erros é sugerido que sejam feitas várias medições em dias distintos e durante uma longa faixa de tempo para se obter uma média mais próxima do esperado. É possível concluir, então, que o sistema projetado e instalado é confiável e pode ser utilizado para a continuidade do estudo da energia solar.

Acredita-se que os conhecimentos adquiridos com este trabalho possam ser aplicados e aperfeiçoados em sistemas de maior porte. Para a continuidade do estudo do sistema fotovoltaico é interessante que seja ampliado o sistema atual para a geração de uma maior

potência e a alimentação outras cargas, como por exemplo motores de pequeno porte. Outro ponto que pode ser avaliado para melhoria do projeto é o desenvolvimento de uma estrutura mecânica mais elaborada. No futuro é também desejável que se interligue o sistema à rede elétrica.

Referências Bibliográficas

- [1] PATEL, M. R. Wind and Solar Power Systems: Design, Analysis, and Operation. Segunda Edição. Flórida: Taylor Francis Group, 2006.
- [2] GT COGEN SOLAR: Inserção de Energia Solar no Brasil. São Paulo: versão Julho, 2012. Disponível em: <<http://cogen.com.br>>. Acesso em: Novembro de 2013.
- [3] KISSELL, E. T. Introduction to Solar Principles. Primeira Edição. Pearson Education, 2011
- [4] T. IKEGAMI et al. Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system. Solar Energy Materials & Solar Cells, 67, 389 - 395, 2001
- [5] DUNLOP, J. P. Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems: Fundamentals and Application. Número da Publicação: FSEC-CR-1292-01. Flórida: Flórida Solar Energy Center, Janeiro de 1997.
- [6] Energia Solar Fotovoltaica: Guia Prático, São Paulo: Solarterra Energias Alternativas. Disponível em: <www.solarterra.com.br>. Acesso em: Novembro de 2013.
- [7] OLIVEIRA, L. S. Modelagem e Simulação de um Sistema Fotovoltaico em Matlab/Simulink. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Campina Grande.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- [9] ASSAIFE, B. M. Aterramento e Proteção de Sistemas Fotovoltaicos. 2013. Projeto de Graduação (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica.

- [10] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). RESOLUÇÃO NORMATIVA N. 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: Novembro de 2013.
- [11] ASSUNÇÃO, F. C. R. Energia Solar Fotovoltaica no Brasil: Subsídios para Tomada de Decisão. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010, v. 2/10. Disponível em: <www.cgee.org.br>. Acesso em: Janeiro de 2014.
- [12] CALIFORNIA ENERGY COMMISSION. Distributed Generation. Disponível em: <<http://www.energy.ca.gov/>>. Acesso em: Dezembro de 2013.
- [13] FRASS, L., PARTAIN, L. Solar Cells and their applications. Segunda Edição. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2010.
- [14] INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (INEE). Geração Distribuída e Cogeração. Disponível em: <<http://www.inee.org.br>>. Acesso em: Dezembro de 2013.
- [15] SEGUEL, J. I. L. Projeto de um sistema fotovoltaico autônomo de suprimento de energia usando técnica MPPT e controle digital. 2009. Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais.

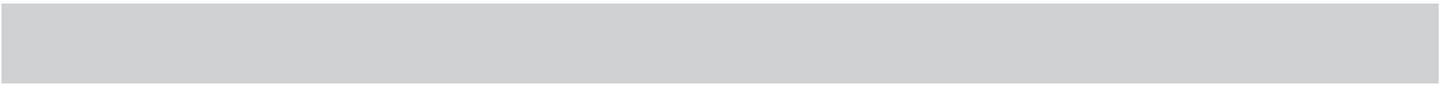
ANEXO 1

Datasheet do Painel Solar

HIGH EFFICIENCY MULTI-CRYSTALLINE PHOTOVOLTAIC MODULE



SOLAR by KYOCERA



ANEXO 2

Manual de instruções resumido do Controlador de Carga

EPSOLAR

Utility model patent NO.

201120064092.1

Tracer-2210RN / 2215RN

— **Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controller**

INSTRUCTION MANUAL

Thank you very much for selecting our product!

This manual offers important information and suggestions with respect to installation, use and troubleshooting, etc. Please read this manual carefully before using the product and pay attention to the safety recommendations in it.

Tracer-2210RN / 2215RN

— Maximum Power Point Tracking Solar Charge Controller



Specification Summary

| | |
|-------------------------|------------|
| System Voltage | 12 / 24VDC |
| Rated Battery Current | 20A |
| Rated Load Current | 20A |
| Max. PV Input Voltage** | |
| Tracer-2210RN | 100VDC |
| Tracer-2215RN | 150VDC |
| Max. PV Input Power | |
| 12V System | 260W |
| 24V System | 520W |

***Array voltage should never exceed maximum PV input voltage. Refer to the solar module documentation to determine the highest expected array Voc (open circuit voltage) as defined by the lowest expected ambient temperature for the system location.*

2 General Information

2.1 Overview

Thank you for selecting the Tracer controller which represents advanced technology of our company. The features are listed below:

- 12V / 24V auto recognition.
- Advanced maximum power point tracking technology to optimize using the solar system.
- Peak conversion efficiency of 97 %, high Tracking efficiency of 99%.
- Very fast sweeping of the entire I-V curve, several seconds tracking speed.
- Widely used, automatic recognize day/night.
- Timer function with 1-15 hours option for street light.
- Unique dual timer function, enhance the flexibility of street light system.
- Sealed, Gel and Flooded battery option.
- Adopting temperature compensation and correcting the charging and discharging parameters automatically, improving the battery lifetime.
- Electronic protection: over charging, over discharging, overload, short circuit.
- Reverse protection: any combination of solar module and battery, without causing damage to any component.
- Excellent thermal design and nature air cooling.
- RJ45 interface with remote meter MT-5, convenient to check operating parameters of controllers.

The Tracer series controller is for off-grid solar system and control the charging and discharging of the battery, especially suitable for the street light system. The controller features a smart tracking algorithm inside that maximizes the energy from the solar PV module(s) and charge the battery. At the same time, the low voltage disconnect function (LVD) will prevent the battery from over discharging.

The Tracer controller charging process has been optimized for long battery life and improved system performance. The comprehensive self-diagnostics and electronic protection functions can prevent damage from installation mistakes or system faults. In addition, the Tracer controller has a RJ45 interface to allow communication with a meter for remote monitoring.

Although the Tracer controller is very simple to configure and use, please take your time to read the operator's manual and become familiar with the controller. This will help you make full use of all the functions and improve your solar PV system.

The features of Tracer controller:

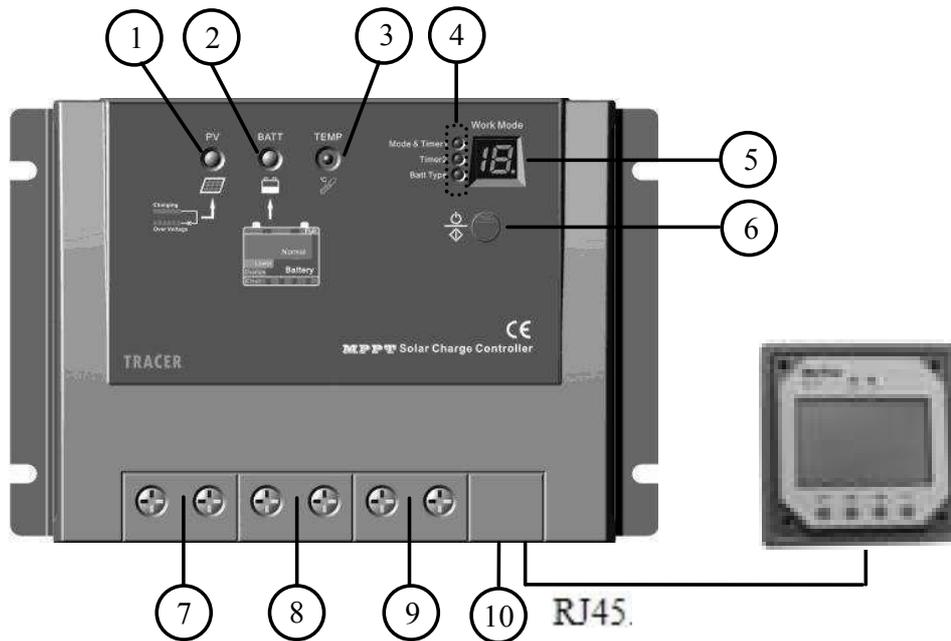


Figure 2-1 Tracer Characteristics

1 – Charging Status LED Indicator

An LED indicator that shows charging status and overvoltage of battery.

2 – Battery Status LED Indicator

An LED indicator that shows battery status or system errors.

3 – Temperature Sensor

Measure ambient temperature and make temperature compensation for charging and discharging.

4 – Setting Indicators

Corresponding indicator will be on when set timer1, timer2 and battery type.

5 – LED Digital Display

Display the load work mode and status.

6 – Setting Button (in manual mode used for load ON/OFF)

Set load work mode and select battery type.

7 – Solar Module Terminals

Connect solar modules.

8 – Battery Terminals

Connect batteries.

9 – Load Terminals

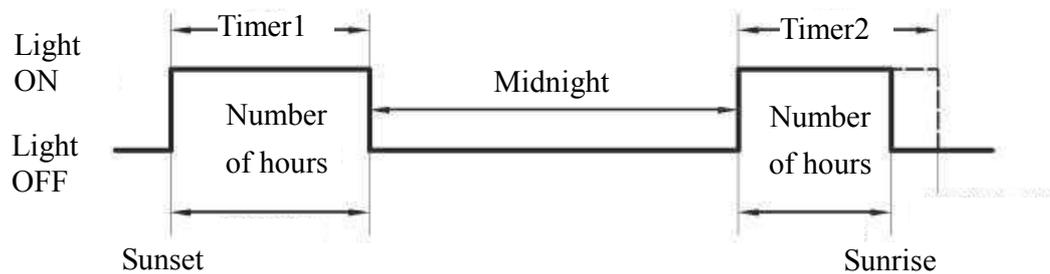
Connect loads.

10 – RJ45 Communication Interface

Communicate with remote meter MT-5.

4.4 Setting Operation

• Dual Timer Function



The default night length is 10 hours. The controller can learn the night length referring to the previous night so as to adapt to the different seasons. However, it will take some time to learn it.



Notes: when the “OFF” time set at timer 2 is later than local sunrise time, the controller will turn off the load output at the sunrise time, which shows light control first!

• Load Control Settings

1. Dusk to Dawn (Light ON + Light OFF)

When solar module voltage goes below the point of NTTV (Night Time Threshold Voltage) at sunset, the solar controller will recognize the starting voltage and turn on the load after 10 minutes delay; When solar module voltage goes above point of DTTV (Day Time Threshold Voltage), the solar controller will recognize the starting voltage and turn off the load after 10 minutes delay.

2. Light ON + Timer (1-15h on)

When solar module voltage goes below the point of NTTV (Night Time Threshold Voltage) at sunset; the solar controller will recognize the starting voltage and turn on the load after 10 minutes delay for several hours which users set on the timer. The timer setting operation is referred to as “Load Work Mode Setting”.

3. Test Mode

It is used to test the system and the same as Dusk to Dawn. But there is no 10 minutes delay when controller recognizes the starting voltage. When below the starting voltage, the controller will turn on the load, if higher, it will turn off load. The test mode makes it easy to check the system installation.

4. Manual Mode

This mode is to turn on/off the load by Setting Switch.

- **Load Work Mode Setting**

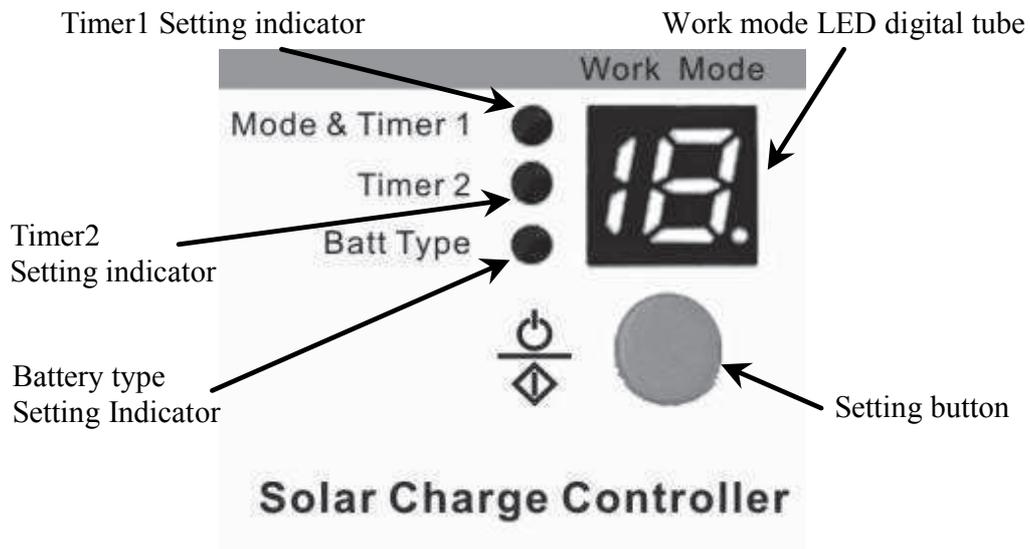


Figure 4-4 Instruction figure on setting

Press the setting button once and setting indicators will be changed once among timer 1, timer2 and battery type.

When timer 1 setting indicator is on, press the setting button for more than 5 seconds till the LED digital tube flashes. Then press the setting button till the desired number appears according to the following table. The setting is finished when the digital tube stop flashing.

Timer 2 setting is the same as timer 1 when the setting indicator is on timer2.

5 Protections, Troubleshooting and Maintenance

5.1 Protection

•PV Array Short Circuit

If PV array short circuit occurs, clear it to resume normal operation.

•PV Overvoltage

If PV Overvoltage occurs, the array will remain disconnected until the voltage falls safely below the maximum rating.

•Load Overload

If the load current exceeds the maximum load current rating, the controller will disconnect the load. Overloading must be cleared up through reapply power or pressing the setting button.

•Load Short Circuit

Fully protected against load wiring short-circuit. After one automatic load reconnect attempt, the fault must be cleared by reapply power or pressing the setting button.

•PV Reverse Polarity

Fully protection against PV reverse polarity, no damage to the controller will result. Correct the miswire to resume normal operation.

•Battery Reverse Polarity

Fully protection against battery reverse polarity, no damage to the controller will result. Correct the miswire to resume normal operation.

•Damaged Local Temperature Sensor

If the temperature sensor short-circuited or damaged, the controller will be charging or discharging at the default temperature 25°C to prevent the battery damaged from overcharging or over discharged.

•High Voltage Transients

PV is protected against high voltage transients. In lightning prone areas, additional external suppression is recommended.

ANEXO 3

Manual de instruções do Inversor

Modelo: 400W / 800W / 1200W

12V/220V

Onda Modificada

Manual
Inversores



1. Introdução ao Produto

Prezado consumidor,

Obrigado por escolher um produto Hayonik! Antes de utilizar seu Inversor leia atentamente o manual de instruções. Esse manual possui informações fundamentais para uma boa utilização do produto. Guarde-o para futura referência.

2. Conteúdo da Embalagem:

1 (um) Inversor Hayonik*

O modelo 400W acompanha 1 (um) cabo para acendedor de cigarro e 1 (um) cabo de alimentação.

* Verifique o modelo na lateral da embalagem.

4. Instalação

- 1 – Certifique-se que o interruptor de alimentação ON/OFF(I/O) localizado no painel frontal do Inversor está na posição OFF(O).
- 2 – Desparafuse os bornes vermelho e preto dos terminais de entrada localizado no painel traseiro do Inversor.
- 3 – Conecte os cabos da bateria de acordo com sua cor e polaridade, certificando-se que os mesmos estejam ligados corretamente (Vermelho = Positivo e Preto = Negativo). Parafusar as tampas dos bornes de entrada fixando os cabos, sem apertar muito.
- 4 – Conecte o cabo negativo (-), que está fixado pelo borne preto, ao terminal negativo da bateria de 12 Volts. Verifique se a conexão está segura.
- 5 - Conecte o cabo positivo (+), que está fixado pelo borne vermelho, ao terminal positivo da bateria de 12 Volts. Verifique se a conexão está segura.
- 6 – Ligue o interruptor do Inversor colocando-o em ON (I). O LED verde deve ascender para confirmar que o Inversor está recebendo energia.
- 7 - Desligue o interruptor do Inversor colocando-o em OFF (O). (O LED verde pode ficar aceso por um leve período e o alarme interno poderá soar momentaneamente. Isso é normal!)
- 8 – Certifique-se que o dispositivo que pretende ligar no Inversor está desligado. Conecte o cabo do equipamento que você deseja operar em

3. Orientações de Segurança

O Inversor é projetado para operar com o uso de uma bateria de 12 Volts. o mesmo não irá operar a partir de uma bateria de 24 Volts. Não tente conectar o Inversor a qualquer outra fonte de energia que não for bateria nominal. Caso ocorra danos na entrada de 12 Volts por mau uso, tais como esquentar ou modificar o cabo de alimentação ou alterar as garras do cabo, a garantia do produto será anulada.

O uso inadequado do Inversor pode resultar em sérios prejuízos, tais como choque elétrico letal. Cuidado!

Não expor o Inversor Hayonik em locais com alta umidade relativa do ar, temperatura ambiente elevada e excesso de poeira.

Certifique-se que o cabo de energia está em bom estado e dentro das especificações corretas.

O local de instalação do Inversor deve ser arejado, com no mínimo 15 cm de distância de qualquer objeto possibilitando a circulação do ar. A temperatura ambiente deve ser de 0 a 30 °C.

uma das tomadas AC localizada no painel frontal do inversor.

9 – Não conecte a saída do Inversor de 220 Volts em outra fonte de energia! (Jamais ligar em tomadas 127/220V).

10- Ligue primeiro o Inversor colocando o interruptor em ON (I), Somente depois ligue o aparelho que está conectado ao Inversor.

11 – Não coloque em paralelo ou em série a saída de dois Inversores de Potência. A forma de onda de um Inversor não está em fase com a outra forma de onda de outro Inversor.

Notas:

- Conexões frouxas podem resultar em uma diminuição na tensão de servidor, o que pode causar danos aos componentes ou ao produto que você deseja operar.
- Deixar de fazer uma conexão adequada entre o inversor e a fonte de alimentação pode resultar em inversão de polaridade. Em caso de polaridade reversa os fusíveis internos do Inversor podem ser danificados, causando danos permanentes no Inversor. Danos causados por inversão de polaridade não serão cobertos pela garantia.
- O alarme interno poderá soar quando o Inversor é ligado ou desligado. Este mesmo alarme também pode soar quando o Inversor está sendo conectado ou desconectado da fonte de alimentação de 12 Volts. Isso é normal.
- Se o LED verde piscar quando você ligar o inversor, indica que os grampos não estão conectados corretamente, conecte-os novamente. Se não resolver o problema, tente usar uma bateria de 12 Volts diferente.

5 - Características de Proteção do Inversor

Proteção Contra Curto Circuito: O inversor desligará automaticamente até o curto circuito ser removido.

Alarme de Baixa Tensão: Um alarme soará quando a tensão da bateria estiver abaixo de $10,5 \pm 0,5$ VDC. Esta é uma indicação que a bateria precisa ser recarregada.

Proteção de Alta Tensão: A luz indicadora (LED vermelho) acenderá e o inversor desligará automaticamente quando a entrada exceder $16,5 \pm 1$ VDC.

Proteção de Baixa Tensão: A luz indicadora (LED vermelho) acenderá e o inversor desligará automaticamente quando a entrada for inferior a $10,0 \pm 0,5$ VDC.

ATENÇÃO!

Antes de ligar o inversor, confira no manual do fabricante de seu equipamento se a potência dissipada por este, é compatível com fornecida pelo inversor

6 - Termo de Garantia

Hayonik Indústria e Comércio de Produtos Eletrônicos Ltda, garante este produto contra defeitos de fabricação ou componentes, pelo prazo de 90 (noventa) dias a contar da data da nota fiscal.

| | |
|--------------|-----|
| Nome: | |
| | |
| Cidade: | UF: |
| Telefone: | |
| Nota Fiscal: | |

Para utilização da garantia, preencha e destaque este campo, encaminhando o produto em sua embalagem original ao estabelecimento onde foi efetuado a compra. Não se esqueça de anexar a nota fiscal do mesmo.

7 - Especificações

| Modelo | 150W | 200W | 300W | 400W | 600W | 800W | 1000W | 1200W | 1500W | 2000W | 3000W |
|---|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Potência Máxima | 150W | 200W | 300W | 400W | 600W | 800W | 1000W | 1200W | 1500W | 2000W | 3000W |
| Tensão de Saída AC | 220V \pm 10% RMS | | | | | | | | | | |
| Tensão de Entrada DC | 11 - 15 V | | | | | | | | | | |
| Forma de Onda de Saída | Senoide Modificada | | | | | | | | | | |
| Frequência | 60Hz \pm 3Hz | | | | | | | | | | |
| Eficiência | >80% | | | | | | | | | | |
| Proteção de Temperatura | <65° C | | | | | | | | | | |
| Alarme de Baixa Tensão | 10,5 \pm 0,5 V | | | | | | | | | | |
| Desligamento de Baixa Tensão | 10 \pm 0,5 V | | | | | | | | | | |
| Proteção de Alta Tensão | >15V | | | | | | | | | | |
| Circuito de Proteção para Curto Circuito na Saída | Desligamento Automático | | | | | | | | | | |
| Cabo de Entrada para Bateria* (Máximo 1,5 metros) | >2,5mm ² | >2,5mm ² | >6,0mm ² | < 6mm ² | >16,0mm ² | < 16mm ² | >35,0mm ² | < 35mm ² | >50,0mm ² | <70mm ² | <150mm ² |
| Dimensões CxLxA | 130 x 65 x 235mm | 190 x 75 x 240mm | 190 x 75 x 240mm | 150 x 110 x 60mm | 195 x 185 x 85mm | 240 x 125 x 75mm | 235 x 195 x 120mm | 255 x 148 x 80mm | 255 x 255 x 120mm | 900 x 350 x 105 mm | 900 x 625 x 110 mm |

* Recomendado utilizar cabos de bateria de no máximo 1,5 metros seguindo as espessuras apresentadas na tabela, caso contrário poderá haver queda de tensão acionando a proteção de baixa tensão do Inversor. O cabo não acompanha o inversor.

* No caso da bateria estar com carga baixa, sem carga ou o cabo de entrada não estiver de acordo com a especificação acima, o inversor não irá funcionar.