

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIVATES
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

GUSTAVO SCHEIBLER

**PROJETO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA AUXILIAR A PARTIR DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS PARA USO RESIDENCIAL**

Lajeado

2015

GUSTAVO SCHEIBLER

**PROJETO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA AUXILIAR A PARTIR DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS PARA USO RESIDENCIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas (CETEC) do Centro Universitário UNIVATES, como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação.
Área de concentração: Energia fotovoltaica.

ORIENTADOR: Prof. MSc. Henrique Worm

Lajeado

2015

GUSTAVO SCHEIBLER

**PROJETO DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE
ENERGIA ELÉTRICA AUXILIAR A PARTIR DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS PARA USO RESIDENCIAL**

Este trabalho foi julgado adequado para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Controle e Automação do CETEC e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. MSc. Henrique Worm, UNIVATES

Mestre pela UNISC – Santa Cruz do Sul, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. MSc. Rodrigo W. Porto

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil.

Eng. Elétrico e Seg. do Trabalho Alex Mottin

Bacharel pela UFSM – Santa Maria, Brasil.

Coordenador do Curso de Engenharia de Controle e Automação:

Prof. Rodrigo Wolff Porto

Lajeado, Junho de 2015.

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha namorada, em especial pela dedicação e apoio em todos os momentos difíceis.

AGRADECIMENTOS

Os meus sinceros agradecimentos aos meus pais, Lair Paulo e Marlise, que sempre me apoiaram e acreditaram que eu poderia sempre alcançar meus objetivos a minha irmã Ana Julia pelo incentivo e companheirismo.

A minha namorada Daniela pelo carinho, paciência e motivação.

A minha família que sempre serviu exemplo em todas as etapas da minha vida.

Aos meus amigos que sempre foram parceiros nas horas boas e ruins, e aos que conquistei durante o curso, pela amizade e pelos momentos de dificuldade e alegria que passamos juntos nesses oito anos e meio de graduação.

Aos professores do curso de Engenharia de Controle e Automação pela dedicação, orientação e conhecimentos compartilhados.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação, o meu muito obrigado!

RESUMO

A procura por formas alternativas de geração de energia elétrica observada nas últimas décadas tornou crescente o uso de placas fotovoltaicas capazes de utilizar a luz solar para tal finalidade. Essa fonte de energia não objetiva substituir, mas complementar o modelo energético já existente. Este trabalho apresenta uma proposta de um sistema de geração de energia fotovoltaica de pequeno porte, com capacidade para atender as necessidades básicas de uma residência. O trabalho descreve os principais componentes do sistema proposto que é composto por um conjunto de nove placas fotovoltaicas, um conversor de tensão e um controlador microprocessado. Para validação desta proposta foram realizados experimentos práticos com uma placa fotovoltaica durante um período de sete dias. Em seguida, esses dados foram comparados com dados de radiação solar incidente coletado por uma estação meteorológica localizada no campus da Univates. Além disso, foi construído e testado um inversor de corrente contínua para corrente alternada com potência de 200W, gerando frequência de 60Hz e tensões de saída de 220Vca.

Palavras-chave: Conversor CC/CA, Energia Solar Fotovoltaica, Geração de Energia Elétrica.

ABSTRACT

The research for alternative forms of energy generation observed in the last decades did the photovoltaic energy usage grow gradually. This source of energy doesn't to replace, but completed the existing energy model. This work presents a practical propose for a small system of photovoltaic power generation with capacity to meet the basic needs of a residence. This document describes the main components of the proposed system, which is composed by a set of nine photovoltaic boards and a voltage inverter system. To validate this proposal the experiments were performed with a photovoltaic board during a period of seven days. These data were compared with the incident solar radiation data collected by a weather station located on the campus Univates. Furthermore, it was built and tested a converter of direct current to alternating current, with power of 200W, frequency of 60Hz and generating output voltages of 220 Vca.

Keywords: DC/AC Converter, Solar PhotovoltaicEnergy, Electric Power Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de tensão contínua	18
Figura 2 - Gráfico corrente alternada	18
Figura 3 – Potencial físico das energias renováveis	19
Figura 4 - Média anual de insolação diária no Brasil	20
Figura 5 – Esquema célula fotovoltaica	22
Figura 6 - Módulo fotovoltaico	23
Figura 7 - Exemplo de célula eletroquímica.....	24
Figura 8 - Forma de onda	27
Figura 9 - Configuração típica de instalação de inversor	27
Figura 10 - Controlador de carga ligado em série	28
Figura 11 - Controlador de carga ligado em paralelo.....	28
Figura 12 - Sistemas isolado.....	30
Figura 13 - Sistema conectado	31
Figura 14 – Placa fotovoltaica	34
Figura 15 - Ligação do banco de baterias.....	36
Figura 16 - Circuito controlador de carga	38
Figura 17 - Layout placa controlador de carga.....	39
Figura 18 - Placa controlador de carga.....	40
Figura 19 – Diagrama de blocos SG3524.....	41
Figura 20 – Circuito conversor.....	42
Figura 21 – Layout da placa circuito impresso.	43
Figura 22 – Placa finalizada.	43
Figura 23 – Conversor completo.	44
Figura 24 - Esquema de ligação Arduino/Sensores.....	45
Figura 25 - Divisor de tensão	45
Figura 26 - Tela parâmetro leitura.....	48
Figura 27 - Alarme tensão de bateria baixa.....	49
Figura 28 - Arquivo xls	50
Figura 29 - Local onde estão instalados a estação meteorológica e o painel solar fotovoltaico	52
Figura 30 – Módulo de aquisição e registro de dados Novus FieldLogger.....	53
Figura 31 – Configuração registrador.....	53
Figura 32 – Estação meteorológica DAVIS Vantage Pro2 Pluss Wireless.....	54
Figura 33 – Histórico de tensão gerada pela placa fotovoltaica	55
Figura 34 – Histórico de radiação solar obtido pela estação meteorológica da Univates	55
Figura 35 – Montagem de bancada para testes.....	57
Figura 36 – Resultado medido com o osciloscópio.....	58
Figura 37 – Resultado medido com o osciloscópio.....	59
Figura 38 - Resultado medido com o osciloscópio	61
Figura 39 - Conversor CC/CA imagem interna.....	62
Figura 40 - Conversor CC/CA imagem externa	63
Figura 41 - Local de instalação.....	64
Figura 42 - Local de instalação da placa fotovoltaica	64

Figura 43 - Carga do sistema.....	65
Figura 44 - Gráfico de temperatura e Umidade.....	65
Figura 45 - Gráfico de tensões.....	68
Figura 46 - Gráfico de corrente	70
Figura 47 - Gráfico de potência.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo de cargas.....	33
Tabela 2 – Características do sistema.....	37
Tabela 3 - Sinais gerados pela placa de controle.....	57
Tabela 4 – Testes sem carga.....	59
Tabela 5 – Testes com carga	60

LISTA DE ABREVIATURAS

A:	Ampère
CA:	Corrente Alternada
CC:	Corrente Contínua
CI:	Circuito Integrado
CIH:	Centro de Informações Hidrometeorológicas
DASOL:	Departamento Nacional de Aquecimento Solar
IEA:	International Energy Agency
IHM:	Interface Homem Máquina
OMM:	Organização Meteorológica Mundial
PWM:	Pulse Width Modulation
RMS:	Root Mean Square
USB:	Universal Serial Bus
UV:	Ultra Violeta

SUMÁRIO

1	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
1.1	Energia elétrica.....	17
1.2	Energia solar.....	19
1.2.1	Radiação solar.....	19
1.3	Componentes básicos de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica....	21
1.3.1	Célula fotovoltaica.....	21
1.3.2	Painel fotovoltaico.....	22
1.3.3	Baterias.....	23
1.3.4	Conversores e Inversores CC/CA.....	26
1.3.5	Controladores de carga.....	27
1.4	Configuração básica de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica.....	29
1.4.1	Sistemas isolados.....	29
1.4.2	Sistemas conectados a rede.....	30
2	DESENVOLVIMENTO.....	32
2.1	Dimensionamento e cálculo de cargas.....	32
2.2	Definição da placa fotovoltaica.....	33
2.3	Dimensionamento do banco de baterias.....	35
2.4	Dimensionamento do controlador de carga.....	36
2.4.1	Protótipo controlador de carga.....	37
2.5	Protótipo conversor CC/CA.....	40
2.6	Desenvolvimento da interface de operação com usuário IHM.....	44
2.6.1	Parâmetros de leitura.....	47
2.6.2	Alarmes.....	49
2.6.3	Registro de dados das grandezas elétricas obtidas do sistema.....	50
3	RESULTADOS.....	51
3.1	Experimentação com o painel solar fotovoltaico.....	51
3.1.1	Validação do painel solar fotovoltaico.....	51
3.1.2	Módulo de aquisição dos dados oriundo do painel fotovoltaico.....	52
3.1.3	Estação meteorológica.....	54
3.1.4	Comparativo placa fotovoltaica com dados da estação meteorológica.....	54
3.2	Validação do conversor CC/CA.....	56
3.2.1	Testes de bancada do conversor sem carga.....	58
3.2.2	Testes de bancada do conversor com carga.....	60
3.2.3	Avaliação dos testes do conversor CC/CA.....	61
3.3	Montagem de protótipo e integração de todos componentes do sistema em campo....	62
3.4	Validação do sistema em campo.....	65
4	CONCLUSÃO.....	73

INTRODUÇÃO

A energia elétrica é essencial para grande parte da atividade humana e, com o crescimento populacional e o progresso industrial, a cada dia cresce a demanda por fontes de energia com maior capacidade. As fontes de geração convencionais atuais são compreendidas por usinas hidrelétricas, termelétricas e termonucleares, as quais causam um considerável impacto ambiental. As usinas hidrelétricas provocam grandes alagamentos, com conseqüente modificação da fauna e flora. Usinas termelétricas produzem CO₂ com a queima de combustíveis fósseis, o que agrava o efeito estufa. Já as usinas termonucleares, por utilizarem materiais nucleares para geração de energia, devem possuir tratamento especial a estas matérias e também produzem CO₂. Constata-se, portanto, que formas de energia mais limpas são uma boa opção, pois causam menor impacto ambiental em comparação com as fontes convencionais de geração (PIQUEIRA, 1999).

A procura por formas alternativas de geração e de aproveitamento energético, motivada também pela redução do impacto das tecnologias atuais no meio ambiente, vem não apenas para substituir, mas também para somar esforços no sentido de racionalizar o uso do potencial energético disponível (ZANESCO et al., 2005). Neste contexto, as formas alternativas de produção e aproveitamento de energia limpa têm-se mostrado adequadas para agregar ao modelo energético em vigor (DE SEIXAS et al., 2005).

Nos últimos 20 anos as investigações e pesquisas acerca da utilização da energia fotovoltaica vêm aumentando gradativamente e a principal razão que sempre impediu a expansão da energia fotovoltaica, quando comparada com outras formas convencionais de produção de energia elétrica, foi puramente econômica. O alto custo para montagem e instalação do sistema sempre afastou interessados, mas o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e mais baratas começa a mudar esse panorama. (RÜTHER, 2003).

A utilização da energia solar fotovoltaica de pequeno porte gera, de forma descentralizada e junto ao ponto de consumo, energia elétrica pela conversão direta da luz solar, sem a utilização de peças móveis, com pouca manutenção, sem ruídos ou qualquer tipo de poluição quando está em funcionamento e valendo-se da utilização da energia inesgotável

do sol. Atualmente, o desempenho técnico dos equipamentos, a adaptabilidade e a aplicabilidade justificam sua utilização, inclusive economicamente (COELHO, 2003).

A capacidade de geração de energia fotovoltaica brasileira é favorável e o desenvolvimento de uma tecnologia relativamente nova no mercado nacional como a fotovoltaica exige a aceitação da mesma por parte dos consumidores (PEREIRA et al., 2005).

Considerando as condições climáticas do Brasil, existem várias aplicações dessa tecnologia e um potencial enorme a ser explorado. Uma pesquisa realizada pelo DASOL (Departamento Nacional de Aquecimento Solar), no ano de 2009, aponta que o potencial de instalação do Brasil é significativamente maior que em outros países com tradição no segmento. O estado de Santa Catarina, por exemplo, possui a menor incidência de raios solares no Brasil. Mesmo assim, possui uma irradiação 30% maior que a média da Alemanha (FAVERIN, 2013).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, onde as placas fotovoltaicas representam uma fonte complementar de energia ao sistema elétrico de grande porte que está interligado, não fazendo uso de baterias, constituem a aplicação de energia solar fotovoltaica que tem apresentado a maior taxa de crescimento anual no mundo (PRADO JR., 2004). Segundo as publicações, para os países membros da IEA (*International Energy Agency*), 74% da potência de pico fotovoltaica total instalada nesses países já é conectada à rede elétrica da concessionária de energia, perfazendo um valor de 968.7 MWp (Megawatt pico) e suplantando todas as demais aplicações terrestres da tecnologia fotovoltaica reunidas o que já ocorre desde 1999 (IEA, 2002 e 2003).

Assim, com a motivação de obter conhecimento para resolução e implementação da geração de energia utilizando a radiação solar, o trabalho proposto apresenta um sistema de geração de energia fotovoltaica de pequeno porte para uso residencial. Objetiva-se, com a aplicação deste trabalho, reduzir o valor mensal da conta de luz residencial e manter o sistema elétrico ativo mesmo em condições de falta de energia fornecida pela concessionária.

O trabalho consiste no projeto e desenvolvimento de um sistema capaz de integrar a energia gerada por uma placa fotovoltaica através da utilização da tecnologia disponível atualmente para placas fotovoltaicas e desenvolvimento de um conversor de energia elétrica. Para fins de testes, o projeto foi dividido em etapas. A primeira na qual foram realizados testes em uma placa fotovoltaica a segunda onde foram realizados testes no conversor, alimentado por uma fonte de tensão e a terceira com a junção de todos componentes do sistema de geração em um protótipo e assim realizado testes com carga.

Para fins de validação foram registrados resultados oriundos apenas da placa fotovoltaica. Esses registros foram realizados em condições climáticas adversas como uma maior incidência solar, dias nublados e até mesmo chuvosos, para assim poder verificar uma possível variação no nível de tensão nos terminais de saída da placa fotovoltaica.

No segundo teste foram registrados os resultados apresentados pelo conversor de tensão. O conversor foi alimentado por uma fonte de tensão variável com níveis de 10 a 20Vcc. Assim, o conversor é avaliado em condições severas, pois foi construído para operar com tensão de alimentação de 12Vcc plena e constante.

No terceiro teste foi confeccionado controlador de carga para o banco de baterias e após foram conectados todos os componentes do sistema. Na sequência foi definido layout mais apropriado dos componentes e após alocados e fixados, como o conversor CC/CA contendo placa de controle do conversor, transformador e filtro de saída. Placa de controle de carregamento de bateria. Placa de interface juntamente com sensores responsáveis pelas leituras de grandezas elétricas. Led's indicativos de status do sistema. Ventilador para troca térmica.

O primeiro capítulo deste trabalho apresenta o referencial teórico contemplando assuntos inerentes ao tema abordado, tais como o embasamento teórico referente à energia elétrica, energia solar, componentes básicos e a configuração básica de um sistema fotovoltaico.

O segundo capítulo descreve o desenvolvimento proposto, dimensionamento e cálculo de cargas, definição da placa fotovoltaica, dimensionamento do banco de baterias e dimensionamento do controlador de carga, protótipo controlador de carga, protótipo conversor CC/CA e desenvolvimento de interface com usuário.

O terceiro capítulo, apresenta os resultados, metodologia adotada para a realização dos testes deste trabalho, abordando a experimentação com painel fotovoltaico, modo de aquisição de dados, estação meteorológica, validação do construção do conversor CC/CA, testes em bancada sem e com carga, avaliação dos testes do conversor CC/CA, montagem de protótipo e validação do sistema em campo.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para desenvolvimento da proposta apresentada neste trabalho, foram estudados temas julgados relevantes, visando elucidar as escolhas adotadas. Nesse capítulo é apresentado o referencial teórico composto por assuntos relacionados ao tema.

1.1 Energia elétrica

A energia elétrica é uma das melhores fontes de energia disponíveis atualmente, ela pode ser convertida em outras modalidades de energia como, mecânica, térmica ou luminosa (POMILIO, 2013).

As fontes de energia elétrica encontradas na natureza são chamadas de fontes primárias, sendo divididas em fontes convencionais e fontes alternativas. As fontes convencionais são as principais fontes de energia elétrica utilizadas, como exemplo energia hidráulica e nuclear. As fontes alternativas são utilizadas de forma descentralizada e são muito importantes como fontes auxiliares, como exemplo energia solar e a energia eólica (FRANÇA, 2001).

Como elemento básico de energia elétrica, a corrente elétrica em sua forma fundamental é a passagem de corrente por um condutor quando existe diferença de potencial em suas extremidades. Como definição a corrente elétrica é o fluxo de cargas que atravessa uma seção reta de um condutor por unidade de tempo (CREDER, 2007).

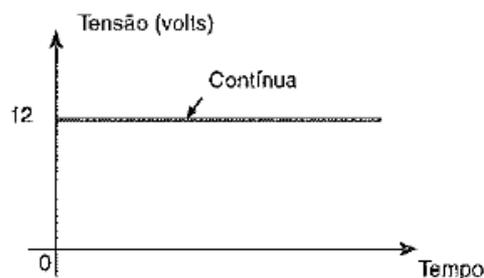
A corrente elétrica possui como unidade básica o ampère (A).

$$1 \text{ ampère} = 1 \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}}$$

A corrente elétrica possui duas formas de onda básicas: corrente contínua e corrente alternada.

Uma corrente é considerada contínua quando não altera seu valor e direção ao longo do tempo, ou seja, é sempre positiva ou sempre negativa. Diz-se que uma corrente é contínua, se seu gráfico for dado por um segmento de reta constante, ou seja, não variável. Este tipo de corrente é comumente encontrado em pilhas e baterias (CREDER, 2007).

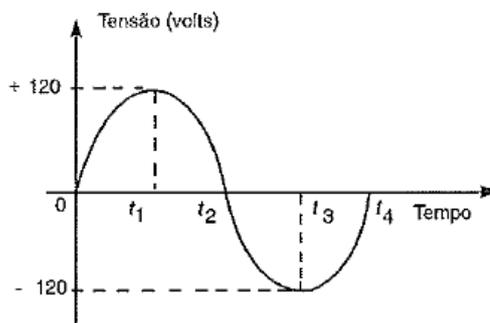
Figura 1 - Gráfico de tensão contínua



Fonte: CREDER, 2007.

Já corrente alternada é definida como uma corrente oscilatória, pois sua amplitude varia em relação ao tempo. O conjunto de valores positivos e negativos constituem ciclos. A tensão/frequência convencional no Brasil é de 60Hz o que corresponde a 60 ciclos em um segundo. Como exemplo, podemos dizer que uma lâmpada incandescente liga e desliga 120 vezes em um segundo, mas o olho humano não percebe isso, pois ocorre em uma velocidade muito alta e também o filamento não chega a desligar completamente (CREDER, 2007).

Figura 2 - Gráfico corrente alternada



Fonte: CREDER, 2007.

Entretanto, em nosso planeta é possível encontrar uma gama de diferentes formas de energia, dentre as quais destaca-se a energia solar. A seção a seguir apresenta as características principais da energia solar.

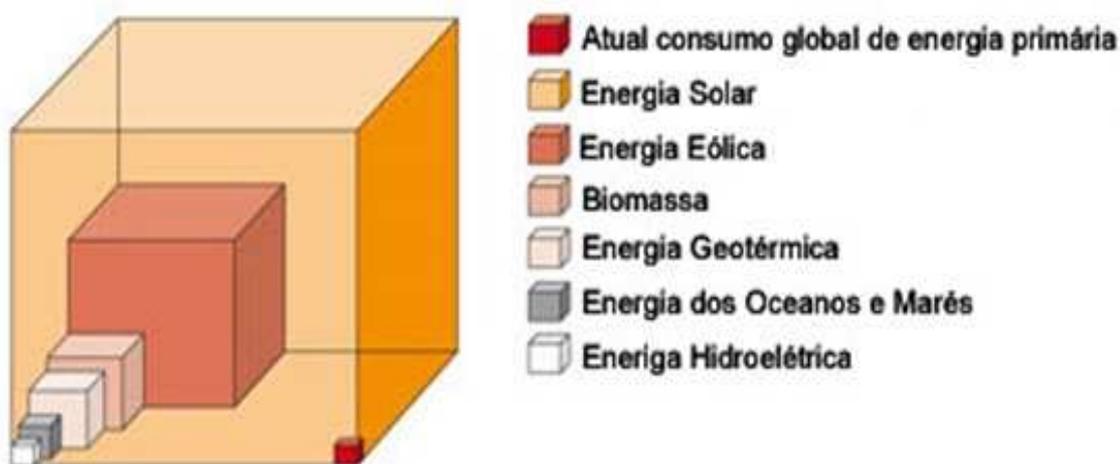
1.2 Energia solar

Nosso planeta recebe anualmente 1×10^{18} kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia elétrica em um ano. A energia solar possui um potencial enorme sendo uma fonte energética inesgotável (PRADO JR., 2004).

Os tipos de energia utilizados atualmente possuem várias limitações. Como exemplo, é previsto que as reservas de petróleo e gás, esgotem-se em algumas décadas. Entretanto, utilizando a energia solar seria necessário apenas 0,01% da quantidade de radiação solar que atinge a superfície da terra para satisfazer a necessidade energética da humanidade (GREENPRO, 2004).

A Figura 3 apresenta o potencial físico de energias renováveis existentes em comparação com a energia solar.

Figura 3 – Potencial físico das energias renováveis



Fonte: (POTENCIAL ENERGIA, 2014.)

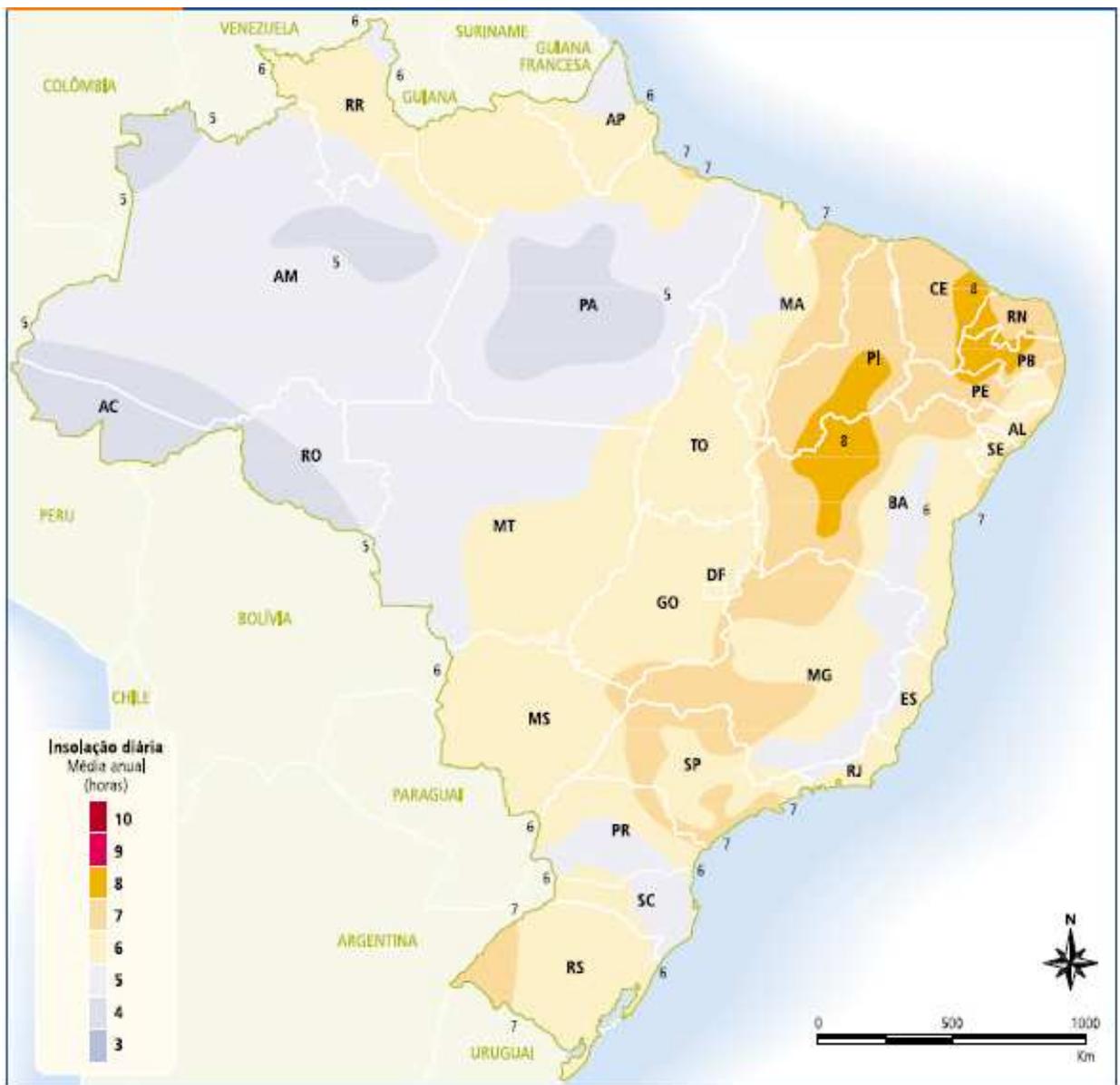
1.2.1 Radiação solar

O sol fornece energia em forma de radiação. Quando a radiação solar direta não é bloqueada pelas nuvens é conhecida por luz solar. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) usa o termo “duração da luz solar” para designar o tempo cumulativo no qual uma determinada área recebe radiação direta do sol de pelo menos 120 watts/m². A radiação solar direta tem uma eficácia luminosa de aproximadamente 93 lúmens/watt de fluxo radiante, um valor que inclui as radiações infravermelha, visível e ultravioleta (PINTO, 2009).

A radiação solar depende também de condições climáticas e atmosféricas. Sendo assim, apenas uma parte da radiação atinge a superfície terrestre, em virtude da reflexão e a absorção dos raios solares pela atmosfera (ENERGIA SOLAR, 2005).

A Figura 4 apresenta uma estimativa de radiação solar incidente no Brasil, composta por dados obtidos em várias estações solarimétricas distribuídas no país.

Figura 4 - Média anual de insolação diária no Brasil



Fonte: ENERGIA SOLAR, 2005.

Conforme percebe-se através do gráfico da Figura 4, o estado do Rio Grande do Sul possui uma insolação diária média que varia entre 6 e 7 horas, atingindo uma faixa intermediária se comparada com as demais regiões do país, onde os extremos atingem um mínimo de 3 horas em parte dos estados da região norte e um nível máximo de 8 horas em alguns estados da região nordeste.

1.3 Componentes básicos de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica

O efeito fotovoltaico corresponde à transformação de luz direta em energia elétrica, o qual ocorre em alguns materiais que apresentam uma diferença de potencial quando atingidos pela luz, tais como os semicondutores (DEMONTINI, 1998). Desta forma, tem-se que cerca de 95% das células fotovoltaicas no mundo são fabricadas em silício (GREENPRO, 2004).

Um sistema de geração de energia fotovoltaico é constituído por três componentes. O primeiro componente é responsável pela geração de energia através de painéis fotovoltaicos. O segundo componente é responsável pelo armazenamento da energia gerada em corrente contínua, sendo constituído basicamente por um banco de baterias. Por fim, o terceiro componente é responsável pelo condicionamento de potência, sendo composto por um conversor de transforma a corrente contínua oriunda do banco de baterias em corrente alternada compatível com equipamentos convencionais, além de um controlador de carga que permite controlar a carga e descarga, bem como proteger o banco de baterias (PINHO, 2014).

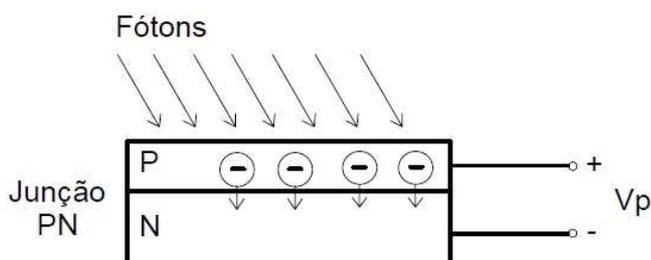
As seções a seguir detalharam componentes mencionados nesta seção.

1.3.1 Célula fotovoltaica

Cada célula solar compõe-se de uma camada fina de silício, material semicondutor composto por íons negativos (tipo N) e outra com maior espessura de material semicondutor composto por íons positivos (tipo P). Por meio de um condutor externo que liga a camada negativa à positiva, é gerado um fluxo de elétrons (corrente elétrica) enquanto a luz incidir na célula. A intensidade da corrente elétrica gerada varia na proporção da intensidade da luz incidente, este fenômeno é, conforme mencionado anteriormente, denominado “Efeito fotovoltaico” (NASCIMENTO, 2004).

A Figura 5 apresenta de forma simplificada o funcionamento de uma célula fotovoltaica.

Figura 5 – Esquema célula fotovoltaica



Fonte: DEMONTINI, 1998.

Dentre os tipos de células fotovoltaicas, os principais são as células de silício monocristalino formadas por uma fatia grande de um único cristal e células de silício policristalino formadas por um conjunto de pequenos cristais (PRADO JR., 2004).

As células fotovoltaicas sozinhas possuem uma potência baixa, em média 2W, o que se torna insuficiente para grande parte das aplicações. Por este motivo, são fabricados painéis ou módulos fotovoltaicos, os quais são constituídos por várias células fotovoltaicas (CASTRO, 2002).

1.3.2 Painel fotovoltaico

O painel ou módulo solar fotovoltaico é o elemento básico de um sistema fotovoltaico, pois está diretamente ligado com a geração de eletricidade. Ele é responsável pela conversão da luz solar em energia elétrica através do efeito fotovoltaico (SOUZA, 2002).

Os painéis fotovoltaicos podem ser encontrados comercialmente com tensões entre 12V até 68V, com capacidade de corrente contínua de 0,5A a 8A, permitindo também associações em série ou paralelo, para obtenção de potências e tensões mais elevadas (DEMONTINI, 1998).

A Figura 6 apresenta em exemplo de instalação de painéis fotovoltaicos operando em conjunto.

Figura 6 - Módulo fotovoltaico



Fonte: NEOSOLAR, 2013.

Os efeitos da inclinação e orientação dos painéis no rendimento do gerador dependem da razão entre a radiação direta e difusa locais, bem como da fração de albedo (reflexão dos arredores), que é característica do ambiente que circunda a instalação. Como regra geral, a inclinação ótima com relação a horizontal para incidência solar máxima em regime anual é dada pela latitude local, então a orientação ideal é a de uma superfície voltada para o Equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul e sul geográfico para instalações no hemisfério norte) (RÜTHER, 2004).

1.3.3 Baterias

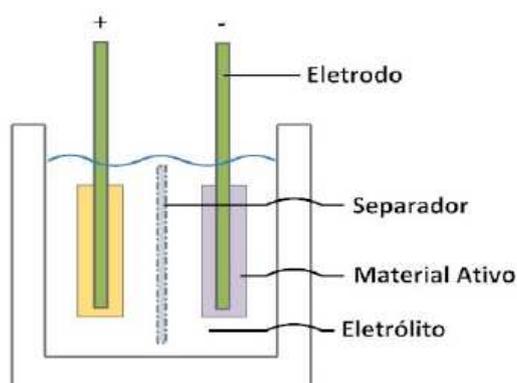
Um dos desafios das energias renováveis é que seu consumo não se dá necessariamente no momento de sua geração. Sendo assim, faz-se necessária a utilização de baterias para armazenar esta energia gerada para ser consumida quando necessário (SANTOS SERRAO, 2010). As baterias, ou banco de baterias possuem um papel essencial em um

sistema fotovoltaico isolado, pois elas efetuam o armazenamento da energia elétrica em energia potencial química e, posteriormente, podem converter essa energia novamente em elétrica (CARNEIRO, 2009).

As baterias são compostas por células que são as unidades básicas de sua constituição, as quais são responsáveis pelo acúmulo de energia. São formadas por dois eletrodos, isolados e de diferentes polaridades, um positivo e outro negativo, separador, eletrólito e material ativo. Quando ocorre uma descarga o material ativo dos eletrodos reage quimicamente com o eletrólito convertendo assim a energia potencial química em energia elétrica (SERRAO SANTOS, 2010).

A Figura 7 apresenta de forma simplificada os componentes internos de uma bateria eletroquímica.

Figura 7 - Exemplo de célula eletroquímica



Fonte: SANTOS SERRAO, 2010.

As seções a seguir apresentam os principais tipos de baterias comerciais, destacando suas principais características funcionais.

1.3.3.1 Bateria Chumbo-Ácido (PbO_2)

Este tipo de bateria possui placas de chumbo que estão imersas em uma solução líquida de ácido sulfúrico. Possui seis células eletroquímicas associadas em série, fornecendo uma tensão nominal de 12Vcc. No entanto, a tensão depende do seu estado de carga, reduzindo durante o processo de descarga e elevando-se durante o processo de carga (CARNEIRO, 2009).

Uma desvantagem das baterias de chumbo-ácido é que estas não podem ser totalmente descarregadas, pois quando a carga encontra-se abaixo do nível mínimo permitido ocorre um problema chamado sulfatação. Este fenômeno compreende a formação de pequenos cristais de sulfato de chumbo nas placas das células, os quais gradualmente unem-se formando cristais maiores. Quando a bateria é recarregada os cristais não se decompõem, reduzindo assim permanentemente a capacidade de carga das células (PRADO JR., 2004).

São amplamente utilizadas em aplicações nas áreas de telecomunicações e transporte, sendo também o principal tipo de bateria designada para em aplicações envolvendo painéis fotovoltaicos (PRADO JR., 2004).

1.3.3.2 Bateria Níquel-Cádmio (NiCd)

As baterias de níquel-cádmio possuem uma estrutura semelhante a das baterias de chumbo-ácido, com a diferença que de seus componentes internos, são compostos por um anodo de cádmio, um catodo de óxido de níquel e um eletrólito de hidróxido de potássio. Sua principal vantagem é o fato de ser menos afetada por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas. Como desvantagem, cita-se sua reduzida capacidade de recarga (CARNEIRO, 2009).

As baterias de níquel-cádmio podem sofrer ciclos profundos e ser totalmente descarregadas. Os ciclos profundos ocorrem quando o carregamento não é suficiente para repor a carga utilizada durante o dia. Com isso, o estado de carga depois de cada ciclo é reduzido e, com o passar de vários dias levará a um ciclo profundo (PRADO JR., 2004).

São amplamente utilizadas em aplicações estacionárias, automotivas, e também em pequenas cargas como em pilhas e baterias de eletroeletrônicos (PRADO JR., 2004).

1.3.3.3 Profundidade de descarga

A profundidade de descarga é um parâmetro muito importante para definição dos cálculos referentes à bateria do sistema fotovoltaico e também define a vida útil da mesma. Uma bateria poderia se descarregar até atingir 0Vcc entre seus terminais, com isso teria sido retirada toda energia da bateria. Se a bateria for descarregada até o potencial de 0Vcc por muitas vezes terá sua vida útil reduzida rapidamente. Considerando que 0% de profundidade

de descarga a bateria estaria com 100% de carga e 100% de profundidade de descarga a bateria esta totalmente descarregada, o ciclo da vida útil de uma bateria chumbo-ácido esta diretamente ligada à profundidade de descarga aplicada a ela (CHAGAS, 2007).

Para exemplificar o número típico de ciclos de carga/descarga a 25°C, no que diz respeito à profundidade de descarga, é:

150 a 200 ciclos com 100% de profundidade de descarga (descarga completa);

400 a 500 ciclos com 50% de profundidade de descarga (descarga parcial);

1.3.4 Conversores e Inversores CC/CA

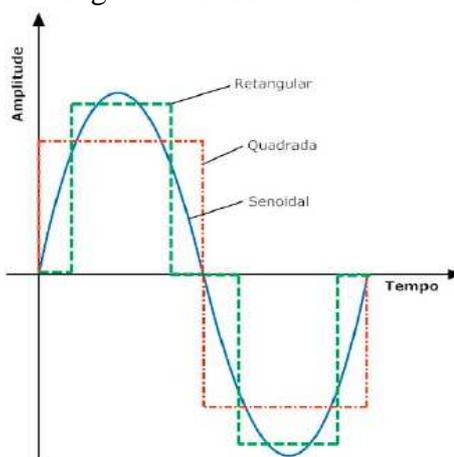
Conversores CC/CA e/ou inversores são utilizados para converter tensão/corrente contínua (CC) em tensão/corrente alternada (CA), possibilitando a alimentação de cargas CA a partir de fontes CC. Dentre os inversores disponíveis no mercado, uma característica que os distingue é a forma na qual convertem o sinal de entrada CC para um sinal de saída CA. Para tanto, os inversores podem utilizar como métodos de conversão a onda quadrada, a onda retangular e a senoide pura (SERRAO SANTOS, 2010).

Os inversores de onda quadrada são os mais utilizados, pela sua facilidade de construção e custo baixo. Possuem seu chaveamento por largura de pulso PWM (Pulse-Width-Modulated) o que permite uma onda de saída próxima de uma senoide (SERRAO SANTOS, 2010).

Conforme Pacheco (2012) as chaves estáticas semicondutoras mais utilizadas na confecção de conversores são: MOSFET's, IGBT's, GTO's e Tiristores. Os componentes são definidos levando em consideração corrente e tensão que o conversor irá operar, os primeiros citados são utilizados para correntes e tensões menores, já os dois últimos são recomendados para correntes e tensão elevadas (PACHECO, 2012).

A Figura 8 apresenta exemplificação gráfica das formas de onda comentadas acima, onda senoidal, quadrada e retangular.

Figura 8 - Forma de onda

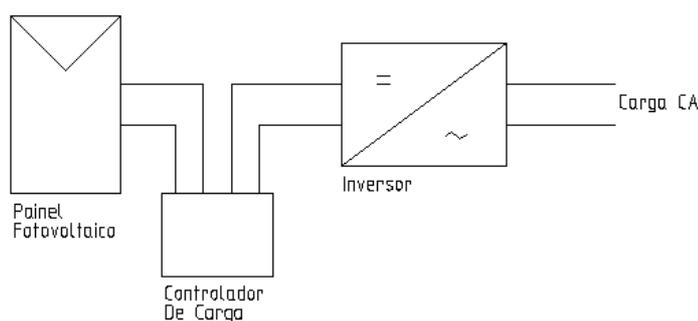


Fonte: SERRAO SANTOS, 2010.

Para o dimensionamento de um inversor devem ser observadas várias características, como tensão da fonte de alimentação, tensão e frequência de saída desejada e a potência necessária para suprir as necessidades das cargas instaladas. Inversores isolados normalmente operam com tensões de alimentação de 12, 24, 48 até 120Vcc, com tensão de saída de 110 ou 220Vca com uma frequência de 50 ou 60Hz e potências variadas (GREENPRO, 2004).

A Figura 9 apresenta a forma de ligação e configuração típica de instalação do inversor em um sistema de energia fotovoltaico.

Figura 9 - Configuração típica de instalação de inversor



Fonte: Autor.

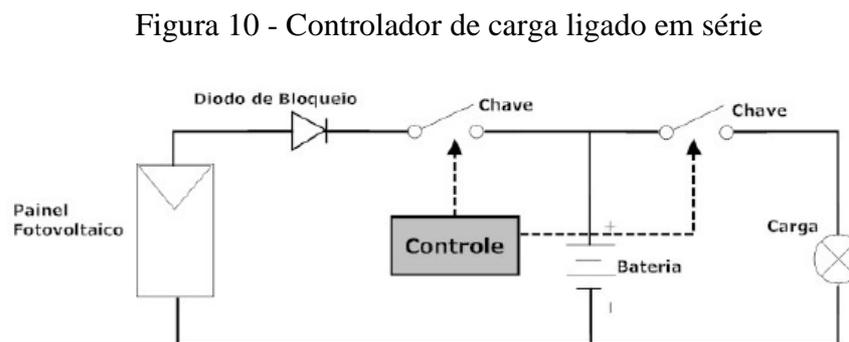
1.3.5 Controladores de carga

Os sistemas de energia solar que utilizam banco de baterias como fonte de alimentação, necessitam de controlador de carga para administrar a carga e descarga das

baterias, pois o controlador oferece controle para facilitar a máxima transferência de energia do módulo fotovoltaico ao banco de baterias, ainda protege as baterias de cargas ou descargas excessivas (GREENPRO, 2004).

Os controladores de carga devem ser compatíveis com a tensão do banco de baterias que se deseja carregar. Os painéis fotovoltaicos podem atingir uma tensão entre 15Vcc a 18Vcc. Para que seja possível à carga de uma bateria a tensão de carga deve ser maior que a dos seus terminais, mas deve-se observar a tensão máxima de carga, pois superando esta pode-se danificar a bateria. Neste caso o controlador monitora a tensão, se ocorrer alguma anomalia, impede que a tensão chegue às baterias, assim protegendo-as. Isso pode ser realizado abrindo o circuito como em ligações em série ou com ligação em paralelo utilizando um curto-circuito através de um “shunt” (PRADO JR., 2004).

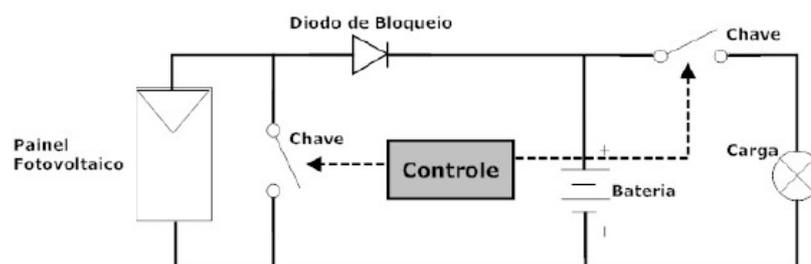
A Figura 10 apresenta um controlador de carga com ligação em série, exemplificando o modo de abertura do circuito quando necessário.



Fonte: SERRAO SANTOS, 2010.

A Figura 11 apresenta um controlador de carga com ligação em paralelo, exemplificando o modo de curto-circuito quando necessário.

Figura 11 - Controlador de carga ligado em paralelo



Fonte: SERRAO SANTOS, 2010.

As principais funções do controlador de carga são: assegurar o carregamento do banco de baterias, evitar sobrecargas da bateria, reter corrente reversa entre o painel fotovoltaico e as baterias e prevenir descargas profundas (CARNEIRO, 2009).

1.4 Configuração básica de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia possuem duas principais categorias: sistemas isolados e sistemas conectados a rede. A utilização de cada uma dessas opções depende da aplicação e da disponibilidade de recursos energéticos (PINHO, 2014).

As seções a seguir dissertam acerca dessas categorias, apresentando suas características principais, as quais foram consideradas para a definição do equipamento a ser desenvolvido neste trabalho.

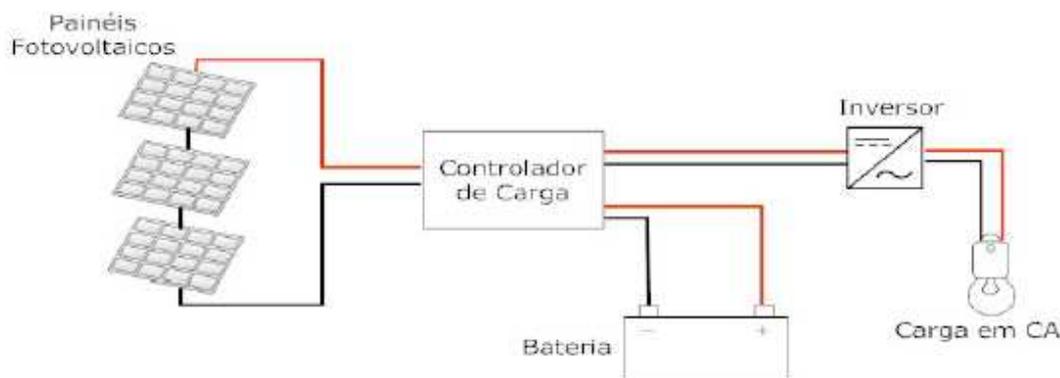
1.4.1 Sistemas isolados

Os sistemas isolados para geração de energia solar fotovoltaica são caracterizados por não estarem conectados a rede elétrica, ou seja, o sistema não transfere nem recebe energia da rede elétrica convencional. O sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes locais. Exemplos de uso são sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, postes de luz, estações replicadoras de sinal, residências de pequeno porte, etc. A energia produzida é armazenada em baterias que garantem o abastecimento em períodos sem sol (NEOSOLARENERGIA, 2013).

Os sistemas isolados, além de serem integrados por painéis fotovoltaicos devem possuir os seguintes componentes: controlador de carga que é responsável pelo controle da carga do sistema de armazenamento (banco de baterias), banco de baterias que é responsável pelo armazenamento de energia que é fornecida pelos painéis e inversor que é responsável pela conversão da tensão CC oriunda do banco de baterias para tensão CA que é compatível com as cargas instaladas (SANTOS SERRAO, 2010).

A Figura 12 apresenta de forma ilustrativa um sistema de energia fotovoltaico isolado.

Figura 12 - Sistemas isolado



Fonte: SANTOS SERRAO, 2010.

1.4.2 Sistemas conectados a rede

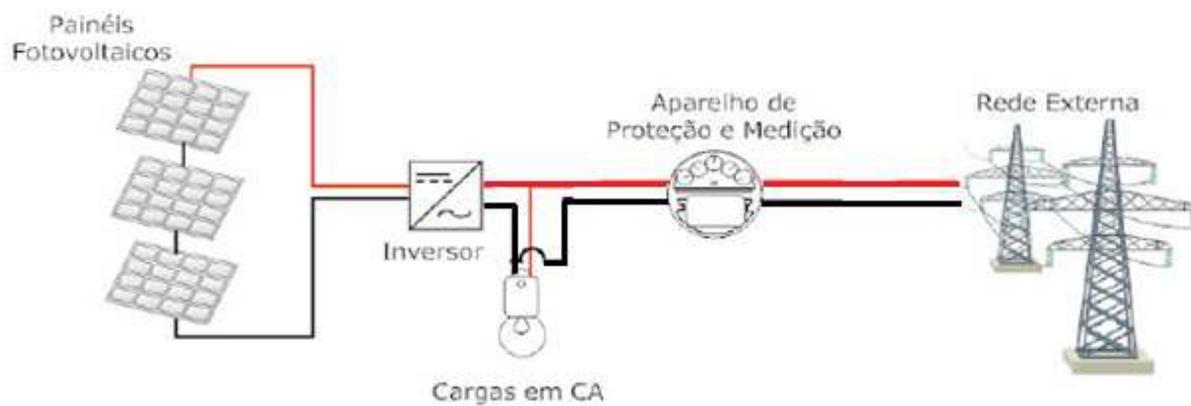
Os sistemas conectados a rede são basicamente caracterizados por estarem ligados por meio de algum dispositivo a rede elétrica convencional e são também uma fonte complementar de energia ao qual está conectado. Os sistemas conectados normalmente não possuem armazenamento de energia como nos sistemas isolados, pois a energia gerada por estes é entregue inteiramente a rede (PRADO JR., 2004).

Os sistemas conectados exigem alguns equipamentos para que seja viável a entrega de energia até a rede. Entre o módulo e a rede existem equipamentos de regulação e interface que otimizam as condições de geração e as adaptam às condições de recepção impostas pela rede (GREENPRO, 2004).

O sistema é normalmente composto pelos seguintes equipamentos: painel fotovoltaico que é responsável pela geração de energia, inversor que é responsável pela conversão da tensão CC oriundo do painel fotovoltaico para tensão CA que é compatível com as cargas instaladas e um registrador de energia que faça a leitura de energia consumida e entregue a rede. Além disso, o sistema deve possuir um dispositivo eletrônico que seja capaz de isolar o sistema fotovoltaico da rede convencional sempre que desejar, de forma simples e sistemática, evitando riscos para os técnicos de manutenção da rede elétrica (PRADO JR., 2004).

A Figura 13 apresenta de forma ilustrativa um sistema de energia fotovoltaico conectado a rede.

Figura 13 - Sistema conectado



Fonte: SANTOS SERRAO, 2010.

2 DESENVOLVIMENTO

O presente capítulo descreve o projeto desenvolvido, contemplando assuntos inerentes a sua concepção, tais como, cálculo de cargas, dimensionamento das placas fotovoltaicas, dimensionamento do banco de baterias, dimensionamento do controlador de carga, confecção do conversor e seus componentes.

O trabalho proposto tem como principal objetivo a conversão de radiação solar em energia elétrica com a utilização de placas fotovoltaicas e conversor de tensão, para utilização em residências, visando o abastecimento das necessidades básicas do sistema elétrico da mesma.

Para este trabalho foi adotado um sistema fotovoltaico isolado da rede elétrica da concessionária, pois o sistema isolado tem o objetivo de suprir o abastecimento elétrico em casos de falta de energia e ainda possibilita sua instalação em locais onde não há a distribuição pela concessionária de energia, como em localidades retiradas de grandes centros, proporcionando assim uma vida mais confortável aos moradores da tal residência.

2.1 Dimensionamento e cálculo de cargas

O sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica proposto tem como objetivo abastecer o sistema elétrico de uma residência, tendo como foco principal o suprimento elétrico de necessidades básicas, como sistema de iluminação, alimentação para aparelhos indispensáveis como refrigerador, televisor e disponibilidade de possível carga adicional com potência máxima de 150W. A seguir é apresentada uma tabela com o cálculo de cargas previsto para o projeto.

Tabela 1 – Cálculo de cargas.

	Quantidade Instalada	Potência	Corrente de Consumo	Horas/dia	Potência Total/dia
Lâmpadas	3	23W	0,69A	6	414W
Refrigerador	1	85W	0,38A	24	2040W
Televisão	1	37W	0,17A	3	111W
Carga Adicional	1	150W	0,68A	2	300W
TOTAL					2865W

Fontes: ELECTROLUX, 2002; OSRAM, 2014; SEMPTOSHIBA, 2013.

Os dados apresentados na Tabela 1 baseiam-se no consumo médio dos equipamentos eletrônicos comercializados no Brasil, de acordo com as informações dispostas nos seus devidos manuais ou embalagens.

2.2 Definição da placa fotovoltaica

Para realizar o cálculo das placas fotovoltaicas é necessário considerar a potência máxima que será utilizada e dividi-la pela quantidade média de horas de insolação que o conjunto de placas fotovoltaicas irá sofrer em um dia. Para definição da média de horas de insolação solar pode-se utilizar os dados provenientes de uma estação meteorológica local. De acordo com os dados obtidos da Prefeitura Municipal de Lajeado a média anual de insolação do município de Lajeado é de 6 h/dia, chegando a uma média mínima de 5 h/dia nos meses de junho a agosto, resultante da alternância de dias limpos com dias nublados e/ou ocorrência de nevoeiros (PREFEITURA MUNICIPAL DE LAJEADO, 2014).

No cálculo abaixo, utilizado para definição das placas fotovoltaicas, foi definido como média de insolação diária em total de 6 horas.

$$\frac{2865 \text{ Watts}}{6 \text{ horas}} = \frac{477,5W}{\text{hora}} \quad (1)$$

Após o resultado apresentado, obtém-se o valor mínimo de placas fotovoltaicas que o sistema deve possuir para suprir a carga de 477,5 Watts/hora calculada anteriormente.

A Figura 14 apresenta o modelo de placas fotovoltaicas adotado para este trabalho, bem com suas características, de acordo com as informações fornecidas pelo fabricante.

Figura 14 – Placa fotovoltaica



Fabricante:	Neosolar
Modelo:	Solaris S55P
Potência:	55 Watts pico
Tensão máxima:	18,04Vcc
Corrente máxima:	3,04A
Dimensões (AxL):	87cm X 51cm

Fonte: NEOSOLARENERGIA, 2013.

Analisando as equações realizadas anteriormente referentes à potência do conjunto das placas fotovoltaicas constata-se que será necessária a utilização de no mínimo um conjunto de nove placas, pois a potência fornecida individualmente por cada placa é de 55Watts/hora. Sendo assim cada placa têm a capacidade de geração de 330W num período de 6 horas de insolação.

Cálculo da soma da potência do conjunto de placas:

$$\frac{\frac{447,5W}{h}}{\frac{55W}{hora}} = 8,68 \text{ placas} \rightarrow 9 \text{ placas (2)}$$

$$9 \text{ placas} \times \frac{330W}{6} \text{ horas} = 2970W/6horas \quad (3)$$

A potência necessária mínima para suprir o abastecimento do conjunto de baterias, conforme apresentado, deve ser de 2865W/dia e as placas fornecerão um total de 2970W/dia. Com isso, percebe-se que o sistema terá 105W de potência adicional diariamente, suprimindo a

demanda elétrica da residência caso a quantidade de horas de insolação diária seja de seis horas.

2.3 Dimensionamento do banco de baterias

Para o dimensionamento do banco de baterias, um parâmetro importante é a definição do tipo de bateria a ser utilizado. Como mencionado no capítulo anterior, a bateria mais adequada para este tipo de aplicação é a bateria de ciclo profundo. Outro parâmetro importante que deve ser estabelecido é o tempo de autonomia que se quer para o sistema sem a presença da radiação solar, ou seja, por quanto tempo os usuários vão poder utilizar normalmente o sistema elétrico, sem que haja insolação suficiente para carregar as baterias.

Para o sistema proposto foi adotado tempo de autonomia de 24 horas completas.

Cálculo de dimensionamento do banco de baterias:

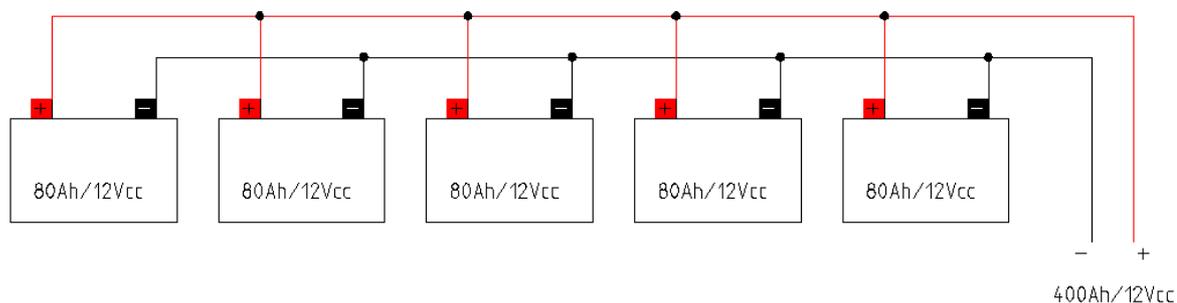
$$Cap. Ah = \frac{Consumototal(Wh/dia) \times Autonomia(dias)}{Ten.dobancodebaterias(V) \times Profundidadeda descarga no final (pu)} \quad (4)$$

$$Capacidade Ah = \frac{2865W.h/dia \times 1 dia}{12V \times 0,60pu} = 397,91Ah \quad (5)$$

OBS: Profundidade de descarga adotada para os cálculos é de 60% = 0,60pu.

Analisando o resultado obtido, conclui-se que o conjunto de baterias deve ter a capacidade de fornecimento de 397,91Ah com uma tensão de saída de 12Vcc. Pode-se, portanto, utilizar um conjunto de cinco baterias estacionarias de 80Ah ligadas em paralelo, assim terão tensão de saída de 12Vcc e corrente nominal de 400Ah. A Figura 15 ilustra um diagrama que exemplifica esta ligação.

Figura 15 - Ligação do banco de baterias



Fonte: AUTOR, 2015.

2.4 Dimensionamento do controlador de carga

Para o dimensionamento do controlador de carga deve-se considerar como pontos importantes a tensão do sistema de baterias, a potência consumida por hora e também a potência fornecida pelo conjunto fotovoltaico. Destes, será considerado o que tiver o maior consumo (PORTALENERGIA, 2014).

Como a potência requerida pelo sistema é de 477,5W.h e a potência fornecida pelo conjunto fotovoltaico é de 495W.h considera-se para o cálculo o de maior potência, pois o controlador de carga deve suportar a carga do sistema.

Cálculo de dimensionamento do controlador de carga:

$$\text{Capacidade Ah} = \frac{\text{Consumo total (Wh)}}{\text{Tensão do banco de baterias (V)}} \quad (6)$$

$$\text{Capacidade Ah} = \frac{495 \text{ Wh}}{12 \text{ Vcc}} = 41,25 \text{ A} \quad (7)$$

Conforme calculado acima o controlador de carga deve possuir corrente mínima de 41,25A com tensão de trabalho de 12Vcc.

Sendo assim, possui as características apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características do sistema

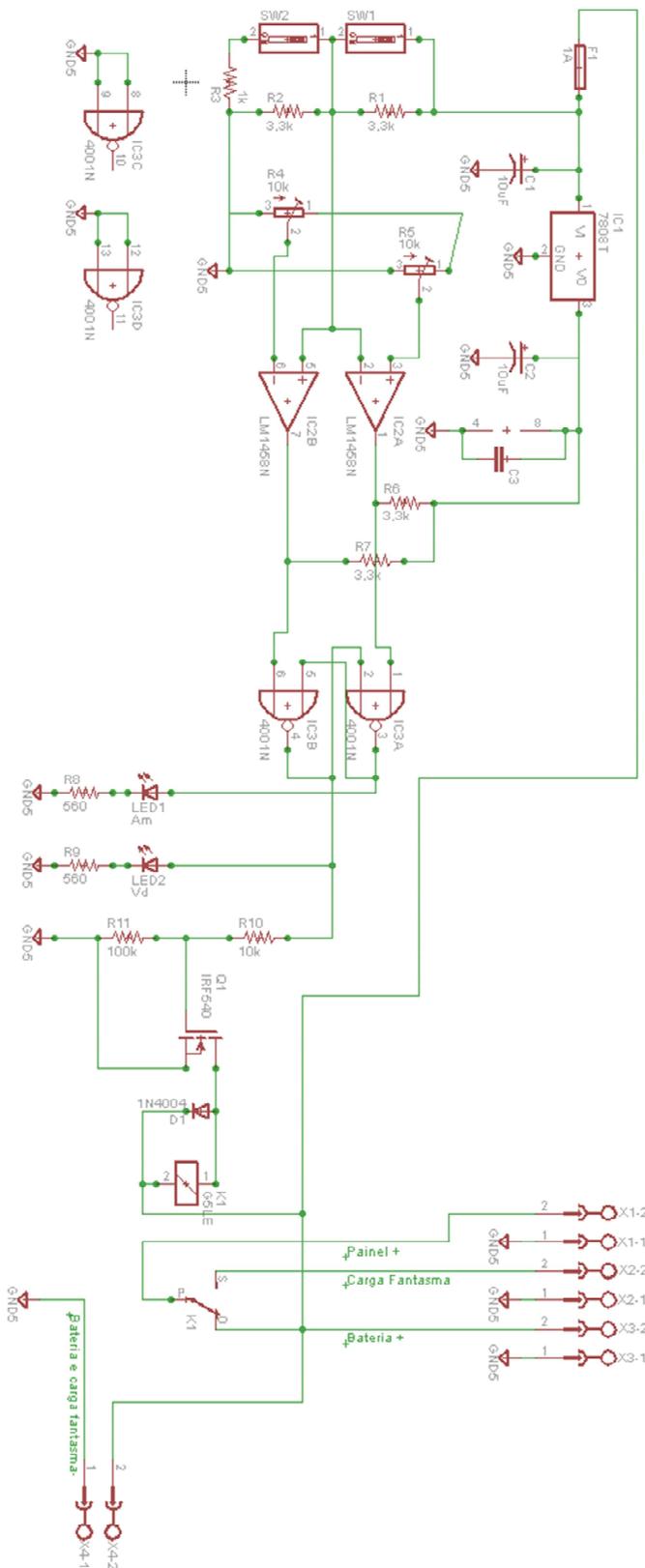
Item	Quant.	Potência	Potência Total
Placa fotovoltaica	9	55Wp	2970Wp
Bateria estacionária	5	80Ah	400Ah
Controlador de carga	1	41,25A/12Vcc	41,25A/12Vcc
Conversor CC/CA	1	2865W	2865W

Fonte: AUTOR, 2014.

2.4.1 Protótipo controlador de carga

Para a construção do protótipo do controlador de carga foram avaliados os meios de obter uma carga eficiente e segura do banco de baterias. Após análise foi escolhido o circuito abaixo, pois o mesmo possui solução específica para a aplicação para geração de energia fotovoltaica, pois, integra o controle do carregamento do banco de baterias, o conjunto de placas fotovoltaicas, a saída para o conversor CC/CA e ainda possui o chaveamento do conjunto de placas para outra carga após o carregamento total do banco de baterias, para assim que os painéis não fiquem com seu circuito aberto.

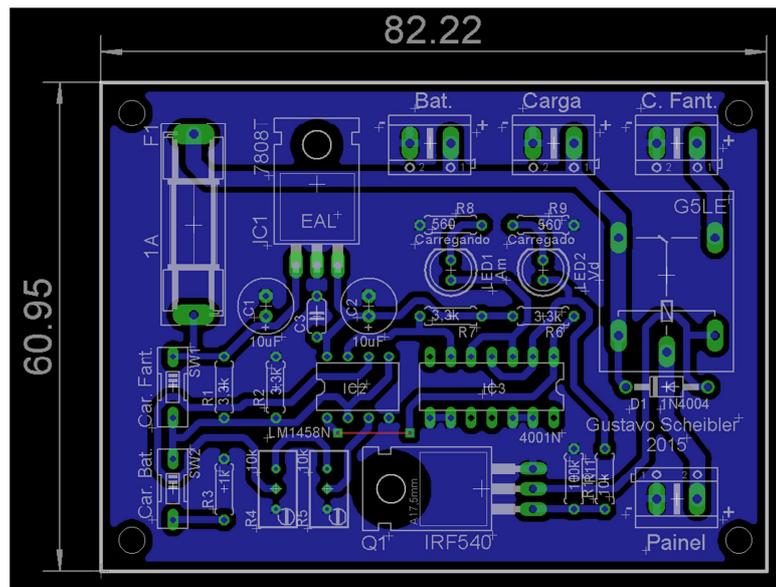
Figura 16 - Circuito controlador de carga



Fonte: AUTOR, 2015.

O circuito apresentado na Figura 16 foi projetado no software EAGLE. A partir do seu diagrama, foi gerado o circuito PCB para impressão em placa de silício. A placa foi confeccionada e devidamente testada em bancada para fins de validação. A Figura 17 apresenta o layout PCB.

Figura 17 - Layout placa controlador de carga

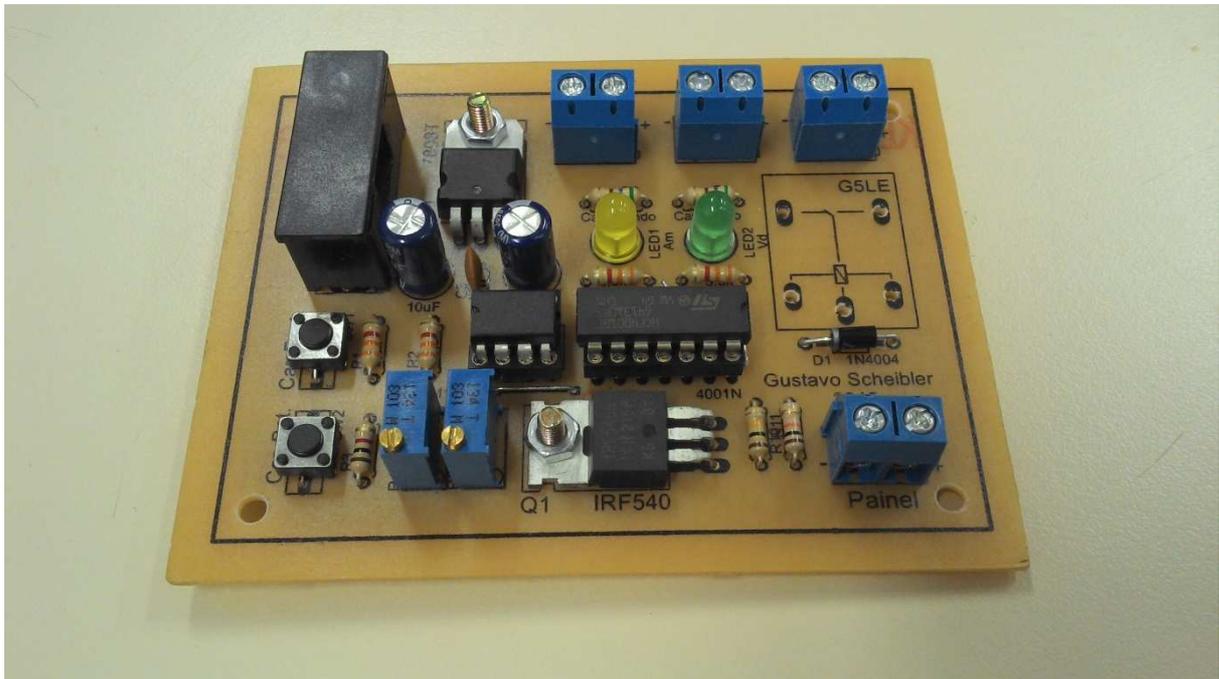


Fonte: AUTOR, 2015.

O controlador possui como principal componente o CI LM1458 que apresenta duplo amplificador operacional que é ideal para ser utilizado como seguidores de tensão. Seu modo de funcionamento permite a passagem de corrente dos painéis ao banco de baterias até estarem carregadas monitorando a tensão até atingir 14,5Vcc, com isso comuta o relé e passa a corrente das placas fotovoltaicas a uma carga externa e apenas volta a carregar o banco de baterias quando atingirem o valor de 12Vcc.

A Figura 18 apresenta a placa do controlador de carga finalizada.

Figura 18 - Placa controlador de carga



Fonte: AUTOR, 2015.

Após a confecção da placa do controlador de carga, o mesmo foi adicionado ao conversor completo, contendo o banco de baterias, conversor CC/CA, controlador de carga e placa fotovoltaica.

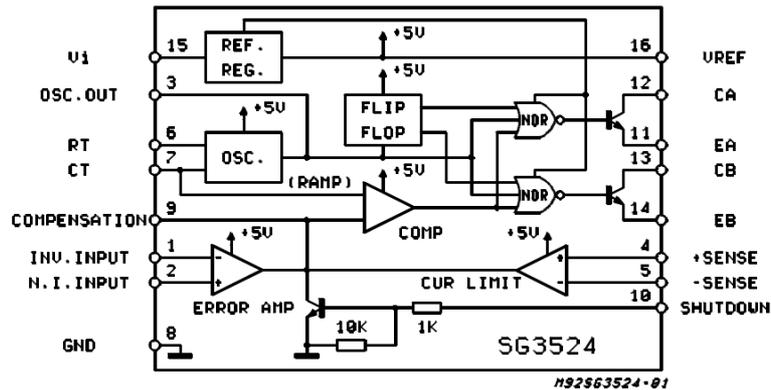
2.5 Protótipo conversor CC/CA

Para a construção de um conversor CC/CA foram avaliados meios de controle para a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Após análise, o micro controlador SG3524 foi escolhido por apresentar funcionalidades de controle PWM (*pulse width modulation*) e funções de segurança para proteção do conversor.

O conversor é subdividido em três estágios: em primeiro lugar o controle do conversor CC/CA, posteriormente o estágio de potência, contendo transistores e o transformador 12Vca/220Vca e finalmente o filtro de saída. O primeiro estágio, denominado estágio de controle, contém como principal componente de controle o CI (*circuito integrado*) modelo SG3524, que possui funções necessárias para construção de um conversor de tensão. O CI incorpora em um único chip funções para reguladores ou conversores acoplados,

transformador duplicador de tensão, polaridade e aplicações que empregam conversor de frequência fixa, modulação por largura de pulso PWM. A saída complementar permite que seja de aplicação simples ou push-pull (TEXAS INSTRUMENTS, 2003). A Figura 19 apresenta o diagrama do CI utilizado.

Figura 19 – Diagrama de blocos SG3524.



Fonte: STMICROELETRONICS, 2000.

Para definição da frequência de oscilação de saída nos pinos 11 e 14 que são os emissores utiliza-se a equação abaixo.

$$F = \frac{1.18}{CT * RT} \quad (8)$$

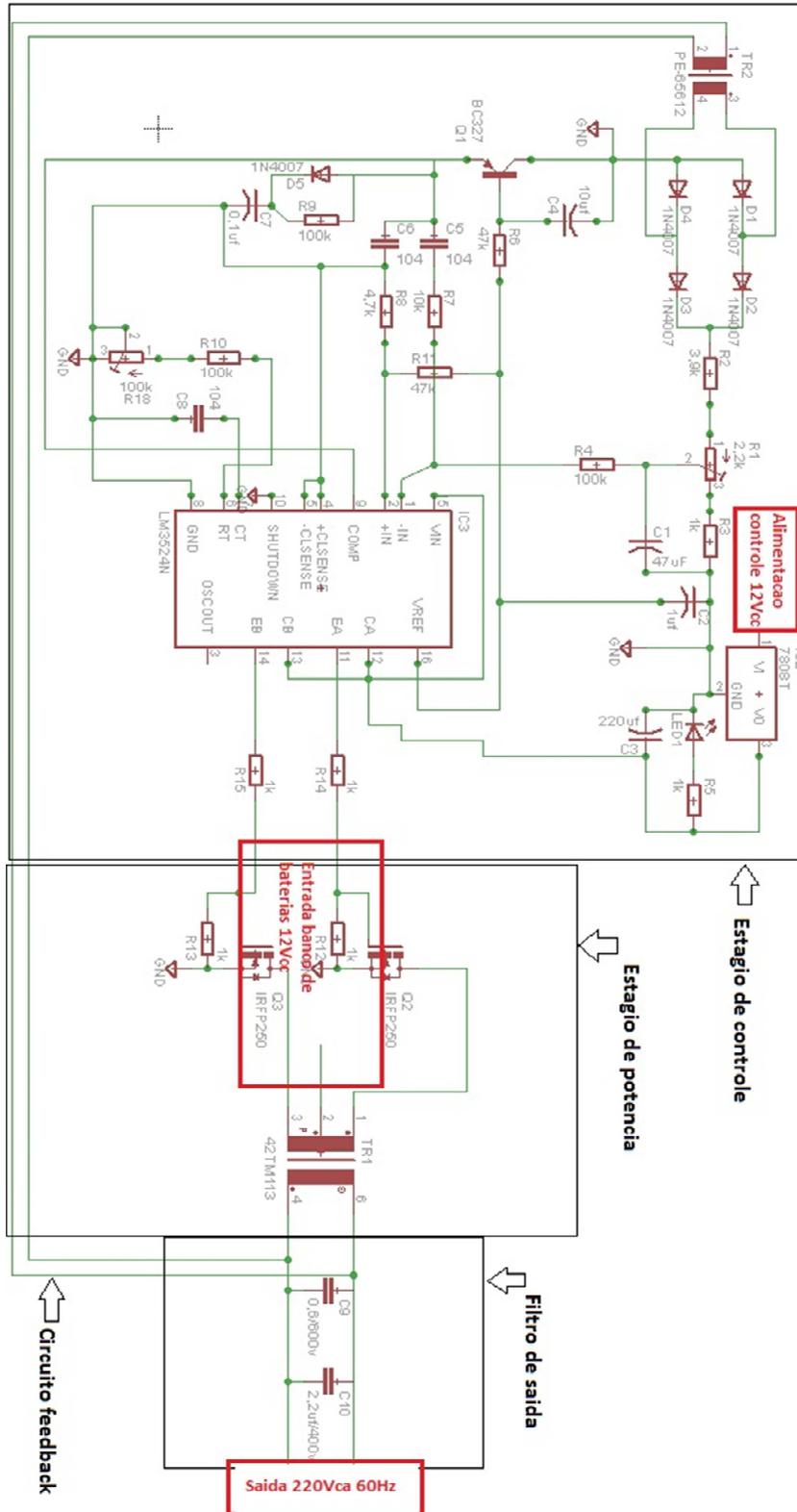
Onde:

CT – 104uF

RT – 100kΩ + 100kΩ(resistor variável – potenciômetro)

A Figura 20 apresenta diagrama do circuito completo contendo os três estágios.

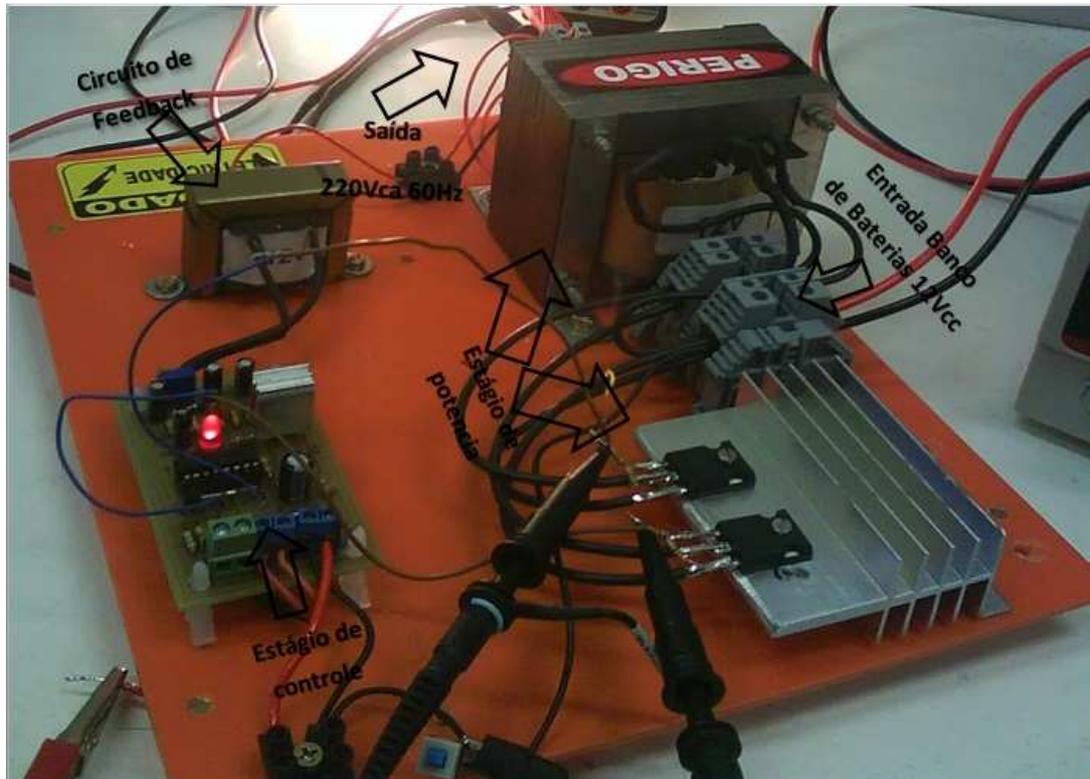
Figura 20 – Circuito conversor.



Fonte: AUTOR, 2014.

Os componentes foram dispostos em uma chapa de polipropileno, permitindo sua fixação futura em painel de comando, além de facilitar o acesso a instrumentos de medição, conforme ilustra a Figura 23.

Figura 23 – Conversor completo.



Fonte: AUTOR, 2014.

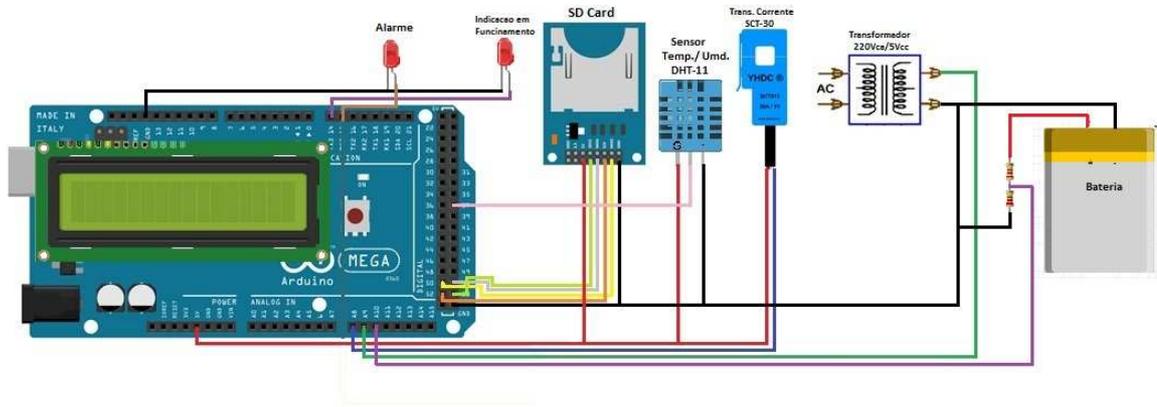
2.6 Desenvolvimento da interface de operação com usuário IHM

O sistema fotovoltaico possui uma interface de operação. O conceito de interface possui o significado de uma superfície que separa duas faces de um mesmo sistema. Para isso a interface possui um grau de isolamento entre as partes de modo a permitir transição entre elas. É chamado de interface com o usuário o sistema responsável pela interação entre o usuário e o sistema a ser controlado e monitorado.

Para aplicação da interface utiliza-se uma placa Arduino Mega. O sistema conta com uma interface com o usuário que apresenta uma série de informações pertinentes ao sistema. O conjunto de informações oferece desde variáveis de leitura na face com controlador, registros de grandezas armazenadas em cartão de memória e alarmes indicativos de sistema em alerta.

A Figura 24 abaixo apresenta o esquemático de ligação dos sensores à placa Arduino instalado ao sistema:

Figura 24 - Esquema de ligação Arduino/Sensores



Fonte: AUTOR, 2015.

Na montagem do sistema de interface utilizou-se vários componentes, cada um com uma função específica.

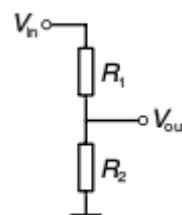
Para extração dessas grandezas elétricas foram utilizados os seguintes componentes:

- Tensão de bateria:

Utilizado um divisor de tensão para obter 5Vcc, pois o valor de tensão compatível com entrada analógica da placa Arduino deve ser no máximo até 5Vcc.

A tensão de bateria possui potencial de 12Vcc, mas no momento do carregamento a tensão pode chegar até 14,5Vcc, então baseou-se como tensão de entrada para o cálculo do divisor de tensão 15Vcc. A Figura 25 apresenta o circuito de tensão utilizado:

Figura 25 - Divisor de tensão



Fonte: AUTOR, 2015.

Abaixo equação referente ao divisor de tensão:

$$V_{in} = \frac{R_1}{R_1+R_2} = V_{out} \quad \rightarrow \quad 5V_{cc} = \frac{100\Omega}{100\Omega+R_2} = 15V_{cc} \quad \rightarrow \quad R_2 = 300\Omega \quad (9)$$

- Tensão de saída do conversor (Vca):

Confeccionado transformador com entrada 220Vca e saída 5Vcc/500mA, valor de tensão compatível com entrada analógica da placa Arduino.

- Temperatura e umidade:

Adquirido sensor de temperatura e umidade próprio para utilização à plataforma Arduino, modelo do sensor DHT-11.

Características do sensor:

Tensão de alimentação: 3 a 5,5Vcc

Sinal de saída: Sinal digital em barramento único.

Range de medição: 20 a 90% Umid.

0 a 50°C Temp.

Exatidão: Umidade +/- 4%

Temperatura +/- 2°C

Resolução: Umidade 1%

Temperatura +/- 1°C

Repetibilidade: Umidade +/- 1%

Temperatura +/- 1°C

Tempo de resposta média: 2s.

- Medição de corrente de consumo (Ampères):

Adquirido transformador de corrente bipartido, modelo SCT013-030V.

Características do sensor:

Corrente de entrada: 0 a 30A

Tensão de saída: 0 a 1Vcc

Linearidade: +/- 1%

- Potência consumida (Watts):

Para cálculo da potência do sistema são necessárias duas grandezas elétricas, a corrente de consumo e a tensão de saída nos terminais do conversor. Abaixo são apresentadas as grandezas utilizadas e cálculo necessário para aquisição de potência consumida em Watts.

Tensão de saída: (Vca) – Saída do conversor terá a tensão de 220Vca.

Corrente de consumo: (Amp) – Grandeza medida constantemente e o consumo mensurado em ampères na saída do conversor.

Para cálculo da potência consumida é utilizada à equação abaixo:

$$\text{Potência em Watts} = \text{Amp} * \text{Tensão} \rightarrow 1,5A * 220Vca = 330Watts \quad (10)$$

- Autonomia do sistema (horas):

Para cálculo da autonomia do sistema são necessárias algumas informações do sistema, como a capacidade em Ah do conjunto de baterias do sistema e o consumo atual.

Como exemplo quando o sistema estiver com consumo de 1,5A na saída 220Vca teremos em 12Vcc o consumo de 27,5A, a autonomia da bateria então será:

$$\text{Autonomia (h)} = \text{Cap. bateria} * \text{Consumo} \rightarrow \frac{60Ah}{27,5A} = 2,18 \text{ Horas} \quad (11)$$

2.6.1 Parâmetros de leitura

O sistema oferece uma série de informações ao usuário via sua tela LCD. Todas as informações são pertinentes à operação do sistema de geração de energia. Todas as informações são apresentadas com intervalo de tempo de três segundos entre cada nova informação. Todos dados são atualizados a cada nova leitura.

Abaixo são indicados os parâmetros de leitura disponíveis.

- Tensão do banco de baterias (Vcc);
- Tensão de saída do conversor (Vca);
- Corrente consumida (A);
- Autonomia do sistema (h);
- Potência consumida (W);
- Temperatura ambiente (°C);
- Umidade relativa (%);

A Figura 26 abaixo ilustra uma das informações que são disponibilizadas na tela do conversor.

Figura 26 - Tela parâmetro leitura



Fonte: AUTOR, 2015.

2.6.2 Alarmes

O sistema de interface possui alarmes visuais que indicam situações de risco ao conversor e ao sistema elétrico de geração de energia fotovoltaica.

Quando uma situação de alarme é identificada pelo controlador o mesmo aciona um sinal indicativo led azul na face do painel e ao mesmo tempo é apresentado na tela qual o parâmetro que está em com alguma anomalia. O sistema volta a sua condição normal de funcionamento assim que os parâmetros voltarem à condição normal de operação.

Abaixo são indicados os parâmetros de alarme disponíveis.

- Nível crítico de tensão do banco de bateria (abaixo de 11Vcc e acima de 15Vcc);
- Nível crítico de tensão inferior e superior (abaixo de 190Vca e acima de 230Vca);
- Nível crítico de autonomia (abaixo de 10%);
- Consumo excessivo (A);

A Figura 27 abaixo ilustra o alarme de tensão de bateria baixa.

Figura 27 - Alarme tensão de bateria baixa



Fonte: AUTOR, 2015.

2.6.3 Registro de dados das grandezas elétricas obtidas do sistema

Para registro das grandezas elétricas oriundas do sistema de geração de energia são utilizados os sensores que foram mencionados anteriormente. Todas as grandezas elétricas estão interligadas a placa Arduino que possui capacidade de obter as variáveis e registrá-las. Para armazenamento dos dados é utilizado um cartão de memória SD CARD de 16 megabytes de capacidade de armazenamento.

Para o armazenamento dos registros está definido um intervalo de 5 minutos entre cada novo registro, totalizado 288 registros de cada grandeza em 24 horas.

O registro é iniciado logo após o conversor ser energizado. O arquivo gerado pelo sistema no cartão de memória possui formato Excel (.xls), contendo uma seqüência de valores tabelados. A Figura 28 apresenta um exemplo de dados gerados e armazenados no arquivo xls.

Figura 28 - Arquivo xls



The image shows a screenshot of a Microsoft Excel spreadsheet titled 'Microsoft Excel - DATALOG'. The spreadsheet contains a table with 8 columns and 10 rows. The columns are labeled: 'Indice', 'Tensao Bateria (V)', 'Tensao Saida (V)', 'Corrente (A)', 'Potencia(W)', 'Temperatura (C)', 'Umidade (%)', and 'Autonomia (h)'. The data rows show values for each of these parameters over an index from 0 to 7. The values for 'Tensao Bateria (V)' are constant at 12.00. 'Tensao Saida (V)' is constant at 206.00. 'Corrente (A)' varies between 0.04 and 0.06. 'Potencia(W)' varies between 8.00 and 13.00. 'Temperatura (C)' is constant at 28.10. 'Umidade (%)' is constant at 57.40. 'Autonomia (h)' increases from 48 to 79.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Indice	Tensao Bateria (V)	Tensao Saida (V)	Corrente (A)	Potencia(W)	Temperatura (C)	Umidade (%)	Autonomia (h)
2	0	12.00	206.00	0.06	13.00	28.10	57.40	48
3	1	12.00	206.00	0.05	12.00	28.10	57.40	55
4	2	12.00	206.00	0.05	11.00	28.10	57.40	60
5	3	12.00	206.00	0.05	10.00	28.10	57.40	65
6	4	12.00	206.00	0.04	9.00	28.10	57.40	69
7	5	12.00	206.00	0.04	8.00	28.00	58.40	76
8	6	12.00	206.00	0.04	8.00	28.00	58.40	79
9	7	12.00	206.00	0.04	8.00	28.00	58.40	79
10								

Fonte: AUTOR, 2015.

3 RESULTADOS

Nesse capítulo são apresentados os resultados dos testes realizados com o painel solar fotovoltaico, a localização da estação meteorológica, o registrador utilizado para registrar os dados de tensão da placa fotovoltaica, a construção e o funcionamento do conversor CC/CA, montagem de protótipo e validação do sistema em campo.

3.1 Experimentação com o painel solar fotovoltaico

A instalação do painel solar fotovoltaico ocorreu no dia 20 de maio de 2014 e as medições foram realizadas a partir do dia 21 de maio. Nesse processo foi utilizado um painel solar fotovoltaico ligado a um registrador de dados Novus Fieldlogger, através de um divisor de tensão que consiste em três resistores de 470Ω , utilizado para não exceder a tensão suportada pelo registrador.

3.1.1 Validação do painel solar fotovoltaico

O painel solar fotovoltaico foi instalado no terraço de uma residência no bairro Florestal no município de Lajeado.

Seguindo o disposto por Rünter (2004), o painel foi instalado com orientação para o Norte e com um ângulo de inclinação de 29° , valor da latitude do município de Lajeado.

A Figura 29 apresenta uma imagem de satélite adquirida por meio do software Google Earth, mostrando no mapa o local onde está instalada a estação meteorológica (Coordenadas geográficas: $29^\circ 29' 13'' S$ e $51^\circ 59' 50'' W$) e onde está instalado o painel solar fotovoltaico (Coordenadas geográficas: $29^\circ 27' 22'' S$ e $51^\circ 58' 23'' W$), bem como a distância entre os dois pontos (1.960 metros). Como a estação meteorológica fornece dados de radiação solar

precisos num raio de 30 km, os dados de radiação e insolação por ela captados serão validados ao serem comparados com a produção de energia das placas fotovoltaicas.

Figura 29 - Local onde estão instalados a estação meteorológica e o painel solar fotovoltaico



Fonte: GOOGLE EARTH, 2014.

3.1.2 Módulo de aquisição dos dados oriundo do painel fotovoltaico

O FieldLogger é um módulo de leitura e registro de variáveis analógicas e digitais. Possui oito entradas analógicas para sinais de tensão e corrente e dispõe ainda de duas saídas a relé e oito conexões digitais individualmente configuráveis como entrada ou saída (NOVUS, 2014). A Figura 30 ilustra o registrador conectado a placa fotovoltaica.

Figura 30 – Módulo de aquisição e registro de dados Novus FieldLogger.



Fonte: AUTOR, 2014.

O valor apresentado na imagem refere-se à tensão (Vcc) oriunda da placa fotovoltaica após o divisor de tensão comentado anteriormente. Como o divisor reduz a tensão em 1/3, o valor de tensão plena da placa é de 20,55 Vcc. Para a registro da tensão oriunda da placa fotovoltaica foi configurado o canal analógico número 8 com leitura de sinal linear de 0 a 10Vcc. A Figura 31 ilustra a configuração do registrador.

Figura 31 – Configuração registrador



Fonte: AUTOR, 2014.

3.1.3 Estação meteorológica

Para a obtenção de dados diários de radiação solar e horas de insolação utilizou-se a estação meteorológica instalada no campus da Univates, modelo Vantage Pro2 Plus Wireless fabricada pela empresa Davis Instruments. É uma estação meteorológica sem fio que combina um conjunto de sensores integrados capazes de medir temperatura, umidade, radiação solar e UV (DAVIS, 2014). A estação opera livre de obstáculos e sombras, a 85 metros de altitude em relação ao nível do mar, nas coordenadas geográficas 29°29'13"S e 51°59'50"W. Os registros são realizados em intervalo de 30 minutos e os dados de radiação solar fornecidos são precisos num raio de 30km (UNIVATES, 2014). Os dados foram fornecidos pela Univates em forma de planilha Excel.

A Figura 32 apresenta a estação e seus equipamentos.

Figura 32 – Estação meteorológica DAVIS Vantage Pro2 Plus Wireless.

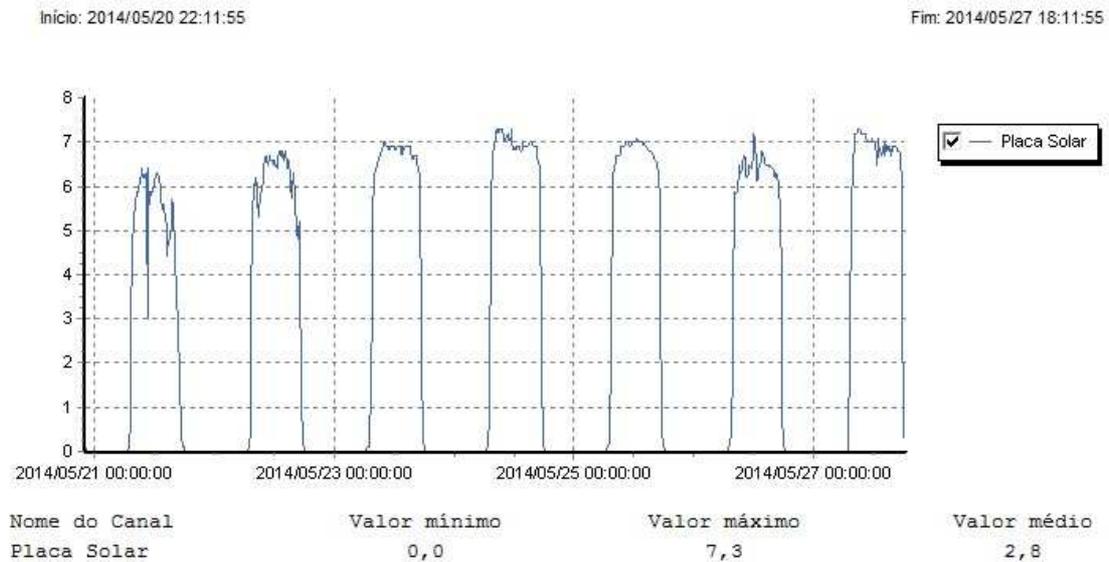


Fonte: DAVIS, 2014.

4.1.4 Comparativo da placa fotovoltaica com dados da estação meteorológica

Após instalada a placa fotovoltaica e o registrador foram adquiridos dados de tensão durante o período de sete dias, de forma ininterrupta. Os dados registrados de tensão são apresentados na Figura 33.

Figura 33 – Histórico de tensão gerada pela placa fotovoltaica

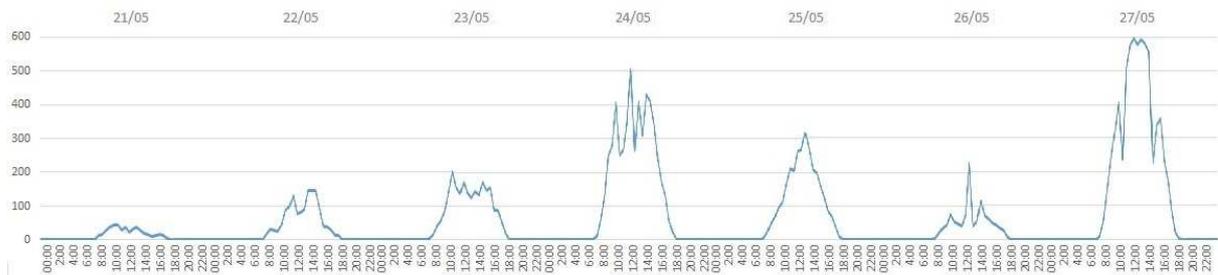


Fonte: AUTOR, 2014.

Como visto no gráfico gerado pelo registrador, a tensão máxima fornecida pela placa foi de 7,3Vcc. Esse valor é equivalente a 1/3 da tensão máxima real gerada pela placa em função do divisor de tensão utilizado para conectá-la ao registrador. A diferença de valores visível no gráfico ocorre devido à variação de incidência da radiação solar em função das condições climáticas adversas que a placa foi submetida.

Visando validar os dados apresentados na Figura 33, foram capturados os dados de incidência de radiação solar armazenados pela estação meteorológica da Univates e repassados pelo CIH (Centro de Informações Hidrometeorológicas) durante o mesmo período. A Figura 34 exhibe este conjunto de dados de forma gráfica.

Figura 34 – Histórico de radiação solar obtido pela estação meteorológica da Univates



Fonte: UNIVATES, 2014.

Comparando os gráficos exibidos nas Figuras 33 e 34 constata-se que a eficiência de conversão de energia da placa fotovoltaica é satisfatória, pois mesmo nos dias em que a radiação solar foi de baixa incidência a placa gerou tensão razoável, não baixando de 6Vcc o que corresponde a 18Vcc de saída. Nos dias em que a incidência de radiação solar alcançou seus maiores valores, a tensão gerada pela placa também alcançou seus picos atingindo 7,3Vcc o que corresponde a 21,9Vcc de saída.

3.2 Validação do conversor CC/CA

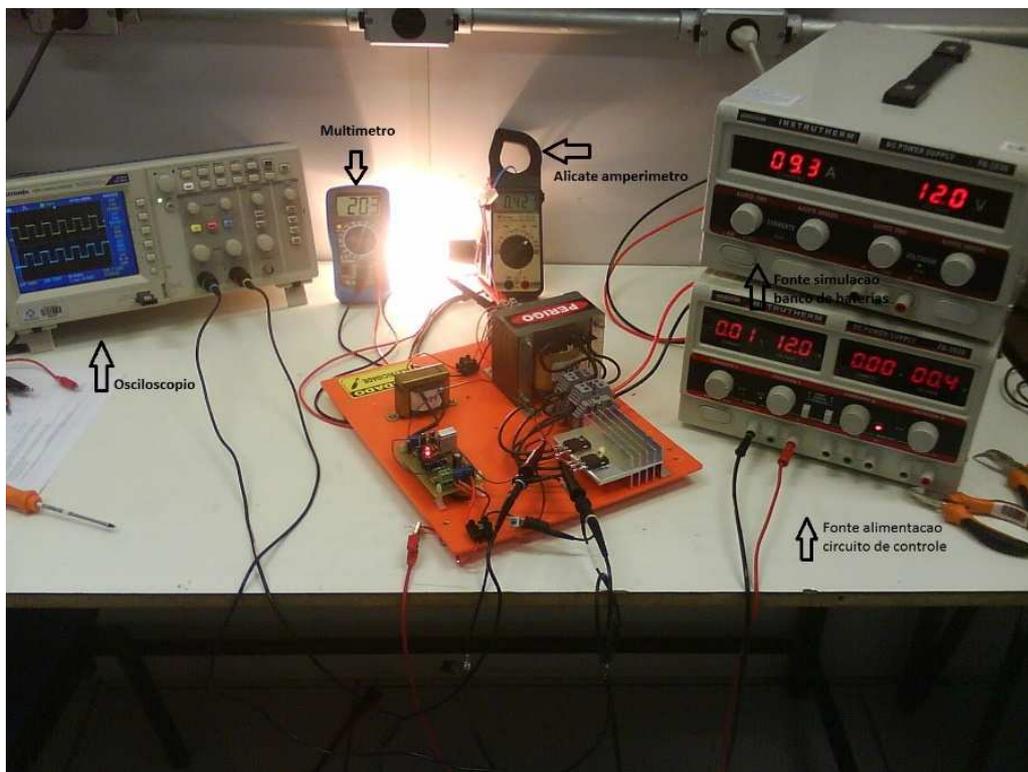
De acordo com os cálculos realizados neste trabalho, concluiu-se ser necessária a utilização de um conversor CC/CA com potência mínima de 2865W. Entretanto, para validação do protótipo, foi construído um conversor com potência de 200W. O circuito de controle é o mesmo utilizado em conversores de potências maiores sendo que esta redução na potência não interfere na validação.

Para realização das medições foram utilizados os seguintes materiais:

- Fonte de alimentação variável marca Instrutherm modelo FA-3050 capacidade 5A para alimentação do circuito de controle;
- Fonte de alimentação variável marca Instrutherm modelo FA-2030 capacidade 20A para simulação do banco de baterias;
- Osciloscópio marca Tectronix modelo TBS1001C 30EDU;
- Multímetro Minipa ET-1110 para medição de tensão de saída;
- Alicates amperímetro Minipa modelo ET-3110 para medição de corrente de consumo da carga;

A Figura 35 ilustra os componentes listados acima, sendo utilizados no momento da validação.

Figura 35 – Montagem de bancada para testes



Fonte: AUTOR, 2014.

O circuito de controle possui dois pinos de saída, identificados na Figura 19 como pinos 11 e 14, os quais geram dois sinais com frequência previamente definida e defasados de 180°.

Os resultados obtidos nas medições foram satisfatórios, pois foram gerados sinais defasados de 180°. A Tabela 3 apresenta as características dos sinais gerados.

Tabela 3 - Sinais gerados pela placa de controle

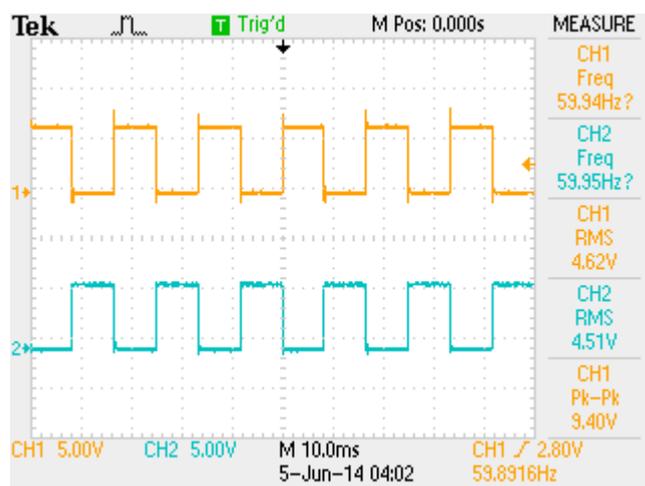
Grandeza	Canal 1	Canal 2
Frequência	59,94Hz	59,95Hz
Tensão RMS	4,62Vcc	4,51Vcc
Tensão Pico a Pico	9,40Vcc	9,33Vcc

Fonte: AUTOR, 2014.

Com os sinais próximos de 60Hz e defasados 180° os transistores não serão acionados simultaneamente, gerando, no entanto, um sinal senoidal com frequência de 60Hz.

A Figura 36 ilustra e representa os sinais gerados pelo canal 1 onda quadrada superior e canal 2 onda quadrada inferior.

Figura 36 – Resultado medido com o osciloscópio



Fonte: AUTOR, 2014.

Com a placa de controle gerando o sinal necessário, analisou-se então o circuito de potência, com testes realizados sem carga e com carga e ainda com tensões de bateria em condições diferentes, ~12Vcc, ~8Vcc e ~14,5Vcc. Os resultados são apresentados nas seções a seguir.

4.2.1 Testes de bancada do conversor sem carga

Esta seção apresenta os resultados obtidos através dos testes realizados sem carga conectada ao sistema. A Tabela 4 relaciona os valores obtidos, os quais são analisados a seguir.

Tabela 4 – Testes sem carga

Tensão de alimentação	Corrente de consumo (bateria)	Tensão de saída	Frequência de oscilação
12Vcc	1,6A	207Vca	59,97Hz
8,4Vcc	1,4A	152Vca	59,97Hz
14,5Vcc	1,5A	208Vca	59,97Hz

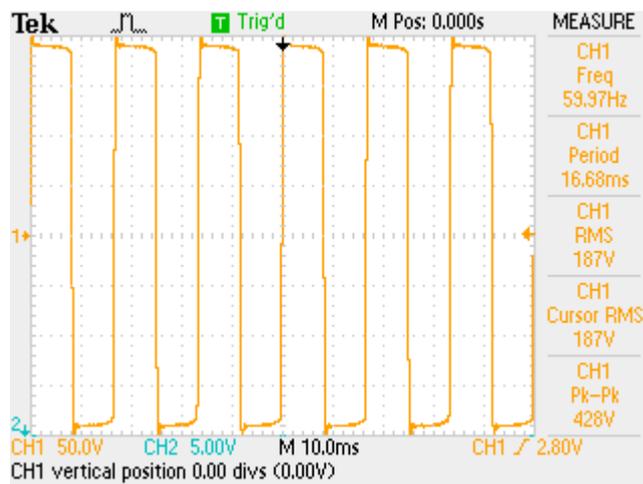
Fonte: AUTOR, 2014.

Os resultados obtidos nos testes sem carga foram satisfatórios, pois com tensão de alimentação de 12Vcc o conversor gerou frequência de 59,97Hz e tensão de saída 207Vca. Já a corrente de consumo de 1,6A indicada é resultado da indução gerada pelo transformador 12/220Vca contido no conversor. Nos testes realizados com tensão de 8,4Vcc, o conversor gerou frequência de 59,97Hz e tensão de saída 152Vca, ou seja, ocorreu queda de tensão proporcional a queda na alimentação.

Por fim, nos testes com tensão com nível alto de 14,5Vcc o conversor gerou frequência de 59,97Hz e tensão de saída 208Vca. Sendo assim, o sistema se comportou de forma satisfatória, pois não elevou sua tensão de saída como era previsto.

A Figura 37 ilustra imagem capturada via porta USB do osciloscópio de teste sem carga.

Figura 37 – Resultado medido com o osciloscópio



Fonte: AUTOR, 2014.

4.2.2 Testes de bancada do conversor com carga

Para validação dos testes com carga foram utilizadas duas lâmpadas incandescentes, uma de 60W e outra de 100W, para com isso obter maior quantidade de valores para posterior análise. A Tabela 5 apresenta os resultados encontrados nestes testes.

Tabela 5 – Testes com carga

Carga instalada - Lâmpada incandescente 60W/220Vca				
Tensão de alimentação	Corrente de consumo (bateria)	Tensão de saída	Frequência de oscilação	Corrente de consumo(carga)
12Vcc	6,8A	207Vca	60,26Hz	0,26A
8,4Vcc	5,4A	149Vca	60,26Hz	0,21A
14,5Vcc	7,0A	208Vca	60,26Hz	0,24A

Carga instalada - Lâmpada incandescente 100W/220Vca				
Tensão de alimentação	Corrente de consumo (bateria)	Tensão de saída	Frequência de oscilação	Corrente de consumo(carga)
12Vcc	9,3A	204Vca	60,26Hz	0,43A
8,4Vcc	7,2A	135Vca	60,26Hz	0,34A
14,5Vcc	9,0A	209Vca	60,26Hz	0,43A

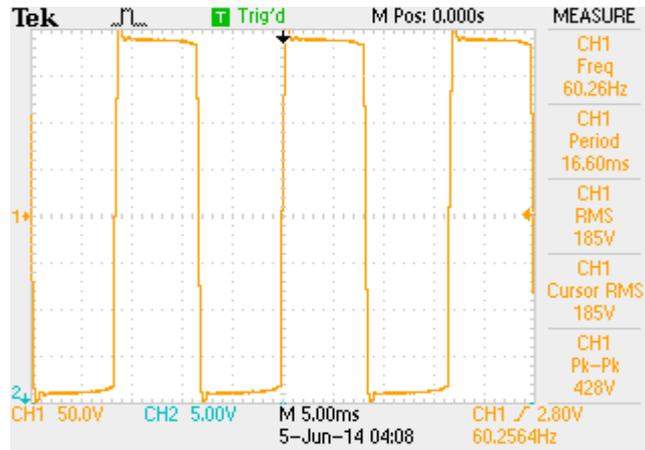
Fonte: AUTOR, 2014.

Os resultados obtidos nos testes com carga foram satisfatórios, pois com tensão de alimentação de 12Vcc o conversor gerou frequência de 60,26Hz e tensão de saída de 207Vca com carga de 60W e tensão de saída de 204Vca com carga de 100W. Nos testes realizados com tensão de 8,4Vcc o conversor gerou frequência de 60,26Hz e tensão de saída 149Vca com carga de 60W e 135Vca com carga de 100W.

Já nos teste com tensão com nível de 14,5Vcc, o conversor gerou frequência de 60,26Hz e tensão de saída 208Vca com carga de 60W e tensão de saída de 209Vca com carga de 100W. Novamente, o sistema se comportou de forma satisfatória, pois não elevou sua tensão de saída como era previsto.

A Figura 38 ilustra imagem capturada via porta USB do osciloscópio de teste com carga.

Figura 38 - Resultado medido com o osciloscópio



Fonte: AUTOR, 2014.

4.2.3 Avaliação dos testes do conversor CC/CA

Analisando os resultados obtidos em ambos os testes, constata-se que o conversor gerou sinal de saída com uma frequência média chegando próximo da frequência desejada de 60Hz. A tensão de saída gerada ficou abaixo do valor desejado que é de 220Vca, gerando tensões entre 204Vca a 208Vca. A possível causa da tensão não ter alcançado 220Vca é que o transformador não elevou suficientemente a tensão de entrada de alimentação dos bancos de bateria. Nos testes realizados com tensões de alimentações como 8Vcc, o conversor apresentou queda de tensão na saída, proporcional a queda que ocorreu na entrada, mas operou normalmente. Nos testes realizados com tensão de alimentação como 14,5Vcc o conversor apresentou resultado satisfatório mantendo a frequência constante em ~ 60Hz e manteve também a tensão de saída sem elevações.

Em virtude dos fatos mencionados, os resultados obtidos através do protótipo desenvolvido são suficientes para validar a proposta.

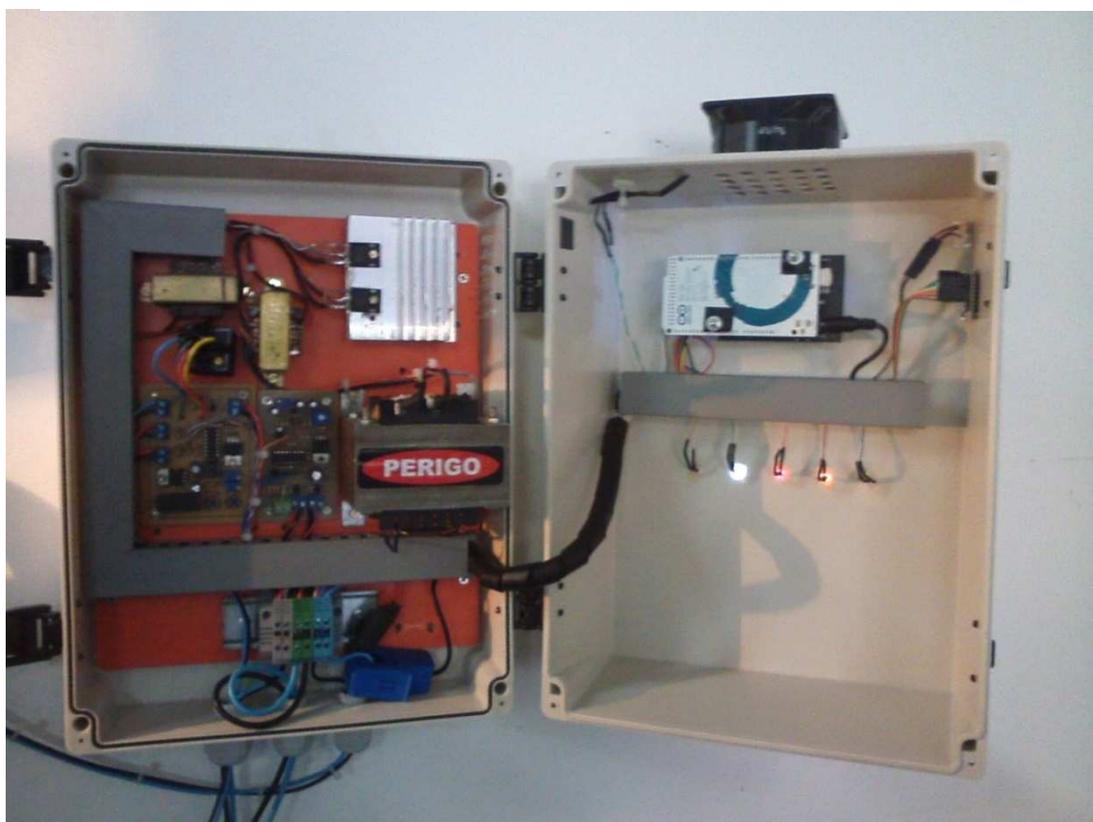
3.3 Montagem de protótipo e integração de todos componentes do sistema em campo

Para integração de todos os componentes foi realizada análise da forma mais apropriada para o armazenamento dos componentes do sistema, levando em consideração suas dimensões, local de instalação, aplicação e ambiência.

Após análise, foi definido como gabinete para alocação dos componentes uma caixa termoplástica com grau de isolamento IP54 com as dimensões de 380x250x170mm. Na sequência foi definido o layout mais apropriado dos componentes. Com o layout definido foram fixados todos componentes do sistema, como o conversor CC/CA contendo placa de controle do conversor, transformador e filtro de saída. Placa de controle de carregamento de bateria. Placa de interface juntamente com sensores responsáveis pelas leituras de grandezas elétricas. Led's indicativos de status do sistema. Ventilador para troca térmica.

As Figura 39 e 40 ilustram o conversor completo com todos componentes integrados e interligados.

Figura 39 - Conversor CC/CA imagem interna



Fonte: AUTOR, 2015.

Figura 40 - Conversor CC/CA imagem externa



Fonte: AUTOR, 2015.

O protótipo foi instalado em empresa no bairro Florestal na cidade de Lajeado no dia 04 de junho de 2015 e as medições foram realizadas a partir do mesmo dia.

O mesmo foi interligado a um circuito de iluminação que possui uma carga intermitente de 25W/220Vca com frequência 60Hz.

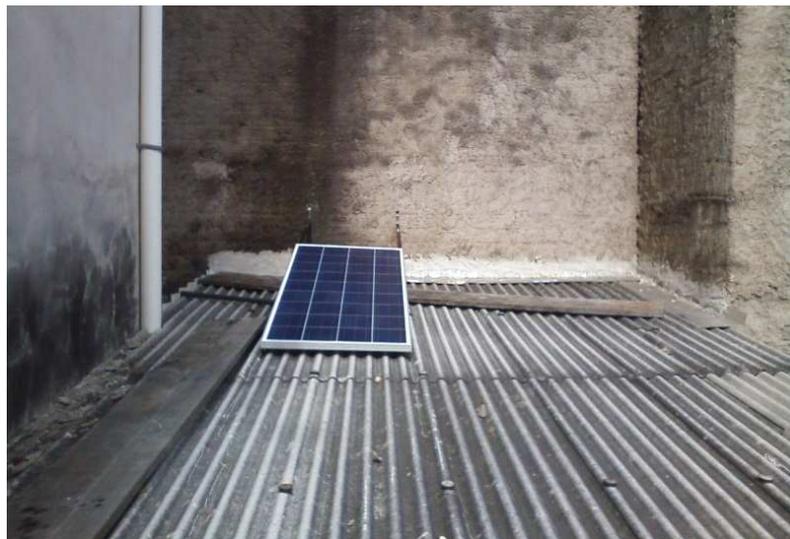
A Figura 41 e 42 apresentam o local de instalação do conversor.

Figura 41 - Local de instalação



Fonte: AUTOR, 2015.

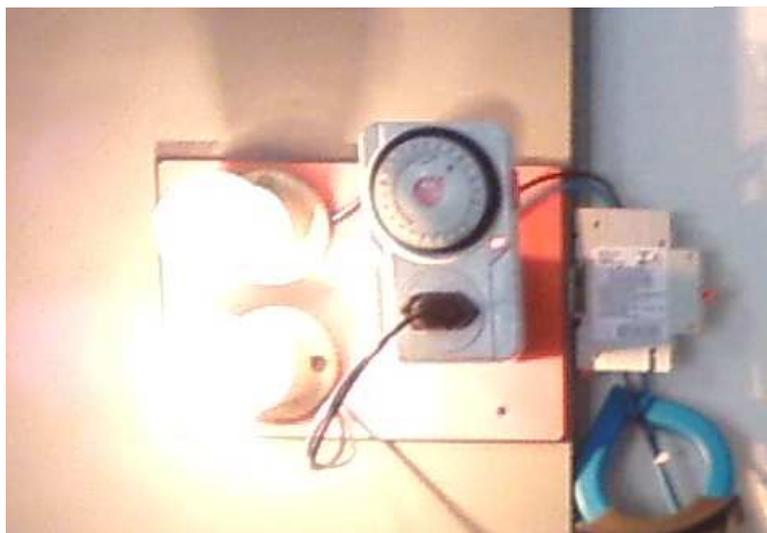
Figura 42 - Local de instalação da placa fotovoltaica



Fonte: AUTOR, 2015.

Para acionamento da carga intermitente foi adquirido um timer analógico e o mesmo foi regulado com intervalo de acionamento de 30 minutos, operando com carga de 25W das 8 horas as 15 horas. A Figura 43 ilustra o sistema de carga adotado.

Figura 43 - Carga do sistema



Fonte: AUTOR, 2015.

3.4 Validação do sistema em campo

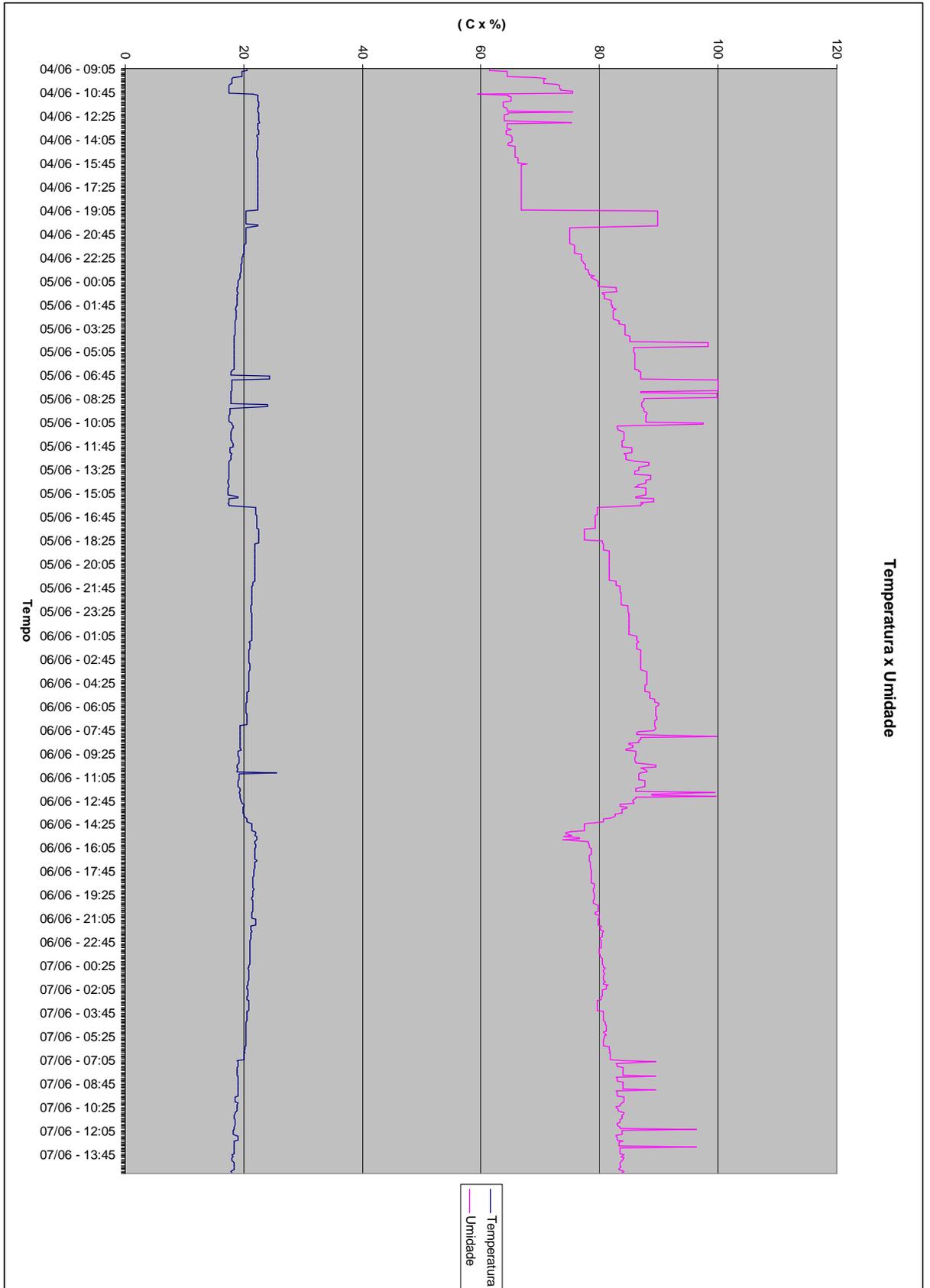
O conversor ficou operando de forma interrupta do dia 04 de junho a 07 de junho de 2015. Com isso, gerou-se uma tabela de dados que são importantes para a validação do sistema de geração de energia fotovoltaica.

Os dados extraídos do cartão de memória registrados pelo conversor, ao total foram armazenados 936 valores de cada grandeza durante o período de registros.

Com os valores obtidos nos dias de testes foram gerados os gráficos apresentados a seguir.

A Figura 44 apresenta os valores de temperatura e umidade obtidos através da memória do sistema.

Figura 44 - Gráfico de temperatura e Umidade

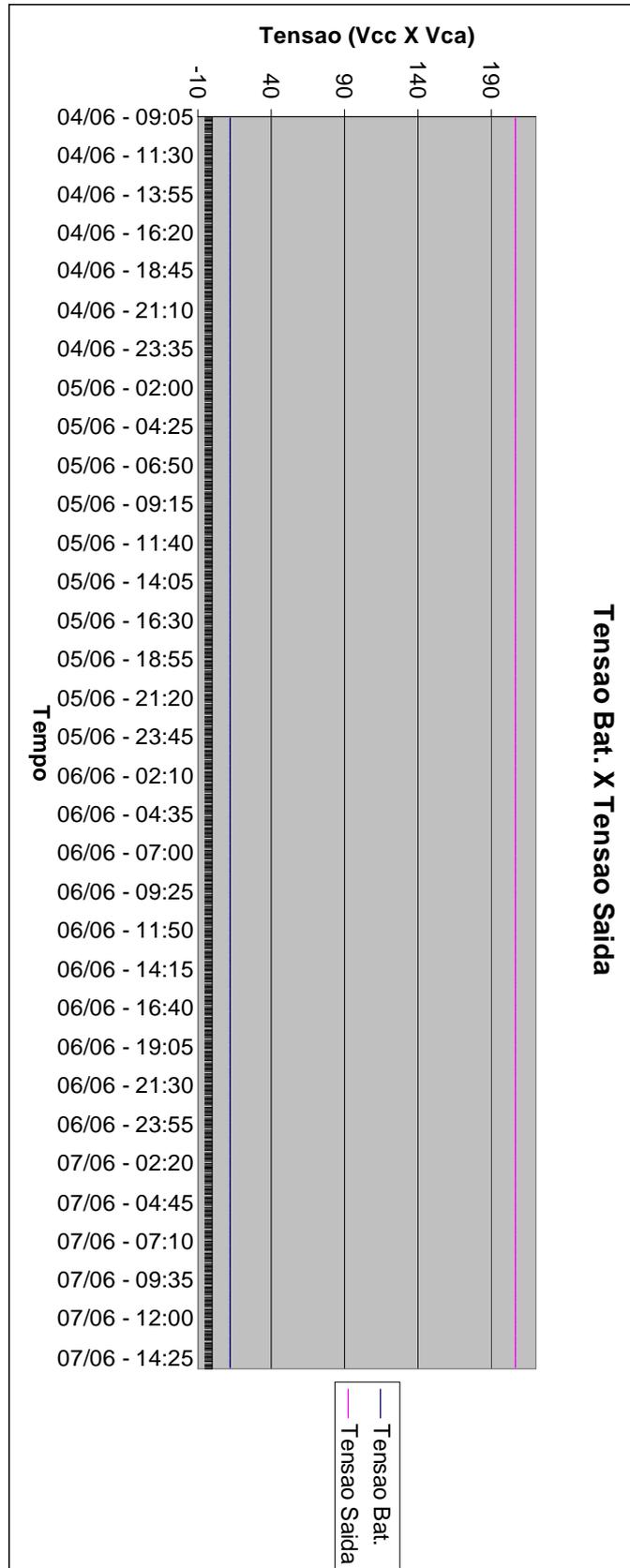


Fonte: AUTOR, 2015.

Com os valores de temperatura e umidade apresentados acima na Figura 44, pode-se perceber que o conversor operou durante ao dias em que ficou instalado com temperatura média de 20,19°C e umidade relativa media de 81,38%. Com estes valores percebe-se que o ambiente possuía temperatura e umidade com níveis controlados, com isso não interferiu no funcionamento do conversor. O sistema de registro de dados capturou alguns valores de umidade relativa com picos próximos de 100 %. Estes valores não condizem com a média apresentada, o que levam a crer que são erros de medida do sensor, com possíveis interferência causadas por ruídos oriundos da saída do conversor que opera com 220Vca em 60Hz.

A Figura 45 apresenta os valores de tensão de bateria e tensão de saída do conversor.

Figura 45 - Gráfico de tensões

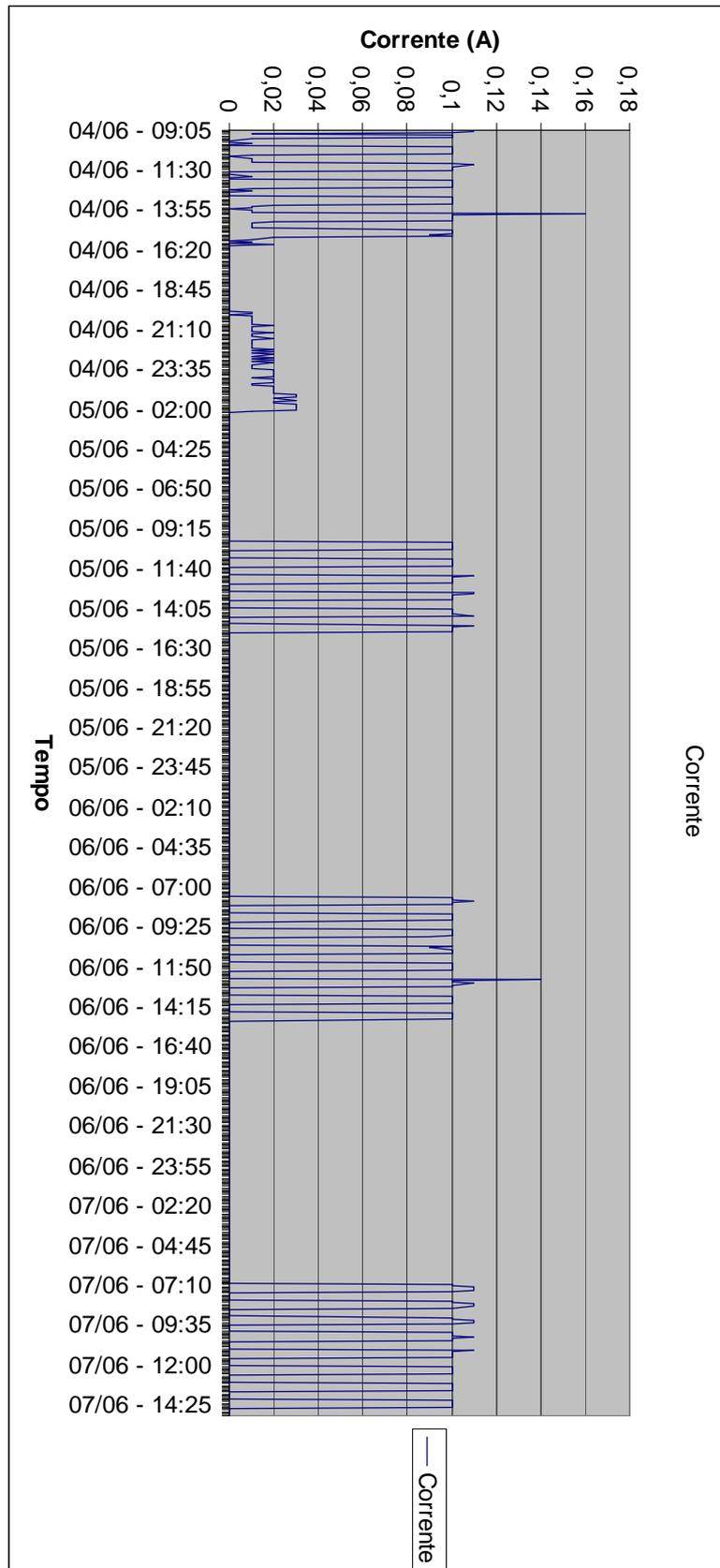


Fonte: AUTOR, 2015.

Com os valores de tensão apresentados acima na Figura 45 constata-se perceber que o conversor operou durante ao dias em que ficou instalado com tensão estável, possibilitando o funcionamento adequando do conversor.

A Figura 46 apresenta os valores de corrente consumida pelo conversor.

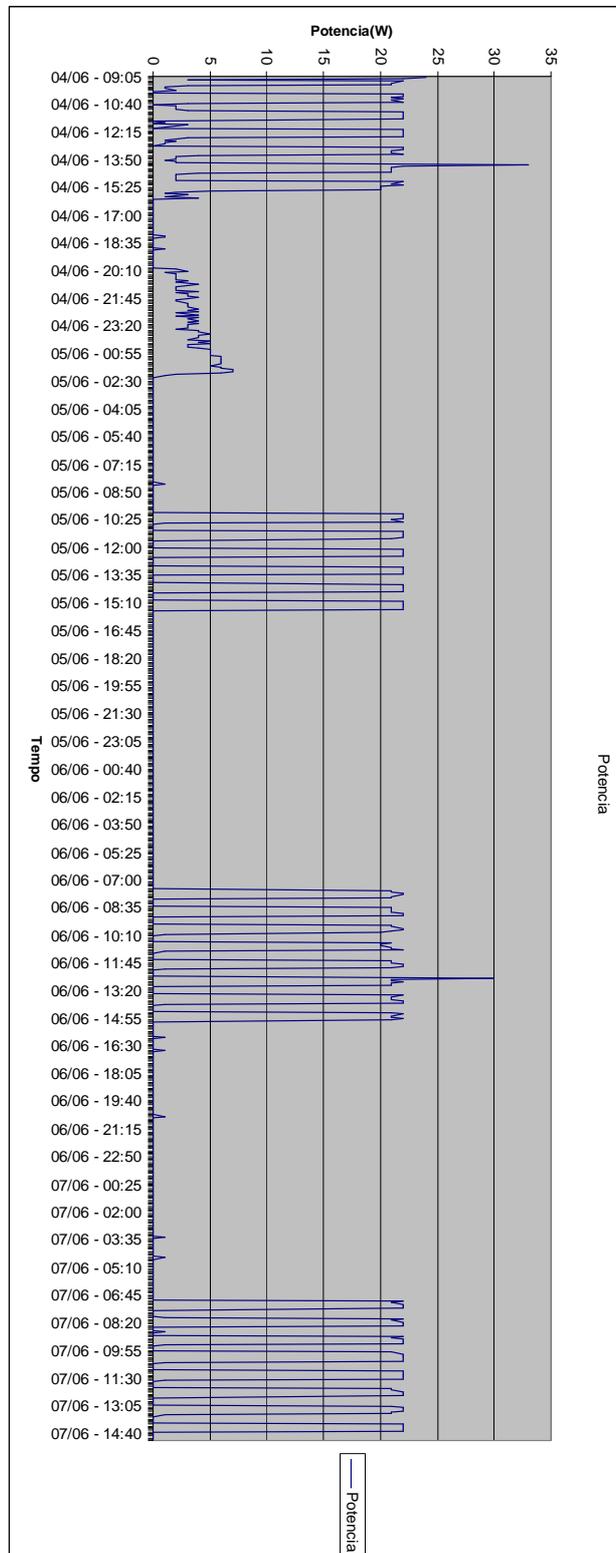
Figura 46 - Gráfico de corrente



Fonte: AUTOR, 2015.

A Figura 47 apresenta os valores de potência em Watts consumida pelo conversor.

Figura 47 - Gráfico de potência



Fonte: AUTOR, 2015.

Com os dados obtidos do sistema e gráficos ilustrados anteriormente, constata-se que o sistema operou com normalidade. Os gráficos demonstram que o sistema registrou variação de corrente prevista conforme determinada pela carga inserida ao sistema. Os gráficos de corrente e potência possuem alguns valores de consumo próximos a 5watts que foram registrados em momentos que o sistema deveria ter seu consumo perto de zero. Acredita-se que o sistema possa ter registrado algum valor com erro, com possíveis interferência causadas por ruídos oriundos da saída do conversor que opera com 220Vca em 60Hz.

O sistema de registro de dados necessita algumas melhorias, como filtros no sistema de aquisição de leituras das grandezas elétricas, pois foram registrados valores de umidade relativa, corrente e potência quando o sistema deveria ter operado com valores previstos.

Analisando o sistema de forma geral o mesmo operou com normalidade e de forma satisfatória apresentando valores compatíveis conforme previstos, mesmo quando com a carga adicionada ao sistema.

4 CONCLUSÃO

O sistema de geração de energia isolado se fez eficiente, pois o mesmo não necessita de fontes de energia externas além da radiação solar para seu funcionamento, tornando o sistema autossuficiente mesmo em casos de falta de energia de fontes convencionais.

O trabalho possui o objetivo do estudo referente ao sistema de geração de energia para abastecimento de uma residência de pequeno porte, que se tornou válido, pois a forma de geração de energia é obtida através da radiação solar que é uma energia limpa comparada com as formas de geração de energia convencionais, reduzindo o valor mensal da conta de luz residencial e mantendo o sistema elétrico ativo mesmo em condições de falta de energia fornecida pela concessionária.

Os cálculos de dimensionamento do sistema de geração de energia foram apresentados de forma explicativa e a potência oferecida se faz suficiente para as necessidades básicas em uma residência conforme apresentado.

O conversor CC/CA confeccionado apresentou funcionamento adequado e satisfatório, pois possui plena capacidade de supervisionar a geração de energia provinda das placas fotovoltaicas, permitindo controlar o carregamento do banco de baterias e ainda possibilitando a interface com o usuário que integra indicações de grandezas elétricas, fornecimento de alarmes de situações críticas e armazenamento de dados.

Como melhorias ao sistema, são indicadas a diminuição do tamanho físico do conversor, reprojetoando as placa de controle do sistema, e unificando a placa de controle do conversor com a placa de controle de carga do sistema, substituído a placa Arduino por um controlador projetado com especificidade a aplicação.

O presente trabalho trouxe a possibilidade do estudo de uma fonte de energia limpa e que está em amplo crescimento na atualidade. Com a elaboração das pesquisas e cálculos pôde-se apresentar uma forma simples de obtenção de energia elétrica e a pratica possibilitou a compreensão dos dados teóricos com a realidade, tornando o estudo válido.

Com base nos resultados apresentados no presente trabalho pode-se concluir que um sistema de geração de energia solar isolado pode ser instalado em residências de pequeno porte, assim suprimindo suas necessidades de abastecimento de energia e redução na conta de energia quando utilizado como fonte auxiliar.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. A. **Como dimensionar um gerador fotovoltaico com baterias**. Janeiro 2013. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/Como-dimensionar-um-gerador-fotovoltaico-com-baterias.pdf>>. Acesso em: 15/04/2014.

CARNEIRO, Joaquim. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico :Sistema ligados a rede e sistemas autônomos**. 2009. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/16965/1/DIMENSIONAMENTO%20DE%20SISTEMAS%20FOTOVOLTAICOS.pdf>>. Acesso em 19/09/2014.

CASTRO, Rui M. G. **Introdução e energia fotovoltaica**. 2002. Disponível em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>. Acesso em 20/09/2014.

CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. **Novas tecnologias para avaliação de baterias**. 2007. Disponível em: <<http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/MarcosWilson.pdf>>. Acesso em 01/11/2014.

COELHO, S. **Energias Renováveis: Uso da Biomassa**. Aula proferida na Universidade Salvador; Mestrado em Regulação da Indústria de Energia; Salvador; Junho 2003.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. Rio de Janeiro, 2007 p. 38-41.

DA SILVA, D. P. **Sistema Eletrônico para Processamento de Energia Solar Fotovoltaica**, Revisão em: 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85302/193381.pdf?sequence=1>> Acesso em: 10/04/2014.

DAVIS. **Wireless Vantage Pro2 Plus including UV & Solar Radiation Sensors**. Revisão em 2014. Disponível em: <http://www.davisnet.com/weather/products/weather_product.asp?pnum=06162>. Acesso em: 14/05/2014.

DE SEIXAS, F. et al. Impacto da Utilização de Inversores em Sistemas de Geração Distribuída sobre Equipamentos Rurais. In: **Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica vol. 2**. Rio de Janeiro, 2005 p. 165-179.

DEMONTINI, Rogers. **Efeito fotovoltaico**. 1998. Disponível em: <<http://marioloureiro.net/ciencia/FotoVolt/cogeracaofotovolt.pdf>>. Acesso em 20/10/2014.

ELECTROLUX. **Manual Ere 3000**. Revisão em Maio 2002. Disponível em: <<http://www.electrolux-ui.com/2001/818/184901pt.pdf>>. Acesso em: 31/03/2014.

ENERGIA SOLAR. **Altas de energia solar do Brasil**. 2005. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acesso em 15/10/2014.

FAVERIN, V. Economia de Baixo Carbono. In: **Revista Meio Ambiente Industrial** vol. 18 nº 103, maio/junho 2013.

FRANÇA, André Luiz Morelato. **Geração de energia elétrica**. 2001. Disponível em: <<http://www.feng.pucrs.br/~fdosreis/ftp/elobasicem/Aulas%202006%20II/cap3.pdf>>. Acesso em 25/10/2014.

GREENPRO. **Energia fotovoltaica**: Manual sobre tecnologias, Projeto e Instalação. 2004.

IEA – International Energy Agency. **PVPS – Photovoltaic Power Systems Programme**. Trends in Photovoltaics Applications; Survey Report of selected IEA Countries between 1992 and 2002; August 2003.

IEA (International Energy Agency). **PVPS – Photovoltaic Power Systems Programme**. Annual Report 2002.

NASCIMENTO, C. A. Revisão em 2004. **Principio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf>. Acesso em 11/06/2014.

NEOSOLARENERGIA. **Painel Solar Fotovoltaico Solaris S55P (55Wp)**. Revisão em 2013. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovolt-aacute-ico-solaris-s55p-55wp.html>>. Acesso 12/06/2014.

NEOSOLARENERGIA. **Saiba mais**. Revisão em 2013. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais>>. Acesso 12/06/2014.

NOVUS. **Módulo de Aquisição de Dados – FieldLogger**. 2014. Disponível em: <http://www.novus.com.br/site/default.asp?troncoID=621808&SecaoID=607370&SubsecaoID=0&Template=../catalogos/layout_produto.asp&ProdutoID=917491>. Acesso em: 14/05/2014.

OSRAM. **Osram Dulux Mini Twist**. 2014 Disponível em: <http://www.osram.com.br/appsinfo/pdc/pdf.do?cid=GPS01_1027813&vid=EU_ALL_eCat&lid=PT/>. Acesso em: 31/03/2014.

PACHECO, Juliano de Oliveira. **Conversores CC-CA**. 2012. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Juliano-de-Oliveira-Pacheco.pdf>>. Acesso em 10/10/2014.

PEREIRA, O. et al. Análise comparativa da Regulação Internacional Referente às Energias Renováveis. In: **Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica vol. 2**. Rio de Janeiro, 2005 p. 79-89.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistema fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em 10/10/2014.

PINTO, R. **Radiação Solar (Luz do sol)**. Revisão em Novembro de 2009. Disponível em: <[http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Radia%C3%A7%C3%A3o_solar_\(Luz_solar\)](http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Radia%C3%A7%C3%A3o_solar_(Luz_solar))>. Acesso em 11/06/2014.

PIQUEIRA, Jose Roberto Castilho. **Energia**. 1999. Disponível em: <<http://www.agracadaquimica.com.br/quimica/arealegal/outros/198.pdf>>. Acesso em 21/10/2014.

POMILO, José Antenor. **Fontes de energia**. 2013. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/CAP1.pdf>>. Acesso em 25/10/2014.

PORTAL ENERGIA. **Energia Solar**. 2014. Disponível em: <http://www.zulk.com.br/admin/confin/agenda/construindo_seu_painel_solar.pdf>. Acesso em 26/10/2014.

PORTALENERGIA. **Dimensionamento do controlador de carga para um Sistema Solar**. Março de 2014. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/dimensionamento-do-controlador-de-carga-para-um-sistema-solar/>>. Acesso em: 05/06/2014.

POTENCIAL ENERGIA. **Potencial físico de energia renovável**. 2014. Disponível em: <http://www.americadosol.org/energia_fotovoltaica/>. Acesso em: 15/10/1014.

PRADO JR., F. et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL & CRESESB, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LAJEADO. **Meio Natural**. Disponível em: <http://www.lajeado.rs.gov.br/home/show_page.asp?titulo=Meio%20Natural&categoria=Lajeado&codID_CAT=931&id_CONTEUDO=2987&INC=includes/show_texto.asp&imgCAT=>>. Acesso em: 25/06/2014.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública do Brasil**. LABSOLAR, Florianópolis, 2004.

RÜTHER, R. Sistema Solar Fotovoltaico Integrado à Arquitetura de Edificação Urbana e Interligado à Rede Elétrica Pública. In: **Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica vol. 1**. Rio de Janeiro, 2003 p. 95-100.

SANTOS SERRAO, Marco Antônio. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico**. 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000620.pdf>>. Acesso em 19/09/2014.

SEMPTOSHIBA. **Led TV – DTV 32” – DL3244W Semp**. Revisão em 2013. Disponível em: <<http://www.semptoshiba.com.br/ecommerce/home-produtos/tv/led-hd/led-tv-dtv-32-dl3244w-semp.html>>. Acesso em: 31/03/2014.

SOUZA, Teófilo Miguel. **Painel Fotovoltaico**. 2002. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/energiasrenovaveis/painel.htm>>. Acesso em 11/06/2014.

STMICROELECTRONICS. **SG3524: Regulating pulse widthmodulators**. Junho 2000. Disponível em: <<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/23560/STMICROELECTRONICS/SG3524.html>>. Acesso em: 16/04/2014.

SUNLAB. **Dimensionamento solar fotovoltaico**. Revisão em Marco 2014. Disponível em: <http://www.sunlab.com.br/Dimensionamento_solar_fotovoltaico.htm>. Acesso em: 01/04/2014.

TEXAS INSTRUMENTS. **SG2524, SG3524**. Revisão em Fevereiro 2003. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/slvs077d/slvs077d.pdf>>. Acesso em: 16/04/2014.

UNIVATES. **Centro de Informações Hidrometeorológicas**. 2014. Disponível em: <<http://www.univates.br/servicos/centro-de-informacoes-hidrometeorologicas>>. Acesso em 11/06/2014.

ZANESCO, I. et al. Implementação e Análise de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. In: **Coletânea de Artigos: Energias Solar e Eólica vol. 2**. Rio de Janeiro, 2005 p. 37-47.