

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA

FLAVIO JOSÉ DO PRADO RODRIGUES

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA RETIFICADOR  
PARA USO EM TELECOMUNICAÇÕES -48V ALIMENTADO POR  
PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA  
2016

**FLAVIO JOSÉ DO PRADO RODRIGUES**

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA  
RETIFICADOR PARA USO EM TELECOMUNICAÇÕES -48V  
ALIMENTADO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Trabalho de conclusão de curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. M.Sc. Gilmar Lunardon

CURITIBA  
2016

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

FLAVIO JOSÉ DO PRADO RODRIGUES

### **ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA RETIFICADOR PARA USO EM TELECOMUNICAÇÕES -48V ALIMENTADO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS**

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado no dia 08 de junho de 2016, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Eletrônica, outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas  
Coordenador de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

---

Prof. M.Sc. Sérgio Moribe  
Responsável pela Atividade de Trabalho de Conclusão de Curso  
Departamento Acadêmico de Eletrônica

#### **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. M.Sc. Marcio Augusto Lombardi  
UTFPR

---

Prof. Ubiradir Mendes Pinto  
UTFPR

---

Prof. M.Sc. Gilmar Lunardon  
Orientador – UTFPR

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## **AGRADECIMENTO (S)**

Agradeço aos professores do departamento de eletrônica da UTFPR, pela paciência e comprometimento na minha formação acadêmica em especial ao professor Gilmar Lunardon que esteve sempre à disposição para auxílios e ensinamentos. Faço aqui um agradecimento especial a minha esposa que nunca me deixou desistir e foi sempre paciente nas minhas ausências. Agradeço também a minha família pela ajuda e compreensão.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez”. (Thomas Edison)

## RESUMO

RODRIGUES, Flavio José do Prado. Estudo e desenvolvimento de um sistema retificador para uso em telecomunicações -48V alimentado por painéis fotovoltaicos. 2016 96 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

O setor de telecomunicações é caracterizado pelo seu dinamismo e grandiosidade, pois é um campo que mudanças acontecem rapidamente e em grandes volumes, devido a estas particularidades a produção de novas tecnologias se faz necessário. Na busca de novas soluções desenvolveu se este projeto com o intuito de desenvolver uma nova alternativa para a alimentação de um sistema retificador -48V utilizado em telecomunicações, porém mantendo os atributos de confiabilidade e robustez dos sistemas convencionais, assim sendo neste trabalho foi desenvolvido um protótipo para o estudo deste equipamento largamente utilizado na área de telecomunicações para prover energia interrupta para os dispositivos a ele conectados. Elaborou se este projeto com duas alimentações distintas, uma entrada CA proveniente da rede convencional da concessionária local e a outra, que foi o objeto de maior estudo, através de painéis solares com tecnologia fotovoltaica. Atualmente tem aumentado substancialmente a busca por novas formas de geração de energia elétrica e a utilização de fontes renováveis, pois o consumo de energia elétrica aumenta dia após dia e a utilização destas fontes alternativas pode contribuir para o aumento da produção energética, e na diminuição da emissão de gases poluidores, assim como na redução dos custos com energia elétrica.

**Palavras-chave:** Sistemas retificadores. Energia solar. Fontes renováveis. Confiabilidade.

## **ABSTRACT**

RODRIGUES, Flavio José do Prado. Study and development of a -48V power system to use in telecommunications powered by photovoltaic modules. 2016 96 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

The area of telecommunications is characterized by having large and fast technological changes, because of this the production of new technologies are necessary. Then searching for new telecommunications technologies solutions this project was designed aims to develop a prototype to study a telecommunications energy system CC -48V, so this system must supply interruptible energy for the devices connected to it. The equipment was built with two different electrical inputs, one is the AC input from local electric company utility and the other is provided for photovoltaic solar energy. Nowadays is growing the search for new ways to generate electrical energy and the application of renewable sources. It happens because the electrical energy consumption is increasing day after day and the use of this alternative energy sources not only can contribute to increase of energy production, but also helps to reduce the emission of pollutant gases beyond reduce the costs with electrical energy.

Keywords: Energy system. Solar energy. Renewable sources. Solar energy, reliability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Geração de eletricidade cenária para 2050 segundo Greenpeace .....	20
Figura 2 - Matriz energética brasileira 2011 .....	23
Figura 3 Potencial e produção de energia solar no Brasil .....	26
Figura 4 - Irradiação Solar no Brasil em Wh/m <sup>2</sup> .....	31
Figura 5- Processos de conversão da energia solar .....	32
Figura 6 - Calculadora solar site cresesb informa a irradiação solar de um determinado local.....	33
Figura 7- Curva característica I-V de corrente e tensão.....	36
Figura 8- Curva característica P-V de potência e tensão.....	36
Figura 9- Folha de dados módulos solares da Neo Sola.....	37
Figura 10- Curva característica I-V de um conjunto de quatro módulos.....	41
Figura 11- Diagrama de bloco de um sistema solar fotovoltaico .....	42
Figura 12- Diagrama em Blocos de uma Fonte de Corrente Contínua.....	45
Figura 13- Sistemas em Container.....	48
Figura 14- Fonte 300A, -48V CC. Instalada em um site Outdoor. Guayaquil - Equador.....	49
Figura 15- Fonte Indoor 3600A, -48V CC, instalada em uma central de.....	50
Figura 16- Retificador 100A da Sisten Sistemas de .....	52
Figura 17- Retificador 100A da Sisten de.....	53
Figura 18- Retificador Delta DPR 2700W/-48V/ 50A.....	54
Figura 19– Representação simplificada de um conversor CC-CC .....	55
Figura 20- Aplicação Genérica do Controlador Lógico Programável.....	56
Figura 21- Estrutura Básica do PLC.....	57
Figura 22- USCC Sisten.....	58
Figura 23- Vista frontal Controlador Lógico Programável dedicado .....	59
Figura 24 - Vista traseira do Controlador Lógico Programável dedicado a .....	60
Figura 25- Rack de equipamentos conectados a uma fonte indoor -48V.....	64
Figura 26- Rádio transmissor Ceragon .....	64
Figura 27– Gabinete outdoor utilizado para abrigo do sistema .....	67
Figura 28– Shelf – estrutura mecânica dos equipamentos .....	67
Figura 29– Ilustração da moldura do suporte do painel .....	68
Figura 30– Moldura dos painéis fotovoltaicos .....	69
Figura 31– Ilustração da estrutura de conexão entre a moldura .....	70
Figura 32– Ilustração do tubo que auxilia na rotação dos painéis.....	70
Figura 33– Ilustração do tubo de sustentação.....	71
Figura 34- Banco de baterias 4 elementos 48V 30A .....	73
Figura 35 – Detalhe da montagem completa do suporte.....	74
Figura 36– Ilustração da montagem completa do suporte .....	74
Figura 37– Disposição dos painéis fotovoltaicos.....	76



Figura 38– Tela inicial do software do Controlador lógico programável PSC 3.....	79
Figura 39– Tela de programação da PSC 3.....	79
Figura 40- Carga resistiva utilizada para simular os consumidores do .....	80
Figura 41 - Tensão de entrada x Potência de saída do conversor solar .....	81
Figura 42 - Planilha de histórico das potências dissipadas. ....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Eventos chave no desenvolvimento das células solares.....	28
Tabela 2- Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas .....	35
Tabela 3- As principais características de alguns tipos de baterias recarregáveis disponíveis comercialmente. ....	62
Tabela 4– Características técnicas do painel fotovoltaico utilizado.....	76
Tabela 5 – Características técnicas do Conversor CC-CC .....	77
Tabela 6– Características técnicas do Conversor CA-CC.....	77
Tabela 7– Consumo total no período de testes.....	82
Tabela 8– Resultados após o período de testes .....	83

## LISTA DE ABREVIATURAS

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
aSi	Silício Amorfo
BFV	<i>Best Fixed Voltage</i>
BNDS	Banco Nacional do Desenvolvimento Social
CA	Corrente Alternada
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CC	Corrente Contínua
CdTe	Telureto de Cádmio
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CI	Circuito Integrado
CIGS	Cobre – Índio – Gálio – Selênio
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELETOBRÁS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRATEL	Empresa Brasileira de Telecomunicações
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ERB	Estação Rádio Base
FCC	Fonte de Corrente Contínua
FVLA	<i>Free Vented Lead Acid</i>
GCOI	Grupo Coordenador para Operação Interligada
HVAC	<i>Heating Ventilation and Air Conditioning</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias
IGBT	<i>Isolated Gate Bipolar Transistor</i>
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
LAN	<i>Local Area Network</i>
LGT	Lei Geral das Telecomunicações
Li-ion	Íon de Lítio
Ly	<i>Langley</i>
μSi	Silício Microcristalino
MME	Ministério das Minas e Energia
MOx	Óxido Misto
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracker</i>
NiCd	Níquel Cádmio
NiMH	Hidreto metálico de Níquel
NOx	Dióxido de Nitrogênio
ONS	Operador Nacional
ONU	Organização das Nações Unidas
PID	Proporcional integral e derivativo
PLC	Programmable Logic Controller
PND	Programa Nacional de Desestatização
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

	Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>
RIMA	Relatório de Impacto ao Meio Ambiente
ROM	<i>Read Only Memory</i>
Se	Selênio
Si	Silício
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SOC	<i>State of Charge</i>
SOx	Dióxido de Enxofre
STC	<i>Standard Test Condition</i>
UR	Unidade Retificadora
URCC	Unidade Retificadora de Corrente Contínua
USCC	Unidade de Supervisão de Corrente Contínua
VLRA	<i>Valve Regulated Lead Acid</i>

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>14</b>
1.1 TEMA .....	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	15
1.3 PROBLEMA .....	15
1.4 OBJETIVOS .....	16
1.4.1 Geral.....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 JUSTIFICATIVA .....	17
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO .....	18
1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>20</b>
2.1 A ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	20
2.1.1 Soluções energéticas e o desenvolvimento sustentável .....	21
2.1.2 Fontes renováveis de energia no Brasil .....	22
2.2 ENERGIA SOLAR .....	24
2.2.1 Potencial de produção de energia solar no Brasil .....	26
2.2.2 Energia solar fotovoltaica .....	27
2.2.3 O efeito solar fotovoltaico .....	29
2.2.4 Radiação solar .....	30
2.2.5 Radiação solar nível do solo .....	31
2.2.6 Insolação .....	32
2.2.7 Módulos fotovoltaicos .....	34
2.2.8 Célula fotovoltaica .....	34
2.2.9 Funcionamento e características dos módulos fotovoltaicos.....	35
2.2.10 Curvas características de corrente, tensão e potência.....	36
2.2.11 Folha de dados dos módulos fotovoltaicos comerciais.....	37
2.2.12 Características elétricas em STC ( <i>Standard Test Conditions</i> ) .....	38
2.2.13 principais parâmetros STC dos módulos fotovoltaicos comerciais.....	38
2.2.13.1 Tensão de circuito aberto ( <i>Voltage open circuit – VOC</i> ).....	38
2.2.13.2 Corrente de curto circuito ( <i>short circuit current - Isc</i> ).....	38
2.2.13.3 Tensão de máxima potência ( <i>maximum power voltage - Vpm</i> ).....	39
2.2.13.4 Corrente de máxima potência ( <i>maximum power current - Ipm</i> ).....	39
2.2.13.5 Máxima Potência ( <i>maximum rating power - P max</i> ) .....	39
2.2.13.6 Eficiência do módulo ( <i>module efficiency - η</i> ) .....	39
2.2.13.7 Resistência a corrente inversa .....	40
2.2.14 Arranjos fotovoltaicos .....	40
2.2.14.1 Módulos em série .....	41
2.2.14.2 Módulos em paralelo .....	41
2.2.15 Sistemas fotovoltaicos.....	42
2.2.15.1 Aplicações de sistemas fotovoltaicos .....	42
2.2.15.2 Ponto de potência máxima e seguidor de potência máxima (MPPT). .....	44
2.3 O SISTEMA DE CORRENTE CONTINUA UTILIZADOS EM TELECOMUNICAÇÕES.....	45
2.3.1 O Aterramento dos sistemas -48V .....	47
2.3.2 Sistemas de energia CC.....	47
2.3.3 Sistemas em container .....	48
2.3.4 Sistemas em gabinetes outdoor .....	49

2.3.5 Sistemas em centrais .....	50
2.3.6 Retificadores conversores CA/CC .....	51
2.3.7 Conversores CC/CC .....	54
2.3.8 Controlador lógico programável .....	55
2.3.8.1 Principais blocos que compõem um PLC .....	56
2.3.8.2 Controladores lógicos programáveis utilizados nos sistemas de corrente contínua .....	57
2.3.9 Periféricos e dispositivos da fonte .....	60
2.3.9.1 Baterias .....	60
2.3.9.2 Banco de baterias .....	62
2.3.9.3 Consumidores (Cargas) .....	63
<b>3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA .....</b>	<b>64</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	64
3.2 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO .....	65
3.3 COMPONENTES MECÂNICOS .....	66
3.3.1 Gabinete outdoor .....	66
3.3.2 Suporte dos equipamentos eletroeletrônicos .....	67
3.3.3 Suporte dos painéis solares .....	68
3.4 COMPONENTES ELETROELETRÔNICOS .....	71
3.4.1 Dispositivos protetores .....	71
3.4.2 Dispositivos de controle .....	72
3.4.3 Banco de baterias .....	72
3.5 MONTAGEM DO PROTÓTIPO .....	73
3.5.1 Local .....	73
3.6 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA FONTE PROPOSTA .....	75
3.6.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para o projeto .....	75
3.6.2 Programação e software da PSC 3. ....	78
<b>4 APRESENTAÇÃO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>80</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE A – QUADRO SUPORTE DOS PAINÉIS .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE B – PEÇA RESPONSÁVEL PELA INCLINAÇÃO DOS PAINÉIS .....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE C – TUBO DE GIRO .....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE D - MASTRO .....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE E – DIAGRAMA EM BLOCOS .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO A - CÁTALOGO DO PAINEL FOTOVOLTAICO UTILIZADO .....</b>	<b>93</b>
<b>ANEXO B - IMAGEM DO CONJUNTO MONTADO .....</b>	<b>96</b>

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

## 1.1 TEMA

Uma das principais características do mundo corporativo do século XXI é a rapidez das mudanças e a evolução das expectativas e probabilidades. A ideia de um mundo previsível, que parece ter sido uma marca até meados do século XX, foi bruscamente alterada pelo surgimento das grandes corporações multinacionais e da globalização, que produziram um imenso volume de capital especulativo circulante no mercado internacional (ANATEL, 2015.).

O setor de telecomunicações representa um dos setores econômicos mais importantes no mundo, caracterizado por sua elevada dinamicidade tecnológica. Já há algumas poucas décadas, ele exerce um papel determinante sobre a cultura, a economia e a política, permeando todas as esferas da atividade humana e moldando as relações sociais, o avanço industrial e a ciência e tecnologia. Este contexto ainda é pressionado pelo fenômeno da convergência, onde os diversos conteúdos digitais (de voz, dados e vídeo) passam a circular nas mais variadas redes de infraestrutura disponíveis (ANATEL, 2015.).

As aplicações em telecomunicações têm mudado constantemente durante os anos devido ao desenvolvimento de novas tecnologias que veem para melhorar, qualificar e tornar cada vez mais econômico e sustentável os equipamentos de telecomunicações, dentre eles estão os Sistemas Retificadores que são equipamentos utilizados em larga escala no mundo inteiro, são dispositivos de suma importância para o setor pois são eles que proveem alimentação interrupta aos dos equipamentos de telefonia. Estes sistemas tem a como principal função manter o fornecimento de energia elétrica em corrente contínua aos seus consumidores.

O Sistema Retificador construído para telecomunicações é um conjunto de funções de hardwares e softwares que garantem o fornecimento em corrente contínua para os dispositivos de telecomunicações. Um sistema retificador de telecomunicação tem como premissa nunca interromper o fornecimento de energia aos seus consumidores, então devem ser equipamentos de alta confiabilidade e

robustez.

As fontes convencionais de energia têm se tornado cada vez mais, caras e menos ambientalmente corretas, então a ideia da utilização de energia solar em sistemas de escala industrial está cada vez mais ganhando adeptos por se tratar de ser uma fonte de energia limpa, abundante e que está se tornando a cada dia mais popular e acessível.

## **1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO**

Este projeto trata dos sistemas de energia CC -48V utilizados em telecomunicações, após estudos na área de telecomunicações percebeu se a possibilidade de desenvolver um sistema de energia CC -48V utilizando como fonte de alimentação principal uma energia renovável.

O trabalho foi desenvolvido no intuito de estudar, dimensionar e construir um protótipo do sistema de energia que servirá para os testes pertinentes a conclusão dos estudos.

## **1.3 PROBLEMA**

A Carência de Fontes de Energia de Corrente Contínua (FCC) -48V que apresentem a característica de utilizarem painéis fotovoltaicos como principal fonte de alimentação e que além da energia solar este equipamento também possa contar com uma fonte de energia extra que será a alimentação da rede de distribuição convencional que só deverá ser utilizada em casos críticos. Obtendo assim um equipamento mais econômico do ponto de vista energético por utilizar muito menos a energia provinda da concessionária, mais sustentável por utilizar como principal fonte de alimentação uma energia limpa e sem perder a confiabilidade por se tratar de um equipamento híbrido com duas fontes de energia independentes que se bem dimensionadas podem trabalhar de forma ininterrupta.



## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Geral**

Desenvolver um protótipo de um sistema retificador -48V utilizado em telecomunicações utilizando para sua alimentação energia solar fotovoltaica e energia CA fornecida pela rede convencional, e com este equipamento estudar, analisar a viabilidade técnica, econômica e a confiabilidade do projeto proposto.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Estudar os sistemas retificadores e suas atribuições em telecomunicações
- Levantar o custo com energia elétrica e a economia da utilização de painéis fotovoltaicos na alimentação do sistema retificador.
- Dimensionar os componentes do sistema retificador, banco de baterias, consumidores, retificadores etc.
- Fazer o levantamento da viabilidade técnica e econômica do sistema retificador em estudo.
- Analisar a possibilidade da utilização do sistema retificador sem a utilização da rede convencional de energia elétrica como fonte de alimentação.
- Comparar o sistema retificador alimentado por energia solar e energia elétrica da rede pública com o sistema retificador convencional.

## 1.5 JUSTIFICATIVA

Diariamente incide sobre a superfície da terra mais energia vinda do sol do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Dentre as diversas aplicações da energia solar, a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico se apresenta como uma das mais elegantes formas de gerar potência elétrica.

Desde o surgimento das primeiras células solares fotovoltaicas, de elevado custo e utilizadas na geração de energia elétrica para os satélites que orbitam nosso planeta, as tecnologias de produção evoluíram a tal ponto que se tornou economicamente viável em muitos casos a sua utilização em aplicações terrestres, no fornecimento de energia elétrica a locais até onde a rede elétrica pública não foi estendida. Tais sistemas, ditos remotos ou autônomos, necessitam quase sempre de um meio de acumulação da energia gerada, normalmente um banco de baterias, para suprir a demanda em períodos quando a geração solar é insuficiente ou à noite. Mais recentemente, sistemas solares fotovoltaicos vêm sendo utilizados de forma interligada a rede elétrica pública, como usinas geradoras em paralelo às grandes centrais geradoras elétricas convencionais. (RUTHER, 2004).

A energia solar fotovoltaica tem uma característica que não se encontra em nenhuma outra: ela pode ser usada em qualquer local, gerando eletricidade no próprio ponto de consumo, sem a necessidade de levar a eletricidade para outro lugar através de linhas de transmissão ou redes de distribuição. Além disso, diferentemente de outras fontes de energia, ela pode ser empregada em praticamente todo o território nacional, e em áreas rurais e urbanas. (VILLALVA, 2012).

Os Sistemas Retificadores -48V, também chamados de FCCs são equipamentos que fornecem corrente contínua (CC) para seus consumidores (normalmente dispositivos de Telecomunicações), então por se tratar de uma fonte de corrente contínua a utilização de painéis fotovoltaicos representa uma ótima solução de alimentação para este equipamento pois a energia captada dos painéis é do tipo CC, e seguramente esta é uma vantagem se comparados com as fontes convencionais que precisam retificar a energia CA de sua entrada para que possa

entregar energia CC aos seus consumidores.

## **1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Inicialmente, serão feitos estudos e levantamentos com embasamento teórico, utilizando livros, internet, revistas, periódicos, monografias e documentos afins, também será utilizado à comunicação com profissionais da área de telecomunicações como fonte de aprendizado e pesquisa. A empresa Delta Greetech fornecerá apoio técnico e instrumental para o desenvolvimento do estudo.

Será dado início a pesquisa fazendo uma coleta seletiva de dados sobre o sistema energético do país, equipamentos de telecomunicações, possíveis fontes de energia elétrica e ainda outros assuntos pertinentes ao tema.

Para melhor compreensão e obtenção de dados reais será desenvolvido um protótipo de um sistema retificador híbrido alimentado por painéis fotovoltaicos e energia CA provida pela concessionária local que servirá de referência para a obtenção dos dados para estudo. Através deste protótipo serão realizadas as devidas provas e testes para a verificação da viabilidade técnica e econômica do equipamento. Também serão utilizados para fins de estudo alguns sistemas retificadores convencionais instalados em sítios na cidade de São José dos Pinhais.

## **1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO**

Com relação a energia elétrica no Brasil será utilizado como base de estudos para este projeto o Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL (2008), quanto ao tema energia solar as referências serão Boyle (2004), PATEL (2006), ALDABÓ (2002), já no assunto energia solar fotovoltaica o embasamento teórico adotado foram o de VILLALVA (2012), CEPEL (2004), RUTTER (2004), URBANETZ (2010).

O objeto de pesquisa, a fonte -48V terá como referência neste trabalho os autores Couto (2013), a agência nacional de telecomunicação Anatel (2015), agência

esta que faz a regulamentação da produção, comercialização e homologação destes equipamentos no Brasil, também se utilizará as obras de REEVE (2007) e MARTINS (2008).

A respeito dos outros assuntos pertinentes a este projeto serão abordados os trabalhos de GONÇALVES (2004), BARBI, COLLIER (2011), dentre outros autores que poderão vir a contribuir com este estudo.

## **1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Capítulo 1 - Será composto da introdução do tema a ser desenvolvido, do problema e a justificativa que motivaram a escolha e elaboração do objeto de estudo. Neste capítulo também serão demonstrados os objetivos da pesquisa além dos procedimentos e embasamento teórico utilizado como apoio no decorrer do processo de construção e idealização do trabalho proposto.

Capítulo 2 - Neste capítulo serão abordados assuntos que foram utilizados para a escolha do tema do projeto, e ou utilizados como base para o desenvolvimento e pesquisa do trabalho. Os temas descritos no capítulo 2 são: As energias renováveis suas vantagens, desvantagens, utilização e viabilidade no Brasil, também haverá a descrição dos processos de geração de energia elétrica mais utilizados no Brasil e no mundo. Para melhor compreensão do projeto serão também explicados assuntos pertinentes a telecomunicações e as fontes de corrente contínua utilizadas para alimentação em telecomunicações seus periféricos e dispositivos.

Capítulo 3- Esta é a parte do trabalho onde será desenvolvido o tema proposto, resultados e comparações com projetos similares que já vem sendo utilizados no decorrer dos anos.

Capítulo 4- Nesta etapa serão apresentados os resultados alcançados com o protótipo desenvolvido e também será demonstrado cálculos referente a viabilidade do projeto.

Capítulo 5- Na última parte do projeto serão descritos, após levantados todos os resultados, dificuldades, facilidades, inovações e principalmente a aquisição de novos conhecimentos, as conclusões e considerações finais obtidas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A ENERGIA E O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

As fontes renováveis de energia, sem dúvida, terão uma participação cada vez mais relevante na matriz energética global nas décadas vindouras (Figura 1), sendo que o mercado de energias renováveis, conforme dados de 2011 representava 47,3% da matriz energética brasileira e se, combinado com o uso racional e eficiente de energia poderá suprir a metade da demanda energética mundial em 2050 e reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa do setor energético em até 50%. (GREENPEACE, 2011).

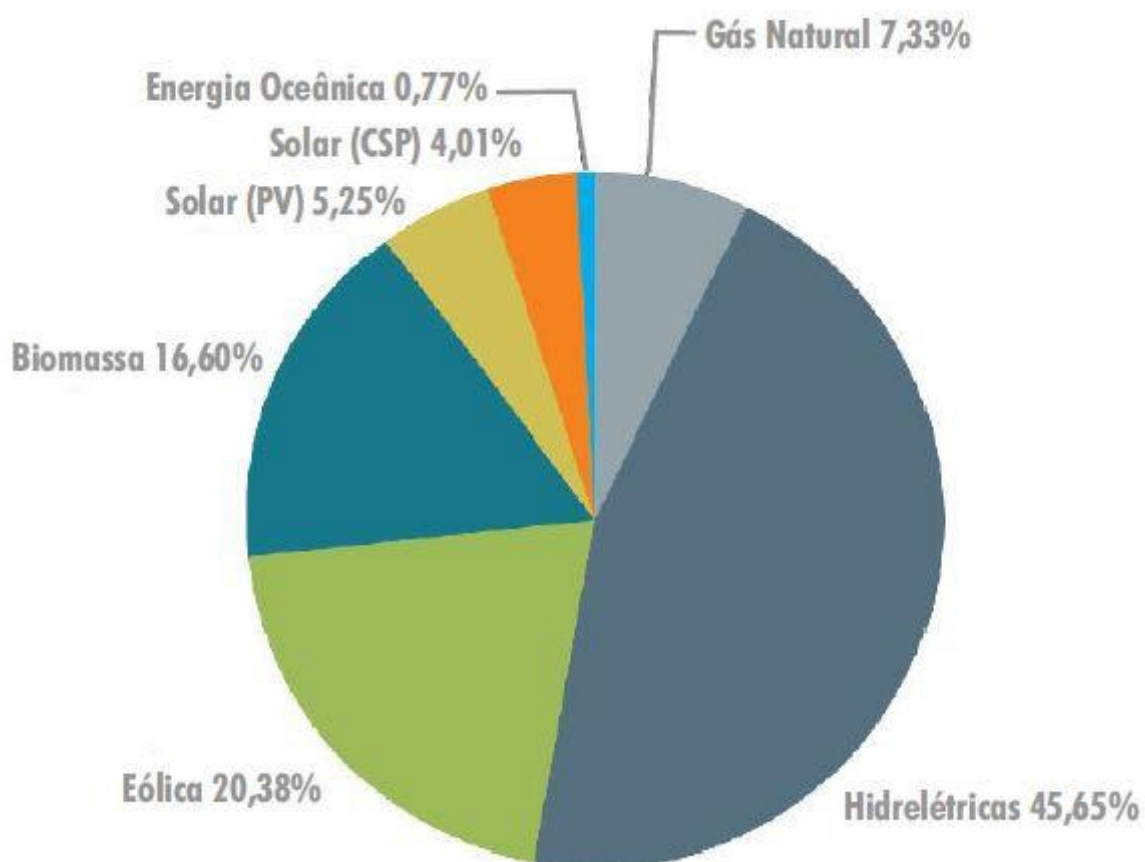


Figura 1- Geração de eletricidade cenária para 2050 segundo Greenpeace  
Fonte: Adaptado de Greenpeace

A questão energética tem um significado bastante relevante no contexto ambiental e da busca do desenvolvimento sustentável. Na verdade, ela tem influenciado muito as mudanças de paradigma que estão ocorrendo na humanidade, principalmente por dois motivos. Primeiro, o suprimento eficiente de energia é considerado uma das condições básicas para o desenvolvimento econômico. Isso ficou sem dúvida bem clara na década de 1970 devido aos choques da crise do petróleo. Portanto, deveria ser natural que a questão energética - juntamente com outros setores de infraestrutura como água e saneamento, transporte e telecomunicações - fizesse parte da agenda estratégica de todo e qualquer país. Segundo vários desastres ecológicos e humanos das últimas décadas têm relação íntima com o suprimento de energia, oferecendo assim motivação e argumentos em favor do desenvolvimento sustentável.

O setor energético produz impactos ambientais em toda sua cadeia de desenvolvimento, desde a captura de recursos naturais básicos para seus processos de produção, até seus usos finais por diversos tipos de consumidores. Do ponto de vista global, a energia tem participação significativa nos principais problemas ambientais da atualidade como a poluição do ar urbano, chuva ácida, efeito estufa e as mudanças climáticas, o desflorestamento e a desertificação, a degradação marinha e costeira, o alagamento dentre outros. (REIS, 2003).

### **2.1.1 Soluções energéticas e o desenvolvimento sustentável**

De uma forma geral, as soluções energéticas voltadas ao desenvolvimento sustentável hoje defendida, seguem determinadas linhas de referência básica.

1- Almeja a diminuição do uso de combustíveis fósseis (carvão, óleo, gás) e um maior uso de tecnologias e combustíveis renováveis. O objetivo é alcançar uma matriz renovável a longo prazo.

2- É necessário aumentar a eficiência do setor energético desde a produção até o consumo. Grande parte da crescente demanda energética pode ser suprida através dessas medidas, principalmente em países desenvolvidos onde a demanda dever crescer de forma mais moderada.

3- Mudanças no setor produtivo como um todo são vistas como necessárias para o aumento de eficiência no uso de materiais, transportes e combustíveis.

4- O desenvolvimento tecnológico do setor energético é essencial no sentido de desenvolver alternativas ambientalmente benéficas. Isso inclui também melhorias nas atividades de produção de equipamentos e materiais para o setor e exploração de combustíveis.

5- Políticas energéticas devem ser redefinidas de forma a favorecer a formação de mercados para tecnologias ambientalmente benéficas e a cobrar os custos ambientais de alternativas não sustentáveis.

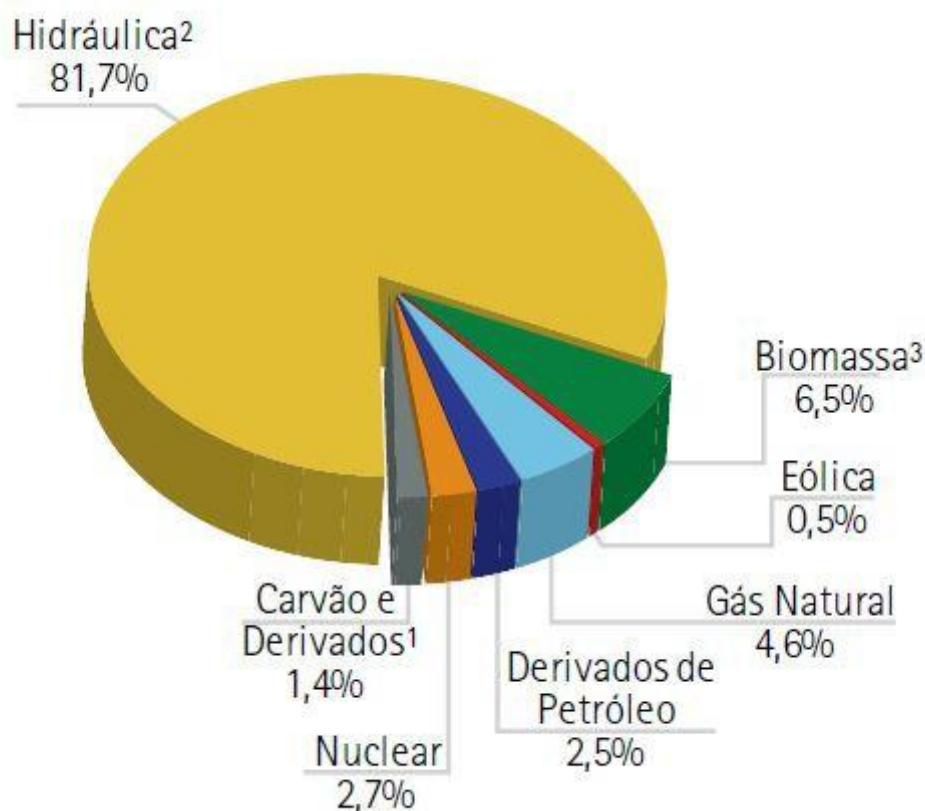
6- Incentiva-se o uso de combustíveis menos poluentes. Num período transitório, por exemplo, o gás natural tem vantagens sobre o petróleo ou carvão mineral por produzir menos emissões. (REIS, 2003).

### **2.1.2 Fontes renováveis de energia no Brasil**

No Brasil, país de longa tradição no uso de fontes renováveis, tanto para geração de eletricidade, quanto nos setores de transporte e siderurgia, o incremento do uso destas fontes representa uma oportunidade de maior diversificação da matriz energética, minimizando, por exemplo, os efeitos da sua elevada dependência hidrológica na geração de energia elétrica.

Além de contribuir para uma matriz energética limpa e diversificada e criar empregos e renda, as fontes renováveis de energia tem um papel significativo na universalização do serviço de energia elétrica. A capacidade dos modelos e tecnologias atuais é limitada quando o assunto é atingir os consumidores isolados e dispersos, principalmente nas regiões Nordeste e Norte do país. O aproveitamento da energia solar fotovoltaica, da biomassa, e de pequenas quedas d'água representam soluções adequadas e competitivas para localidades isoladas onde a única alternativa, quando possível, são os grupos geradores a diesel, amplamente conhecidos pelo seu alto custo de operação e manutenção e seu potencial de poluição local e global. (TOLMASQUIM, 2003).

Em comparação com outros países, o Brasil já emprega bastante as fontes de energia renováveis, pois quase toda a nossa eletricidade é obtida de usinas hidrelétricas, como mostra a figura 2 abaixo. Em virtude disso, nossa busca por novas fontes renováveis não tem sido tão acelerada como no resto do mundo.



**Figura 2 - Matriz energética brasileira 2011**  
 Fonte: EPE

Entretanto, nossa geração de energia elétrica é muito pouca quando nos comparamos a outros países. O Brasil possuía em 2009 uma capacidade de geração de energia elétrica de 105GW. Isso representa apenas 10% da capacidade de geração de energia elétrica que possuem os principais países desenvolvidos. Para o País sustentar seu ritmo de crescimento e alcançar as grandes potências mundiais vai ser necessário encontrar novas fontes de energia para a geração de eletricidade. As fontes renováveis alternativas, como a solar fotovoltaica e a eólica, terão um papel fundamental nessa busca. (VILLALVA, 2012).

Por fim, a volatilidade do preço do petróleo e seus derivados, e do gás natural,



bem como a sua indexação de divisas, intensifica no mundo o interesse por soluções sustentáveis para a geração de energia, oriunda de fontes limpas e renováveis. (TOLMASQUIM, 2003).

## 2.2 ENERGIA SOLAR

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. E quando se fala de energia, deve se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do sol.

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de eletricidade (hidroeletricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar. As reações químicas às quais a matéria orgânica foi submetida, a altas temperaturas e pressões, por longos períodos de tempo, também utilizaram o Sol como fonte de energia. É também por causa da energia do Sol que a matéria orgânica, como a cana-de-açúcar, é capaz de se desenvolver, fazer fotossíntese para, posteriormente, ser transformada em combustível nas usinas.

A terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  KWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem a indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia térmica elétrica etc. (CEPEL, 2004).

A transmissão de energia sol para a terra se dá pela radiação

eletromagnética de ondas curtas, pois 97% da radiação solar está contida entre comprimentos de onda que variam entre 0,3 e 3,0  $\mu\text{m}$ .

Devido às flutuações climáticas, a radiação solar incidente no limite superior da atmosfera sofre uma série de reflexões, dispersões e absorções durante o seu percurso até o solo. A incidência total da radiação solar sobre um corpo localizado no solo é a soma dos componentes direto, difuso e refletido. Radiação direta é aquela proveniente diretamente do disco solar sem sofrer nenhuma mudança de direção, além da provocada pela refração atmosférica. Radiação difusa é aquela recebida por um corpo, após a direção dos raios solares ter sido modificada por reflexão ou espalhamento na atmosfera.

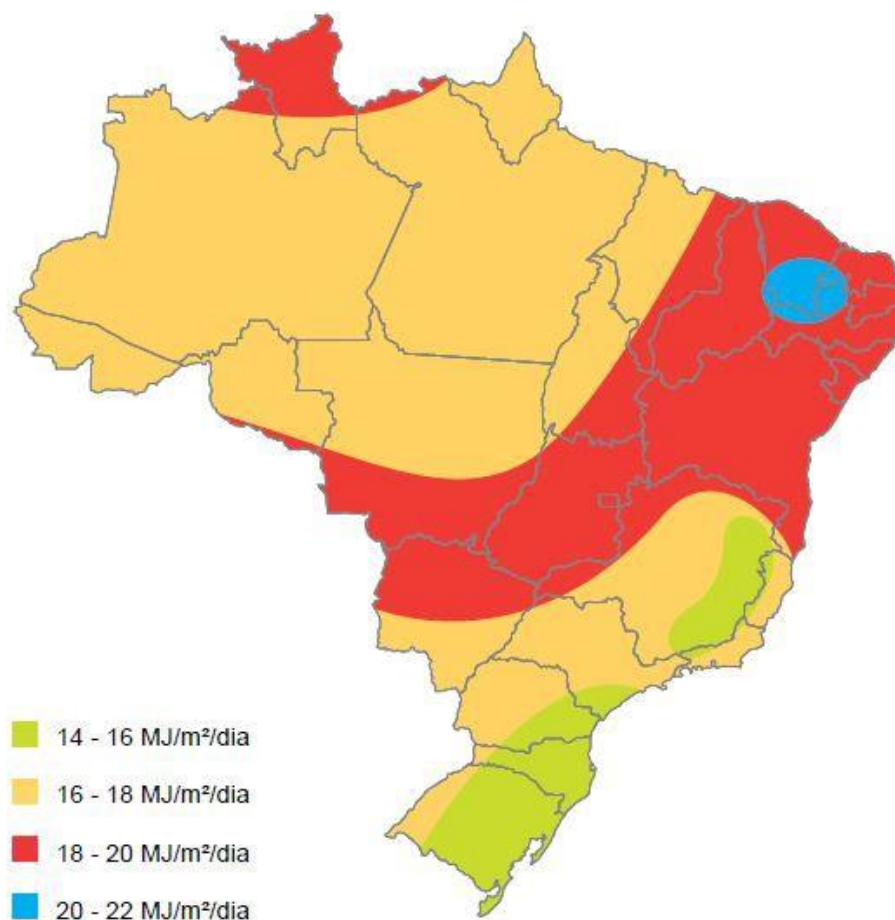
Os dados solarimétricos são apresentados habitualmente na forma de energia coletada ao longo do dia, produzindo uma média mensal ao longo de muitos anos. As unidades de medição mais utilizadas com mais frequências são: Langley/dia ( $\text{ly}/\text{dia}$ ),  $\text{cal}/\text{m}^2 \text{ dia}$ ,  $\text{Wh}/\text{m}^2$  e intensidade média diária em  $\text{W}/\text{m}^2$  ( $1 \text{ ly}/\text{dia} = 11,63 \text{ Wh}/\text{m}^2 = 0,4846 \text{ W}/\text{m}^2$ ).

Em condições atmosféricas ótimas, ou seja, céu claro sem nenhuma nuvem, a iluminação máxima observada ao meio-dia num local situado ao nível do mar é de  $1 \text{ KW}/\text{m}^2$ . Atinge um valor de  $1,05 \text{ KW}/\text{m}^2$  a 1.000 metros de altura e, nas altas montanhas, chega a  $1,1 \text{ KW}/\text{m}^2$ . Fora da atmosfera, a intensidade se eleva a  $1,377 \text{ KW}/\text{m}^2$ . Esse índice é a chamada constante solar, sendo utilizado um valor médio, pois varia com a distância da Terra em torno do sol.

Além disso, a radiação solar total incidente varia em diferentes locais da superfície da Terra. Enquanto numa superfície horizontal no sul da Europa ocidental (sul da França) recebe uma média por ano uma radiação de  $1.500 \text{ KWh}/\text{m}^2$ , ou mais, e no Norte, a energia varia entre 800 e  $1.200 \text{ KWh}/\text{m}^2$ , uma superfície no deserto do Saara recebe cerca de  $2.600 \text{ KWh}/\text{m}^2$  ano, quer dizer, duas vezes a média europeia. (REIS, 2011)

### 2.2.1 Potencial de produção de energia solar no Brasil

Assim como ocorre com os ventos, o Brasil é privilegiado em termos de radiação solar conforme verifica se na figura 3. O Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solarimétrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ (megajoules) 1 por metro quadrado (m<sup>2</sup>) durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, variando de 8 a 18 MJ/m<sup>2</sup>. Além disso, complementa o estudo, o Nordeste possui radiação comparável às melhores regiões do mundo nessa variável, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia. O que, porém, não ocorre com outras localidades mais distantes da linha do Equador, como as regiões Sul e Sudeste, onde está concentrada a maior parte da atividade econômica. (ANEEL, 2008).



**Figura 3 Potencial e produção de energia solar no Brasil**  
Fonte: ANEEL

### 2.2.2 Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (Efeito Fotovoltaico que será explicado melhor em seguida), relatado por Edmond Becquerel, em 1839.

Em 1876 foi concebido o primeiro aparato fotovoltaico advindo dos estudos das estruturas de estado sólido, e apenas em 1956 iniciou-se a produção industrial, seguindo o desenvolvimento da microeletrônica.

Inicialmente o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do setor de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas isolados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a "corrida espacial". A célula solar era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço. Outro uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi a necessidade de energia para satélites.

A crise energética de 1973 renovou e ampliou o interesse em aplicações terrestres, porém para tornar economicamente viável essa forma de conversão de energia, seria necessário, naquele momento, reduzir em até 100 vezes o custo de produção das células solares em relação ao daquelas usadas em explorações espaciais.

Em 1998 a produção de células fotovoltaicas atingiu a marca de 150MWp, sendo o Silício quase absoluto no ranking dos materiais utilizados. O Silício, segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, tem sido explorado sob diversas formas: monocristalino (mono-Si), policristalino (poli-Si) e amorfo (a-Si). No entanto a busca de materiais alternativos é intensa e concentra-se na área de filmes finos, onde o silício amorfo se enquadra. Células de filmes finos, além de utilizarem menor quantidade de energia no seu processo de fabricação, características que, por si só, justificam o esforço em seu aperfeiçoamento.

O custo das células solares é ainda hoje, um grande desafio para a indústria e o principal empecilho para a difusão dos sistemas fotovoltaicos em larga escala. No entanto a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, tanto porque seus custos estão decrescendo, quanto porque a avaliação

dos custos das outras formas de geração está se tornando mais real, levando em conta fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais e na Tabela 1 um breve histórico das células solares. (CRESESB, 2004).

**Tabela 1- Eventos chave no desenvolvimento das células solares**

Década	Evento	Autor da descoberta
1800	- Descoberta do Selênio (Se)	Berzelius
1820	- Preparação do Silício (Si)	Berzelius
1840	- Efeito fotovoltaico	Becquerel
1860	- Efeito fotocondutivo no Se	Smith
	- Retificador do ponto de contato	Braun
1880	- Efeito fotovoltaico no Se	Adams e Day
	- Células fotovoltaicas de Se	Fritts/ Uljanin
1900	- Fotosensitividade em Cu-Cu <sub>2</sub> O	Hallwachs
1910	- Efeito fotovoltaico com barreira de potencial	Goldman e Brodsky
1920	- Monocristal a partir do Si fundido	Czochralski
	- Retificador de Cu-Cu <sub>2</sub> O	Grondahl
1930	- Célula fotovoltaica de Cu-Cu <sub>2</sub> O	Grondahl e Geiger
	- Teoria de bandas em sólidos	Strutt/Brillouin/Kroning
	- Teoria de células com barreiras V e H	Schottky et al
1940	- Teoria da difusão eletrônica	Dember
	- Aplicações fotométricas	Lange
	- 1% eficiência em células de TI <sub>2</sub> S	Nix e Treptow
1950	- Crescimento de células fotovoltaicas com junção (Ohl)	Shockley
	- Teoria de junções p-n	
1955	Junções p-n Difundidas	Fuller
	Célula solar de Si	Pearson, Fuller, Chapin
1960	- Célula solar de CdS	Reynolds et al
	- Teoria de células solares	Piann/Roosbroeck/Prince
	- O <i>bandgap</i> e a eficiência das células	Loferski, R e W
	- Teoria da resposta espectral, mecanismos de perdas	Wolf
	- Efeitos de resistência em série	Wolf e Rauschenback
	- Células de Si n/p resistentes a radiação	
	- Contatos Evaporados de Ti-Ag	Kesperis e M
1970	Células violetas, com 15,2% de eficiência	-
1980	Células de silício amorfo	
1992	Células MIS, de 24%	

Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2004, p.19).

### 2.2.3 O efeito solar fotovoltaico

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra onde totalmente “vazia” (banda de condução).

O semicondutor mais usado é o silício. Seus átomos se caracterizam por possuírem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando uma rede cristalina. Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um dopante doador de elétrons e denomina-se dopante n.

Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede. Esta falta de elétron é denominada buraco ou lacuna e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque. Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p.

Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o gap (para o Silício é  $E_{GAP}=1,21$ ), ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito

Fotovoltaico.

Apenas a parcela de aproximadamente 45% da radiação solar é assimilada, e somente aquelas com comprimentos de onda na faixa da luz ultravioleta têm energia suficiente para livrar elétrons da estrutura atômica do respectivo material, criando o par elétron-lacuna e produzindo corrente elétrica.

Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas. (COSTA, 2012).

## **2.2.4 Radiação solar**

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera é chamada de insolação e possui em torno de 9% de radiação ultravioleta, cerca de 40% de radiação na região do visível e em torno de 50% é de radiação infravermelha. Parte da radiação ultravioleta é absorvida pelos gases de nitrogênio, oxigênio e ozônio que estão presentes na atmosfera. Na atmosfera inferior, parte da radiação infravermelha é absorvida pelo vapor d'água e pelo CO<sub>2</sub>. Da radiação total que consegue passar da atmosfera, 19% são absorvidos pelas nuvens e por outros gases e 31% são refletidos de volta para o espaço. Os 50% restantes atingem a superfície e são quase completamente absorvidos. Esse fenômeno de reflexão da radiação solar é denominado albedo. Parte da radiação refletida é absorvida por CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e irradiada de volta para a Terra gerando o chamado efeito estufa. Esse efeito é importante, pois ele mantém a temperatura relativamente alta da Terra, sem a qual não seria possível existir vida e o seu agravamento é resultado da queima de combustíveis fósseis que liberam gases retentores. A radiação que atinge o topo da atmosfera, chamada de insolação, tem intensidade de 1360 W/m<sup>2</sup> e esse número é denominado constante solar, que varia minimamente com o tempo. (MATAVELLI, 2013). Como pode ser visto na Figura 4 o Brasil é um dos melhores países em termos de irradiação solar.

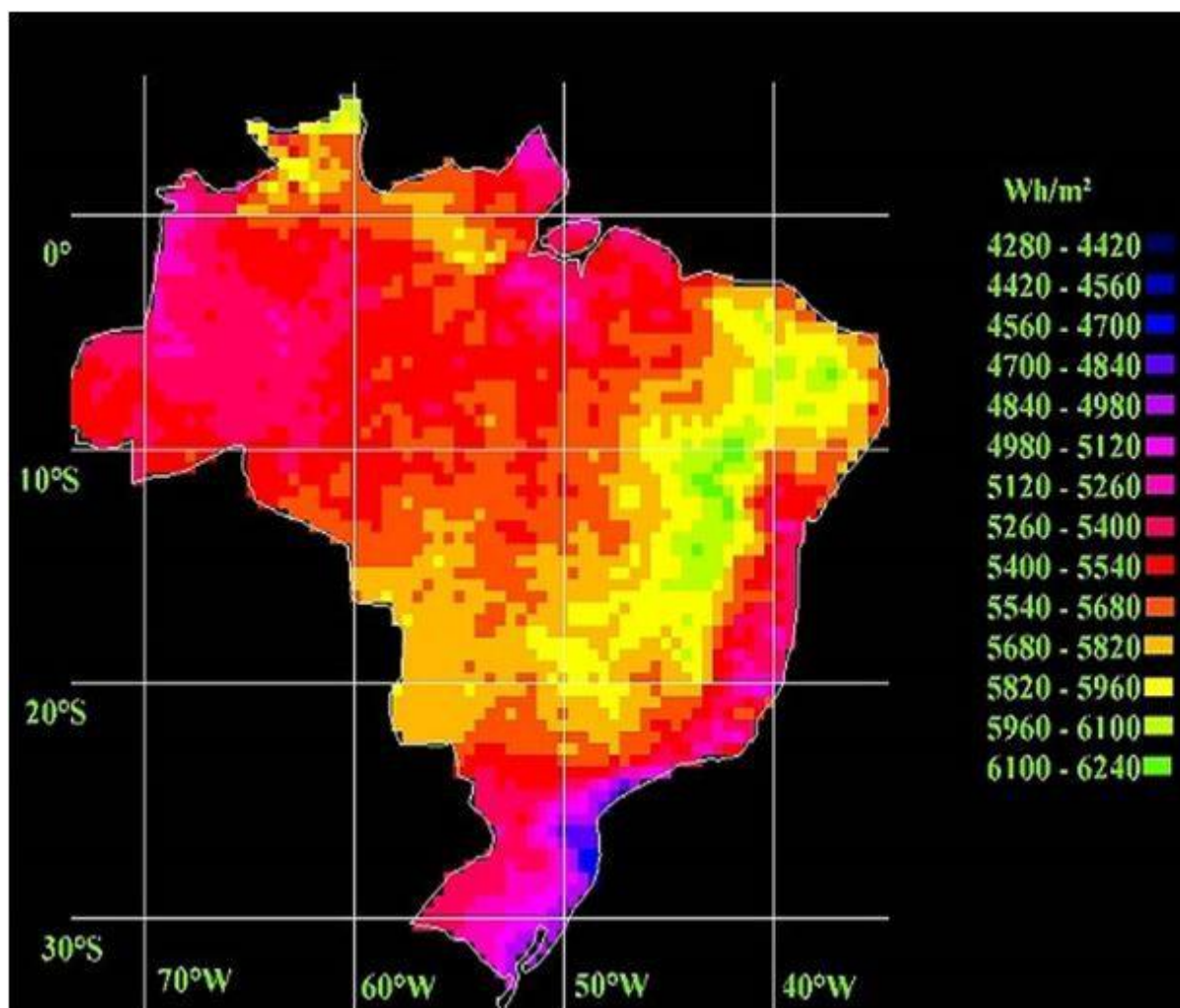


Figura 4 - Irradiação Solar no Brasil em Wh/m<sup>2</sup>  
 Fonte: GREEN TECHNOLOGY

### 2.2.5 Radiação solar nível do solo

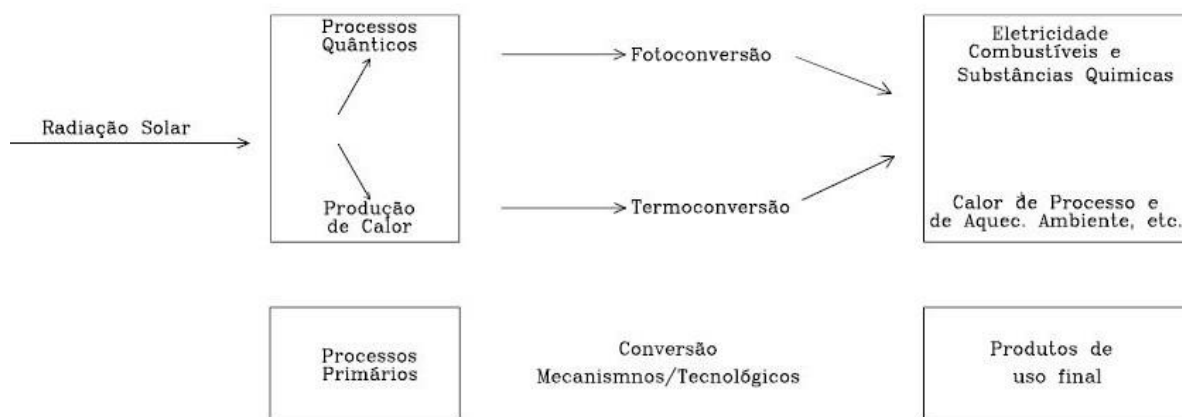
De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fração atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Esta fração que atinge o solo é constituída por uma componente direta (ou de feixe) e por uma componente difusa.

Notadamente, se a superfície receptora estiver inclinada com relação a horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos etc.). Como citado anteriormente este é o coeficiente albedo.



Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afetadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente denominado " Massa de Ar" (AM), e, portanto, do ângulo Zenital do sol, da distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas. (CRESESB, 2004)

Os processos de conversão da energia solar podem ser melhor identificados através da Figura 5 abaixo.



**Figura 5- Processos de conversão da energia solar**  
**Fonte: CRESESB (2004, p.27).**

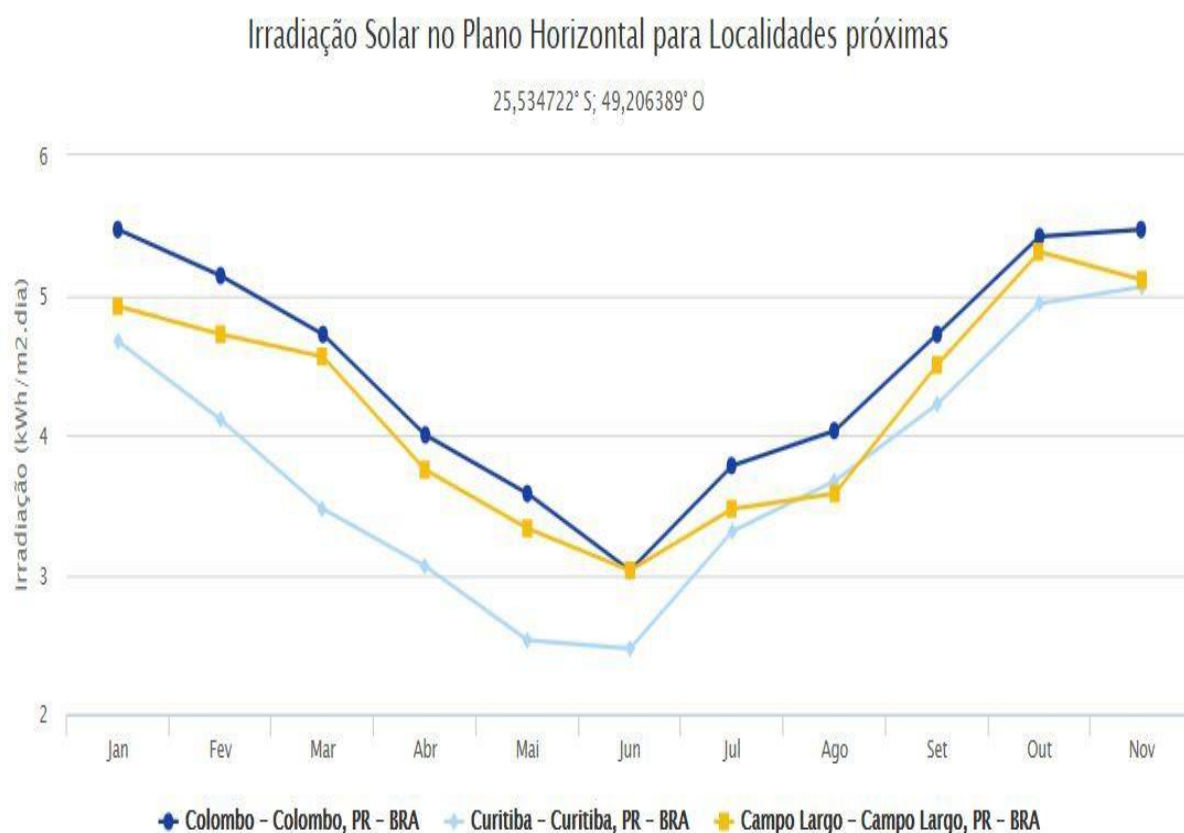
## 2.2.6 Insolação

A insolação é a grandeza utilizada para expressar a energia solar que incide sobre uma determinada área de superfície plana ao longo de um determinado intervalo de tempo. Sua unidade é o Wh/m<sup>2</sup> (watt-hora por metro quadrado). A medida de insolação em Wh/m<sup>2</sup> é muito útil para fazer o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, na prática encontramos tabelas e mapas de insolação que fornecem valores diários expressos em Wh/m<sup>2</sup>/dia (watt-hora por metro quadrado por dia).

Estações meteorológicas com sensores de radiação solar são empregadas para fazer o levantamento da insolação em vários pontos do globo

terrestre. Bancos de dados com informações de insolação de todo o planeta podem ser construídos a partir de medidas experimentais e a partir da interpolação dos dados obtidos dos sensores. Para o uso prático, na análise e no dimensionamento de instalações fotovoltaicas, podemos recorrer a mapas de insolação e a ferramentas que fornecem imediatamente as informações desejadas sobre a radiação solar de uma determinada localidade. (VILLALVA, 2012).

Uma ferramenta útil para a obtenção de informações sobre a insolação de uma determinada localidade é a calculadora solar, disponibilizada gratuitamente no *site do CRESESB* - [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br). Com essa ferramenta é possível obter o valor da energia recebida do Sol por metro quadrado em qualquer lugar do Brasil, bastando informar a localização geográfica desejada. A calculadora fornece um gráfico (Figura 6) com os valores mensais de energia e a média anual. Esses valores são úteis para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.



**Figura 6 - Calculadora solar site cresesb informa a irradiação solar de um determinado local. Fonte: CRESESB (2004)**

### **2.2.7 Módulos fotovoltaicos**

O módulo fotovoltaico é a unidade básica de todo o sistema. O módulo é composto por células conectadas em arranjos produzindo tensão e corrente suficientes para a utilização da energia.

É indispensável o agrupamento em módulos já que uma célula fornece pouca energia elétrica, em uma tensão em torno de 0,4 Volts no ponto de máxima potência. A densidade de corrente é da ordem de 30 mA/cm<sup>2</sup>. Adicionalmente a célula apresenta espessura muito reduzida, necessitando de proteção contra esforços mecânicos e fatores ambientais.

O número de células conectadas em um módulo e seu arranjo que pode ser série e/ou paralelo depende da tensão de utilização e da corrente elétrica desejada. Deve ser dada cuidadosa atenção às células a serem reunidas, devido às suas características elétricas.

A incompatibilidade destas características leva a módulos "ruins", porque as células de maior fotocorrente a fotovoltagem dissipam seu excesso de potência nas células de desempenho inferior. Em consequência, a eficiência global do módulo fotovoltaico é reduzida. (CRESESB, 2004)

### **2.2.8 Célula fotovoltaica**

A conversão da energia solar em energia elétrica é obtida utilizando-se material semicondutor como elemento transformador, conhecido como célula fotovoltaica ou célula solar.

Os semicondutores mais apropriados à conversão da luz solar são os mais sensíveis, ou melhor, aqueles que geram a maior produto corrente-tensão para a luz visível, já que a maior parcela de energia fornecida pelos raios do sol dentro da faixa visível do espectro. Existe todo um processo para que o material semicondutor se transforme em uma célula fotovoltaica. O que ocorre, de uma maneira geral, é que o semicondutor deve passar por uma etapa de purificação e, em seguida, por uma etapa de dopagem, através da introdução de impurezas, dosadas na quantidade

certa. (VILLALVA, 2012)

A comparação dos diferentes tipos de células utilizadas nos painéis fotovoltaicos é apresentada na Tabela 2.

**Tabela 2- Comparação da eficiência das diversas tecnologias de células fotovoltaicas**

Material da célula fotovoltaica	Eficiência da célula em laboratório	Eficiência da célula comercial	Eficiência dos módulos comerciais
Silício monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício policristalino	19,8%	15%	13%
Silício cristalino filme fino	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telureto de cádmio	16,4%	10%	9%

Fonte: (GAZOLI; VILLALVA, 2012, p.74).

### 2.2.9 Funcionamento e características dos módulos fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos são formados por um agrupamento de células conectadas eletricamente. Uma célula fotovoltaica consegue fornecer uma tensão elétrica de até aproximadamente 0,6 V. Para produzir módulos com tensões de saída maiores, os fabricantes conectam várias células em série. Tipicamente um módulo tem 36,54 ou 60 células, dependendo de sua classe de potência.

A corrente elétrica produzida por uma célula depende da sua área, pois a corrente elétrica depende diretamente da quantidade de luz recebida pela célula. Quanto maior a área, maior a captação de luz e maior a corrente fornecida. Geralmente os módulos cristalinos comerciais fornecem em torno de 8A de corrente elétrica e os módulos de filmes finos normalmente apresentam correntes menores, em torno de 2A. (VILLALVA,2012)

### 2.2.10 Curvas características de corrente, tensão e potência

Um módulo fotovoltaico não se comporta como uma fonte elétrica convencional. O módulo fotovoltaico não apresenta uma tensão de saída constante nos seus terminais. A tensão elétrica depende da sua corrente e vice-versa. O ponto de operação do módulo fotovoltaico, ou seja, o valor da tensão e da corrente nos seus terminais depende do que está conectado aos seus terminais. (VILLALVA, 2012)

A relação entre a tensão e a corrente de saída de um módulo fotovoltaico é mostrada nas Figuras 7 e 8:

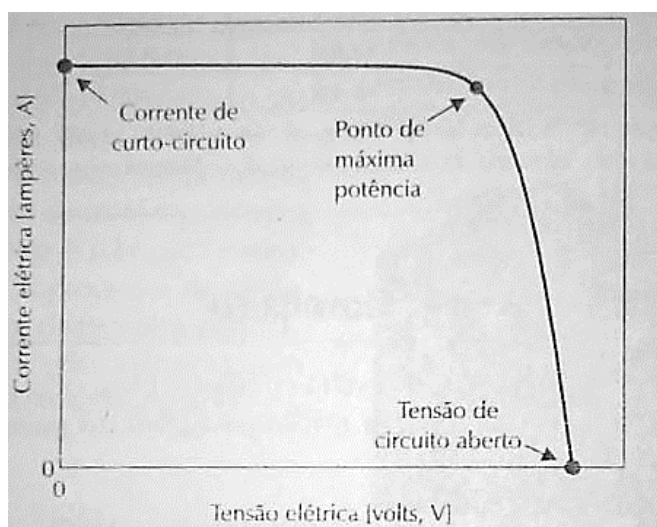


Figura 7- Curva característica I-V de corrente e tensão.  
Fonte: VILLALVA (2012, p.77).

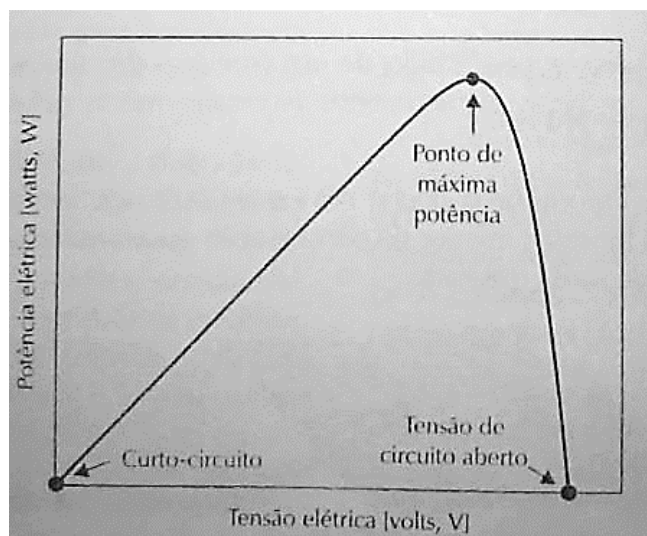


Figura 8- Curva característica P-V de potência e tensão.  
Fonte: VILLALVA (2012, p.77).

## 2.2.11 Folha de dados dos módulos fotovoltaicos comerciais

Os fabricantes de módulos fotovoltaicos disponibilizam folhas de dados com características elétricas, mecânicas e outras informações relevantes sobre os módulos, então segue abaixo na Figura 9 um exemplo de uma folha de dados disponibilizada pela Neo solar. O catálogo completo se encontra no anexo A.

**NSP**  
NEO SOLAR POWER

**POWER**

**D6M\_B3A**  
**250W - 285W**  
Mono-Crystalline Photovoltaic Module

- Positive power tolerance  
0~+4.99 watt
- Withstand strong wind/snow load up to 5400 Pa  
Pass ASTM E330; Maximum wind speed: 197 km/h (safety factor 3)  
(Short-side installation  $\geq$  2400 Pa guaranteed)
- Excellent low light performance  
3.5% relative eff. reduction at low-irradiance (200W/m<sup>2</sup>)
- 100% EL inline inspection  
Better module reliability
- Prolonged aging test  
2000 hours damp heat test; 400 thermal cycles
- Ammonia resistance  
According to IEC 62716 Ed. 1

TÜV Rheinland  
CERTIFIED  
www.tuv.com  
ID 000039214

APPROVED PRODUCT  
MCA  
Approved Solar PV Modules

CE

UL US  
LISTED  
PHOTOVOLTAIC MODULE  
E130831

Figura 9- Folha de dados módulos solares da Neo Sola  
Fonte: Neo solar

### **2.2.12 Características elétricas em STC (*Standard Test Conditions*)**

Uma das partes mais importantes das folhas de dados dos módulos é a tabela de características elétricas em STC.

A sigla STC (*standart test condition*) refere-se às condições padronizadas de teste do módulo. Todos os fabricantes de módulos fotovoltaicos realizam testes nas mesmas condições que são padronizadas por organismos internacionais de certificação. Assim, é possível comparar módulos de diversos fabricantes de acordo com os mesmos critérios.

A condição padrão de teste (STC) considera irradiância solar de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  e a temperatura de  $25^\circ\text{C}$  da célula solar. Esta condição é produzida em laboratório, dentro de uma câmara climática que possui um sistema de controle e medição de iluminação e de temperatura. (VILLALVA,2012)

### **2.2.13 principais parâmetros STC dos módulos fotovoltaicos comerciais**

#### **2.2.13.1 Tensão de circuito aberto (*Voltage open circuit – VOC*)**

A tensão de circuito aberto na literatura técnica internacional de sistemas fotovoltaicos, é o valor da tensão elétrica, medida em volts, que o módulo fornece nos seus terminais quando estão abertos.

#### **2.2.13.2 Corrente de curto circuito (*short circuit current - Isc*)**

A corrente de curto circuito do módulo fotovoltaico, é a corrente que o módulo consegue fornecer quando seus terminais estão em curto-circuito. (VILLALVA, 2012).

### **2.2.13.3 Tensão de máxima potência (*maximum power voltage - $V_{pm}$* )**

A tensão de máxima potência é o valor da tensão nos terminais do módulo quando fornece sua potência máxima na condição padronizada de teste. Ou seja, é a tensão o módulo no ponto de máxima potência mostrado nas curvas I-V e P-V das figuras 14 e 15 respectivamente. (VILLALVA, 2012).

### **2.2.13.4 Corrente de máxima potência (*maximum power current - $I_{pm}$* )**

Analogamente a corrente de máxima potência é o valor da corrente nos terminais do módulo quando fornece sua potência máxima na condição padronizada de teste. Ou seja, é a corrente do ponto de máxima potência mostrado nas curvas I-V e P-V das figuras 14 e 15 respectivamente. (VILLALVA, 2012).

### **2.2.13.5 Máxima Potência (*maximum rating power - $P_{max}$* )**

É a máxima potência que o módulo pode fornecer na condição padronizada de teste (STC). Ou seja, é o da potência no ponto de máxima potência mostrado nas curvas I-V e P-V das figuras 14 e 15 respectivamente. (VILLALVA, 2012).

### **2.2.13.6 Eficiência do módulo (*module efficiency - $\eta$* )**

Critérios de testes padronizados são empregados pelos organismos de certificação nacionais e internacionais para a avaliação dos módulos antes de serem lançados no mercado.

No Brasil os módulos fotovoltaicos são avaliados e certificados pelo



INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) através de seus laboratórios credenciados.

Após os testes, recebem um selo do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o qual atesta a classe de eficiência do módulo. (VILLALVA, 2012).

#### **2.2.13.7 Resistência a corrente inversa**

A especificação de resistência a corrente inversa fornecida pelos fabricantes diz respeito à corrente elétrica que o módulo pode suportar no sentido contrário, ou seja, a corrente que entra em seu terminal positivo e sai pelo seu terminal negativo. Em operação normal, o módulo fotovoltaico é um fornecedor de energia, portanto o sentido normal da corrente elétrica é saindo do terminal positivo e entrando pelo terminal negativo.

A situação de corrente inversa pode provocar a danificação do painel caso a corrente reversa exceda o limite máximo especificado na folha de dados. (VILLALVA, 2012).

#### **2.2.14 Arranjos fotovoltaicos**

Os sistemas fotovoltaicos podem empregar um grande número de módulos conectados em série ou em paralelo para produzir a quantidade de energia elétrica desejada. Um agrupamento de módulos é denominado arranjo ou conjunto fotovoltaico. (VILLALVA, 2012).

Os módulos podem ser ligados em série e/ou paralelo, dependendo da potência e tensão desejadas.

### 2.2.14.1 Módulos em série

A conexão em série dos dispositivos fotovoltaicos é feita de um terminal positivo de um módulo a um terminal negativo de outro, e assim por diante. Quando a ligação é série (isto é idêntico para células, módulos e painéis) as tensões são adicionadas e a corrente não é afetada, ou seja,  $V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$  e  $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ .

### 2.2.14.2 Módulos em paralelo

Dispositivos fotovoltaicos em paralelo compreendem ligações de terminais positivos juntos e terminais negativos juntos. A conexão em paralelo causa a adição das correntes enquanto que a tensão continua a mesma. Ou seja  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$  e  $V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$ .

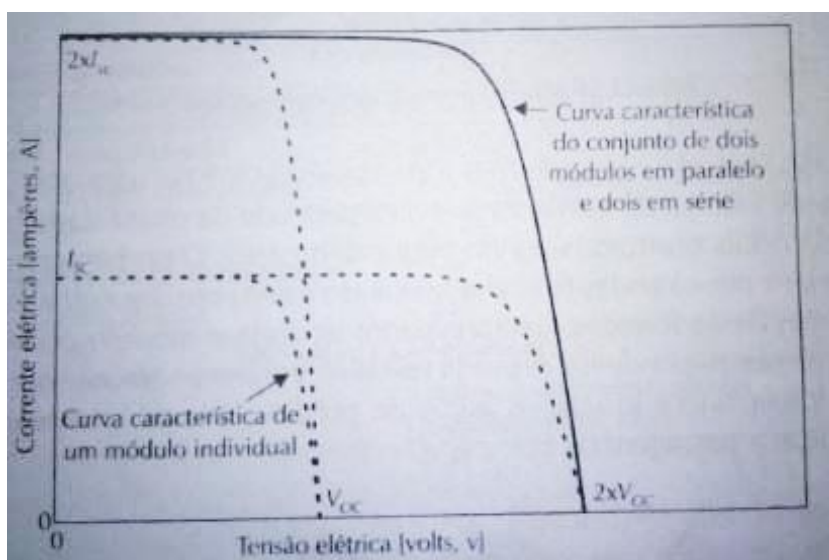
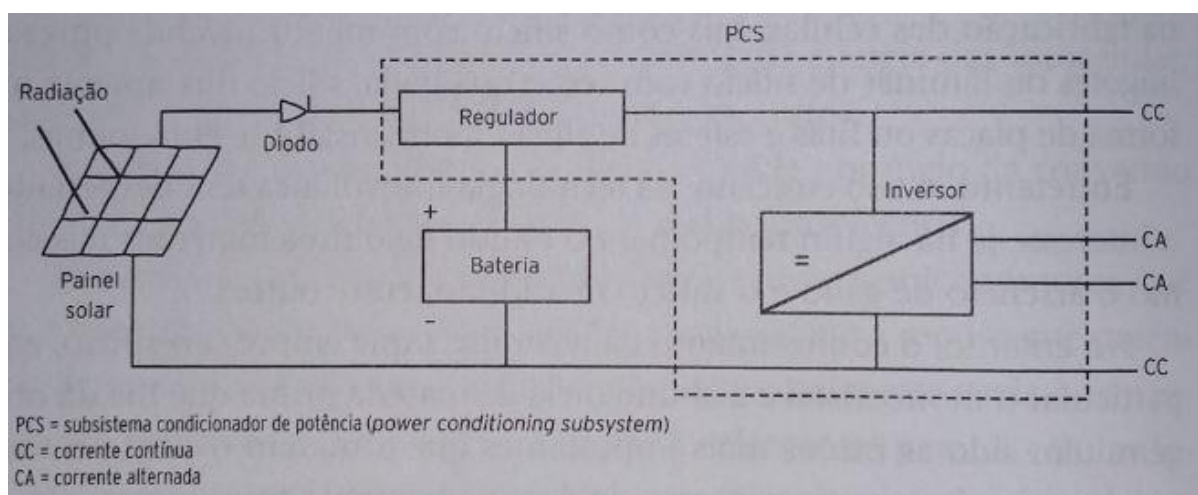


Figura 10- Curva característica I-V de um conjunto de quatro módulos  
Fonte: VILLALVA (2012, p.91).

### 2.2.15 Sistemas fotovoltaicos

Um sistema fotovoltaico de produção de energia elétrica compreende o agrupamento de módulos em painéis fotovoltaicos e de outros equipamentos relativamente convencionais, que transformam ou armazenam a energia elétrica para que possa ser utilizada facilmente pelo usuário. Os principais constituintes desses sistemas são (Figura 11): Conjunto de módulos fotovoltaicos, regulador de tensão, sistema para armazenamento de energia e inversor de corrente contínua/corrente alternada. (REIS, 2011).



**Figura 11- Diagrama de bloco de um sistema solar fotovoltaico**  
 Fonte: LREIS (2011, p.216).

#### 2.2.15.1 Aplicações de sistemas fotovoltaicos

As aplicações dos sistemas fotovoltaicos podem ser divididas em: sistemas autônomos isolados e híbridos e sistemas conectados à rede elétrica:

1- Sistemas Autônomos Isolados - consistem no sistema puramente fotovoltaico, não conectado à rede elétrica de distribuição. Entre os sistemas isolados, existem muitas configurações possíveis. As configurações mais comuns

são:

- Carga CC sem armazenamento - a energia elétrica é usada no momento da geração por equipamentos que operam em corrente contínua.

- Carga CC com armazenamento - é o caso em que se deseja utilizar equipamentos elétricos, em corrente contínua, independentemente de haver ou não geração fotovoltaica simultânea. Para que isso seja possível a energia elétrica deve ser armazenada em baterias.

- Carga CA sem armazenamento - da mesma forma como apresentado para o caso CC, pode - se usar equipamentos que operem em corrente alternada sem o uso de baterias, bastando par tanto, a introdução de um inversor entre o arranjo fotovoltaico e o equipamento a ser usado.

- Carga CA com armazenamento - para alimentação de equipamentos que operem em corrente alternada é necessário que se utilize um inversor. Um caso típico de aplicação desses sistemas é no atendimento de residências isoladas que, por possuírem um nível de conforto superior aquelas alimentadas em corrente contínua, permitem o uso de eletrodomésticos convencionais.

2- Sistemas autônomos híbridos - São sistemas cuja configuração não se restringem apenas à geração fotovoltaica. Em outras palavras, são sistemas que estando isolados da rede elétrica, possuem mais de uma forma de geração de energia, por exemplo, gerador diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicos. Esses sistemas são mais complexos e necessitam de algum tipo de controle capaz de integrar os vários geradores, de forma a otimizar a operação para o usuário.

3- Sistemas conectados à rede - São basicamente de um único tipo e são aqueles em que o arranjo fotovoltaico representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectado. São sistemas não utilizam armazenamento de energia, pois toda potência gerada é entregue à rede instantaneamente. As potências instaladas vão desde poucos KW em instalações residências, até alguns MW em grandes sistemas operados por empresas. Esses sistemas se diferenciam quanto à forma de conexão à rede. (REIS, 2011).

### 2.2.15.2 Ponto de potência máxima e seguidor de potência máxima (MPPT).

A potência de saída de um módulo pode ser estimada analisando-se uma família de curvas  $I \times V$  como mostra as figuras 14 e 15. Um dos pontos de maior interesse nesta curva é o ponto de máxima potência. Uma vez conhecida a curva  $I \times V$ , a potência fornecida pela célula fotovoltaica pode ser calculada pelo produto da corrente pela tensão. A máxima corrente encontra-se na região do "joelho" da curva  $I \times V$ . Curvas de potência constante são, no diagrama  $I \times V$ , hipérbolas equiláteras. Os projetos de Sistemas Fotovoltaicos, para otimização do ponto de operação, utilizam um controle eletrônico capaz de aumentar o rendimento de geração. Nestes casos, o controle do ponto de operação é realizado por dispositivos seguidores do ponto de máxima potência, comumente chamados de MPPT - *Maximum Power Point Tracker*, que operam de modo a regular a tensão e corrente de operação do arranjo fotovoltaico, a fim de obter o máximo produto  $I \times V$ .

Os conversores de potência são dispositivos sofisticados do ponto de vista dos circuitos elétricos especialmente com a utilização de um MPPT. Continuamente, estes devem controlar as tensões e correntes de entrada, de forma a seguir a potência máxima, em qualquer condição de operação do arranjo fotovoltaico, maximizando a produção de energia. Desta forma, o dimensionamento de sistemas que utilizam dispositivos seguidores de máxima potência é bastante crítico, uma vez que, tanto a tensão, quanto a corrente variam simultaneamente, dentro de uma larga faixa. Por estes motivos, o uso de um MPPT só é viável nos projetos de grandes instalações que já possuem sistemas de controle sofisticados. Estudos devem ser realizados para avaliar se os benefícios de um MPPT justificam o aumento do custo.

Uma alternativa mais simples e mais econômica de controle do ponto de operação na curva característica do arranjo fotovoltaico consiste em fixar a tensão de saída do arranjo chamada de BFV - *Best Fixed Voltage*. Este valor é escolhido de forma a se obter, ao longo do ano, o máximo de geração nesta condição de tensão fixa. Utilizando-se um BFV, o circuito necessário é mais simples, mais confiável e mais econômico. A perda em relação ao MPPT é menor do que 5%, podendo chegar a 1% de diferença para sistemas com painéis planos. (CRESESB, 2004).

### 2.3 O sistema de corrente continua utilizados em telecomunicações

Os sistemas retificadores CC são dispositivos que funcionam conforme segue a Figura 12 o diagrama em blocos:

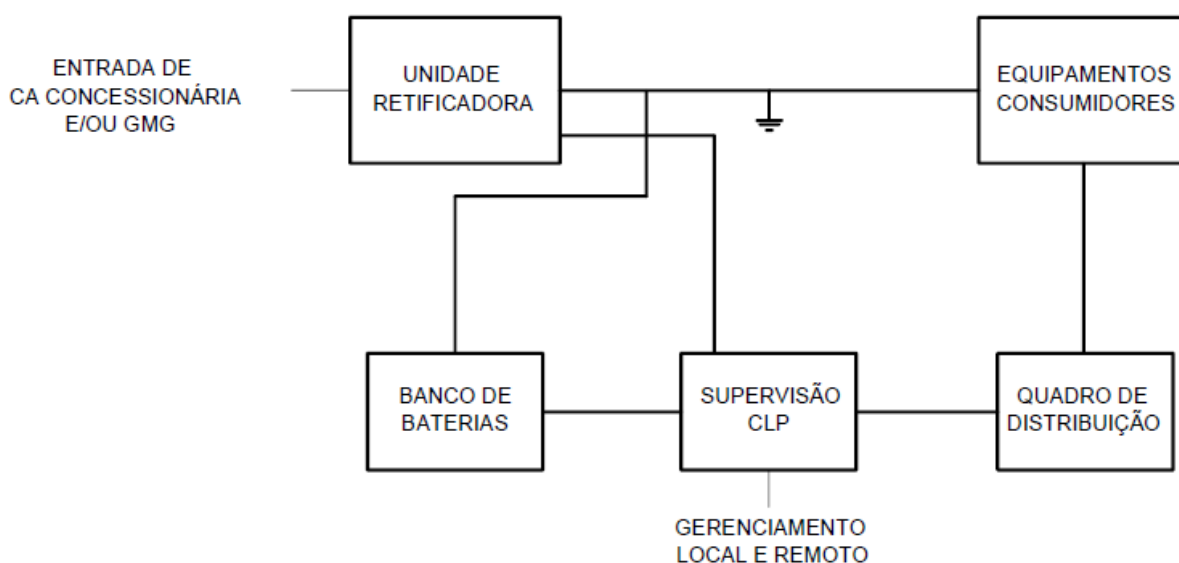


Figura 12- Diagrama em Blocos de uma Fonte de Corrente Contínua  
Fonte: Autoria própria.

Como pode se perceber através do diagrama em blocos o equipamento recebe energia CA da concessionária ou de outro provedor de energia CA qualquer e então retifica esta energia através das unidades retificadoras e esta energia retificada é transferida para os equipamentos consumidores a ele conectados e também mantém um banco de baterias (sistema de *backup*) em regime de flutuação.

O sistema retificador de corrente contínua utilizados em telecomunicações tem três modos básicos de operação:

1º Modo de Flutuação - Quando se tem a entrada de CA normal. Então esta entrada CA alimenta os módulos retificadores, e estes por sua vez alimentam em corrente contínua os consumidores e mantém o banco de baterias em flutuação em *standby* esperando uma possível falta de energia CA.

2º Modo de Descarga - Quando ocorre a falta ou falha de energia CA

na entrada dos retificadores, então o banco de baterias assume o papel de fornecedor de energia aos consumidores e assim o fará até que retorne a energia CA ou a fornecimento seja interrompido pelo controle do equipamento.

3° Modo de Recarga - Quando acontece a volta da energia AC e então os retificadores voltarão a fornecer energia aos consumidores e ao mesmo tempo irá recarregar o banco de baterias que sofreu uma descarga em virtude de uma falha ou falta da alimentação de energia AC.

Estes equipamentos têm como principal função fornecer energia CC aos consumidores a eles conectados e também manter as baterias em regime de flutuação.

Os sistemas retificadores CC têm acompanhado ao longo dos anos a evolução das telecomunicações. Seu controle atualmente é feito através de controladores lógicos programáveis dedicados capazes de controlar uma infinidade de sensores, atuadores além de poder manter uma comunicação online através de seus softwares, hardwares e protocolos de rede. Estes sistemas CC podem ser encontrados em diferentes tensões de trabalho, porém em sua maioria são +24V ou - 48V. Os equipamentos +24V são muito menos utilizados nos dias de hoje porém ainda há algumas fontes CC com esta tensão de funcionamento justamente porque as mesmas são utilizadas para alimentar alguns equipamentos mais antigos já que os equipamentos (consumidores) que se utilizavam destes sistemas para se manterem energizados eram +24V, no entanto com o decorrer dos anos se padronizou a utilização das fontes CC com a tensão de -48V e atualmente são as mais utilizadas não só no Brasil mas também ao redor do mundo.

Para o pleno funcionamento de todos os equipamentos em regime contínuo, torna-se necessária uma infraestrutura que permita o fornecimento contínuo de energia elétrica, devidamente protegida contra perturbações internas e externas na rede elétrica, em ambiente com climatização adequada e proteção contra eventos que possam levar a incêndios imprevistos, e com sistemas de automação que permitam a rápida atuação dos Centros de Operação de Redes na ocorrência de falhas.

### 2.3.1 O Aterramento dos sistemas -48V

Os sistemas CC -48V tem seu terminal positivo aterrado. Segundo Reeve (2007, p. 17) o terminal positivo em sistemas CC -48V originalmente foram aterrados para reduzir a corrosão galvânica, ou seja, a razão do terminal positivo ser o terminal aterrado nas fontes CC -48V é para minimizar a ação da corrosão em cabos, tubos ou materiais metálicos utilizados na construção das fontes.

### 2.3.2 Sistemas de energia CC

Dentre os sistemas de facilidades da infraestrutura de um site de Telecomunicações, o Sistema de Energia CC (corrente contínua) tem por finalidade o fornecimento de alimentação nas tensões de -48 ou 24 volts aos equipamentos eletrônicos do site. Ele tem por objetivo alimentar todas as cargas críticas e essenciais à operação e manutenção da estação, garantindo níveis e oscilação de tensão compatível com os equipamentos eletrônicos, além de suprir a alimentação durante períodos de falta de energia principal do site, proveniente do sistema de energia CA.

Além da alimentação dos equipamentos específicos para telecomunicações, as seguintes cargas são normalmente alimentadas pelo sistema de energia CC:

- Sistema de iluminação de emergência;
- Sistema de combate a incêndio;
- Sistema de ventilação de emergência dos equipamentos eletrônicos de telecomunicação;
- Sistema de Controle de Alarmes.

Nas instalações no Brasil existem três tipos mais populares de configurações dos Sistemas de Energia CC: em *containers*, gabinetes e estações centrais. (TELECO, 2015)



### 2.3.3 Sistemas em container

Neste tipo de aplicação, em que o ambiente é fechado (Figura 13), a estrutura é construída em concreto, aço ou alumínio. No Brasil é muito comum a utilização também de construções de alvenaria. Estas estruturas são normalmente equipadas com equipamentos de Ar Condicionado (HVAC - *Heating, Ventilating and Air Conditioning*) para o controle climático necessário ao bom funcionamento dos equipamentos eletroeletrônico.

Esses *sites* (nome comum dado aos locais onde se encontram as fontes de corrente contínua) podem ser de diversos tamanhos, dimensionados em função da finalidade a que se destinam, tais como estações repetidoras ou então ERBs (Estações Rádio Bases) em redes *wireless*. Usualmente são utilizados uma ou duas fileiras de banco de baterias do tipo selada (VLRA - *Valve Regulated Lead Acid*), numa configuração paralela para energia *standby* necessária para as aplicações de telecomunicações. Estes sites utilizam +24Vcc ou -48Vcc como fonte de energia. Para o caso de falta de energia CA da concessionária pública, ou fornecida por um GMG (Grupo Moto Gerador), o banco de baterias é normalmente dimensionado para prover energia ininterrupta por 8 a 12 horas. (TELECO, 2015)



Figura 13- Sistemas em Container  
Fonte: Autoria própria.

### 2.3.4 Sistemas em gabinetes outdoor

Esta é uma aplicação típica para gabinetes remotos de sistemas *wireless* do tipo *outdoor*. Nestes casos as dimensões vão desde pequenos gabinetes instalados em postes até gabinetes maiores instalados em topos de prédio ou terrenos urbanos ou rurais; como é o caso de aplicação em telefonia.

O equipamento de energia CC é normalmente integrado com o gabinete (Figura 14), ou então montado num armário ao lado do gabinete. O banco de baterias é normalmente dual, provendo paralelismo para energia *standby*, com baterias do tipo seladas. Nestas aplicações são comuns também alimentações de +24Vcc ou -48Vcc. (TELECO, 2015)



Figura 14- Fonte 300A, -48V CC. Instalada em um site Outdoor. Guayaquil - Equador.  
Fonte: Autoria própria.

### 2.3.5 Sistemas em centrais

Este tipo de aplicação é diferente das duas anteriores apenas na magnitude dos equipamentos dos equipamentos de energia e no número de fileiras de baterias, que são requeridas para suportar a falta de energia por longos períodos de tempo, ou por falha nos equipamentos de energia. Alguns sistemas podem chegar de 10 a 20 fileiras de baterias do tipo seladas (VRLA) ou não seladas (FVLA - *Free Vented Lead Acid*). Estes sistemas (Figuras 15) podem ter que suportar diretamente correntes contínuas na ordem de 10.000 A ou mais. (TELECO, 2015)



**Figura 15- Fonte Indoor 3600A, -48V CC, instalada em uma central de Comutação. São Paulo.  
Fonte: Autoria própria.**

Em sistemas nesta escala, encontram-se grandes barramentos de cobre, equipamentos de energia de alta capacidade, em configurações por gabinetes em paralelo que permitam fornecer potências para toda a estação de telecomunicações. Devido ao esquema complexo de distribuição de energia no *site*, existem gabinetes de distribuição intermediária, que provêm uma proteção e distribuição secundária, que alimentam os quadros de distribuição onde estão alimentados os equipamentos de consumo final. É comum também os arranjos de distribuição paralela em dois circuitos independentes de energia.

Olhando a figura 23, da esquerda para a direita, o sistema inicia com a Unidade Retificadora (URCC - Unidade Retificadora de Corrente Contínua) que converte a alimentação CA de entrada em energia CC. A alimentação é proveniente do sistema de energia CA, resultado da decisão entre a que provem da concessionária de energia, ou na falta momentânea desta, de um Grupo Moto Gerador - GMG (TELECO, 2015).

### **2.3.6 Retificadores conversores CA/CC**

Os módulos retificadores também chamados de unidades retificadoras (URs) ou ainda apenas de retificadores que hoje como o próprio nome já diz são utilizados de em forma modular nas tensões de +27V ou -54V (tensões de Flutuação para manter carregados os bancos de bateria de 24V e 48 V) a diferença entre eles se dá por conta da capacidade de corrente e conseqüentemente na capacidade de potência que estes equipamentos podem fornecer. Basicamente as URs recebem em sua entrada corrente alternada que é então é retificada, e por fim entrega ao sistema corrente contínua.

Os retificadores atuais podem ser alimentados em uma larga faixa de tensões que podem variar 90 VCA até 270 VCA, tem característica de potência de saída constante, podem também trabalhar em temperaturas extremas, além de permitir controlar suas principais funcionalidades como tensão de saída, corrente de saída, potência de saída, dentre outras funções e todo este controle é feito através da controladora do sistema (CLP).

O avanço tecnológico do setor de telecomunicações pode ser nitidamente percebido através dos retificadores onde podemos perceber com as figuras abaixo o grande avanço tecnológico com a modernização das fontes chaveadas, no sentido da diminuição do tamanho dos módulos retificadores (teve grande impacto na diminuição do tamanho não só dos sistemas CC mas também na quantidade de cabos e barramentos utilizados na construção do mesmo e ainda impactou no tamanho das salas e *containers* que recebem estes sistemas), aumento da eficiência dos módulos (impactando na econômica de energia) dentre outras vantagens como melhor fator de potência, barateamento nos custos de matéria prima, produção etc. (TELECO, 2015)

A Figura 16 traz o retificador com saída 100A /-48 VCC onde era alimentado em 220VCA ou 380VCA para o seu resfriamento se utilizava de ventilação natural já que seu resfriamento era obtido através de dissipadores térmicos acoplados aos componentes que mais emitir calor. Construído nos anos 90s é um equipamento bastante grande e pesado (aproximadamente 40 quilos) por ser tratar de apenas um módulo retificador (algumas fontes chegavam a utilizar mais de 10 destes módulos), porém já contava com um controle eletrônico, e os adventos das fontes chaveadas (IGBTs + controle PWM através CI UC3854). Porém se tratava de um produto com baixo fator de potência e rendimento o que o tornava um grande consumidor de energia elétrica.



**Figura 16- Retificador 100A da Sisten  
Sistemas de Energia.  
Fonte: Autorial própria.**

Na Figura 17 é demonstrado um módulo retificador que já contava com avanços tecnológicos bastante importantes, para a época aqui no Brasil no final dos anos 90s e começo dos anos 2000, tais como comunicação digital com uma USCC, utilizava um resfriamento forçado através de dois ventiladores CC, eram módulos muito menores se comparados com os retificadores fabricados na década de 80, com isso houve uma melhora considerável na velocidade de produção, transporte e manutenção além de estes módulos alcançarem bons fatores de potência e rendimento para a época tornando o assim um equipamento muito mais interessante não só no ponto de vista comercial, mas também do ponto de vista técnico.



**Figura 17- Retificador 100A da Sisten de Energia.  
Fonte: Autoria própria.**

A Figura 18 traz um modelo dos retificadores atuais que como pode se observar na figura acima o retificador Delta DPR 2700W é equipamento leve (aproximadamente 1kg) com ótima otimização de espaço com alta eficiência (92%), este retificador pode trabalhar em uma faixa de tensão de entrada bastante larga (90 - 310Vrms) tem características de potência constante, além de ser um equipamento que conta com um controle interno através de um microprocessador e



também pode ser controlado de forma digital e instantânea por um CLP do fabricante Delta. Com este controle pode se configurar características importantes do retificador como tensão de saída CC que pode ser alterada na faixa de 42Vcc até 58Vcc, limitação de corrente de saída CC (50A é o *default* de fábrica), limitação de potência. O sistema de resfriamento interno desta UR é feito através de dissipadores de metal internos conectados aos principais componentes de potência e também por dois ventiladores controlados PWM que variam sua velocidade de rotação em função da temperatura e/ou corrente CC de saída. Este é um equipamento com tecnologia de ponta desenvolvido em Taiwan e fabricado na China que auxiliaram a tornar tornou muito mais econômicos, compactos e atrativos os sistemas de telecomunicações CC-48V.



**Figura 18- Retificador Delta DPR 2700W/-48V/ 50A**  
**Fonte: Autoria própria.**

### **2.3.7 Conversores CC/CC**

Seja o sistema representado simplificada na Figura 19. Ele consiste de uma fonte de tensão contínua E1, um circuito representado por um bloco denominado conversor CC-CC, e uma fonte de tensão contínua E2.

A fonte E1 está fornecendo energia elétrica ao conversor CC-CC, enquanto este está fornecendo energia elétrica a fonte E2. O conversor CC-CC pode então ser conceituado como um sistema, formado por semicondutores de potência operando como interruptores, e por elementos passivos, normalmente indutores e capacitores, que tem por função controlar o fluxo de energia elétrica da fonte de entrada E1 para a fonte de saída E2. A variável de controle ou de entrada do sistema, representada por D, é conhecida como razão-cíclica ou ciclo de trabalho.

E1 funciona como fonte de energia e E2 funciona como carga. Em algumas aplicações

práticas a carga do conversor é constituída por um resistor. Em outras situações pode ser um motor de corrente contínua, um banco de baterias, um dispositivo de soldagem elétrica a arco, ou outro conversor estático.

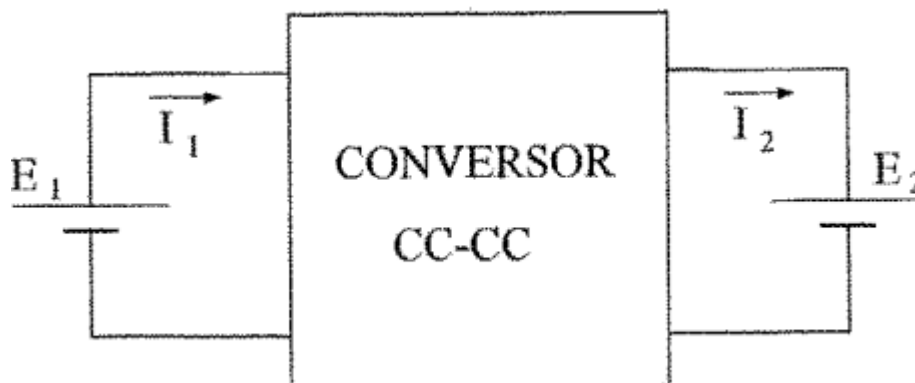


Figura 19– Representação simplificada de um conversor CC-CC  
Fonte: (BARBI, 2006, p.1).

### 2.3.8 Controlador lógico programável

O controlador lógico programável, ou simplesmente PLC (*Programmable Logic Controller*), pode ser definido como um dispositivo de estado sólido - Um computador industrial, capaz de armazenar instruções para implementação de funções de controle (sequência lógica, temporização e contagem, por exemplo), além de realizar operações lógicas e aritméticas, manipulação de dados e comunicação em rede, sendo utilizado no controle de sistemas automatizados. A Figura 20 demonstra uma aplicação genérica do PLC. (GEORGINI, 2007)



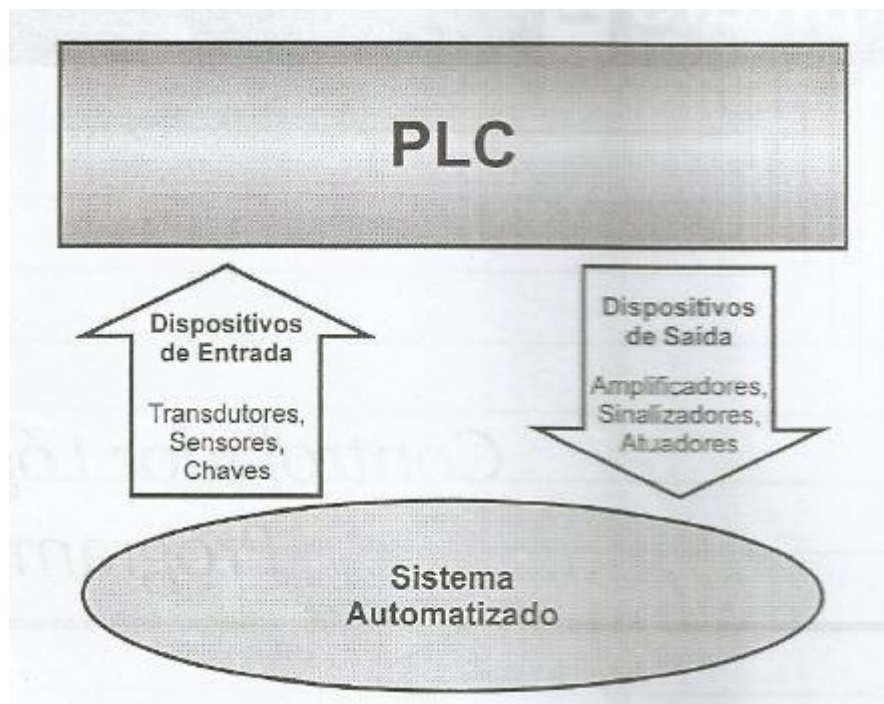


Figura 20- Aplicação Genérica do Controlador Lógico Programável  
Fonte: (GEORGINI, 2007, p.48).

### 2.3.8.1 Principais blocos que compõem um PLC

A *central processing unit* (CPU) que compreende o processador (microprocessador, microcontrolador ou processador dedicado), o sistema de memória (ROM e RAM) e os circuitos auxiliares de controle;

Os Circuitos/Módulos I/O (*Input/Output* - Entrada/Saída): podem ser discretos (sinais digitais: 12VCC, 110VCA, contatos normalmente abertos, contatos normalmente fechados) ou analógicos (sinais analógicos: 4-20mA, 0-10VCC, termopar);

A Fonte de Alimentação: responsável pela tensão de alimentação fornecida para a CPU e aos Circuitos/Módulos de I/O. Em alguns casos proporciona saída auxiliar (baixa corrente);

A Base ou Rack: proporciona conexão mecânica e elétrica entre a CPU, os módulos de I/O e a Fonte de alimentação. Contém o barramento de comunicação entre eles, no qual os sinais de dados, endereços, controle e tensão de alimentação estão presentes.

Pode ainda ser composto por Circuitos/Módulos Especiais. Contador

rápido (5Khz, 10Khz, 100Khz ou mais), interrupção por hardware, controlador de temperatura, controlador de PID, co-processadores (transmissão via rádio, posicionamento de eixos, programação BASIC, sintetizador de voz, entre outros) e comunicação em rede, por exemplo. (GEORGINI, 2007)

A Figura 21 mostra a estrutura básica de um PLC por meio dos blocos descritos.

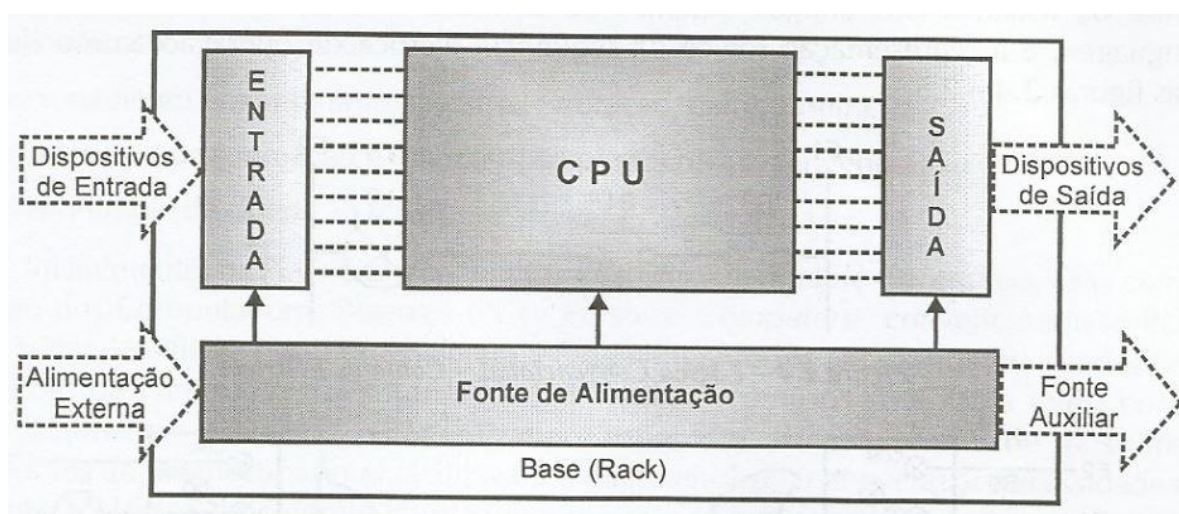


Figura 21- Estrutura Básica do PLC.  
Fonte: GEORGINI, (2007, p.49).

### 2.3.8.2 Controladores lógicos programáveis utilizados nos sistemas de corrente contínua

Os CLPs utilizados para estes sistemas, também chamados de USCC (Unidade de Supervisão de Corrente Contínua) é o módulo responsável pela supervisão e controle do sistema onde em regime de operação normal mantém todos os elementos do sistema ativos e ainda pode monitorar todas as sinalizações e status dos componentes da fonte. Dentre as principais funções da USCC estão o monitoramento de alarmes (Porta do sistema aberta, Tensão de flutuação baixa ou alta, Bateria em descarga, Tensão CA fora da faixa, dentre outros importantes parâmetros), ou seja, monitora a condição atual dos parâmetros ou eventos pré-definidos pelo programador, esta também entre suas principais funções o controle

da tensão de flutuação para os bancos de bateria (um dos itens mais caros do sistema).

As USCC no passado (Figura 22) eram equipamentos grandes (ocupava quase toda a porta frontal do equipamento) com uma quantidade restrita de funções de monitoramento, por exemplo, o módulo supervisor da figura abaixo fabricado pela Sisten, onde do lado esquerdo pode se observar a parte frontal da supervisão e do lado direito observa se o seu circuito interno.



**Figura 22- USCC Sisten**  
**Fonte: Autoria própria.**

Com o avanço tecnológico e a necessidade de se ter um controle cada vez maior dos equipamentos utilizados nas telecomunicações foi adotado então para as fontes CC controladores lógicos programáveis dedicados ao uso em sistemas CC. Para uma melhor visualização deste equipamento podemos tomar como exemplo o controlador PSC3 da Delta Energy System.

O Controlador PSC3 é a terceira geração tecnológica de controladores de sistema de potência da Delta, se trata de uma solução construída para pequenos sistemas CC, e também para grandes e complexos sistemas de potência CC. É constituído de uma unidade central, a qual provê basicamente periférico de I/O, e um muito seguro e robusto padrão CAN (*Controller Area Network*) de comunicação

via barramento de dados, proporcionando fácil expansão e grande modularidade.

A modularidade deste controlador se dá através dos módulos de interface de monitoramento (módulos de expansão I/O) são alocados próximos aos elementos a serem monitorados. Este benefício facilita a expansão dos sistemas de potência e descentraliza a distribuição. O CLP integrado oferece flexibilidade para monitoramento e controle de equipamentos auxiliares, implementar novas funções e expandir a capacidade do sistema.

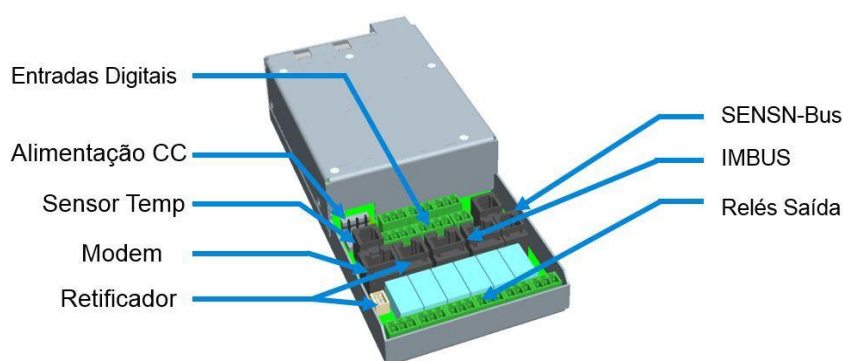
O controlador PSC3 da Figura 23 tem em sua estrutura básica 6 saídas digitais, 8 entradas digitais, 3 entradas analógicas, além de conexões IMBUS (Tipo RJ) para seus módulos auxiliares como por exemplo o módulo SENSN que trabalhando junto com a PSC3 possui 3 funções (leitura de corrente, tensão, temperatura e função de leitura de fusível aberto). Este CLP pode ainda fazer o controle simultâneo de até 128 retificadores, 96 bancos de baterias (cada um deles aptos para monitoramento de corrente, tensão, temperatura e fusíveis), podem ter expandida a suas saídas digitais em até 97 e as entradas digitais em até 128. A PSC3 conta com 4 modos de monitoramento, para acesso ao seu software onde é possível fazer todas as configurações e programações disponíveis para o equipamento:

- Monitoramento Local: através de da porta ethernet da PSC3.
- Monitoramento Remoto: através de uma rede ou Internet.
- Monitoramento SNMP: através do protocolo SNMP



**Figura 23- Vista frontal Controlador Lógico Programável dedicado a sistemas CC de telecomunicações PSC 3.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Na parte frontal do CLP conta com um display gráfico que em sua tela principal demonstra o modo em que o equipamento se encontra (Flutuação, Descarga ou Recarga) também tem a porta ethernet (LAN) que é conexão de rede da PSC3, há ainda um teclado bastante simplificado, porém funcional e *leds* de identificação de eventos. Na Figura 24 pode se ver as conexões disponíveis para o controlador PSC3



**Figura 24 - Vista traseira do Controlador Lógico Programável dedicado a Sistemas CC de telecomunicações PSC3**  
**Autoria própria.**

A parte traseira do controlador traz suas conexões para os seus periféricos, entradas e saídas digitais e que podem ser feitas hora por conexões com terminais (RJ) ou através de conectores desenvolvidos pelo fabricante.

### 2.3.9 Periféricos e dispositivos da fonte

#### 2.3.9.1 Baterias

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

elétrica, ocorre o processo reverso, ou seja, uma corrente contínua é produzida pela conversão de energia química em energia elétrica.

As baterias podem ser classificadas, dependendo do tipo de célula que as compõe, em recarregáveis e não recarregáveis. Existem dois tipos básicos de células: primárias e secundárias.

As células primárias compõem as baterias que podem ser utilizadas apenas uma vez (não recarregáveis). Quando as células primárias se descarregam completamente, sua vida útil se encerra e elas devem ser descartadas. As baterias não recarregáveis são geralmente utilizadas como fontes de energia de baixa potência, em aplicações tais como relógios de pulso, calculadoras e muitos outros aparelhos portáteis. É possível encontrar baterias compostas por células primárias que admitem recargas leves, aumentando sua vida útil.

As células secundárias compõem as baterias recarregáveis, ou seja, aquelas que podem ser carregadas com o auxílio de uma fonte de tensão ou corrente, e reutilizadas várias vezes. São comumente chamadas de “acumuladores” ou “baterias de armazenamento” e são úteis na maioria das aplicações por longos períodos, como por exemplo, em sistemas fotovoltaicos.

Dos vários tipos de acumuladores eletroquímicos existentes, a bateria de Chumbo-ácido (Pb-ácido) ainda é a tecnologia mais empregada. Baterias com tecnologias mais modernas, tais como Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-hidreto metálico (NiMH), íon de Lítio (Li-ion), dentre outras, embora apresentando vantagens (maior eficiência, maior vida útil, maior profundidade de descarga), geralmente não são ainda economicamente viáveis na maioria dos sistemas. As principais características de alguns tipos de baterias seguem mostrados na Tabela 3 (GALDINO; PINHO, 2014).

**Tabela 3- As principais características de alguns tipos de baterias recarregáveis disponíveis comercialmente.**

Tecnologia	Eletrólito	Densidade Energética [Wh/kg]	Eficiência Wh [%]	Vida útil [anos]	Vida cíclica [ciclos]	Temperatura de operação		Aplicações típicas (exemplos)
						Carga padrão [°C]	Descarga [°C]	
<b>Chumbo ácido</b>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20-40	80-90	3-20	250-500	-10 a +40	-15a +50	Uso estacionário, tração automotiva
<b>Níquel-Cádmio</b>	KOH	30-50	60-70	3-25	300-700	-20 a +50	-45 a +50	Mesmo tipo de aplicação das baterias Chumbo-ácido, ferramentas, veículos elétricos
<b>Níquel-hidreto metálico</b>	KOH	40-90	80-90	2-5	300-600	0 a +45	-20 a +60	Notebooks, câmeras fotográficas, celulares, veículos elétricos e híbridos, brinquedos
<b>Ión de lítio</b>	Polímeros orgânicos	90-150	90-95	-	500-1000	0 a +40	-20 a +60	Notebooks, filmadoras, <i>smart cards</i> celulares, veículos elétricos e híbridos
<b>Bateria recarregável de Manganês</b>	KOH	70-100	75-90	-	20-50	-10 a +60	-20 a +50	Produtos de consumo, brinquedos
<b>Cloreto de Níquel e Sódio</b>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~100	80-90	-	~1000	+270 a +300	+270 a +300	Veículos elétricos, híbridos (possíveis aplicações estacionárias)

Fonte: GALDINO; PINHO (2014, p.165).

### 2.3.9.2 Banco de baterias

As baterias podem ser agrupadas em série ou em paralelo para formar bancos de baterias. A associação em série permite obter tensões maiores e a associação em paralelo permite acumular mais energia ou fornecer mais corrente elétrica com a mesma tensão.

Na conexão em série a tensão do banco é a soma das tensões de cada bateria e a corrente do conjunto é a mesma fornecida por uma única bateria. A conexão em série de baterias é utilizada para proporcionar tensões maiores.



Normalmente as baterias encontradas no mercado têm tensões de 12V, 24V e 48V. Um banco de 48V e 100 Ah, por exemplo, pode ser constituído de uma bateria de 48V e 100Ah ou por quatro baterias de 12V e 100Ah ligadas em série.

Na conexão de baterias em paralelo a tensão do banco é a mesma tensão de uma bateria individual e as correntes são somadas. Esse tipo de conexão é empregado para proporcionar capacidades maiores de corrente, mantendo-se a tensão num nível baixo. Para aumentar simultaneamente a tensão e a capacidade de corrente e de armazenamento de carga nos bancos, pode se realizar ao mesmo tempo a conexão de baterias em série e paralelo. Primeiramente são agregadas as baterias em série para obter tensões maiores e posteriormente se acrescentam conjuntos em paralelo para proporcionar maior corrente de saída e elevar a capacidade de armazenamento de carga. (VILLALVA, 2012).

### **2.3.9.3 Consumidores (Cargas)**

São as cargas conectadas as fontes CC, ou seja, os equipamentos ligados a saída CC do sistema os quais por se tratarem de dispositivos para comunicação entre ERBs ou Centrais de comutação de dados devem ter alimentação robusta e interrupta.

Dentre os equipamentos conectados as fontes estão: Multiplexadores, demultiplexadores, rádios transmissores, antenas, *switches* entre outros dispositivos utilizados em telecomunicações. Na Figura 25 segue o exemplo de um rack com equipamentos conectados a uma fonte CC *indoor* alimentados em -48V e na Figura 26 um rádio transmissor da marca Ceragon que também funciona com a mesma alimentação.





**Figura 25- Rack de equipamentos conectados a uma fonte indoor -48V**  
**Fonte: Autoria própria.**



**Figura 26- Rádio transmissor Ceragon**  
**Fonte: Ceragon**

## **3 DESENVOLVIMENTO DO TEMA**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

Para desenvolvimento do tema proposto foram necessários e de fundamental importância os conhecimentos adquiridos no Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica e também a aquisição de conhecimentos em outras áreas com mecânica, administração (de recursos), geografia dentre outros tão importantes quanto estes, no entanto antes da construção do protótipo foram necessários alguns importantes passos como a fundamentação teórica, pesquisa de viabilidade

econômica para construção do protótipo proposto e principalmente um projeto para a execução do mesmo.

### **3.2 APRESENTAÇÃO DO PROTÓTIPO DESENVOLVIDO**

O projeto foi desenvolvido com o intuito de estudar a viabilidade técnica e econômica de uma fonte CC -48V para o uso em telecomunicações alimentada com energia solar fotovoltaica proveniente de painéis e também alimentada com a energia CA provinda da concessionária de energia.

O protótipo foi construído basicamente em 4 etapas como segue abaixo:

1ª- A pesquisa da viabilidade financeira e técnica da construção do equipamento, onde foram feitos levantamentos dos equipamentos elétricos, eletrônicos e partes mecânicas necessárias para a elaboração da fonte. Através desta pesquisa observou-se que seriam necessários os seguintes itens:

- 2 Painéis fotovoltaicos que fossem capazes de prover um limite inferior de até 35V CC e uma corrente mínima de 7A por módulo.

- Disjuntores e dispositivos de proteção para carga e módulos existentes no equipamento:

- Módulos conversores CA-CC (Retificador) e CC-CC (Conversor solar)

- Módulo de controle – controlador lógico programável.

- Contatores eletromagnéticos.

- Cabos elétricos, conectores e barramentos.

- Baterias, 1 banco de baterias composto por 4 elementos de 12V cada.

- Partes mecânicas como suporte dos painéis fotovoltaicos, suporte para os módulos e um gabinete para abrigo da fonte.

2ª- Com a listagem dos componentes pronta, efetuou-se então a busca pelos equipamentos onde se pode contar com a ajuda da empresa Delta Greentech do Brasil no fornecimento de alguns equipamentos como o CLP, Painéis solares, Gabinete abrigo e para o restante dos materiais foi necessária a compra ou o empréstimo para só assim completar a lista de materiais.

3ª- A etapa subsequente a aquisição de matérias foi a do projeto Mecânico

do suporte dos painéis solares, onde com o auxílio do *software Solid Works* foi possível a concepção da base onde ficarão instalados os painéis fotovoltaicos, foram necessários alguns dias de estudo e testes para se chegar na forma em que se encontra o suporte dos painéis hoje.

4<sup>a</sup>- O projeto elétrico - Por se tratar de um equipamento eletroeletrônico esta foi a etapa de maior complexidade e importância para o desenvolvimento do protótipo proposto e também onde pode se utilizar e desenvolver ainda mais todo o conhecimento adquirido no curso de Tecnologia em Eletrônica.

### **3.3 COMPONENTES MECÂNICOS**

#### **3.3.1 Gabinete outdoor**

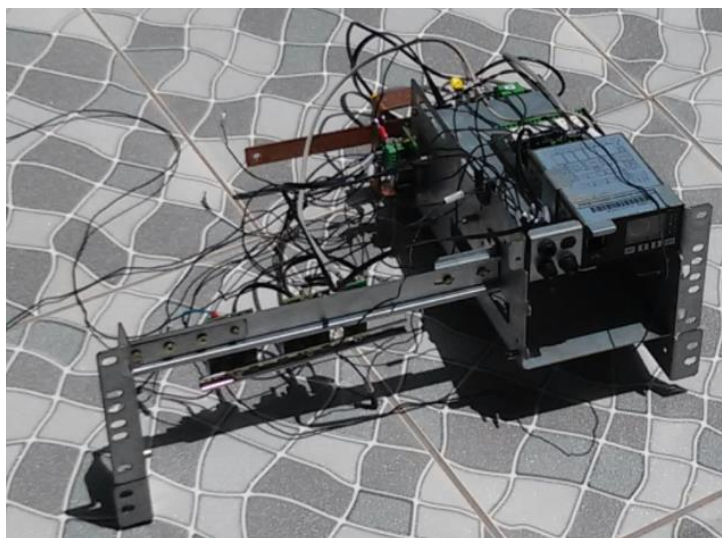
Para este protótipo utilizou-se um gabinete (Figura 27) como abrigo dos componentes eletroeletrônicos para que a aplicação a qual se pretendia pudesse ser feita do tipo outdoor, pois este tipo de aplicação seria mais econômico e funcional neste momento. Trata-se de um armário em alumínio utilizado em fontes *outdoor* convencionais para abrigar os equipamentos fornecedores de energia CC, tais como módulos retificadores, banco de baterias e também os módulos de controle destes fornecedores além dos dispositivos (consumidores) utilizados pela empresa de telefonia.



**Figura 27– Gabinete outdoor utilizado para abrigo do sistema**  
**Fonte: Autoria própria**

### **3.3.2 Suporte dos equipamentos eletroeletrônicos**

Chamado de *shelf* ou *frame* esta é a “prateleira” (Figura 28) dos equipamentos de energia da fonte onde ficam dispostos os módulos conversores, CLP, disjuntores de consumidores, disjuntores de bateria, contadores, conectores dos módulos e o fusível protetor do controlador.



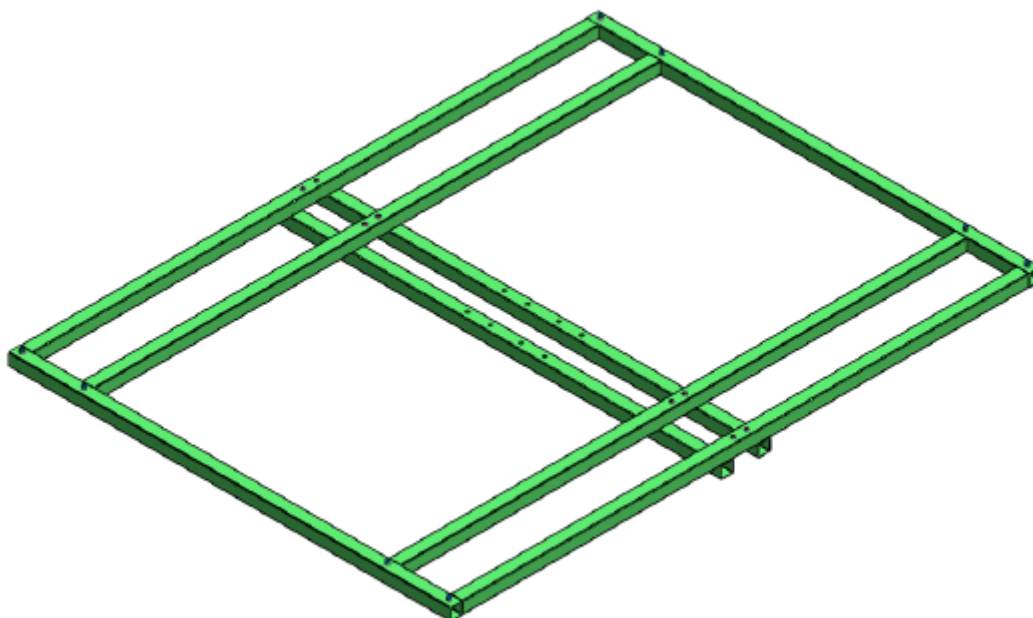
**Figura 28– Shelf – estrutura mecânica dos equipamentos eletroeletrônicos**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.3.3 Suporte dos painéis solares

Para este suporte foram desenvolvidas soluções pensando em possíveis atualizações futuras e também em conformidade com as características do painel fotovoltaico que foi escolhido para o projeto, características estas trazidas na folha de dados do painel solar. Esta estrutura mecânica é dividida em quatro partes:

1- Moldura de fixação dos painéis:

Esta moldura foi desenvolvida com base nas medidas e especificações que constam na folha de dados do painel e também através de medições e estudos feitos no próprio painel fotovoltaico. O material utilizado nesta estrutura foi aço galvanizado com barras de 40mm de largura por 40mm de profundidade por 2mm de espessura. O projeto desta peça da Figura 29 e já montada na Figura 30 se encontra no Apêndice “A” como maiores detalhamentos.

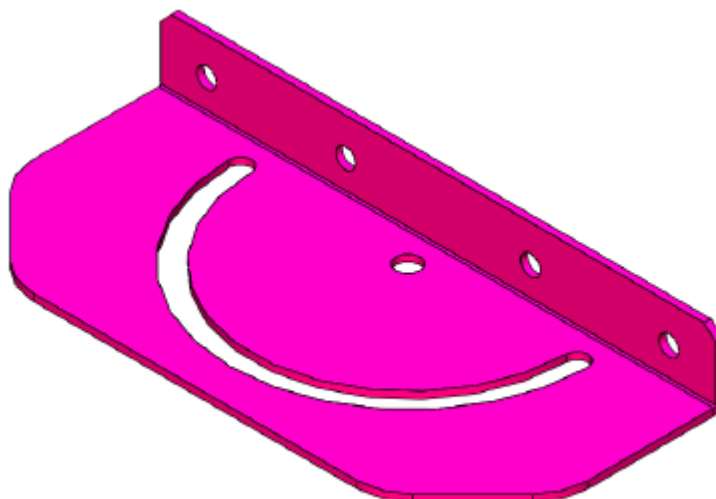


**Figura 29**– Ilustração da moldura do suporte do painel  
Fonte: Autoria própria



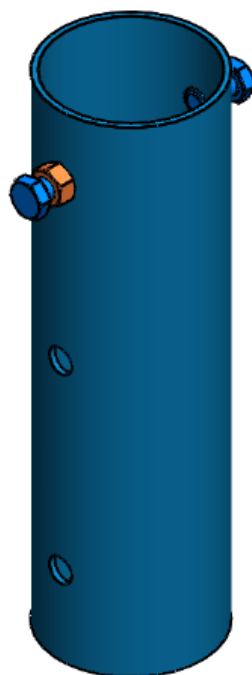
**Figura 30– Moldura dos painéis fotovoltaicos**  
**Fonte: Autoria própria**

- 2- A segunda parte conforme a Figura 31 se trata de duas peças desenvolvidas para fazer a conexão entre a moldura e a haste de sustentação, e estas peças também tem a função de dar os dois graus de liberdade pretendidos no início do projeto, ou seja, possibilitar o movimento angular e rotacional de todo o conjunto para proporcionar um correto posicionamento do painel e ainda permitir para projetos futuros fazer o acoplamento de um circuito eletrônico com um motor de passo para que o conjunto possa de forma automática fazer o rastreamento da luz solar durante o dia. Esta estrutura foi fabricada com Aço AISI (*American Iron and Steel Institute*) 1020 e pode ser visto o projeto mecânico da peça através do apêndice “B”.



**Figura 31– Ilustração da estrutura de conexão entre a moldura do painel e a haste de sustentação**  
Fonte: Autoria própria

- 3- A terceira parte (Figura 32) é composta de um tubo de aço galvanizado com um diâmetro de 82mm e paredes de 3mm, esta peça ajudará no movimento rotacional dos painéis. O projeto desta parte está disponível no apêndice “C”.



**Figura 32– Ilustração do tubo que auxilia na rotação dos painéis**  
Fonte: Autoria própria

- 4- A quarta parte (Figura 33) é o tubo de sustentação do conjunto que suportará todo o conjunto mecânico mais painéis fotovoltaicos é tubo fabricado em aço galvanizado com diâmetro de 76 mm e parede de 4,76 mm, seu desenho mecânico se encontra no Anexo “D”.



Figura 33– Ilustração do tubo de sustentação.  
Fonte: Autoria própria

### 3.4 COMPONENTES ELETROELETRÔNICOS

#### 3.4.1 Dispositivos protetores

Para a proteção contra sobrecargas e curto circuitos foram utilizados disjuntores termomagnéticos na entrada AC do módulo retificador utilizou-se um disjuntor bipolar, na entrada CC do módulo conversor solar que recebe a energia



produzida pelos painéis solares também foi utilizado um disjuntor bipolar, e ainda para a saída CC dos consumidores tem-se disjuntores monopolares para a proteção das cargas e um disjuntor monopolar para a proteção do banco de baterias. A também uma proteção individual para o CLP feita através de um fusível de vidro.

O dimensionamento dos dispositivos protetores foi efetuado levando em consideração as características elétricas obtidas através das folhas de dados dos equipamentos eletroeletrônicos utilizados e também conforme a bitola dos cabos utilizados no projeto.

### **3.4.2 Dispositivos de controle**

Em relação ao controle utilizou-se um CLP dedicado para fontes de energia CC, o controlador PSC 3 da marca Delta, foi usado também dois contatores para controle das entradas CA (rede convencional) e para entrada CC (painéis fotovoltaicos). O CLP Delta se mostrou um equipamento bastante robusto e de fácil programação e manuseio e é responsável não só pelo controle dos dispositivos eletrônicos da fonte como também faz a aquisição de dados como a energia CA e CC produzida a energia CC consumida e ainda gera alarmes frente a inconformidades da fonte.

### **3.4.3 Banco de baterias**

Para o banco de baterias utilizou-se 4 elementos da bateria marca Moura Clean com as seguintes características: Tensão nominal 12V, Corrente nominal de 30 A. Estas 4 baterias (Figura 34) foram ligadas em série formando assim um banco de tensão nominal de 48V e corrente nominal de 30 A.



**Figura 34- Banco de baterias 4 elementos 48V 30A**  
**Fonte: Autoria própria**

### 3.5 MONTAGEM DO PROTÓTIPO

#### 3.5.1 Local

O protótipo foi montado na cidade de São José dos Pinhais no Paraná no bairro Quissisana no endereço onde a latitude é 25° e 32' e a longitude é 49° e 9' (fonte: Google *maps*). Este endereço foi escolhido por se tratar de um local onde não havia obstáculos (edificações, árvores, morros) que pudessem causar sombreamento nos painéis fotovoltaicos. A Figura 35 traz a parte do suporte dos painéis responsável pela inclinação do conjunto, já a Figura 36 demonstra o conjunto todo montado.

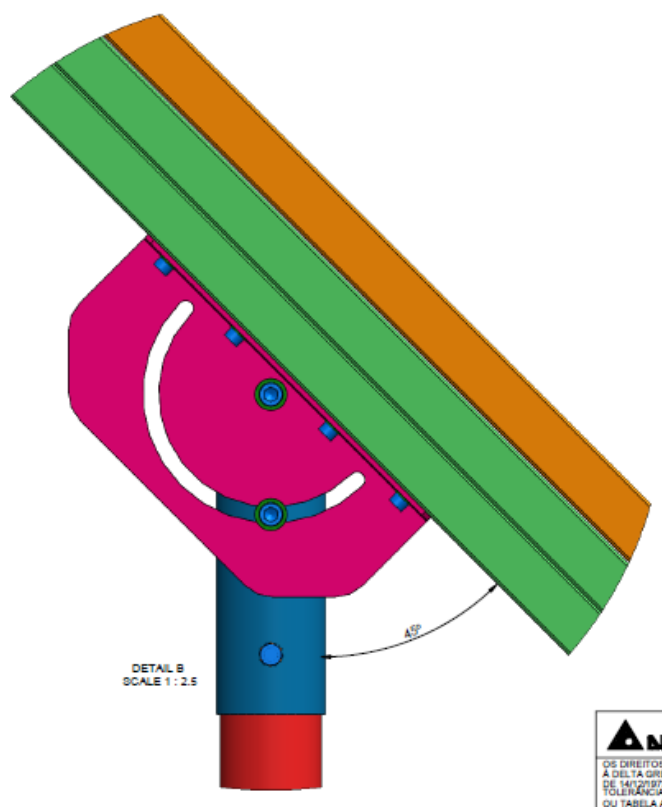


Figura 35 – Detalhe da montagem completa do suporte  
Fonte: Autoria própria

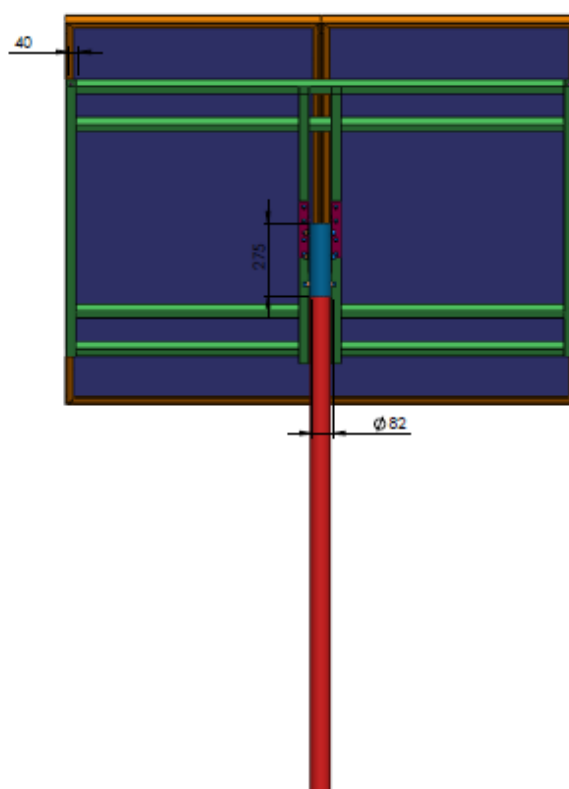


Figura 36– Ilustração da montagem completa do suporte  
Fonte: Autoria própria

### **3.6 DESCRIÇÃO DO FUNCIONAMENTO DA FONTE PROPOSTA**

O equipamento proposto foi desenvolvido com o intuito de maximizar a utilização da energia solar na alimentação desta fonte, tornando este dispositivo mais econômico do ponto de vista energético, já que utiliza muito menos a eletricidade fornecida pelas concessionárias de energia, e ainda manter a principal característica de uma fonte convencional a propriedade de não deixar que falte energia CC para os equipamentos consumidores conectados a fonte.

#### **3.6.1 Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos para o projeto**

Para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos utilizou-se os parâmetros (Tensão, Potência) de entrada do conversor CC-CC como base já que eram as configurações mínimas necessárias para o funcionamento deste conversor. A tensão ideal de entrada, para que o conversor possa fornecer a sua potência nominal, seria de 270V, no entanto por razões econômicas não foi possível o teste com esta tensão de entrada então trabalhou-se com os parâmetros mínimos de tensão que o conversor CC-CC aceita. O conversor é ligado conforme seu range de funcionamento que é em 70 V o dispositivo liga e com 50V desliga.

Para chegar a estes valores utilizou-se 2 painéis fotovoltaicos que podem fornecer a tensão de 35V a 40V, 295W cada, então foram ligados em série onde chegou-se ao total de 70V a 80V, 590W o suficiente para acionar o conversor e efetuar os testes pertinentes ao projeto, segue na Tabela 4 as características elétricas do painel utilizado.

Tabela 4– Características técnicas do painel fotovoltaico utilizado

<b>Modelo</b>	D6P295B4A
<b>Potência</b>	295W
<b>Tensão (Vpm)</b>	35,92V
<b>Corrente (Ipm)</b>	8,23A

Fonte: Catálogo Delsolar

Os dois painéis foram ligados em série, então se obteve uma tensão nominal de 71,84V e corrente nominal de 8,23A (sem carga) a folha de dados do painel fotovoltaico utilizado se encontra no anexo “A”.

Os painéis foram instalados com sua face voltada para o norte geográfico, já que segundo, Villalva (2012) essa orientação melhora o aproveitamento da luz solar ao longo do dia para painéis fixos (sem um sistema de rastreamento), pois durante todo o tempo os módulos têm raios solares incidindo sobre sua superfície, com maior incidência ao meio dia solar, quando o módulo fica exatamente de frente para o Sol, ou seja, com ângulo azimutal zero. Quanto ao ângulo de inclinação conforme fala no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (1999) o ângulo de inclinação que maximiza a geração de energia varia com a época do ano e com a latitude do local onde o sistema está instalado. Para maximizar a energia gerada ao longo do ano, a inclinação do arranjo fotovoltaico deve estar dentro de 10° no entorno da latitude do local. Neste caso a latitude do local de instalação em São José dos Pinhais é em torno de 25° então utilizou se para este protótipo uma inclinação de 30° conforme a Figura 37.



Figura 37– Disposição dos painéis fotovoltaicos.

Fonte: Autoria própria

A energia fornecida pelos painéis fotovoltaicos alimenta a entrada de um conversor CC da marca Delta com as seguintes características demonstradas na Tabela 5:

**Tabela 5 – Características técnicas do Conversor CC-CC**  
**Modelo** PVC 2200

<b>Tensão de entrada</b>	50V CC a 362V CC
<b>Corrente de entrada</b>	9A CC
<b>Tensão de saída nominal</b>	54,5V CC
<b>Corrente de saída nominal</b>	40A CC
<b>Potência de saída nominal</b>	2200W

Fonte: Catálogo PVC Delta

A energia solar é convertida pelo conversor CC e alimenta então o barramento de saída da fonte com tensão de 54,5 V.

Esta fonte também recebe uma alimentação CA que alimenta um módulo conversor CA-CC (retificador) da marca Delta com as seguintes características da tabela 6:

**Tabela 6– Características técnicas do Conversor CA-CC**  
**Modelo** DPR 2700

<b>Tensão de entrada</b>	220V CA
<b>Corrente de entrada nominal</b>	19A CA
<b>Tensão de saída nominal</b>	54,5V CC
<b>Corrente de saída nominal</b>	50A CC
<b>Potência de saída nominal</b>	2700W

Fonte: Catálogo DPR 2700 Delta

A energia fornecida pelo retificador também alimenta o barramento de saída da fonte.

Ao barramento de saída também conectou se um banco de baterias de 4 4 elementos de 12V cada o que dará uma tensão nominal de 48V, porém deve se

manter este banco com uma tensão de flutuação conforme pede o fabricante das baterias, neste caso 54,5V ou seja 13,62V por elemento. O Banco de baterias está sempre ligado em paralelo com as cargas, pois ele tem a função de fornecer energia em caso de falta da energia solar e falta de energia CA.

O Controle da fonte é feito através da PSC 3 um controlador lógico programável capaz de comandar, reportar remotamente possíveis inconformidades e ainda salvar em seu histórico dados pertinentes de consumo do equipamento em questão.

O CLP foi programado para priorizar a energia solar gerada pelos painéis fotovoltaicos então o controlador faz o monitoramento da potência gerada pelo conversor CC-CC enquanto essa potência se mantém dentro de um padrão pré-estabelecido à fonte somente utilizará a energia solar e caso esta potência diminua muito, ou seja, a luz solar se enfraquece a PSC 3 ordena a entrada do conversor CA-CC através de um contator controlado por uma saída da PSC 3 e somente quando falta a energia dos dois conversores e que entra em ação automaticamente as baterias já que estão conectadas em paralelo com os consumidores no mesmo barramento de saída.

### **3.6.2 Programação e software da PSC 3.**

A tela inicial do software do controlador que segue na Figura 38 ilustrativa abaixo é onde se tem as informações mais importantes da fonte tais como: Tensão do sistema, Corrente de bateria, consumidor ou conversores, Potência do sistema, estado da bateria, temperatura, data, hora, alarmes ativos e ainda se há eventos que foram pré-programados pelo usuário.

Site Name: Fonte -48V - Solar  
System Name: Fonte -48V - Solar

23:06:15  
14.01.2016

Stop Alarms Update

Database: read-write R/W saved Save

Battery: Charge Mode: float Status: alarm Alarm(s) pending! Current Limit: inactive Message: No message.

Home Actual Menu: Home

- + Alarm
- Meter Panel
- + Battery
- + Load
- + Log
- + Rectifier
- + DC/DC
- + PVC
- + DC Source
- + Genset
- + Mains
- + System
- + Maintenance
- + Configuration

System Monitor (Home)

System: Usys: 54.50 V Psys: 16 W Iload: 0.3 A Ibatt: -0.3 A Irect: 0.0 A

Battery Summary: State of Charge: \*\*\*\* % Ampere-hour Out: 0 Ah

Current [A]: Bateria: -0.3 Fuse Status: ok

Temperatures: Tbatt: 24.8 °C

Active Alarms: S Urgent Alarm: active S Non Urg Alarm: active LVD Aberto: active

Load Summary: Current [A]: Consumidor: 0.3 Fuse Status: ok

Figura 38– Tela inicial do software do Controlador lógico programável PSC 3  
Fonte: Autoria própria

A programação deste controlador é feita através do sistema de lógica combinacional, possibilitando a criação de eventos de controle ou de avisos, segue tela de programação na Figura 38.

3/4 |<< < All 19 > >>|

Event:	Function:	Delete:
PVC Desligado := PVC Ligado	<b>Inverted</b>	Edit <input type="checkbox"/>
PVC Ligado := S Always False	<b>OR</b> PVC on2	Edit <input type="checkbox"/>
S. Energy High := S Always False	<b>OR</b>	Edit <input type="checkbox"/>
S. Energy Low := S Always False	<b>OR</b> Energy low	Edit <input type="checkbox"/>
Temp / Vent := Temp Alta	<b>OR</b> Falha Fan/Vent	Edit <input type="checkbox"/>
Temp Alta := S Always False	<b>OR</b> Alta Temp	Edit <input type="checkbox"/>

Event Type: AND OR Inversion Filter RS Latch Timer Counter Time Counter Add

Accept Changes Reload Values

Figura 39– Tela de programação da PSC 3  
Fonte: Autoria própria



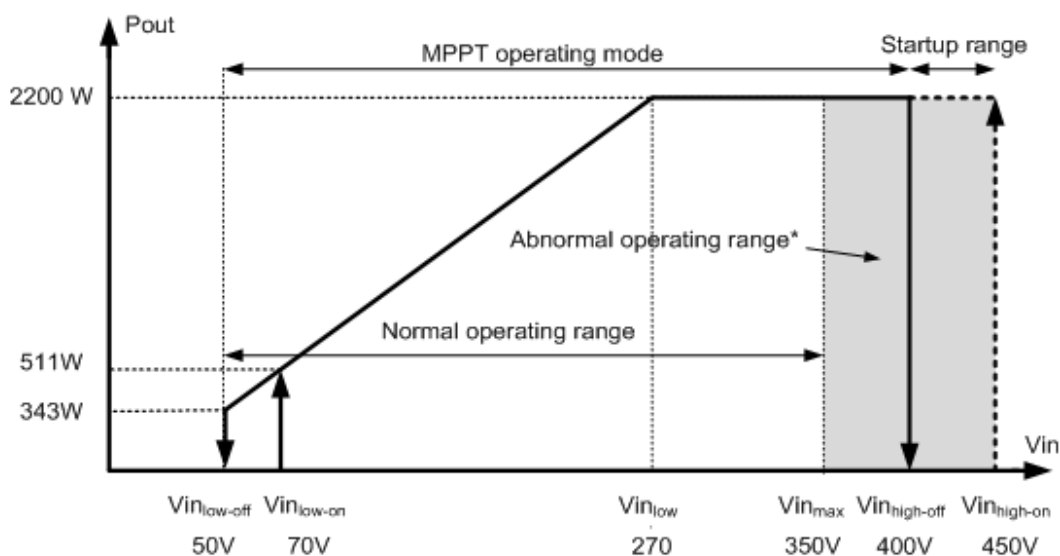
## 4 APRESENTAÇÃO MÉTODO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Para simular os consumidores, utilizou-se uma carga resistiva conforme a figura 40. A carga resistiva foi dimensionada para consumir uma corrente média de 4A e a corrente de bateria (em caso de recarga) ficou limitada em 2A limitação, que é controlada através do CLP, então o consumo total máximo do sistema retificador é de 6A com uma tensão (flutuação) de 54V CC totalizando 324W de potência consumida no pior caso. Os painéis solares de 295W cada podem entregar um total de 590W porém temos uma perda neste caso de usar apenas 2 módulos fotovoltaicos pois o conversor solar PVC 2200 opera com um range de tensão de entrada de 50V CC a 350 CC, conforme a curva da Figura 41 e a tensão dos dois painéis instalados em paralelo ficou com uma média diária de 77V quando com carga e em dias de boa insolação, já em dias nublados ou com chuva onde o sombreamento solar era maior o módulo esteve (no período monitorado) com uma média diária de 73V na entrada do conversor. Com estes valores obtive-se potências de saída entre 500W até 540W.



**Figura 40- Carga resistiva utilizada para simular os consumidores do sistema retificador**

**Fonte: Autoria própria**



**Figura 41** Tensão de entrada x Potência de saída do conversor solar  
 Fonte: Catálogo PVC Delta

Para obtenção das informações pertinentes ao sistema retificador utilizou-se a função histórico de eventos do CLP utilizado (Figura 42), pois após programada a PSC 3 pode adquirir os dados de consumo de energia, informações de tensão, corrente, potência dentre outras importantes entradas e saídas do equipamento e após coletado todos estes dados o controlador pode fornecer em forma de planilha já formatada todos os dados adquiridos no período pré-definido pelo usuário. A seguir conforme na Figura 42 são apresentados os valores de potência dissipada em dezembro de 2015 e janeiro de 2016, nesta tabela são mostrados os valores para potência dissipada de bateria, consumidor, PVC (conversor solar) e retificador (conversor CA-CC). Os dados foram coletados de 1/12/2015 a 31/01/2016 com uma interrupção em meados de janeiro de 6 dias, porém com estes dados pode se chegar a importantes constatações quanto ao trabalho do equipamento.

	A	B	C	D	E
1	Consumo Energia				
2					
3		EBateria [kWh]	EConsumidor [kWh]	Epsc [kWh]	Erect [kWh]
4	31/01/2016	0	4	2	2
5	30/01/2016	0	4	1	3
6	29/01/2016	1	4	2	1
7	28/01/2016	0	3	0	3
8	27/01/2016	0	4	2	2
9	26/01/2016	1	5	3	1
10	25/01/2016	0	4	2	2
11	24/01/2016	1	5	2	2
12	20/01/2016	0	4	2	2
13	14/01/2016	1	5	1	3
14	07/01/2016	0	4	1	3
15	06/01/2016	0	4	2	2
16	05/01/2016	0	4	2	2
17	04/01/2016	1	5	3	1
18	03/01/2016	0	4	2	2
19	02/01/2016	2	4	1	1
20	01/01/2016	0	4	0	4
21	2016-01	7	71	28	36
22	2015-12	6	23	6	11
23	2016	7	71	28	36
24	2015	6	23	6	11

Figura 42 - Planilha de histórico das potências dissipadas.  
Fonte: Autoria própria

Utilizando o mês de janeiro como base pode fazer um comparativo de consumo de energia CA fornecida pela rede versus a energia solar fotovoltaica fornecida pelos painéis instalados. Para verificar a potência CA de entrada utilizou se medições de corrente de entrada e tensão CA de entrada, portanto verificou se que para uma potência de saída do retificador de 216 W (corrente 4 A e tensão de 54 V) a potência de entrada CA do retificador foi de 257,73 W (corrente 2,13 A e tensão de 121 V) então com estes dados pode se verificar através da Tabela 6 o quanto utilizou se de energia CA e energia solar.

Tabela 7- Consumo total no período de testes

E-Consumidor (KWh)	E- PVC (KWh)	E- RET (KWh)	E-Bateria (KWh)
71 KWh	28 KWh	36 KWh	7 KWh

Fonte: Autoria própria

Tabela 8– Resultados após o período de testes

<b><math>\eta</math> Retificador 90%</b>	<b>Total S/ Solar</b>	<b>Total C/ Solar</b>	<b>Economia</b>
Totais	78,73 KWh	40 KWh	38.73 KWh
Percentuais	100 %	50,8 %	49,2 %

Fonte: Autoria própria

Com o cálculo das potências dissipadas pelo sistema pode se estimar a economia alcançada pela utilização da energia solar, para isto deve se levar em consideração que a energia total consumida pelas cargas foi de 71kWh no mês de janeiro, porém 7 kWh foram fornecidos pelo banco de baterias, então chega se ao valor de 66 kWh o total fornecido de energia CA mais energia solar, no entanto se fosse toda fornecida através da rede (devido ao rendimento dos retificadores) o total gasto seria de 78,73 kWh, porém com a utilização da energia fotovoltaica chegou-se a um consumo de 40 kWh de energia CA, e uma economia de aproximadamente 49,2% ao final dos testes.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo desenvolvido apresentou resultados satisfatórios atingindo seu objetivo, ao qual era manter a confiabilidade e robustez dos sistemas retificadores CC convencionais e ainda obter um ganho econômico no sentido de utilizar o menor tempo possível a energia CA da rede externa, maximizando a utilização da energia solar. O custo para a implementação da alimentação solar fotovoltaica foi o item de maior impacto para o projeto, porém segundo apontamentos de renomadas empresas do setor de energia e também indicações da própria ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) demonstram que é um tipo de aplicação que está diminuindo seu custo ao passar dos anos. Um outro atrativo sem dúvida para o emprego da energia solar fotovoltaica são os incentivos governamentais para as empresas que desenvolvem projetos utilizando energia renováveis.

Os testes no protótipo foram realizados durante aproximadamente 4 meses iniciando em 11/2015 quando o protótipo ficou pronto para os testes iniciais até 02/2016 já com o equipamento completo, para valores mais precisos seria necessário um período maior de avaliação do equipamento onde variações sazonais ou até mesmo outros fatores como variação na potência dissipada, possíveis defeitos seriam devidamente documentados e com certeza obteria se resultados mais precisos. O desenvolvimento deste trabalho foi de grande importância para o aprendizado e conhecimento de fontes de energia renováveis e principalmente aprender sobre o funcionamento da energia solar fotovoltaica.

## REFERÊNCIAS

ALBADÓ, R. **Energia solar**. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2002. 162p.

ANATEL, Agência Nacional de Telecomunicações. **Plano Estratégico da Anatel 2015-2024**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/Portal/verificaDocumentos/documento.asp?numeroPublicacao=327138&pub=original&filtro=1&documentoPath=327138.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2016

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica, **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 1. ed. Brasília: Governo Federal, 2002.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica, **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Governo Federal, 2008.

BERGVELD, H. J.; KRUIJT, W. S.; NOTTEN, P. H. **Battery management systems**. 1. ed. Eindhoven, Holanda: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BNDES - Banco Nacional do Desenvolvimento Social. **O Setor de Telecomunicações**. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro\\_setorial/setorial13.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro_setorial/setorial13.pdf)> Acesso em: 30 jul. 2015

BOYLE, G. **Renewable energy: power for a sustainable future**. 2. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 2004. 452p.

BRASIL Escola. **Princípio de funcionamento de uma usina hidrelétrica**. Disponível em:< <http://www.brasilecola.com/fisica/o-principio-funcionamento-uma-usina-hidreletrica.htm>> Acesso em: 13 mai. 2015.

CÁTALOGO DPR 2700 Delta. **Retificador DPR 2700**. Disponível em: <<http://www.deltapowersolutions.com/en/tps/ind-celld-north-america-celld-dps-2700-48-4.php>>

CÁTALOGO Delsolar. **D6P295B4A**. Disponível em: <[https://www.acosolar.com/amfilerating/file/download/file\\_id/153/?\\_\\_store=solar\\_all](https://www.acosolar.com/amfilerating/file/download/file_id/153/?__store=solar_all)>

CÁTALOGO PVC 2200 Delta. **Conversor PVC 2200**. Disponível em <<http://www.deltapowersolutions.com/en/tpschargers-pvc-2200-energe.php>>

CEPEL, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESESB, 2004.

CERAGON. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.ceragon.com/products-ceragon>> Acesso em: 5 set. 2015

COSTA, W. U.; SILVA, S. R. **Energia Fotovoltaica**. 2012. 62f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

COUTO, R.E. **Análise do Impacto dos Sistemas de Telecomunicações na perspectiva do meio ambiente**. Rio de Janeiro, UFF, 2013.

CRESESB, **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro-RJ: Ediouro Gráfica e Editora S.A, 2004. 206p.

EPE- Empresa de Pesquisa energética. **Projeção de demanda de energia elétrica 2013-1022**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados\\_Pre\\_BEN\\_2012.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2015

FINDER. **O mundo sustentável das energias renováveis**. Disponível em: <<http://www.instalacoesletricas.com/download/energias%20renovaveis.pdf>> Acesso em: 13 mai. 2015

GALDINO, M. A.; PINHO, J. T. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2 Ed. ed. Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A., 2014. 530p.

GARCIA, J. T.; OLIVEIRA, F. P.; SHIGUE, C. Y. **Célula fotovoltaica de silício**. 2010. 12f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de Lorena - EEL, Lorena São Paulo, 2010. Disponível em: <[http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/2010/Celula\\_fotovoltaica\\_de\\_Si.pdf](http://www.demar.eel.usp.br/eletronica/2010/Celula_fotovoltaica_de_Si.pdf)> Acesso em: 26 nov. 2014

GEORGINI, M. **Automação Aplicada: Descrição e Implementação de Sistemas Sequenciais com PLCs**. 9 ed. São Paulo: Érica, 2007. 216p.

GREEN Technology. **Energia solar fotovoltaica**. Disponível em:  
<<http://greentechnology.com.br/pt/index.php/energia-solar>> Acesso em: 4 jun. 2015

GREENPEACE, **Annual Report 2011**. Amsterdam, 2011. Disponível em: <  
<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/greenpeace/2012/AnnualReport2011.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2015

HECKTHEUER, L. A. **Análise de Associações de Módulos Fotovoltaicos**. 2001. 135f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BARBI, I. **Eletrônica de Potência Conversores CC-CC Básicos não Isolados**. 2 ed. Florianópolis: dos Autores, 2006.

LINDEN, D.; REDDY, T. B. **Handbook of batteries**. 3. ed. Nova Iorque, Estados Unidos: Mc Graw-Hill, 2002. 1220p.

MARTINS, V.A. **Implantação de Estações Rádio Bases**. São Paulo, TELECO, 2008.

MATAVELLI, A. C. **Energia Solar: geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas**. 2013. 34f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade de São Paulo, Lorena, SP, 2013.

NEO Solar. **Folha de dados painel** . Disponível em:  
<[Http://www.nsp.com/style/frame/templates15/product.asp?lang=2&customer\\_id=2257&content\\_set=color\\_4&name\\_id=96749](http://www.nsp.com/style/frame/templates15/product.asp?lang=2&customer_id=2257&content_set=color_4&name_id=96749)> Acesso em: 23 jul. 2015

O GLOBO. **Governo cria incentivo para geração de energia solar**. Disponível em:  
<http://oglobo.globo.com/economia/governo-cria-programa-de-incentivo-geracao-de-energia-solar-18302233#ixzz41W7lBdbi>  
Acesso em: 20 Jan. 2016

PATEL, M. R. **Wind and Solar Power Systems**. 2° . ed. Boca Raton, Flórida, Estados Unidos: Taylor e Francis Group, 2006. 448p.

REEVE, W. D. **DC power system design for telecommunications**. Estados Unidos da América: IEEE PRESS, 2007. 499p. Disponível em:  
<<https://books.google.com.br/books?id=G1HTJcUEoQsC&printsec=frontcover&dq=D>



C+power+system+design+for+telecommunications&hl=pt-BR&sa=X&ved=0CCYQ6AEwAGoVChMI0d7v2qudxwIVBRSQCh2VLQAD#v=onepage&q=DC%20power%20system%20design%20for%20telecommunications&f=false> Acesso em: 9 ago. 2015

REIS, L. B. **Geração de energia elétrica: tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade**. 3. ed. Barueri: Manole, 2003. 324p.

REIS, L.B. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Manole, 2011. 460p.

RUTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: UFSC, 2004

SILVA, A. S. R. **Estimativa de Produção em Centrais Solares de Concentração**. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~ee04016/index.html>> Acesso em: 17 mai. 2015

TELECO. **Tutoriais Banda larga**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialblmodcomp1/default.asp>> Acesso em: 30 jul. 2015

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

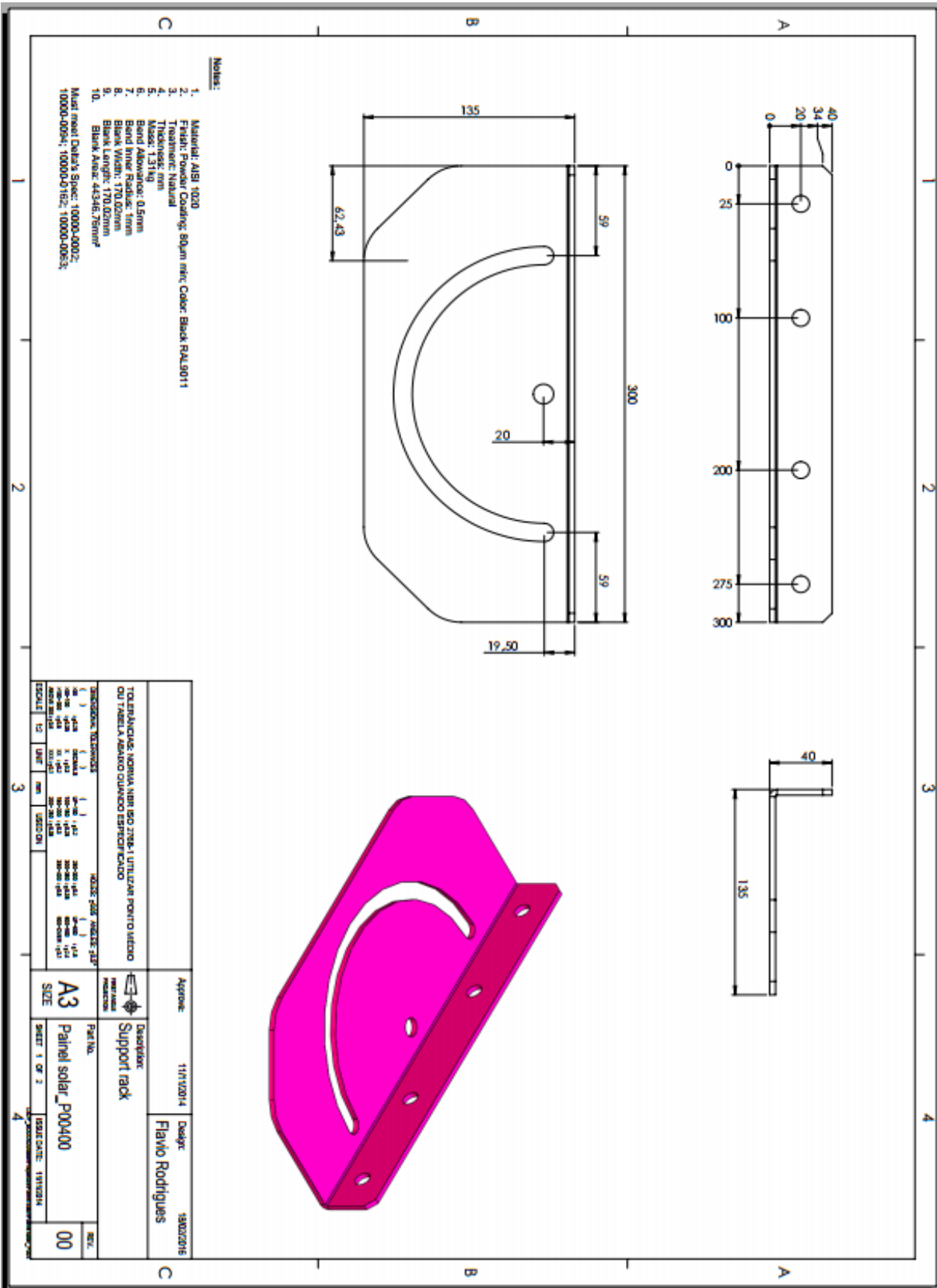
TOLMASQUIM, M. T. **Geração de energia elétrica no Brasil**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005. 198p.

URBANETZ, J.J. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afeta a conectividade**. Florianópolis, 2010. Disponível em:<  
<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/94284/282788.pdf?sequence=1>. Acesso em: 03 dez. 2015

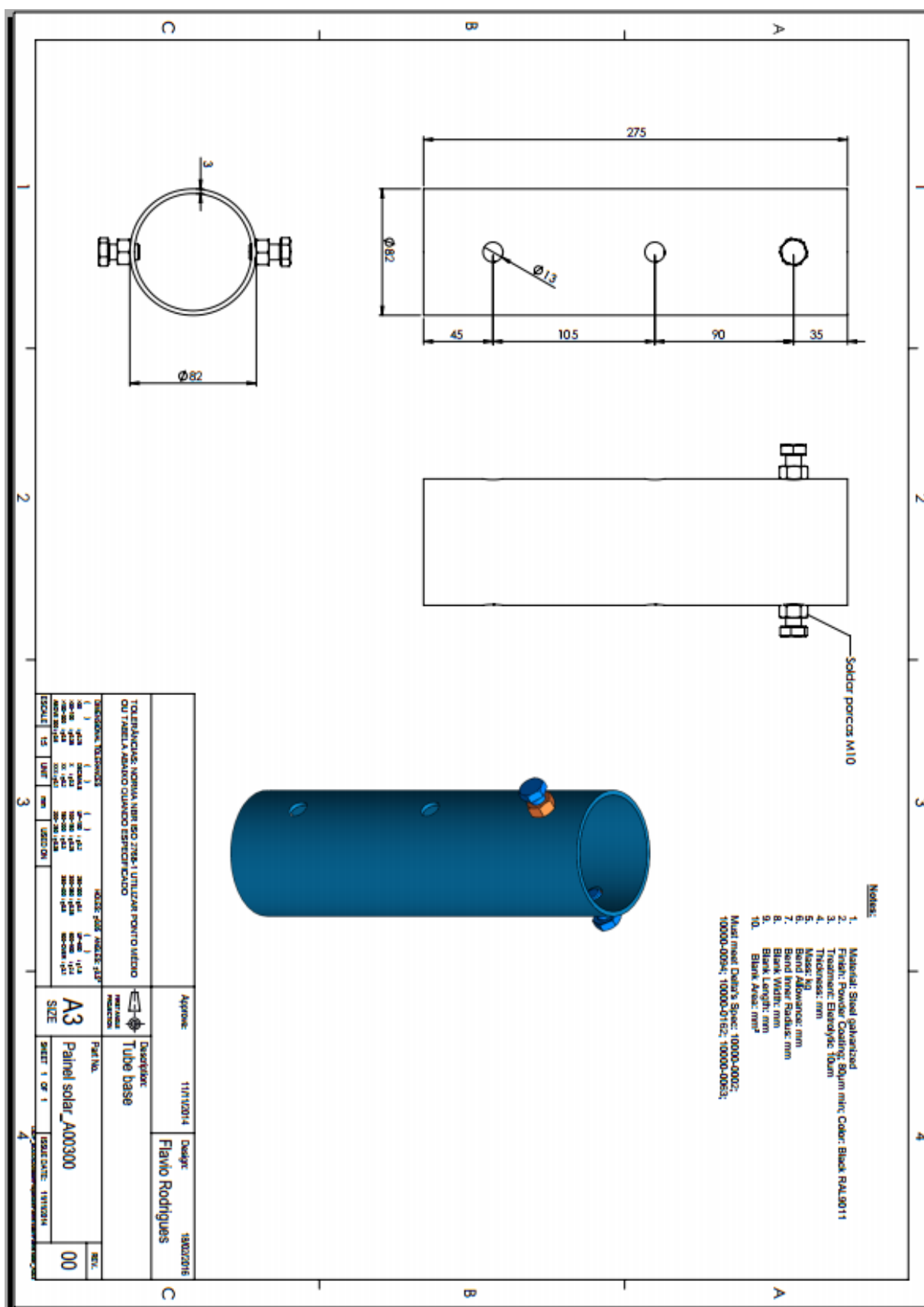
VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2012.



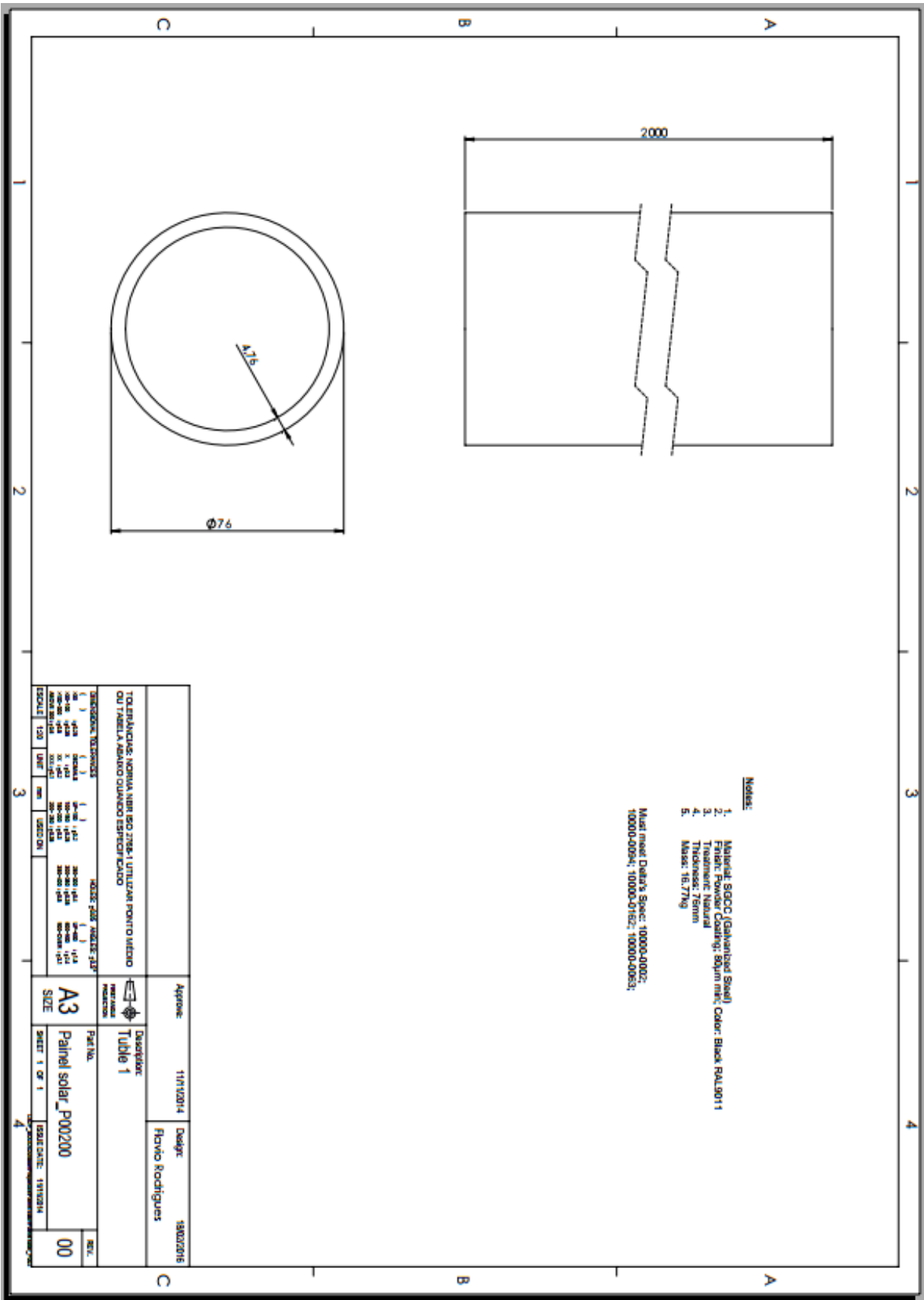
**APÊNDICE B – Peça responsável pela inclinação dos painéis**



# APÊNDICE C – Tubo de giro



APÊNDICE D - Mastro





## ANEXO A - Catálogo do painel fotovoltaico utilizado

# DelSolar

**D6P\_B4A-WS**  
**285 W - 305 W**  
 Multi-Crystalline Photovoltaic Module



Positive power tolerance  
 0~+4.99 watt



Withstand strong wind/snow load up to 5400 Pa  
 Pass ASTM E330  
 Maximum wind speed: 197 km/h (safety factor 3)



Excellent low light performance  
 4% relative eff. reduction at low-irradiance (200W/m<sup>2</sup>)



100% EL inline inspection  
 Better module reliability



Prolonged aging test  
 2000 hours damp heat test; 400 thermal cycles



### ■ Reliability & Certification

- Product guarantee: 5-year
  - Performance warranty
    - 25-year: minimum 80% power output
    - 10-year: minimum 90% power output
  - UL 1703, CEC
- \* Please refer to NSP product warranty for details

For more information, please visit us at [www.nsp.com](http://www.nsp.com)

### Mechanical Specification

Item	Spec
Product	Multi-crystalline silicon solar cell
Dimension	156 mm × 156 mm ± 0.5 mm
Thickness	200 μm ± 30 μm
Front	2.0 ± 0.1 mm busbar (silver) Silicon nitride antireflection coating
Back	3.0 mm continuous soldering pads (silver) back surface field (aluminum)

### Electrical Properties

Efficiency (%)	$P_{max}$ (W)	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)	$I_{mp}$ (A)
18.6	4.53	0.638	8.94	8.69
18.4	4.48	0.636	8.89	8.64
18.2	4.43	0.634	8.85	8.59
18.0	4.38	0.632	8.80	8.54
17.8	4.33	0.630	8.75	8.48
17.6	4.28	0.628	8.70	8.42
17.4	4.23	0.625	8.66	8.36
17.2	4.19	0.623	8.61	8.29
17.0	4.14	0.620	8.57	8.23
16.8	4.09	0.618	8.52	8.16
16.6	4.04	0.616	8.45	8.08

\* Testing conditions: 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25 °C, Tolerance: Efficiency ± 0.2% abs.,  $P_{max}$  ± 1.5% rel.  
\*  $I_{sc}$   $I_{mp}$  at 0.6 V

### Light Intensity Dependence

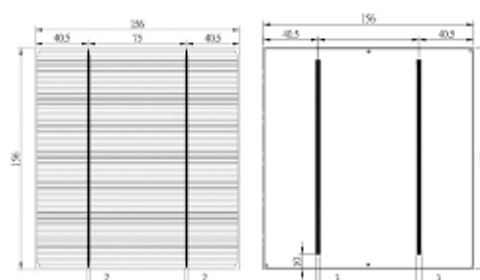
Intensity W/m <sup>2</sup>	$V_{oc}$ *	$I_{sc}$ *
1000	1.00	1.00
800	0.99	0.80
600	0.99	0.60
400	0.97	0.40
200	0.94	0.20

\* Ratio of  $V_{oc}/I_{sc}$  at reduced intensity to  $V_{oc}/I_{sc}$  at 1000 W/m<sup>2</sup>

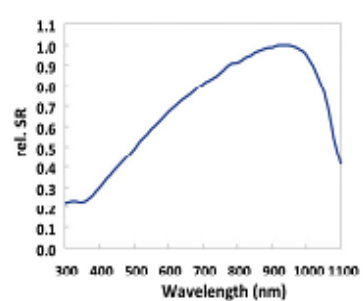
### Soldering Ability

Pool Strength > 1.0 N/mm (Pull colored ribbon from busbar in 5 mm/c of 180°)

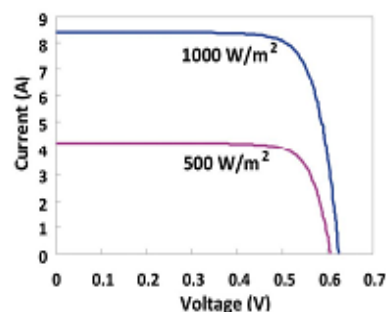
### Dimension



### Spectral Response



### I-V Curves



### Temperature Coefficients

Item	Spec
Current	0.05 %/K
Voltage	-0.33 %/K
Power	-0.42 %/K



**ANEXO B – Imagem do conjunto montado**