UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

FERNANDO RODRIGUES

MAICON RODRIGO ESPINDOLA

GERAÇÃO SOLAR PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Palhoça

2014

FERNANDO RODRIGUES
MAICON RODRIGO ESPINDOLA

GERAÇÃO SOLAR PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Telemática da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Ronieri Henrique de Oliveira, MSc.

Palhoça
2014

FERNANDO RODRIGUES
MAICON RODRIGO ESPINDOLA

GERAÇÃO SOLAR PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica Telemática da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Palhoça, 5 de julho de 2014.

Professor e orientador Roniere Henrique de Oliveira, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Prof. Eng. Paulo Roberto May, MSc.
Universidade do Sul de Santa Catarina

Eng. Eletricista Eric Fernandes Pedroso.
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais Erivaldo e Roseli. (Fernando Rodrigues)

Dedico este trabalho à minha esposa Regiane, companheira e eterna namorada, pelo incentivo e cumplicidade ao longo desse trabalho e que tanto fez e contribuiu para que este momento se realizasse, e ao meu filho Miguel, fonte de alegria e esperança em minha vida. (Maicon Rodrigo Espíndola)

AGRADECIMENTOS

Fernando agradece a:

Primeiramente a Deus, que me proporciona a fé, confiança, força e proteção diária, para poder seguir em frente em meio a tantas provações.

Aos meus pais Erivaldo e Roseli e minha irmã Elaine, por me mostrar o verdadeiro significado do amor incondicional. Agradeço por dedicar a mim, neste momento tão importante e decisivo, toda a sua paciência e compreensão, estando disponíveis, me oferecendo palavras de conforto e colos. Agradeço por entender a minha ausência nas reuniões de família e nos almoços de domingos, enfim, muito obrigado.

Aos meus grandes amigos Patrícia Pinto, Lúcio Vanderlinde, Juliana Dias, Valdirlene Spricigo, Salésio Steffens, Fátima Steffens e Belisa Fialho. Em especial, agradeço a Monique Resende. Pessoas que Deus colocou em minha vida para me mostrar o real valor de uma amizade. Obrigado por me apresentar lições de vida e me dar exemplos de bom caráter.

Ao meu amigo Maicon Espíndola, pela parceria e confiança proporcionada na realização deste trabalho. Agradeço a sua esposa Regiane pelas dicas, sugestões e experiência, que em muitos momentos foram decisivos.

Ao nosso Professor/Orientador Roniere Henrique, que prontamente se dispôs a nos auxiliar, mostrando o melhor caminho a seguir para a concretização deste trabalho.

Por fim, a todos que estiveram presente em minha vida e que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso, seja ele pessoal ou profissional, o meu muito obrigado. Jamais me esquecerei de vocês, e tudo o que me proporcionaram e fizeram nesta etapa tão decisiva em minha vida.

Maicon agradece a:

Primeiramente, a Deus, por ter me dado saúde e força para esta conquista.

A minha esposa Regiane, pela compreensão, motivação e companheirismo na busca de novos conhecimentos.

Ao meu filho Miguel sentido da minha vida.

Ao meu Professor Orientador Msc. Prof. Ronieri Henrique de Oliveira, pela paciência e dedicação com que analisou toda a pesquisa.

Aos meus professores que nesta caminhada, cada um de forma singular contribuiu para que meu conhecimento fosse ampliado.

A toda a minha família e amigos, que direta ou indiretamente me ajudaram e me deram força, pela amizade e companheirismo demonstrados todos os dias.

“Não posso conceber um cientista autêntico que não tenha uma fé profunda. Pode-se resumir a situação na seguinte imagem: sem a religião a ciência é manca; sem a ciência religião é cega”. (Albert Einstein).

RESUMO

Pesquisas de fontes de energias renováveis começaram a ser realizadas a partir do desencadeamento das primeiras crises econômicas e problemas ambientais relacionados à utilização e exploração dos combustíveis aplicados na produção de energia elétrica. Entre as alternativas promissoras e de fonte inesgotável destaca-se a energia solar. A cultura de implantação de sistemas de geração fotovoltaica no Brasil ainda é pouco difundida principalmente devido ao seu alto custo de implantação e a ausência de normas técnicas regulamentadoras, visando mudar esse cenário os órgãos regulamentadores e setores de pesquisas vêm trabalhando fortemente nos problemas existentes. Em meio a esse cenário, este trabalho de conclusão de curso apresenta como fundamentação o aproveitamento da energia solar e as partes que constituem um sistema de geração fotovoltaica. Aponta os procedimentos existentes para a geração de energia por produtores independentes. Analisa um caso de implantação de geração fotovoltaica conectada a rede no edifício sede da Dígitro Tecnologia Ltda. E, ao final, com base na instalação deste edifício, apresenta os cálculos e as condições necessárias para transformar esta geração em um sistema isolado.

Palavras-chave: Energia Solar. Geração Fotovoltaica. Microgeração.

ABSTRACT

Renewable energy sources began to be performed from the triggering of the firsts economic crisis and environmental issues on fuels utilization and exploration applied on electric energy production. Among the promising alternatives and inexhaustible sources stands out the solar energy. The culture of photovoltaic energy generation systems implementation in Brazil is little disseminated yet, due its high cost of implementation and lack of regulatory technical standards, looking to change this scenario the regulatory organizations and research sectors have been working hard on the existents issues. Inside this scenario, this course conclusion work presents as basis the solar energy use and the parts that constitute a photovoltaic generation system. Points the existent procedures of energy generation by independent producers. Its analyze a implementation case of photovoltaic generation connected on the energy network at the Digitro Tecnologia Ltda. headquarter. And, at the end, based on this building installation, presents the calculations and the necessary conditions to transform that generation in a isolate system.

Keywords: Solar Energy, Photovoltaic Generation, Microgeneration

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da média anual de insolação diária. 25
Figura 2 - Estação do sistema solar de aquecimento de água 27
Figura 3 - Concentrador cilíndrico-parabólico construído no LMHS-UFRN 28
Figura 4 - Junção "PN" e camada de depleção numa célula fotovoltaica de silício 30
Figura 5 - Efeito fotovoltaico 31
Figura 6 - Radiação solar global diária no Brasil – média anual típica (MJ/m² dia) 35
Figura 7 - Radiação solar global diária no Brasil – média anual típica (Wh/m² dia) 35
Figura 8 - Coletores solares instalado no edifício Villa Regia – Belo Horizonte/MG 37
Figura 9 - Conjunto Habitacional 38
Figura 10 - Planta de locação dos painéis - MEGAWATT SOLAR – ELETROSUL 39
Figura 11 - Usina Solar Cidade Azul 39
Figura 12 - Célula, módulo e arranjo fotovoltaico. 40
Figura 13 - Classificação das células fotovoltaicas em relação ao material utilizado 42
Figura 14 - Sistema híbrido 52
Figura 15 - Sistema isolado em CC sem armazenamento de energia 53
Figura 16 - Sistema isolado em CA sem armazenamento de energia 53
Figura 17 - Sistema isolado em CC com armazenamento de energia 54
Figura 18 - Sistema isolado em CA com armazenamento de energia 54
Figura 19 - Medição única do balanço de energia 55
Figura 20 - Medição dupla do balanço de energia 56
Figura 21 - Medições simultâneas 56
Figura 22 - Painéis fotovoltaicos – Instalação Dígitro 67
Figura 23 - Formas de conexão dos equipamentos 68
Figura 24 - Especificações físicas do painel fotovoltaico KC130TM 69
Figura 25 - Modelo caixa de junção tipo 'M' 70
Figura 26 - Dimensões do inversor XANTREX GT3.0 72
Figura 27 - Conexão do aterramento do sistema fotovoltaico 79
Figura 28 - Conexão do inversor aos painéis fotovoltaicos 80
Figura 29 - Conexão do inversor aos painéis fotovoltaicos 81
Figura 30 – Radiação solar diária média para Florianópolis 84

Figura 31 - Módulos fotovoltaicos instalados na Dígitro Tecnologia Ltda. 90
Figura 32 - Operações de um diodo de passo. 98
Figura 33 - Bloqueio do fluxo de corrente entre as fileiras do arranjo. 99
Figura 34 - Bloqueio do fluxo de corrente entre bateria e módulo 99

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Irradiação solar no plano horizontal para Florianópolis. 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Funções de proteção 62
Tabela 2 – Limites de distorção harmônica 63
Tabela 3 – Tempo máximo de desligamento para sistemas com inversores de frequência 63
Tabela 4 – Ângulos de inclinação da base fixa, recomendados a partir da análise do desempenho no inverno. 70
Tabela 5 – Especificações elétricas 71
Tabela 6 – Limites de tensão 75
Tabela 7 – Especificações elétricas 75
Tabela 8 – Especificações elétrica saída 76
Tabela 9 – Valores de Sol Pleno para Florianópolis 85
Tabela 10 – Descrição das cargas 87
Tabela 11 – Consumo das cargas 87
Tabela 12 – Corrente de projeto para diferentes sazonalidades 89
Tabela 13 – Capacidade da bateria 91
Tabela 14 – Quantidade de baterias 92
Tabela 15 – Quantidade de módulos em paralelo 92
Tabela 16 – Quantidade de módulos em série 93
Tabela 17 – Especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos 93
Tabela 18 – Capacidade e quantidade de controladores 94
Tabela 15 – Condutores em corrente contínua 100

LISTA DE ABREVIATURAS

amp. – ampére

comp. – comprimento

control. – controlador

fabr. – fabricante

freq. – frequência

h – hora

impp – corrente máxima

isc – corrente curto-circuito

ltda. – limitada

mod. – modelo

pmax – potência máxima

pot. – potência

quant. – quantidade

sem. – semana

serv. – serviço

sist. – sistema

temp. – temperatura

vmpp – tensão máxima de alimentação

voc. – tensão de circuito aberto

LISTA DE SIGLAS

A – Ampére

A/°C – Ampére por grau Celsius

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento

AC – Corrente Alternada

AGM – *Absorbed Glass Material*

Ah – Ampére hora

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ART – Anotação de Responsabilidade Técnica

AWG – *American Wire Gauge*

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

°C – grau Celsius

CC – Corrente Contínua

Celesc – Centrais Elétricas de Santa Catarina

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CO_2 – dióxido de carbono

COD – Centro de Operação da Distribuidora da Celesc

COHAB – Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito

Dígitro – Dígitro Tecnologia Ltda.

DSV – Dispositivo de Seccionamento Visível

ELETROSUL – Eletrosul Centrais Elétricas S.A.

EUA – Estados Unidos da América

GPRS – Serviços Gerais de Pacote por Rádio

GW – gigawatts

GWp – gigawatts pico máximo do sol

Hz – contagens por unidade de tempo - hertz

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

Kg – quilograma

kW – quilowatt

kw/m² – quilowatt por metro quadrado

kWh – quilowatt-hora

kWp – quilowatt-pico

Labsolar – Laboratório de Energia Solar

LES – Laboratório de Energia solar da UFRN

m² – metro quadrado

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior.

MG – Minas Gerais

MJ/m² – megajoule por metro quadrado

MJ/m² dia – megajoule por metro quadrado dia

mm – milímetro

mm² – milímetro quadrado

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

MPPT – *Maximum Power Point Tracking*

MW – megawatt

MWh – megawatt hora

MWp – megawatt pico máximo do sol

NEC – Código Elétrico Nacional dos Estados Unidos

NOCT – Temperatura de operação nominal celular

PRODEEM – Programa de desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia

Pu – por unidade

PVC – composto termoplástico de cloreto de polivinila

PWM – Pulse Width Modulation

s – segundos

STC – *Standard Test Condition*

Tractebel – TRACTEBEL ENERGIA SA

U.S.A – Estados Unidos da América

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

V – Volt

V/°C – Volt por grau Celsius

VA – Volt Ampére

W – Watts

W/m² – Watt por metro quadrado

Ω/km – ohms por quilômetro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
1.1 TEMA 20
1.2 JUSTIFICATIVA 21
1.3 OBJETIVO 21
1.3.1 Objetivo geral 21
1.3.2 Objetivo específico 21
1.4 MOTIVAÇÃO 22
1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA 22
1.6 ESTRUTURA DO PROJETO 23

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 24
2.1 ENERGIA SOLAR 24
2.1.1 Energia solar fototérmica 26
2.1.1.1 Coletores solares 27
2.1.1.2 Concentrador solar 28
2.1.2 Energia solar fotovoltaica 29
2.1.2.1 Efeito fotovoltaico 29
2.1.3 Aplicação da energia solar no mundo 32
2.1.4 Aproveitamento da energia solar no Brasil 33
2.1.4.1 Projetos de utilização da energia solar térmica no Brasil 36
2.1.4.2 Projetos de utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil 38

3 COMPONENTES DO SISTEMA 40
3.1 PAINEIS SOLARES 40
3.1.1 Primeira Geração 42
3.1.1.1 Painéis Solares Monocristalinos 43
3.1.1.2 Painéis Solares Policristalinos 43
3.1.2 Segunda Geração 44
3.1.2.1 Silício amorfo hidrogenado 45
3.1.2.2 Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS) 45
3.1.2.3 Telureto de cádmio 46
3.1.3 Terceira Geração 46
3.2 CONTROLADORES DE CARGA 47
3.3 INVERSORES 48
3.4 BATERIAS 49
3.5 CONFIGURAÇÕES BÁSICAS 51
3.5.1 Sistemas híbridos 51
3.5.2 Sistemas isolados 52
3.5.2.1 Carga CC ou CA sem armazenamento 52
3.5.2.2 Carga CC ou CA com armazenamento 53
3.5.3 Sistemas conectados à rede 54

4 REGULAÇÃO DOS MICROS E MINIGERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL 57
4.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA PARA ACESSO A REDE DE DISTRIBUIÇÃO 58
4.2 REQUISITOS PARA CONEXÃO AO SISTEMA ELÉTRICO DA CELESC DISTRIBUIÇÃO 58
4.2.1 Viabilização de projeto 59
4.2.2 Critérios básicos de conexão 61

4.2.3 Requisitos do sistema de proteção e qualidade de energia 61
4.2.4 Requisitos do sistema de medição de energia 64
4.3 COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA 64

5 ESTUDO DE CASO 66
5.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA INSTALADO 66
5.1.1 Painel solar 68
5.1.2 Inversor 72
5.1.2.1 Compatibilidade com Painéis Solares 73
5.1.2.2 Rastreamento do Ponto de Potência Máxima (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*) 73
5.1.2.3 Caixa de Fiação 73
5.1.2.4 Instalação Individual 73
5.1.2.5 Instalação com Múltiplos Inversores 74
5.1.2.6 Requisitos de Tensão e MPPT 74
5.1.2.7 Especificações Elétricas 75
5.1.3 Sistema de proteção da instalação 77
5.1.3.1 Disjuntor CA 77
5.1.3.2 Interruptor CA/CC 77
5.1.4 Sistema de aterramento 77
5.1.4.1 Fusível de Falha de Aterramento 78
5.1.4.2 Aterramento do Painel Fotovoltaico 78
5.1.5 Condutores 79
5.2 ANÁLISE DO CASO ESTUDADO 81

6 PROJETO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ISOLADO 83
6.1 RECURSO SOLAR 83
6.2 ESTIMATIVA DA CURVA DE CARGA 86
6.3 ÂNGULO DE CAPTAÇÃO 88
6.4 ARMAZENAMENTO 90
6.5 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA 92
6.6 COMPONENTES BÁSICOS 94
6.6.1 Controladores de carga 94
6.6.2 Inversores e conversores CC-CC 95
6.7 PROJETO ELÉTRICO 96
6.7.1 Diodos de passo e bloqueio 96
6.7.1.1 Diodos de passo 97
6.7.1.2 Diodos de bloqueio 98
6.7.2 Condutores 100
6.7.3 Proteções 101
6.7.3.1 Aterramento 102
6.7.4 Controle 103
6.8 ANÁLISE DO PROJETO ELABORADO 103

CONCLUSÃO 105

REFERÊNCIAS 108

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a economia moderna está alicerçada no consumo de energia elétrica, portanto, quanto mais industrializado o país, maior será a demanda energética necessária para manter a sua produção.

A disponibilidade de energia de um país ou região, além de impactar em seu desenvolvimento econômico, tem uma forte relação com a qualidade de vida das pessoas que ali vivem. Sendo assim, estes fatores vêm resultando desde os dois últimos séculos numa grande parte de avanços e inovações tecnológicas direcionadas a obtenção de energia elétrica e água potável.

Independente do método aplicado para a obtenção de energia elétrica, sempre haverá a produção de problemas ambientais e/ou o desequilíbrio de ecossistemas. O tamanho e a importância de tais problemas se mensuram de acordo com a fonte energética escolhida.

As primeiras pesquisas de exploração de energias renováveis surgiram no momento em que houve o desencadeamento das primeiras crises econômicas relacionadas à utilização de combustíveis para a produção de energia elétrica, e a necessidade de solucionar os problemas ambientais que foram gerados.

As questões sobre energia continuam se apresentando como uma importante fonte de pesquisa, uma vez que seu aproveitamento não atingiu níveis satisfatórios e que a grande parte da energia empregada ainda provém de fontes não renováveis.

O interesse pela busca de novas fontes de energias renováveis é, principalmente, pela minimização e substituição do uso de algumas tecnologias de geração que possuí elementos não renováveis como combustíveis.

Pode-se destacar a eólica, a marítima e a energia solar que se caracterizam como inesgotáveis, sendo consideradas como alternativas energéticas muito promissoras para enfrentar os desafios da expansão da oferta de energia com um menor impacto ambiental.

Hoje em dia, as formas de geração de energia renovável que se evidenciam são: solar, eólica, de ondas e hidroeletricidade. Dentre as acima citadas, serão concentrados esforços apenas a respeito da energia solar, que será o tema central de estudo neste trabalho.

O primeiro contato com o efeito fotovoltaico, que se trata da diferença de potencial gerada na extremidade de condutores após a absorção de luz, ocorreu em meados do século XIX. Porém, esta tecnologia não possuiu uma grande aceitação comercial, nesta época, devido ao seu alto custo de produção.

A energia fotovoltaica entrou com grande ênfase para o quadro de pesquisas e aplicações tecnológicas no país após a crise energética que aqui se fez presente. E em pouco tempo, este método de geração veio sendo altamente aplicado como uma solução na obtenção de fontes alternativas de energia.

Além da aplicação na obtenção de energia elétrica, com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura pode-se ter um melhor aproveitamento da energia solar em projetos de construções civis. Quando aplicado de forma inteligente, através da absorção da radiação solar, há a possibilidade da redução do consumo de energia elétrica no atendimento a necessidades de iluminação e aquecimento.

Atualmente esta se tornando natural a aplicação de energia solar em projetos de obras civis. Edifícios comerciais constantemente beneficiam-se deste recurso como uma alternativa limpa e economicamente viável para a redução do consumo de energia elétrica.

Este trabalho de conclusão de curso tem como ênfase o estudo da aplicação de energia solar em edifícios comerciais, realizando-se á analise de um projeto construído e o estudo para a expansão deste.

1.1 TEMA

Geração de energia elétrica de forma distribuída, obtida através da captação de energia solar utilizando células fotovoltaicas, aplicada a edifícios comerciais.

1.2 JUSTIFICATIVA

O trabalho justifica-se pela tendência crescente da implantação de fontes de energia renovável em edifícios comerciais, utilizando dos conceitos de micro ou minigeração conectados à rede externa. A principal finalidade desta tecnologia é reduzir o consumo de energia elétrica fornecida pelas concessionárias e pela contribuição na diminuição dos impactos ambientes gerados pelas atuais formas de obtenção de energia elétrica.

De acordo com RUTHER (2004), "sistemas fotovoltaicos integrados a edificações urbanas e interligados à rede elétrica pública são a mais recente tendência nesta área e se justificam porque tanto o recurso energético solar como a demanda energética em edificações urbanas têm caráter distribuído".

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

O principal objetivo é:

Entender o conceito de micro e minigeração para elaboração de um projeto de geração de energia solar fotovoltaica que atenda as necessidades energéticas de edifícios comerciais.

1.3.2 Objetivo específico

Estudar o funcionamento de um sistema de captação e geração de energia solar, de forma a entender todo o processo de sua obtenção, compreendendo a função de cada

equipamento constituinte do sistema, a integração destes e o processo de transformação energia solar em energia elétrica.

Analisar e apresentar a norma regulamentadora que estabelece as condições gerais para acesso dos sistemas de geração à rede de distribuição de energia elétrica da Celesc.

Visualizar e entender como ocorre à geração nos sistemas conectados à rede (*grid-tie*), para então avaliar o sistema instalado na empresa Dígitro Tecnologia Ltda.

Compreender sistemas de geração isolados (*off-grid*), a fim de elaborar um projeto com o objetivo de propor alterações viáveis ao atual sistema instalado na empresa.

1.4 MOTIVAÇÃO

Esta pesquisa fundamenta-se na busca constante por avanços tecnológicos necessários para a consolidação de sistemas de geração de energia elétrica renovável, aplicados individualmente a consumidores. Com o emprego destes sistemas procura-se contribuir com as concessionárias na geração de forma distribuída, na redução das faturas de usuários com alto índice de consumo, e na transformação das instalações destas unidades em ambientes sustentáveis.

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para atingir o objetivo postulado utilizamos à pesquisa bibliográfica/webliográfica, a fim de esclarecer sobre algumas pesquisas feitas nesta área e obter maior conhecimento sobre o tema escolhido, pois é nela que se busca fundamentação teórica e até mesmo prática para a discussão do problema.

Para Manzo (1971, p.32), a bibliografia pertinente “oferece meios para definir, resolver, não somente problemas já conhecidos, como também explorar novas áreas onde os problemas não se cristalizaram suficientemente” e tem por objetivo permitir ao cientista “o

reforço paralelo na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações" (TRUJILLO, 1974, p.230). Dessa forma, a pesquisa bibliográfica não é mera repetição do que já foi dito ou escrito sobre certo assunto, mas propicia o exame de um tema sob novo enfoque ou abordagem, chegando a conclusões inovadoras. (MARCONI; LAKATOS, 2009, p.185). Para Andrade (2005, p.126):

> A pesquisa bibliográfica tanto pode ser um trabalho independente como constituir-se no passo inicial de outra pesquisa. Todo trabalho científico pressupõe uma pesquisa de bibliografia preliminar.

De acordo com Fachin (2005, p. 120):

> Entende-se por pesquisa bibliográfica, em termos genéricos, é um conjunto de conhecimentos reunidos em obras de toda natureza. Tem como finalidade conduzir o leitor à pesquisa de determinado assunto, proporcionando o saber. Ela se fundamenta em vários procedimentos metodológicos, desde a leitura até como selecionar, fichar, organizar, arquivar, resumir o texto, ela é base para as demais pesquisas.

1.6 ESTRUTURA DO PROJETO

O trabalho esta estruturado em três seções, sendo a introdução, o desenvolvimento e as considerações finais.

Na introdução, que se trata do capítulo um, apresentam-se as primeiras considerações sobre o tema estudado e os itens metodológicos para o desenvolvimento da pesquisa.

Na segunda seção, o desenvolvimento, está dividido em cinco capítulos: o capítulo dois dedica-se a fundamentação teórica sobre os sistemas de geração de energia solar; capítulo três refere-se às partes que constituem estes sistemas; o capítulo quatro contém a norma regulamentadora para micro e minigeração distribuída; capítulo cinco reserva-se a análise do atual cenário; capítulo seis apresenta-se a elaboração de um novo projeto que tem como objetivo propor alterações economicamente viáveis.

Na terceira e última seção, considerações finais, está apresentada a conclusão dos autores referente à pesquisa elaborada e ao estudo de caso.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A princípio, faz-se necessário elucidar que os estudos sobre energia renovável se encontram em constante pesquisa, principalmente se tratando da energia solar, devido ao seu alto custo para implantação, bem como melhoria no rendimento das células fotovoltaicas que se apresentam como o "coração" do sistema. Assim, antes do entendimento acerca da composição do sistema de energia solar fotovoltaico, é imprescindível a sumária compreensão sobre a energia solar e suas formas de aproveitamento.

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar tem colaboração de forma indireta em quase todas as fontes de energia atualmente disponíveis, dentre elas podemos destacar: hidráulica, energia dos oceanos, eólica, biomassa e combustíveis fósseis. Pode ainda ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, usada para aquecimento de fluídos, ambientes e ainda para geração de potência mecânica ou elétrica.

"Energia solar é o nome dado a qualquer tipo de captação de energia luminosa originada pelo sol. Caracteriza-se por ser uma opção renovável e limpa de produção de energia" (GUERRA; YOUSSEF, 2012, p. 212).

Estima-se que a potência radiante que chega a superfície terrestre com o céu claro ao meio-dia seja da grandeza de 1.000 W/m². Com isto, teríamos disponível diariamente a energia equivalente a demanda energética total do planeta durante um ano. Mas nem toda energia está disponível para o homem, boa parte dela é utilizada na manutenção dos processos naturais e vitais do planeta.

Segundo o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB):

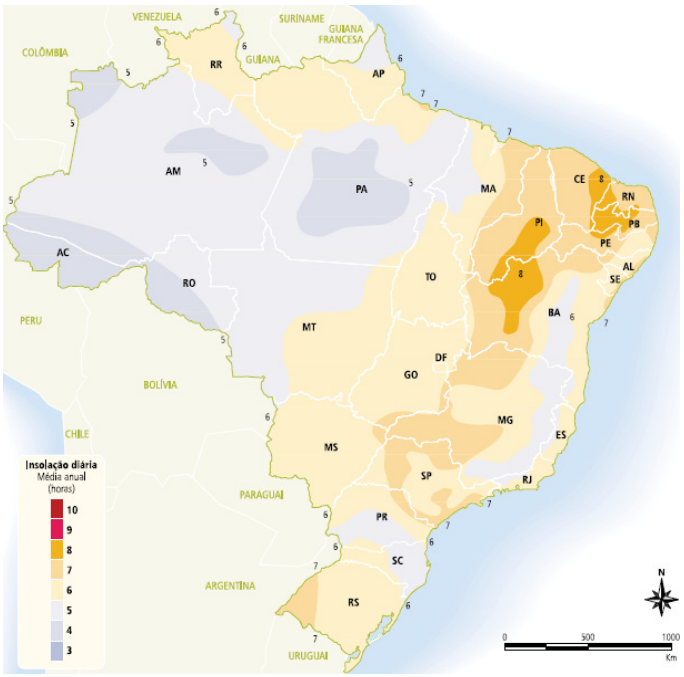
> Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia

> solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial (CRESESB, 2000).

A partir dos dados do relatório "Um Banho de Sol para o Brasil" do Instituto Vitae Civilis, podemos destacar que através da localização do Brasil, e por sua extensão territorial, a energia solar que incide sobre o Brasil é da ordem de 1013 MWh (mega Watt hora) anuais. Isto corresponde a aproximadamente 50 mil vezes o seu consumo anual de eletricidade. Ainda que apresente estes valores tão altos, o Brasil possui poucos equipamentos de conversão de energia solar em outras fontes de energia.

De acordo com o mapa apresentado na Figura 1, fornecido pelo Atlas Solarimétrico do Brasil (2000), pode-se analisar a média anual de insolação diária no país. O Brasil possui uma extensa área geográfica, onde parte de seu território está localizado próximo a linha do equador e uma pequena área próxima ao trópico de capricórnio, por isso percebe-se que não há uma grande variação na duração de incidência diária de energia solar sobre o território brasileiro.

Figura 1 - **Mapa da média anual de insolação diária.**



Fonte: ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03_Energia_Solar(3).pdf>. Acesso em 28 fev. 2014.

Dentre as utilizações para o aproveitamento da energia solar, alguns dos mais empregados atualmente são para o aquecimento de água e para a geração fotovoltaica de energia elétrica, classificando-as, respectivamente, como energia solar fototérmica e energia solar fotovoltaica.

2.1.1 Energia solar fototérmica

Neste método tem-se, instantaneamente, a conversão da energia solar em energia térmica. O aproveitamento de energia solar se dá através da incidência de energia térmica sobre materiais capazes de absorvê-los e armazená-los, conhecidos como coletores e concentradores solares.

Pode-se usar como um exemplo básico deste sistema a aplicação no aquecimento de fluídos, onde há a incidência de energia solar sobre uma superfície escura a fim de convertê-la em calor.

A energia solar térmica tem como vantagem o caráter de ser uma geração distribuída, resultando na diminuição da necessidade de demanda por correções em linhas de transmissão. Isto tem como consequência à redução em investimentos governamentais em sistema de geração e transmissão de energia elétrica.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA):

> Uma parcela significativa de toda a energia gerada no Brasil é consumida na forma de calor de processo e aquecimento direto. Parte desta demanda poderia ser suprida por energia termossolar, inclusive na forma de pré-aquecimento para processos que demandam temperaturas mais altas. (MMA)

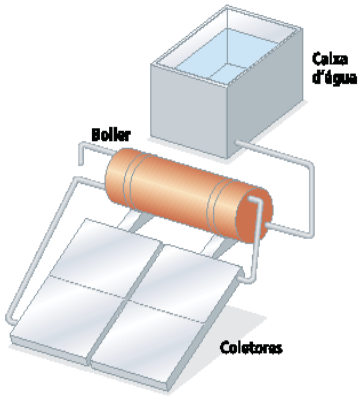
Praticamente, toda a energia destinada para o aquecimento de água costuma ser usada ao mesmo tempo, no chamado horário de pico, o que resulta numa sobrecarga do sistema elétrico. Atividades direcionadas para a difusão e desenvolvimento de novas tecnologias solar térmica diminuem a demanda energética necessária neste horário.

2.1.1.1 Coletores solares

Os coletores são utilizados em pequenas e médias construções civis, como hospitais, residências, hotéis, etc. Estes são utilizados para o aquecimento da água em temperaturas inferiores a 100 °C. Nele tem-se o aquecimento da água que após passar por aquecimento é mantida em reservatórios específicos até seu uso final. A maior aplicação dos coletores solares no Brasil encontra-se nas regiões sul e sudeste, onde as temperaturas mais baixas são predominantes em algumas estações.

Esse sistema de aproveitamento térmico da energia solar também pode ser chamado de aquecimento solar ativo, por utilizar um coletor solar discreto que geralmente fica instalado no telhado das residências e edificações. Este tipo de sistema pode ser verificado na Figura 2.

Figura 2 - **Estação do sistema solar de aquecimento de água**



Fonte: ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf>. Acesso em 28 fev. 2014.

Devido à incidência de radiação solar ser intermitente, ou seja, têm-se dias e noites, além de períodos nublados e chuvosos, para o bom funcionamento da instalação dos coletores solares deve-se prever uma forma de aquecimento auxiliar, que pode ser elétrico ou a gás.

2.1.1.2 Concentrador solar

A função dos concentradores solares é captar a energia solar que incide numa área grande e concentrá-la numa área muito menor, desta forma tem-se também a concentração da temperatura. Os espelhos da superfície refletora têm forma parabólica ou esférica, de modo que os raios solares que nela incidem sejam refletidos para uma superfície bem menor, formando um foco, onde se localiza o material a ser aquecido.

Os sistemas parabólicos de alta concentração podem ser utilizados na geração de vapor. Estes sistemas são aplicados no acionamento de turbinas a vapor, que posteriormente, transformam energia mecânica em energia elétrica.

Pode-se verificar na Figura 3, como exemplo, um concentrador cilíndrico-parabólico construído no Laboratório de Energia Solar da UFRN.

Figura 3 - **Concentrador cilíndrico-parabólico construído no LES-UFRN**

Fonte: UFRN. Disponível em <ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/JOSERSF.pdf >. Acesso em 28 fev. 2014.

2.1.2 Energia solar fotovoltaica

No ano de 1839, de acordo com CRESESB, Edmond Becquerel presenciava o efeito fotovoltaico, ou seja, a diferença de potencial gerada em materiais semicondutores após a aplicação de luz solar.

Esta conversão se torna possível a partir da utilização de células solares, que tem como propriedade usar os fótons presentes na luz solar para excitar os elétrons de semicondutores e transformá-los em energia elétrica.

O sistema fotovoltaico também pode gerar eletricidade na ausência de incidência de luz solar, como exemplo os dias nublados. A quantidade de energia gerada dependerá da densidade de nuvens presente, as quais refletem os raios solares e prejudicam, desta forma, a geração de energia elétrica.

De acordo com GUERRA, YOUSSEF:

> Pesquisas que buscam o aumento da eficiência nos sistemas fotovoltaicos têm sido desenvolvidas e enfocam diferentes alternativas para alcançar este objetivo. As variadas tecnologias de construção das células fotovoltaicas têm resultado em melhor eficiência na conversão de energia solar em elétrica. (GUERRA; YOUSSEF, 2012, p. 287).

2.1.2.1 Efeito fotovoltaico

O elemento semicondutor trata-se de um átomo que possui quatro elétrons na camada de valência, ou seja, na sua última camada de elétrons. Sabe-se que a camada de valência de um átomo pode possuir no máximo oito elétrons, e a tendência deste elemento em ceder ou atrair mais elétrons está exatamente na quantidade destes em sua última camada.

Umas das vantagens de um elemento semicondutor é que em altas temperaturas pode-se haver a transferência de elétrons de uma camada para outra. Porém, um material semicondutor puro não possui as características para este processo.

O semicondutor mais utilizado na produção de células fotovoltaicas é o silício, e como descrito anteriormente, um semicondutor puro não possui a capacidade de transferir um elétron de um átomo para o outro, pois não há bases de captação que possa gerar uma corrente elétrica. Por este motivo, através de processos químicos, é adicionado fósforo ou boro a composição do silício, para ceder às características necessárias de uma célula fotovoltaica.

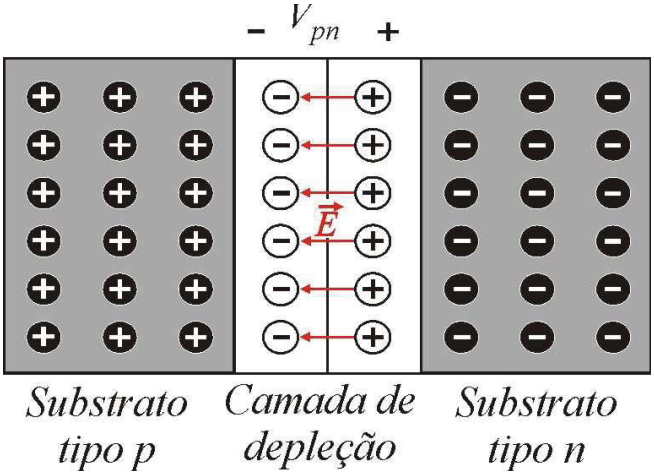
O fósforo é um elemento químico, que puro, possui cinco elétrons na camada de valência. Ao adicionar este elemento a uma rede de silício, um elétron estará sobrando para cada átomo de fósforo adicionado, tornando o material um potencial eletricamente negativo, capaz de ceder elétrons, denominando-se "dopante N".

Em contrapartida, o boro tem função reversa. Por possuir três elétrons na camada de valência, adicionando este elemento a uma rede de silício, torna o material com potencial elétrico positivo, capaz de atrair elétrons, denominado de "dopante P".

As células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, e com o auxilio da dopagem é possível obter um material com elétrons livres ou carga negativa, tipo N, quando é feita dopagem com Fósforo; ou um material com carga positiva, tipo P quando é feita a dopagem com Boro.

Na célula fotovoltaica tem-se a junção de uma camada de material tipo P sobreposta a uma camada de material tipo N. Ao serem unidas, forma-se um campo elétrico próximo à junção, conforme pode ser verificado na Figura 4.

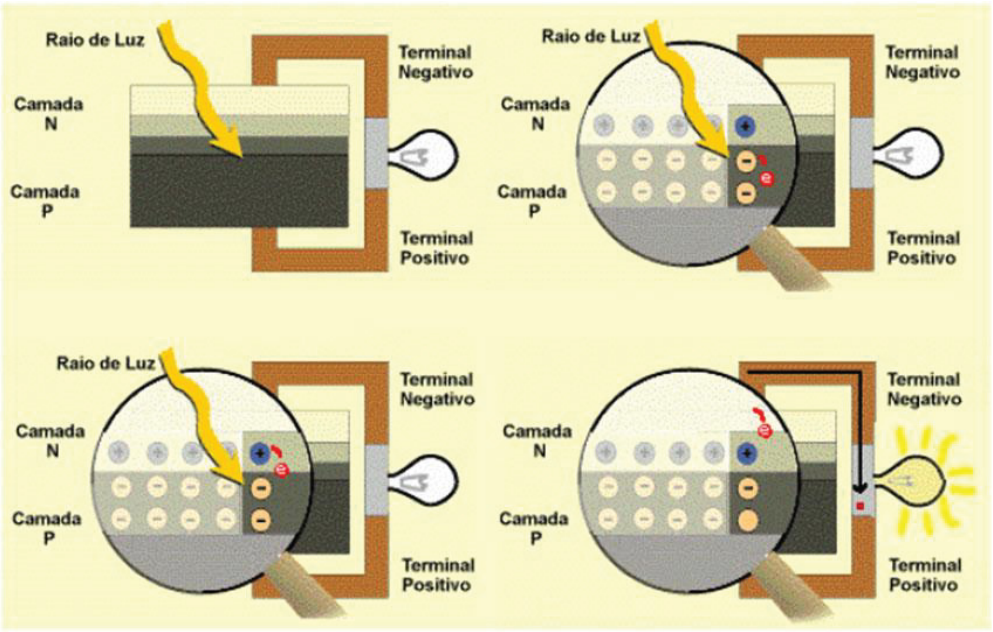
Figura 4 - **Junção "PN" e camada de depleção numa célula fotovoltaica de silício**



Fonte: CRESESB/CEPEL.

A energia dos fótons presentes na luz do sol faz com que elétrons da camada P sejam transferidos para a camada N, resultando numa diferença de potencial nas extremidades do semicondutor, conhecido como efeito fotovoltaico. A Figura 5 apresenta o processo de deslocamento dos elétrons, gerando corrente elétrica.

Figura 5 - **Efeito fotovoltaico**



Fonte: CRESESB/CEPEL.

Conforme disponível na página da Eletrosul (http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1151), o termo fotovoltaico é o casamento de duas palavras: **Foto**, que tem sua raiz na língua grega e significa "luz" e **Voltaico**, que vem de "volt" e é a unidade de medição do potencial elétrico. Em outras palavras, produção de eletricidade a partir da luz.

2.1.3 Aplicação da energia solar no mundo

O maior desenvolvimento no âmbito da energia solar se dá nos países com maiores recursos, devido à compreensão de que esta fonte tenderá a ser uma das mais importantes no futuro. Para ABRAVA, "Cada vez mais o âmbito social tem buscado alternativas energéticas para suprir algumas das necessidades humanas e a cada dia se tornam mais importantes dentro da matriz energética de vários países, tais como o crescente uso da energia solar fotovoltaica (ABRAVA, 2008)".

GUERRA e YOUSSEF afirmam que:

> O cenário mundial de energia solar fotovoltaica continua em ascendência, o mesmo expandiu 42% de 2003 a 2004, alcançando índices de 2,6 GWp (IEA; PVPS, 2006). Desse índice 2,1 GWp representam aplicações conectadas à rede. Destaca-se que apenas na última década o mercado duplicou quatro vezes (GUERRA; YOUSSEF, 2012, p. 22).

De acordo com EVERETT: "Nos países em que há maior uso da energia solar – Israel, Grécia, Austrália e Japão -, cerca de 80% a 90% dos equipamentos têm sido destinados ao uso doméstico (EVERETT, apud ANEEL)".

Conforme a Associação Européia da Indústria Fotovoltaica (EPIA): "a energia solar fotovoltaica teve uma expansão de 26% da energia renovável instalada no planeta, sendo a terceira principal fonte de geração de eletricidade (EPIA, apud MOREIRA, 2013)". A mesma também indicou que: "em 2012 a capacidade acumulada de geração de energia fotovoltaica no mundo atingiu o patamar de pouco mais de 102 Gigawatts (GW). Por ano, estas instalações poupam 53 milhões de toneladas de gás carbônico (CO2) (EPIA, apud MOREIRA, 2013)".

Os pontos onde temos as maiores capacidades de geração de energia estão instalados no continente europeu, onde a Alemanha lidera a produção com cerca de 24.700 MW, seguida pela Itália. Esta economia fez o governo da Alemanha se propor a instalar 66 GW de capacidade fotovoltaica de energia solar até 2030.

O Japão também vem se destacando o uso desta tecnologia, onde em 2011 ampliou sua capacidade instalada em 1.00MW, resultando num total acumulado de 4.700MW.

Já a China possui aproximadamente 2.900 MW, porém, no ano de 2007, produziu aproximadamente 23% dos produtos fotovoltaicos utilizados no mundo. A maioria da sua produção é exportada, no entanto, a China pretende alcançar 20 a 30 GW até o ano de 2020.

Pode-se então destacar que a produção de energia através do uso da energia solar cresceu na última década em todo o mundo, isso se deve principalmente pela busca em substituir os combustíveis existentes pelas fontes limpas.

2.1.4 Aproveitamento da energia solar no Brasil

Desde a década de 60 o Brasil possui tecnologias que utilizam coletores para aquecimento de água. Mas conforme a ABRAVA (Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento), há um pouco mais de meio milhão de residências no país que possuem coletores solares instalados, o que não é o suficiente para impactar no consumo total de energia elétrica.

De acordo com a DASOL:

> Ao final de 2011, a área acumulada de aquecedores no Brasil chegou a 7,31 milhões de m². Para o DASOL, o crescimento da produção nos últimos anos está relacionado à ampliação da consciência ambiental e sustentabilidade com utilização de fontes limpas de energia e ações de eficiência energética (DASOL).

Em relação aos sistemas de geração fotovoltaica, há poucas aplicações no país e o mesmo consta de um número mais razoável de instituições voltadas a realizar pesquisas neste âmbito. As pesquisas relacionadas à tecnologia fotovoltaica surgiram na década de 60 no Brasil, mas somente em 1973 começou a ser difundida comercialmente. No que tange à tecnologia fotovoltaica, o mercado brasileiro ainda caminha lentamente, restringindo-se na grande maioria a programas governamentais e a projetos de eletrificação de comunidades isoladas.

A geração de energia fotovoltaica no Brasil é mais aplicada no norte e nordeste, onde se tem maior incidência solar, além destas regiões estarem isoladas do sistema energético interligado brasileiro.

Para GUERRA, YOUSSEF:

> A modularidade favorecendo sistemas distribuídos, já demonstra aplicações importantes para regiões isoladas no Brasil e poderá ser de importância crescente para aplicações de maior porte em 10, 20 anos interconectados à rede elétrica (GUERRA; YOUSSEF, 2012, p. 22).

Como forma de avaliar a disponibilidade de radiação solar no país, esforços recentes vêm ocorrendo neste âmbito, destacando-se os seguintes:

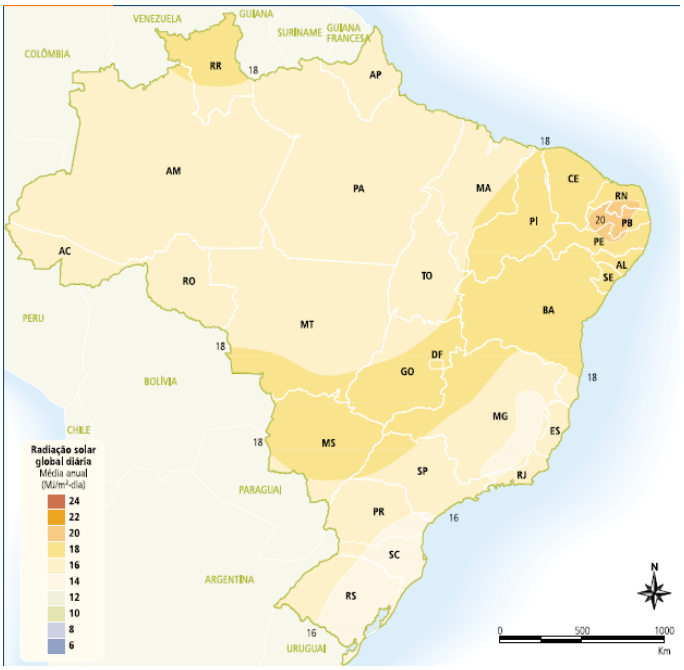
a) Atlas Solarimétrico do Brasil, iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB);

b) Atlas de Irradiação Solar no Brasil, elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Laboratório de Energia Solar (Labsolar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A partir de estudos, tem-se como resultado que a radiação solar no país varia de 8 a 22 MJ/m² durante o dia, sendo que as menores variações ocorrem nos meses de maio a julho, quando a radiação varia entre 8 e 18 MJ/m². Ainda de acordo com o resultado destes estudos, o Nordeste brasileiro é a região de maior radiação solar, que pode ser comparado a lugares como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia, EUA, que tem a melhor média anual do mundo.

Estes dados podem ser visualizados no Atlas Solarimétrico do Brasil, o qual apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. A resultante destes estudos pode ser verificada na Figura 6.

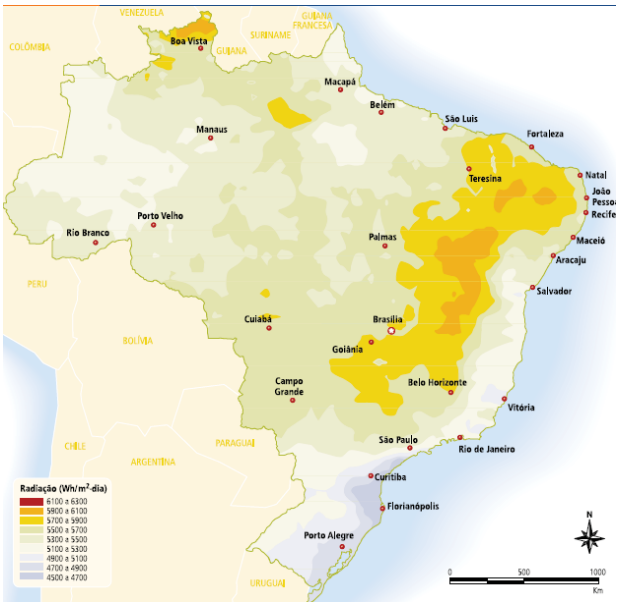
Figura 6 - **Radiação solar global diária no Brasil – média anual típica (MJ/m² dia)**



Fonte: ANEEL. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf>. Acesso em 28 fev. 2014.

No Atlas de Irradiação Solar no Brasil pode-se verificar as estimativas da radiação solar (Figura 7) obtidas a partir de imagens de satélites.

Figura 7 - **Radiação solar global diária no Brasil – média anual típica (Wh/m² dia)**



Fonte: ANEEL. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf>. Acesso em 28 fev. 2014.

De acordo com pesquisadores do Centro de Pesquisas de Eletricidade – CEPEL:

> Ambos os modelos apresentam falhas e limites e não devem ser vistos como concorrentes. Ao contrário, devem ser complementares, na medida em que reúnem o máximo possível de dados e podem, dessa forma, melhorar as estimativas e avaliações da disponibilidade de radiação solar no Brasil (CEPEL - CRESESB, 2000).

Muitos sistemas fotovoltaicos brasileiros foram instalados no decorrer do PRODEEM – Programa de desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, instituído pelo Governo Federal em dezembro de 1994, onde a Secretaria de Energia do Ministério de Minas e Energia – MME destinou US$ 37,25 milhões para 8956 projetos de 5112 kWp (quilowatt-pico) de potência.

No Brasil, o PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e recebe suporte do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), investe em fontes alternativas renováveis de energia elétrica em cumprimento à Lei nº 10.438/02[1], alterada pela Lei nº 10.762/03[2], respectivamente de 26 de abril de 2002 e de 11 de novembro de 2003. O programa disponibiliza uma linha de crédito que de acordo com o Ministério de Minas e Energia prevê o financiamento de até 70% do investimento.

2.1.4.1 Projetos de utilização da energia solar térmica no Brasil

Localizado em Belo Horizonte, o Villa Regia é um exemplo de casos de sucesso da aplicação de coletores solar em edifícios residenciais. Constando de 28 apartamentos, o projeto inicial era de um edifício com sistema de aquecimento de água a gás, porém, por intermédio dos moradores, foi projetado e aplicado na edificação um novo sistema de aquecimento de água a partir de coletores solares.

---

[1] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>

[2] Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200310762.pdf>

Com essa nova instalação, o edifício passou a ter um armazenamento de 10 mil litros de água quente, tendo como consequência à redução no consumo de gás, gerando uma economia de aproximadamente 51% no custo anual.

A Figura 8 apresenta a foto dos coletores solares instalados no telhado de um dos blocos do condomínio.

Figura 8 - **Coletores solares instalado no edifício Villa Regia – Belo Horizonte/MG**

Fonte: SOLARTHERMALWORLD. Disponível em: <http://solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Brasil%20RESIDENCIAL%20case%20studies.pdf>**.** Acesso em 08 mar. 2014.

De acordo com ABRAVA:

> São crescentes as aplicações da energia solar para aquecimento de água em conjuntos habitacionais e casas populares, como nos projetos Ilha do Mel, Projeto Cingapura, Projeto Sapucaias em Contagem, Conjuntos Habitacionais SIR e Maria Eugênia (COHAB) em Governador Valadares (ABRAVA, 2001).

A Figura 9 é a foto de um conjunto habitacional atendido com sistema de aquecimento da água através da energia solar, conforme informado anteriormente.

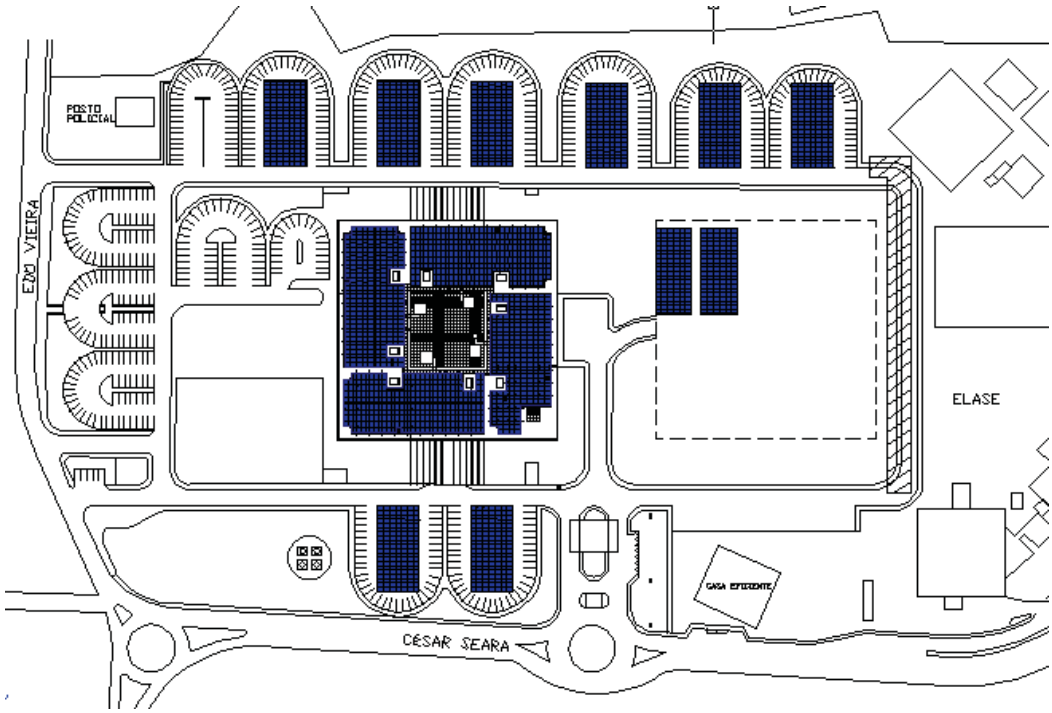
Figura 9 - **Conjunto Habitacional**

Fonte: Agencia Energia. Disponível em: <http://www.agenciaenergia.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=466&Itemid=82>**.** Acesso em 05 mar. 2014.

2.1.4.2 Projetos de utilização da energia solar fotovoltaica no Brasil

Localizado em Florianópolis, no edifício sede da ELETROSUL, o projeto MEGAWATT SOLAR consiste na implantação de um sistema fotovoltaico integrado ao edifício e área de telhados dos estacionamentos. Sua capacidade de geração será de aproximadamente 1 MWp (Megawatt pico máximo do sol). Este projeto será conectado à rede da distribuidora de energia elétrica local.

Figura 10 - **Planta de locação dos painéis - MEGAWATT SOLAR – ELETROSUL**



Fonte: ELETROSUL. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1150**>.** Acesso em 05 mar. 2014.

Em Tubarão, localizada às margens da BR 101, onde ocupa uma área de 10 hectares e receberá 19 mil painéis fotovoltaicos, está sendo instalado pela Tractebel Energia a Usina Solar Cidade Azul, que deve ficar pronta no primeiro semestre de 2014. No local de sua instalação ficava uma das bacias de cinzas desativadas do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda. Esta usina terá capacidade de gerar 3MWp no pico máximo do sol.

Figura 11 - **Usina Solar Cidade Azul**

Fonte: TRACTEBELENERGIA. Disponível em: <http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-em-construcao/solar-cidade-azul **>.** Acesso em 05 mar. 2014.

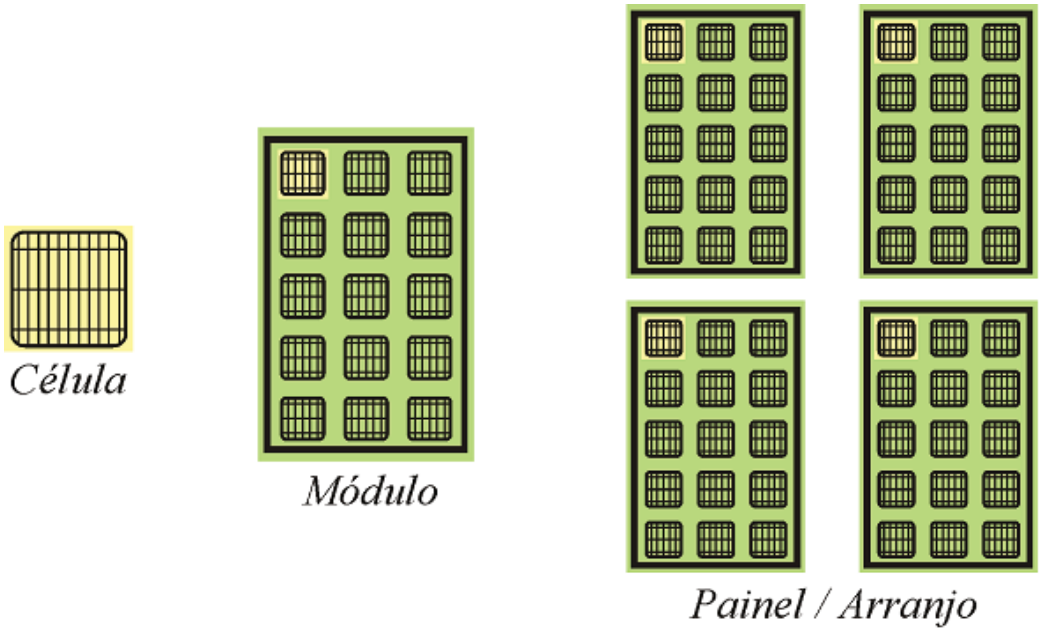
3 COMPONENTES DO SISTEMA

O sistema de energia solar fotovoltaica é formado por quatro componentes principais, estes são: Painéis solares, Controladores de carga, Inversores e Baterias.

3.1 PAINEIS SOLARES

O painel solar é formado por um conjunto de células fotovoltaicas associadas em série e/ou paralelo conforme a tensão corrente e potência de saída desejada, esses arranjos podem gerar desde alguns *kW* até potências na ordem de *MW*. Na Figura 12 podemos verificar estes arranjos que geram os módulos e, consequentemente, os painéis solares.

Figura 12 - Célula, módulo e arranjo fotovoltaico.



Fonte: COELHO, Roberto Francisco (Dissertação)

Conforme disponível em Neosolar (http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes)

> Existem inúmeras variações de painéis fotovoltaicos, mas para que se tenha uma ideia, um painel típico terá aproximadamente 1 m2 e pesa pouco mais de 10 Kg, é feito de 36 células solares capazes de produzir cerca de 17 volts em corrente contínua e uma potência de até 140 Watts. Os modelos geralmente variam de 5 até 300 Watts de potencia máxima, dependendo da intenção de uso e tecnologia empregada.

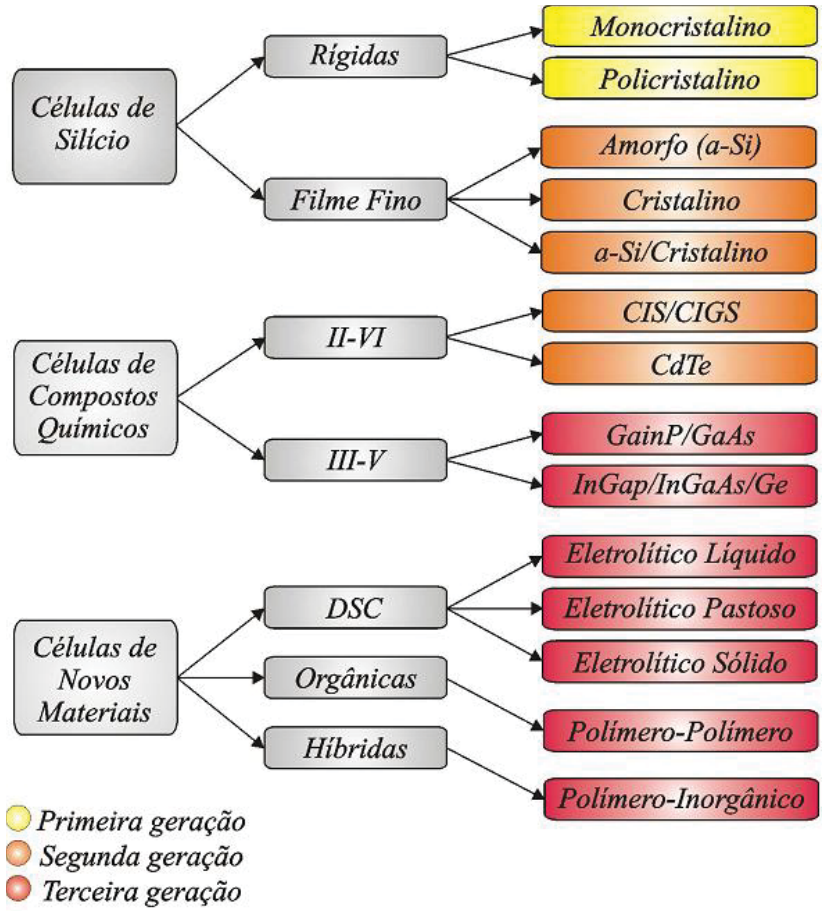
Sua produção se dá a partir de materiais semicondutores, onde podemos destacar o telurieto de cádmio, arsenieto de gálio, silício e índio. Mas estima-se que cerca de 95 % das células solares são produzidas a partir do silício.

Com o passar dos anos, diferentes materiais surgiram voltados à fabricação das células fotovoltaicas. Os materiais destinado à sua fabricação devem possuir alto índice de pureza, por isso precisam de varias seções de tratamento químico.

Sua eficiência é medida através da relação entre a radiação solar recebida sobre sua superfície e o quanto é convertido em energia. A eficiência das células existentes no mercado chega normalmente a atingir um limite de 25%.

O material utilizado para fabricação das células fotovoltaicas depende da eficiência pretendida. As células podem ser produzidas a partir de três tipos de materiais, sendo elas, células Silício, células de compostos químicos e células de novos materiais. Conforme pode ser verificado na Figura 13.

Figura 13 - Classificação das células fotovoltaicas em relação ao material utilizado.



Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: *Tecnologia fotovoltaica: qual o tamanho da oportunidade para os fabricantes de equipamentos?* Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/minapim/news/visArtigo.cfm?Ident=336&Lang=BR>. Acesso em 20 abr. 2014.

Mas podem ainda ser classificadas como sendo de primeira, segunda ou terceira geração, esta classificação também pode ser visualizada na Figura 13.

3.1.1 Primeira Geração

Conforme verificado na Figura 13 os painéis solares da primeira geração estão divididos em dois tipos que são: Monocristalinos e Policristalinos.

As placas solares a base de silício cristalino fornecem maior robustez e confiabilidade para o sistema de geração. Atualmente é a tecnologia mais tradicional e utilizada, mas seu alto

custo impede que sistemas de gerações de energia solares possam competir com as formas convencionais de geração.

Os módulos de silício cristalino podem ser produzidos a partir de silício mono ou poli cristalino. Para placas monocristalinas, o sistema fotovoltaico conta com alta confiabilidade e eficiência, porém o custo para a produção destes módulos é muito elevado. Em contrapartida, os policristalinos possuem um custo de produção mais baixo, mas tem sua eficiência reduzida.

No atual cenário comercial, as placas solares a base de policristalinos tem maior índice de produção em relação ao monocristalino, pois estes elementos, após constantes investimentos tecnológicos, passaram a contar com uma eficiência muito próxima a que é fornecida pelos monocristais.

3.1.1.1 Painéis Solares Monocristalinos

Para placas monocristalinas, o sistema fotovoltaico conta com alta confiabilidade e eficiência, porém o custo para a produção destes módulos é muito elevado. Sua maior eficiência se dá devido à utilização de silício com elevada pureza. São mais eficientes e feitos de células monocristalinas, sua fabricação envolve um processo complexo para fabricar os cristais únicos de cada célula.

De acordo com Tolmasquim (TOLMASQUIM, 2003), a sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade é da ordem de 15%.

3.1.1.2 Painéis Solares Policristalinos

Os policristalinos possuem um custo de produção mais baixo, mas tem sua eficiência reduzida. Não são tão eficientes quanto os monocristalinos e suas células são formadas por diversos cristais, com isso temos a aparência de um vidro quebrado.

No atual cenário comercial, as placas solares a base de policristalinos tem maior índice de produção em relação ao monocristalino, pois estes elementos, após constantes investimentos

tecnológicos, passaram a contar com uma eficiência muito próxima a que é fornecida pelos monocristais.

Segundo Tolmasquim (TOLMASQUIM, 2003), sua eficiência, na conversão de luz solar em eletricidade, é um pouco menor que a que corresponde ao silício monocristalino (da ordem de 13%).

3.1.2 Segunda Geração

Esta tecnologia facilita em alguns casos a instalação, mas, apresentam uma menor eficiência para conversão da energia solar.

O material fotovoltaico é depositado diretamente sobre uma superfície, como metal ou vidro para formar o painel. São muito mais baratos e também muito menos eficientes. A área disponível pode ser uma restrição, pois a baixa eficiência deve ser compensada por uma área maior.

A segunda geração está baseada em tecnologias de filmes finos, conforme Fraidenraich (FRAIDENRAICH, 2004), em termos percentuais, estas células apresentam rendimentos da ordem de 7% em aplicações comerciais.

Nos Painéis de Filme Fino o material fotovoltaico precisa ser depositado sobre uma superfície, como metal ou vidro formando assim o painel, seu preço é menor, mas apresenta menor eficiência, devido essa menor eficiência necessita de uma aérea maior para poder gerar a mesma potência.

Podemos então destacar alguns tipos de células da segunda geração:

3.1.2.1 Silício amorfo hidrogenado

Vários estudos e projetos estão em constante elaboração no intuito de encontrar meios de redução do material semicondutor e da energia utilizada no processo de fabricação de módulos fotovoltaicos.

Uma das alternativas que vem sendo amplamente estudada é a aplicação de filmes finos, e o silício amorfo, entre todos os materiais semicondutores disponíveis, possui maior participação na fabricação destes módulos. Por possuir sensibilidade à luz artificial e conter uma aparência estética mais agradável, este semicondutor também é amplamente aplicado em produtos de baixo consumo e em obras arquitetônicas.

O resultado do processo químico de fabricação do silício amorfo não alcança a eficiência dos silícios cristalinos, mas fornece baixos custos quando produzidos em alta escala.

Para Tolmasquim (TOLMASQUIM, 2003), sua eficiência na conversão de luz solar em eletricidade varia entre 5% e 7%.

3.1.2.2 Disseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS)

Os módulos baseados em disseleneto de cobre e índio apresentam alta eficiência e quando aplicado a filmes finos tem o maior rendimento fotovoltaico. O que implica na sua pouca utilização é a limitação da disponibilidade destes elementos na natureza e ao alto nível de toxina que estes elementos liberam. Assim como as placas a base de telureto de cádmio, investimentos tecnológicos são aplicados em grande escala para encontrar soluções para estes empecilhos que limitam a utilização destes elementos.

3.1.2.3 Telureto de cádmio

O Telureto de cádmio é um dos mais recentes elementos que vem sendo aplicado nos processos de fabricação de módulos fotovoltaicos, inclusive em filmes finos e produtos de baixo consumo de energia. Dentre todas as aplicações, seu maior interesse está em projetos arquitetônicos devido ao aspecto de vidro em tom marrom/azul escuro que o mesmo apresenta.

Possui alta eficiência e baixo custo de produção em larga escala, porém a baixa abundância dos elementos envolvidos e seu alto teor de toxidade implicam na produção e exige maiores investimentos tecnológicos para solução dos mesmos.

3.1.3 Terceira Geração

Esta é a tecnologia mais recente. Na terceira geração existem quatro tipos de construção das células, são eles células multijunção, células com corantes (*DSC*), células orgânicas e híbridas.

Veremos então alguns destes tipos de construção, mas que se encontram em fase de pesquisas em laboratório, estes tipos de construção tem previsto um rendimento maior que as células produzidas comercialmente.

> As células multijunção são constituídas, não apenas por um material semicondutor, mas por dois (*2J*), três (*3J)* ou quatro *(4J),* caracterizando a dupla, tripla ou quádrupla junção, respectivamente. A grande vantagem dessas células é o fato de permitirem a absorção diferenciada por comprimento de onda da luz incidente, aumentando significativamente a eficiência de conversão que pode chegar a 40% em laboratório (FRAIDENRAICH, 2004).

3.2 CONTROLADORES DE CARGA

São utilizados para evitar sobrecargas ou descargas exageradas na bateria e precisam controlar a sua tensão de entrada. Para que consiga desempenhar estas funções estão localizados entre os painéis e as baterias, tem-se esta necessidade, pois os painéis solares produzem mais ou menos energia dependendo da quantidade de luz solar que os atingem. Desta forma, é necessário fazer o controle da energia, pois as baterias não suportam esta variação.

Os Controladores de carga são instalados, para facilitar a máxima transferência de energia do arranjo fotovoltaico para a bateria ou banco de baterias, evitando danificá-los com cargas e descargas excessivas, aumentando, consequentemente, a sua vida útil. Denominações do tipo "Gerenciador de Carga", "Regulador de Carga" ou "Regulador de Tensão" também são comuns e referem-se aos controladores de carga com diferentes níveis de sofisticação.

São componentes críticos, pois, caso venham a falhar, a bateria ou a carga poderão sofrer danos irreversíveis. Eles devem ser projetados considerando o tipo de bateria que será utilizado, uma vez que um controlador projetado para uma bateria pode não carregar eficientemente outro tipo de bateria.

Os controladores desconectam o arranjo fotovoltaico quando a bateria esta totalmente carregada e interrompem o fornecimento de energia quando a bateria atinge um nível mínimo evitando danificá-la.

Os controladores de carga para o sistema Fotovoltaico são classificados em dois tipos: Controladores PWM e MPPT

- Controladores PWM – estes controladores PWM (*Pulse Width Modulation*) apresentam uma menor eficiência, mas ainda assim são os mais aplicados, devido o menor custo do produto.

  O controlador é comandado por um microcontrolador, sua utilização permite proteger a bateria contra cargas e descargas em excesso.

- Controladores MPPT – os controladores MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), apresentam uma maior eficiência, mas em contra partida

apresentam um custo muito elevado que pode chegar a duas vezes o preço do controlador PWM.

O arranjo fotovoltaico está submetido a diferentes níveis de radiação solar, sendo assim, o ponto de máxima potência varia dentro de uma faixa. Os Sistemas Fotovoltaicos, para otimização do ponto de operação, utilizam um controle eletrônico para aumentar o rendimento de geração, este controle é realizado por dispositivos seguidores do ponto de máxima potência, comumente chamados de MPPT - *Maximum Power Point Tracker*.

3.3 INVERSORES

É responsável por transformar corrente contínua (CC) em corrente alternada (AC). No caso de sistemas conectados à rede (*Grid-tie*), também é responsável pela sincronia com a rede elétrica da concessionária, alguns modelos de inversores disponíveis no mercado.

A utilização do inversor só não se faz necessária em pequenos sistemas isolados onde seja aproveitado diretamente à corrente continua (CC). Porém, praticamente todos nossos aparelhos eletrônicos utilizam corrente alternada (AC) necessitando assim do inversor.

Podemos então destacar os principais tipos de inversores que são classificados principalmente pela forma de onda da tensão na saída do inversor, estes inversores são:

- Inversores de Onda Quadrada – São mais baratos devido sua simplicidade, mas sua aplicação tem certas restrições, pois, alguns aparelhos tem seu funcionamento prejudicado quando alimentados com esta forma de onda. Servem apenas para pequenas aplicações.
- Inversores de Onda Senoidal Modificada – Este modelo de inversor é bastante utilizado devido ao seu custo não ser elevado, a onda de saída da tensão é uma onda intermediária entre a quadrada e a senoidal pura. Por ter esta forma de onda melhorada atende a maioria das aplicações, exceto aparelhos mais exigentes. Estes inversores atendem muito bem pequenas instalações.

- Inversores de Onda Senoidal Pura – Estes inversores são mais caros, mas seu preço tem se aproximado aos inversores de onda modificada. A onda da tensão produzida é praticamente uma onda senoidal perfeita e muitas vezes até mais limpa que a da própria rede elétrica. Podem alimentar qualquer tipo de aparelho.
- Inversores para Conexão à Rede (*Grid-tie*) – Caso sua instalação seja conectada à rede, você precisará de Inversor *Grid-tie*. Estes inversores, além de produzir uma onda senoidal pura, precisam sincronizar a freqüência com a rede elétrica. Geralmente possuem um mecanismo chamado "ilhamento", que garante que o sistema não energiza a rede quando esta for desligada, evitando eletrocutar pessoas durante procedimentos de manutenção.
- Microinversores para Conexão à Rede (*Grid-tie*) – Um novo tipo de inversor *grid-tie* que tem sido cada vez mais utilizado é o microinversor. Diferente dos inversores tradicionais (inversor central), cada microinversor é conectado a um único painel solar. Tem as mesmas proteções e apresentam vantagens sobre os inversores convencionais, como melhor eficiência, facilidade de instalação, modularidade, maior vida útil e facilidade de manutenção.
- Inversor/Carregador – Este tipo de inversor tem a capacidade de carregar as baterias utilizando-se de uma fonte de CA, tem ainda a função de evitar descargas das baterias de forma exagerada, permitindo uma redução do banco de baterias e evitando danos que possam ser causados as mesmas.

3.4 BATERIAS

Trabalham como pulmões. Armazenam a energia elétrica para que o sistema possa ser utilizado quando não há sol. São as baterias que determinam a autonomia de um sistema isolado. Um sistema de alarme, por exemplo, não pode deixar de funcionar devido a alguns dias sem sol e por isso as baterias poderiam ser dimensionadas para 7 dias de autonomia, por segurança. Já uma aplicação mais simples ou menos essencial, poderia ser dimensionada para

3 dias sem sol. Sistemas conectados à rede não necessitam de baterias já que a falta de sol é compensada pela energia da rede.

No sistema fotovoltaico o primeiro item que apresenta desgaste são as baterias, desta forma para sua escolha deve ser levado em conta dificuldade/custo de manutenção e troca. A previsão de durabilidade do sistema fotovoltaico é prevista para 30 anos ou mais, desta forma é importante fazer uma boa escolha para economizar com trocas de baterias em longo prazo.

Podemos então destacar os principais tipos de baterias que podem ser utilizados no sistema isolado:

- Baterias automotivas: Este tipo de bateria deve ser evitada, pois na concepção de projeto devem fornecer grandes correntes em curtos períodos, isto ocorre, por exemplo, na partida do automóvel, quando são usadas em descargas profundas como é o caso do sistema solar temos uma grande redução de sua vida útil.
- Baterias Estacionárias comuns: Por possuírem placas mais grossas que as convencionais utilizadas nas baterias, permitem serem utilizadas em descargas profundas. É a opção mais econômica e constitui de uma boa opção para sistemas pequenos. Vida útil: 4 a 5 anos.
- Baterias OPzS: São utilizadas em sistemas de geração de energia alternativa, apresentam um preço razoável quando comparado a sua vida útil. Estas baterias são ventiladas, com isso liberam gases e precisam de reposição de água de tempos em tempos, esses gases liberados são explosivos e, portanto essas baterias devem permanecer em local apropriado. Vida útil: > 10 anos.
- Baterias de Gel: Não liberam gases por serem seladas de gel, podendo permanecer em locais fechados. Possuem a possibilidade de utilizações especiais, como embarcações onde o gel se movimenta dentro da bateria. Vida útil: > 10 anos.
- Baterias AGM: Este tipo de bateria apresenta o eletrólito contido no interior de um invólucro de vidro, elas são seladas não liberando gases, apresentam um excelente desempenho. Tem um preço maior, mas geralmente pagam o investimento. Vida útil: >10 anos

3.5 CONFIGURAÇÕES BÁSICAS

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em três categorias, classificados como híbrido isolado ou conectado à rede. A diferença entre estes são as formas de aplicação e o aproveitamento de recursos energéticos.

Unidades geradoras não conectadas à rede elétrica de distribuição, ou seja, sistemas autônomos podem ser isolados ou híbridos, onde os híbridos diferem-se devido à contribuição de outras fontes de energia no produto final.

Sistemas conectados à rede tratam-se de configurações onde toda a potência gerada será fornecida à rede externa de distribuição.

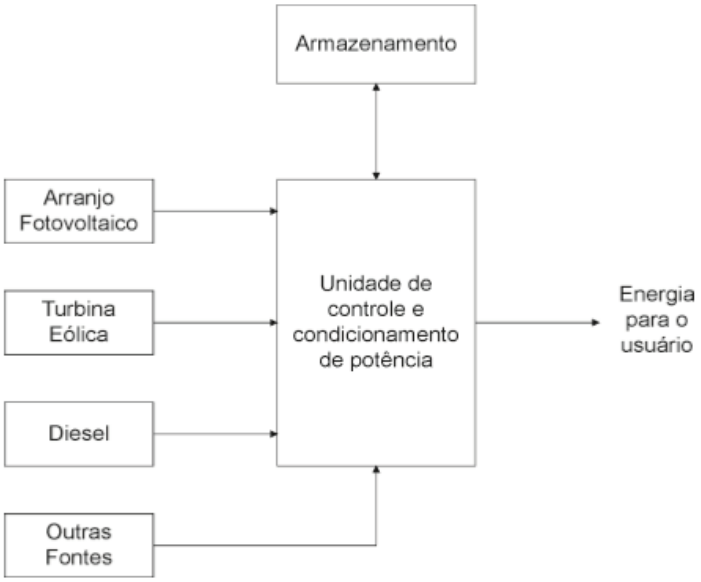
3.5.1 Sistemas híbridos

Trata-se de sistema híbrido a configuração que possui mais de uma forma de geração contribuindo para a produção de energia. Geralmente os circuitos alimentados por estas fontes são em corrente alternada e consistem de várias configurações possíveis, onde, usualmente, trabalha-se com a contribuição de geradores a diesel, turbinas eólicas e módulos fotovoltaicos.

Independente as fontes usadas, estes sistemas sempre exigirão a aplicação de controladores para integrá-las e otimizar a operação para o usuário.

A Figura 14 observamos a representação de um modelo de gerador híbrido. Nesta figura, a unidade de controle e condicionamento de potência consiste em um integrador para controlar o acionamento das diferentes fontes que estão conectadas ao mesmo.

Figura 14 - **Sistema híbrido**



Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

3.5.2 Sistemas isolados

Os sistemas isolados caracterizam-se pela geração de energia elétrica ser puramente fotovoltaica. Estes sistemas não são conectados à rede de distribuição de concessionárias, necessitando, geralmente, da aplicação de armazenadores de energia.

Dentre os sistemas isolados, de acordo com a alimentação das cargas e a aplicação de armazenamento de energia, há quatro configurações possíveis.

3.5.2.1 Carga CC ou CA sem armazenamento

Quando há geração sem armazenamento, a energia produzida é fornecida e consumida por uma carga, não específica, que estará diretamente conectada ao sistema.

Como exemplo, os sistemas de irrigação são instalações em que não há a aplicação de armazenadores de energia. A água será usada apenas com o predomínio do sol, e o que for bombeada aplicar-se-á imediatamente na irrigação.

Em instalações de corrente contínua a ligação é direta entre o sistema gerador e a carga, conforme representado na Figura 15.

Figura 15 - **Sistema isolado em CC sem armazenamento de energia**

Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

Nos casos de alimentação de cargas em corrente alternada, conforme representado na Figura 16, um inversor de frequência é introduzido entre o arranjo e o equipamento, para transformar à energia fotovoltaica gerada em corrente contínua.

Figura 16 - **Sistema isolado em CA sem armazenamento de energia**

Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

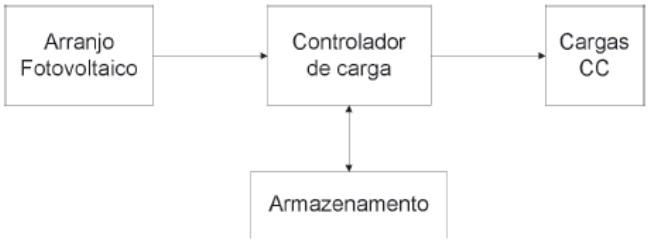
3.5.2.2 Carga CC ou CA com armazenamento

Sistemas fotovoltaicos com armazenamento de energia são aplicados quando há a necessidade de alimentar cargas de caráter de utilização intermitente, como iluminação, televisão, sistemas de comunicação, etc.

Nas instalações em corrente contínua, os sistemas possuem armazenamento de energia a partir de baterias, e geralmente contam com a aplicação de controlador de carga para proteger o sistema de possíveis sobrecargas ou descarga profunda. O uso de controladores,

mesmo sendo imprescindível à aplicação deste, pode ser descartado quando a capacidade de geração é muito inferior a de armazenamento ou quando os módulos fotovoltaicos apresentam corrente baixa na tensão de carga plena das baterias.

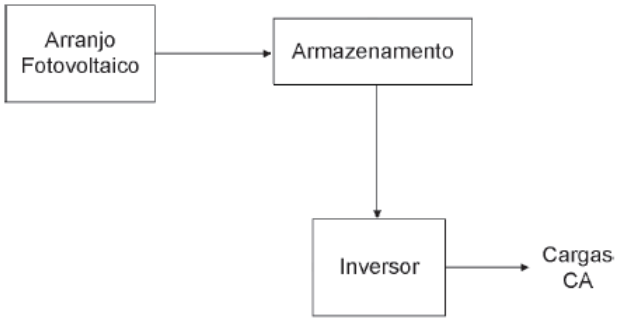
Figura 17 - **Sistema isolado em CC com armazenamento de energia**



Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

A aplicação de inversor de frequência é sempre realizada quando a carga a ser alimentada é em corrente alternada, este pode ser aplicado em sistemas com armazenamento conforme a Figura 18.

Figura 18 - **Sistema isolado em CA com armazenamento de energia**



Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

3.5.3 Sistemas conectados à rede

Um sistema conectado é caracterizado por estar ligado diretamente a uma rede de distribuição, operando como uma fonte complementar para o sistema elétrico. Nesta configuração, toda a potência gerada é fornecida à rede, portanto, não há instalações com armazenamento de energia. O que difere estes sistemas são as formas de conexão nos sistemas residenciais ou de grande porte.

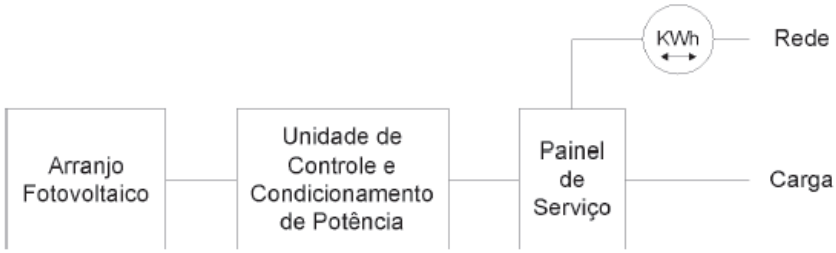
Nos sistemas de grande porte as conexões são similares aos residenciais, porém, se diferem por conectar-se à rede de média tensão. Nestas instalações há a aplicação de transformadores para elevar a tensão ao nível de distribuição que se faz necessária para esta configuração.

Em residências ou empresas equipadas com medidores especiais com a capacidade de girar nos dois sentidos, é possível fazer o medidor girar para trás quando o proprietário esta produzindo mais energia que consome, ou fazer ele girar mais devagar quando sua produção de energia não é suficiente para atender seu consumo.

A partir de diferentes legislações e exigências de qualidade de energia das concessionárias, os sistemas residenciais dispõem de três diferentes tipos de conexão à rede externa de acordo com o sistema de medição de energia a ser implantado: medição única do balanço de energia, medição dupla e medições simultâneas.

- Conexões de medição única: O balanço de energia, a remuneração da energia entregue pelo micro ou minigerador deve ser equivalente ao mesmo preço de comercialização da concessionária. Neste sistema será instalado, conforme apresentado na Figura 19, um único medidor que registrará a entrada e saída de energia elétrica, contabilizando ao final de um período, a diferença entre consumo e fornecimento a rede externa.

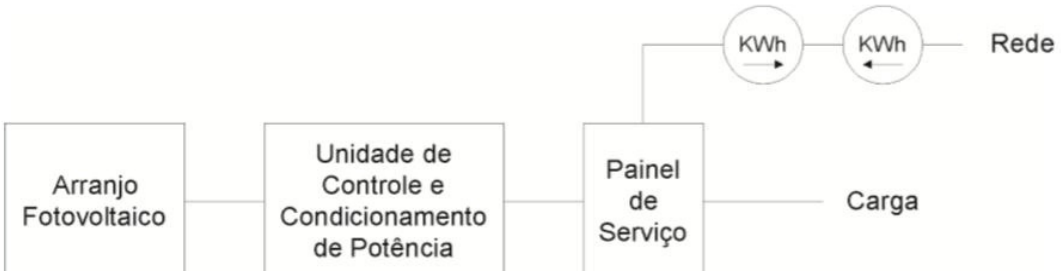
Figura 19 - **Medição única do balanço de energia**



Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos(CEPEL-CRESESB, 2004).

- Conexões de medição dupla: Temos a possibilidade de trabalhar com diferentes tarifas para a energia fornecida e consumida. Configurações com este tipo de conexão são similares ao de medição única, porém, nestas instalações empregam-se dois medidores unidirecionais de energia, que irão registrar, de forma independente e individual, o consumo ou a potência gerada.

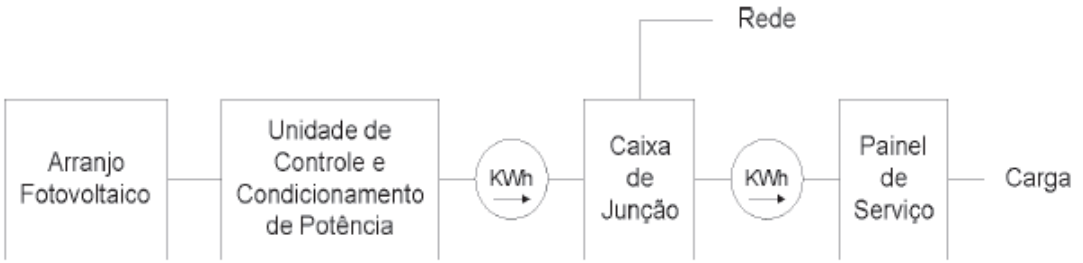
Figura 20 - Medição dupla do balanço de energia



Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

- Medições simultâneas: São aplicadas quando se faz necessária obter valores mais precisos referentes ao consumo ou a potência gerada por uma unidade. Nesta configuração, a conexão à rede difere-se pelos medidores não serem conectados ao painel de serviço local. Esta medida é adotada a fim de evitar interferências do circuito de consumo com o circuito de geração e/ou de medição de energia gerada. Se for de interesse do proprietário do sistema fotovoltaico, a caixa de junção deverá garantir que a energia possa chegar à rede, caso não seja necessária o consumo desta energia pela rede, o excedente poderá ser medido tendo sua compra garantida pela concessionária.

Figura 21 - Medições simultâneas



Fonte: Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004).

4 REGULAÇÃO DOS MICROS E MINIGERADORES DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Os consumidores de energia elétrica atualmente desfrutam da possibilidade de se tornarem independentes, gerando a sua própria energia. A energia gerada pelo consumidor é conectada à rede da concessionária, e comporta-se para o usuário como uma fonte complementar ao fornecido pela distribuidora. Neste sistema, a energia gerada pela fonte alternativa, seja eólica, solar fotovoltaica, hidráulica, cogeração qualificada, biomassa, etc., é consumida pelo cliente, e se houver excedente, o mesmo será fornecido à rede de distribuição, pois não há configurações com métodos para armazenamento de energia.

A prática de instalar sistemas de geração numa unidade consumidora e conectá-la à rede de distribuição elétrica ainda não está muito consolidada no Brasil. Buscando modificar esses dados, órgãos governamentais vêm trabalhando em normas e regulamentos para facilitar à integração com os consumidores, e para que estes sistemas de geração e de compensação de energia tornem-se culturais, tendo em vista de que se trata de uma atividade sustentável e economicamente viável.

De acordo com Ursaia (URSAIA, 2013):

> A geração de energia elétrica próxima ao local de consumo ou na própria instalação consumidora trará uma série de vantagens sobre a geração centralizada tradicional, como, por exemplo, economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica (URSAIA, 2013).

Ursaia complementa (URSAIA,2013):

> Ao contrário do que tem sido veiculada na mídia, a microgeração de energia elétrica não será uma ameaça as concessionárias, e muito menos a segurança da rede, mas sim uma importante ferramenta para redução de perdas e melhoria da qualidade da energia e na gerência da rede, aliada ao conceito *smart grid* permitindo aos gerenciadores de redes proverem controle da carga dos clientes conectados, bem como de suas unidades geradoras, obtendo assim o melhor aproveitamento da rede elétrica em todos os sentidos (URSAIA, 2013).

Como forma de regulação das unidades consumidoras que pretendem integrar-se ao sistema de distribuição, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) disponibiliza da

Resolução Normativa N° 482[3], que é uma das bases para a elaboração ou revisão de normas técnicas de concessionárias de energia elétrica.

4.1 RESOLUÇÃO NORMATIVA PARA ACESSO A REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Atendendo as exigências do mercado e a tendência de usuários solicitando a transferência de consumidor para agente gerador de energia elétrica renovável, a ANEEL aprovou no dia 17 de abril de 2012 a Resolução Normativa N° 482 (Anexo A), que descreve e estabelece as condições gerais para acesso a rede de distribuição local, as responsabilidades e deveres do usuário e da concessionária, os métodos de faturamento e o sistema de compensação de energia, entre outras disposições gerais.

A partir desta resolução, no âmbito de definição das novas unidades consumidoras constituída de uma central geradora, a ANEEL classifica-as de acordo com a potência fornecida ao sistema, definindo como microgeração distribuída aquele cuja potência instalada é menor ou igual a 100kW, e minigeração distribuída o contribuinte que possui uma potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1MW.

4.2 REQUISITOS PARA CONEXÃO AO SISTEMA ELÉTRICO DA CELESC DISTRIBUIÇÃO

De acordo com a região, há uma concessionária de energia com sua legislação local, baseada em resoluções normativas da ANEEL, Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST), leis brasileiras e normas técnicas, que estabelecem quais as condições de acesso ao sistema de distribuição e o método de compensação de energia elétrica.

[3] Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>

Como responsável pela concessão de energia elétrica, em Santa Catarina a Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc) disponibiliza as diretrizes e requisitos para o cliente que deseja tornar-se um agente mini ou microgerador no Estado.

Em forma de manual de procedimentos, a Celesc esclarece quais as etapas para viabilização de projeto, os critérios básicos, quais os requisitos do sistema de proteção, de medição e de qualidade de energia elétrica, entre outras disposições para a conexão destes agentes em baixa ou média tensão a rede de distribuição.

4.2.1 Viabilização de projeto

De acordo com as instruções normativas fornecidas pela Celesc, para um usuário conectar-se ao sistema elétrico de distribuição, há quatro etapas sequenciais que devem ser seguidas:

a) solicitação de acesso:

   O consumidor deve encaminhar para a Celesc Distribuição um formulário de solicitação de acesso, conforme modelo fornecido pela própria concessionária; fornecer memoriais de cálculo e descritivos da instalação, desenho e projeto elétrico da instalação, diagramas unifilares, desenhos e documentações técnicas de todos os equipamentos a ser instalado; disponibilizar de anotação de responsabilidade técnica (ART) assinada pelo profissional responsável pelo projeto elétrico, acompanhado da assinatura do titular da unidade consumidora.

   Todos os documentos devem ser encaminhados a agência regional da Celesc responsável pelo município onde será instalado o sistema de geração. A distribuidora irá avaliar os documentos fornecidos pelo usuário e caso estes não estejam completos, o mesmo terá um prazo máximo de 60 (sessenta) dias para disponibilizar as informações pendentes. Após este prazo, o processo será finalizado e o usuário, para dar continuidade à solicitação de acesso, deverá lançar um novo pedido.

b) parecer técnico de acesso:

Após análise dos documentos fornecidos pelo consumidor, caso não haja nenhuma necessidade de realizar obras ou reforços no sistema de geração, a Celesc Distribuição tem o prazo de até 30 (trinta) dias após a solicitação de acesso para fornecer um parecer técnico de acesso. Este "parecer" trata-se de um documento técnico onde se estabelece os requisitos e características da conexão, condições de acesso a ser atendido e as características do sistema.

Caso houver a necessidade de intervenção nas instalações do sistema de um cliente classificado como minigerador, o prazo que a Celesc possui para emitir e fornecer o Parecer Técnico de Acesso é de 60 (sessenta) dias após a solicitação de acesso.

É nesta etapa que a Celesc Distribuição disponibilizará o Aditivo de Contrato da unidade consumidora (Contrato de Fornecimento de Energia Elétrica / Contrato de Uso do sistema de Distribuição), formalizando as regras de faturamento. Se houver mais de uma unidade a participar do sistema de compensação de energia elétrica, todas deverão celebrar deste aditivo de contrato.

De acordo com o sistema de geração, a Celesc fornece um acordo operativo (minigeradores) ou acordo de relacionamento operacional (microgeradores), onde se celebra o acordo entre usuário e concessionária, definindo quais atribuições, responsabilidades e procedimentos necessários para o relacionamento técnico-operacional. Estes acordos devem ser fixados entre usuário e concessionária no prazo máximo de 90 (noventa) dias após emissão do Parecer Técnico de Acesso.

c) implantação da conexão:

Com a concretização das etapas iniciais e a formalização dos contratos, o usuário deverá solicitar a Celesc a vistoria da instalação, encaminhando uma ART de supervisão e de execução da obra realizada e o formulário de solicitação de vistoria, conforme modelo fornecido pela concessionária.

A agência visitará e avaliará a instalação do novo sistema de geração no prazo máximo de 30 (trinta) dias após recebimento da solicitação de vistoria, emitindo, em até 15 (quinze) dias após visita, um relatório de vistoria, apontando, se necessário, as possíveis pendências ainda a ser resolvidas.

d) aprovação do ponto de conexão:

Após a vistoria realizada pela Celesc, um relatório técnico de aprovação será fornecido em até 7 (sete) dias, concedendo ou não, acesso a rede elétrica. Caso haja pendências no sistema de geração, o usuário deverá corrigi-los e informar a concessionária sobre a conclusão das pendências, para assim ser realizada uma nova visita e posteriormente a aprovação do ponto de conexão.

4.2.2 Critérios básicos de conexão

Nestes processos de avaliação do projeto e instalação do novo sistema de geração, a Celesc possui critérios de conexão quanto à proteção e excelência da energia elétrica fornecida, pois a mesma não poderá comprometer a que está sendo fornecida aos consumidores. A nova conexão não deverá prejudicar o desempenho do sistema elétrico, a qualidade da energia, e a segurança dos equipamentos e colaboradores responsáveis pela manutenção e operação do sistema.

Caso o sistema integrado à rede ou o usuário responsável estiver irregular perante as diretrizes da concessionária ou oferecer algum risco iminente de danos, a Celesc tem o direito de desconectar as unidades consumidoras.

4.2.3 Requisitos do sistema de proteção e qualidade de energia

A Celesc não é responsável por qualquer ocorrência no sistema de geração, seja ele oriundo de defeito nos equipamentos, correntes de sequência negativa excessiva, surtos atmosféricos ou qualquer outro tipo de perturbação. A garantia de proteção para o sistema de geração é de responsabilidade do usuário, que responderá por qualquer acidente ou falha que comprometa a segurança dos colaboradores e equipamentos que envolvem a rede de distribuição.

O cliente não está eximido das manutenções preventivas periódicas e corretivas, que devem ser feitas até o ponto de conexão com a rede de distribuição. Deve ser capaz de detectar o desligamento da rede externa, para assim desconectar-se e não operar como um gerador isolado, alimentando outros clientes. No mesmo seguimento, o sistema também deverá estar parametrizado com a rede, afim de, uma coordenação segura entre os dispositivos de proteção do cliente e da concessionária. Num eventual caso de desligamento da rede por queda de tensão na concessionária, o sistema de geração deve conter dispositivos de monitoração para reconectar-se à rede assim que a mesma estiver normalizada.

Para conexões de pontos em média tensão, deverá ser agregado ao equipamento de geração um modem GPRS, para telesupervisão/telecontrole da concessionária. Outros métodos de supervisão podem ser adotados, desde que atendam aos requisitos de comunicação com o Centro de Operação da Distribuidora da Celesc (COD).

Para sistemas de geração fotovoltaicos ou eólicas, onde há a utilização de inversores eletrônicos, há algumas exigências em relação à proteção que devem ser obedecidas. Um dos requisitos é a necessidade de que os inversores possuam homologação emitida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO), e quando não consolidado, certificado internacional acreditado pelo mesmo.

Os inversores deverão dispor das funções de proteção descritas na Tabela 1. As parametrizações que forem realizadas pelo usuário deverão ser submetidas à aprovação da própria concessionária.

Tabela 1 – **Funções de proteção**

FUNÇÃO	PARAMETRIZAÇÃO (Referência)
Subtensão	0,8 pu (2s)
Sobretensão	1,1 pu (2s)
Subfrequência	57,5 Hz (0,2s)
Sobrefrequência	60,5 Hz (2s)
Sobrecorrente	Conforme padrão de entrada
Sincronismo	10° 10% tensão 0,3 Hz
Anti-ilhamento	Ativa

Fonte: Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição (2012, p. 9).

Para não comprometer a qualidade da energia fornecida a seus clientes, a Celesc Distribuição exige que o limite de distorção harmônica de corrente fornecida pelo grupo gerador seja inferior a 5%, sobre a potência nominal de geração distribuída. Para os valores individuais de cada harmônico, a Tabela 2 abaixo apresenta seu valor limite:

Tabela 2 – **Limites de distorção harmônica**

HARMÔNICAS ÍMPARES	LIMITE DE DISTORÇÃO
3° a 9°	< 4,0 %
11° a 15°	< 2,0 %
17° a 21°	< 1,5 %
23° a 33°	< 0,6 %
HARMÔNICAS PARES	LIMITE DE DISTORÇÃO
2° a 8°	< 1,0 %
10° a 32°	< 0,5 %

Fonte: Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição (2012, p. 10).

O limite de tensão para atuação do sistema de desligamento para geradores com inversores de frequência deve obedecer aos seguintes parâmetros da Tabela 3, onde o tempo máximo de desligamento corresponde ao tempo máximo em que o sistema seja desativado.

Tabela 3 – **Tempo máximo de desligamento para sistemas com inversores de frequência**

TENSÃO NO PONTO DE CONEXÃO COMUM (% em relação a $V_{nominal}$)	TEMPO MÁXIMO DE DESLIGAMENTO
V < 80%	0,4 s
80% ≤ V ≤ 110%	Regime normal de operação
110% < V	0,2 s

Fonte: Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição (2012, p. 10).

O sistema de geração deve continuar conectado à rede para monitorar o retorno de operação desta, e entrar em funcionamento assim que a mesma for normalizada.

4.2.4 Requisitos do sistema de medição de energia

Para registrar a geração de energia elétrica e o consumo da unidade, é necessário que o usuário instale uma caixa com Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV) e efetue adequações em seu padrão de entrada de energia, conforme os requisitos apresentados pela Celesc.

A Celesc efetuará a substituição do medidor convencional por um medidor bidirecional (quatro quadrantes), ou, por opção da distribuidora, dois medidores unidirecionais.

Todo o custo referente à adequação do sistema de medição da unidade é de responsabilidade do usuário, porém, após *startup* do mesmo, a distribuidora fica responsável por sua operação, manutenção e caso necessário, os custos referentes à substituição ou adequação do equipamento.

4.3 COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A unidade consumidora é conectada ao sistema de geração e este à rede externa de distribuição. A energia a ser injetada à rede da concessionária trata-se do excedente de geração que não será utilizado pelo usuário. O usuário pode ser alimentado constantemente através de seu gerador, caso este ficar inativo, o fornecimento de energia elétrica volta a ser realizado pela da concessionária.

O Sistema de Compensação de Energia permite que o excedente gerado seja aplicado na rede de distribuição, a fim de, alimentar outros clientes conectados à mesma, revertendo-o em créditos de energia que será abatido em faturamentos nos meses subsequentes.

Nos casos em que há a geração de créditos de energia, este será aplicado em futuras faturas, reduzindo o seu valor de consumo. Na emissão da fatura, o total de créditos a ser compensado será disponibilizado em quilowatt-hora (kWh), como também saldo de créditos disponíveis. Dependendo da capacidade e disponibilidade do sistema de geração, o cliente pode ter sua fatura de energia reduzida a apenas o custo de disponibilidade de rede ou da demanda contratada.

O valor tarifado para a energia injetada na rede é o mesmo da que está sendo fornecida e cobrada pela distribuidora, portanto, o excedente de energia elétrica que será abatido nas tarifas contém mesma proporção ao que seria cobrado. Este excedente funciona como um empréstimo de energia, e possui o prazo máximo de 36 meses para ser utilizado, na forma de abatimento de faturas do usuário. Caso a unidade consumidora não utilizar estes créditos dentro deste período, o mesmo será convertido a favor da modicidade tarifária sem objeção do cliente para qualquer forma de compensação depois de validado este prazo. Os créditos também podem ser revertidos, sem compensação dos créditos de energia, caso o cliente cancele o acordo operativo ou o acordo de relacionamento operacional que possui com a concessionária.

O usuário pode optar por compensar esses créditos de energia em unidades cadastradas para esta finalidade, onde o titular deve ser o mesmo da unidade de geração incorporada ao sistema de compensação de energia elétrica, no entanto, mesmo o usuário podendo optar por este método de compensação de energia, e ter liberdade para definir uma ordem de prioridade, a unidade interligada ao sistema de geração deverá ser a primeira a ter os créditos compensados.

Se houver alguma irregularidade no sistema de geração da unidade consumidora, os créditos de energia produzidos neste período serão desconsiderados e não serão utilizados no sistema de compensação de energia elétrica.

5 ESTUDO DE CASO

Estudo do sistema fotovoltaico destinado à geração de energia elétrica instalado nas dependências do edifício sede da Dígitro Tecnologia Ltda.

5.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA INSTALADO

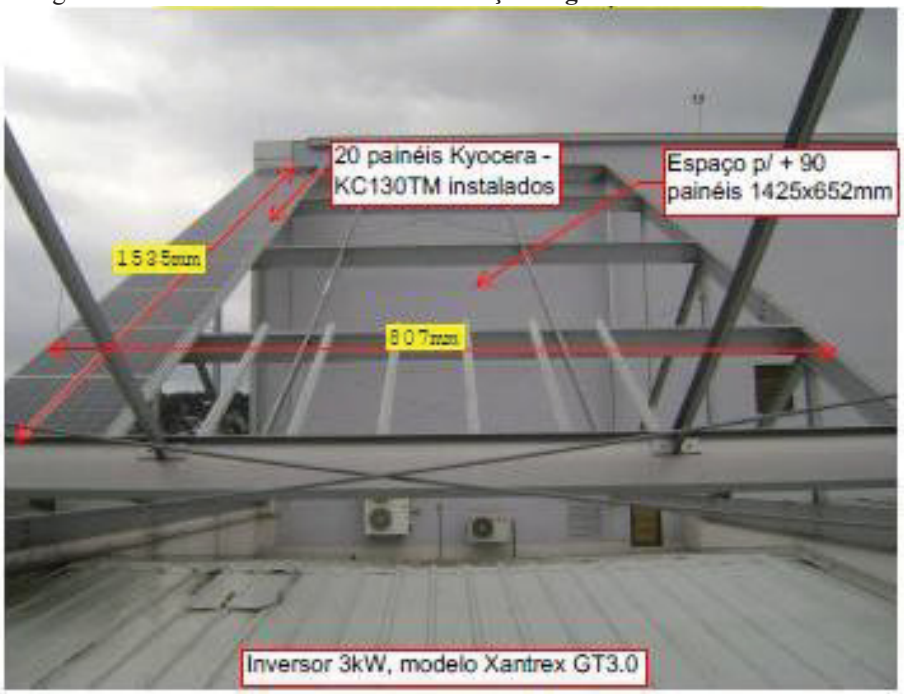
No decorrer deste capitulo apresentaremos dados sobre o sistema de energia solar que atende um edifício comercial, para este estudo de caso foi escolhido o edifício sede da Dígitro Tecnologia Ltda.

A escolha se deu devido à construção de sua nova sede, inaugurada no ano de 2009, atender aos padrões de sustentabilidade, bem como, aos prêmios recebidos. No ano de 2012, ela recebeu o Prêmio Expressão Ecologia na categoria Construção Sustentável, considerado pelo Ministério do Meio Ambiente como a maior premiação ambiental do Sul do Brasil. No ano de 2013, a empresa foi contemplada, na categoria "Conservação de Insumos de Produção - Energia", em razão do seu Programa de Eficiência Energética.

No primeiro momento seu potencial de geração é de 2,6 kWp, produzindo aproximadamente 327 kWh de energia média mensal. Mas a previsão é que este potencial seja aumentado gradativamente até 2015, quando todos os painéis estiverem instalados a energia gerada será suficiente para iluminar todas as instalações da empresa durante o dia, sendo previsto 14,3 kWp produzindo aproximadamente 1800 kWh de energia média mensal.

Hoje o sistema de geração de energia solar instalado na Dígitro, conta com 20 painéis Kyocera KC130TM e um inversor modelo Xantrex GT 3.0, conforme pode ser verificado na Figura 22.

Figura 22 - **Painéis fotovoltaicos – Instalação Dígitro**



Fonte: Dígitro Tecnologia Ltda.

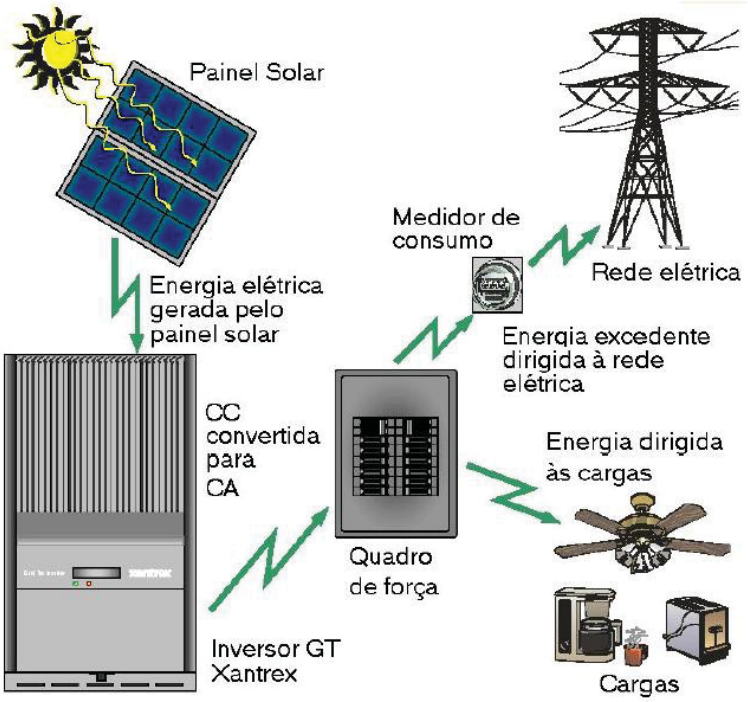
Podemos então apresentar na Figura 23, de uma forma simplificada as conexões existentes entre os equipamentos instalados neste sistema de geração de energia solar da Dígitro, onde o excedente pode ser enviado à rede elétrica.

Para envio deste excedente à rede, o medidor representado na Figura 23 deve ter a capacidade de fazer a medição em ambos os sentidos, contabilizando assim a energia gerada.

Na instalação efetuada no edifício da Dígitro, como no momento da elaboração do projeto deste sistema de geração ainda não estava regulamentada a geração distribuída, a quantidade máxima de painéis fotovoltaicos previstas no projeto não chega a suprir o consumo mínimo da empresa. Desta forma, o padrão de entrada de energia da empresa, não é equipado de um medidor bidirecional.

Devido à geração de energia elétrica através dos painéis solares fotovoltaicos e a presença de um grupo gerador a diesel, para proteção de um possível envio de energia à rede, por geração além do consumido pela carga, ou na falta de energia elétrica provida pela concessionária. A empresa conta com um sistema de proteção para que não permita a passagem de corrente à rede.

Figura 23 - **Formas de conexão dos equipamentos**



Fonte: Manual inversor GT3.0

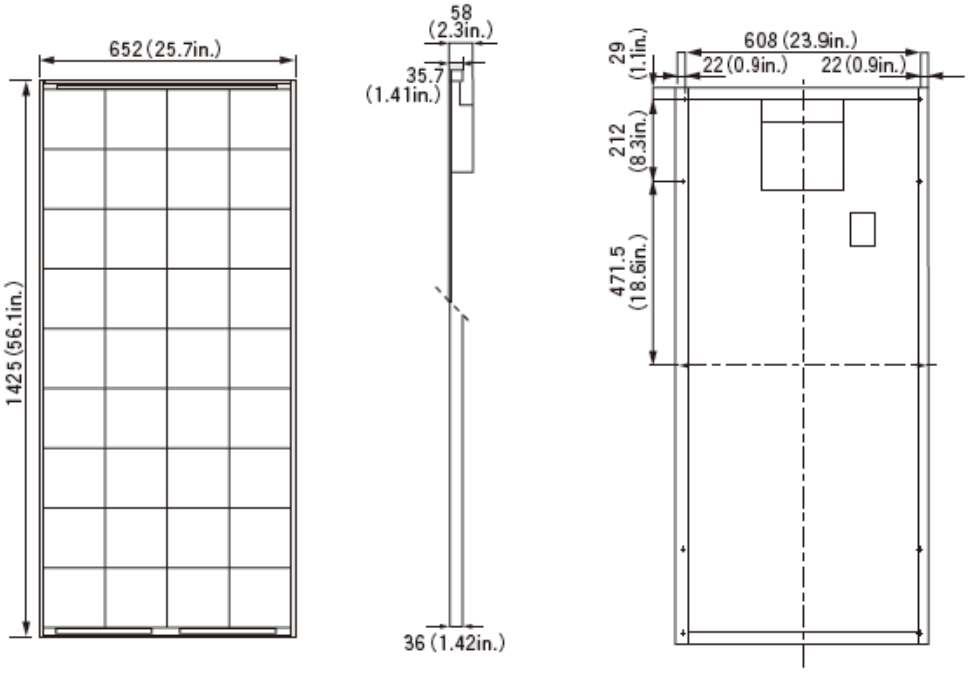
5.1.1 Painel solar

O arranjo fotovoltaico é formado por 20 painéis fotovoltaicos em série, é constituído por módulos Kyocera, modelo KC130TM, fabricado com material multicristal com índice de conversão próximo a 16%. Quando o nível de irradiação solar diminui, temos, por consequência, a redução da eficiência dos módulos em aproximadamente 4,3%.

O painel solar possui proteção de vidro temperado contra danos provindos de diferentes condições climáticas, o módulo conta ainda com uma envoltura de alumínio anodizado para dar maior proteção.

A Figura 24 apresenta as especificações físicas de um painel fotovoltaico, onde podemos ressaltar principalmente suas dimensões. Cada módulo possui 36 células fotovoltaicas e tem o peso de aproximadamente 11,9 kg.

Figura 24 - **Especificações físicas do painel fotovoltaico KC130TM**



Fonte: Especificações técnicas KC130TM

De acordo com o manual de instalação dos módulos KC130TM, o ângulo de inclinação da estrutura deve ser capaz de orientá-la para captar radiação na melhor hora de irradiação solar diária, o que ocorre entre 09 e 15 horas, e os módulos devem ser instalados numa região onde há maior incidência solar durante todo o ano, priorizando o período do inverno.

O edifício da Dígitro, esta localizado na latitude de 27 graus sul, conforme a Tabela 4 para esta latitude deverá ser acrescentado mais 5 graus ao valor da latitude, desta forma obtemos o valor de 32 graus que deve ser aplicado na instalação das ferragens que dão suporte aos painéis, esta estrutura tem ainda de estar voltada para o norte para possibilitar a recepção da maior irradiação solar possível. Os módulos foram instalados sobre uma estrutura de apoio de aço com inclinação de 30 graus, fixado sobre o telhado no novo prédio de forma a ficar voltado corretamente para o norte.

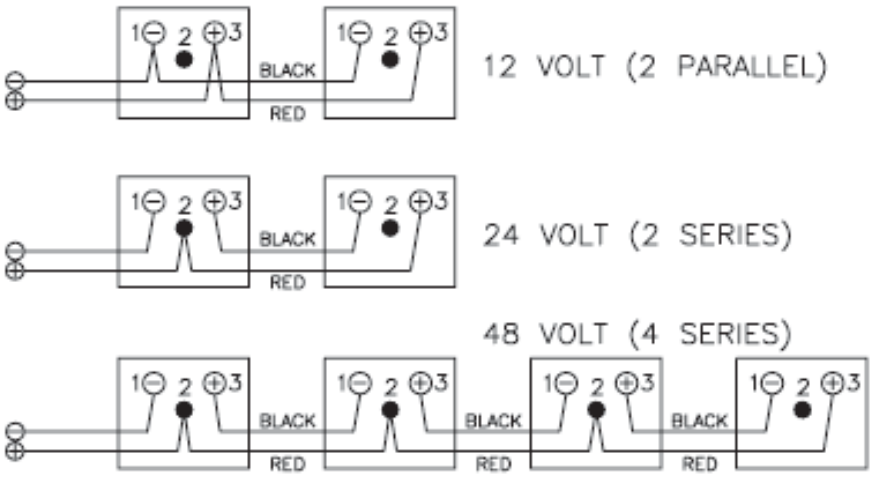
Tabela 4 – **Ângulos de inclinação da base fixa, recomendados a partir da análise do desempenho no inverno.**

LATITUDE LOCAL EM GRAUS	ÂNGULO FIXO DE INCLINAÇÃO
0° até 15º	15°
15° até 25°	igual a latitude
25° até 30°	latitude + 5°
30° até 35°	latitude + 10°
35° até 40°	latitude + 15°
Maior que 40°	latitude + 20°

Fonte: Manual de instalação KC40T a KC130TM

Os módulos KC130TM devem utilizar caixa de junção do tipo M, conforme se apresenta na Figura 25. A caixa de junção é instalada atrás de cada módulo e deve-se usar fio simples ou de dois condutores de cobre, bitola de 14 AWG (2,08 mm²) até 10 AWG (5,26 mm²), para interligar os módulos. A caixa de junção tem grau de proteção IP65 e uma estrutura física com comprimento de 170,6mm, largura de 191,6mm e profundidade de 51,5mm.

Figura 25 - **Modelo caixa de junção tipo 'M'**



Fonte: Manual de instalação KC40T a KC130TM

Os quadros, *racks* e módulos são conectados à rede de aterramento. Nos painéis fotovoltaicos o condutor terra é conectado em um orifício marcado como *ground*.

Tabela 5 – **Especificações elétricas**

DESEMPENHO ELÉTRICO SOB CONDIÇÕES DE TESTE PADRÃO (STC[4])	
Potência máxima (P_{max})	130 W (+10% / -5%)
Tensão máxima de alimentação (Vmpp)	17,6 V
Corrente máxima (Impp)	7,39 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	21,9 V
Curto-circuito (Isc)	8,02 A
Máxima tensão do sistema	600 V
Coeficiente de temperatura de Voc	$- 8{,}21 \times 10^{-2}$ V/°C
Coeficiente de temperatura de Isc	$3{,}18 \times 10^{-3}$ A/°C
DESEMPENHO ELÉTRICO EM 800W/m², NOCT[5], AM1.5	
Potência máxima (Pmax)	92 W
Tensão máxima de alimentação (Vmpp)	15,5 V
Corrente máxima (Impp)	5,94 A
Tensão de circuito aberto (Voc)	19,9 V
Curto-circuito (Isc)	6,47 A

Fonte: Manual de instalação KC40T a KC130TM

O sombreamento de módulos individuais ou mais módulos conectados em série de 12 volts podem gerar uma tensão inversa sobre o módulo sombreado, fazendo com que uma corrente elétrica passe por outros módulos. Para evitar perdas por correntes ou aquecimento dos módulos e da matriz, são instalados diodos de *bypass* em paralelo com a sequência em série, forçando a corrente a passar pelo diodo, protegendo os módulos. A orientação para instalação destes diodos esta contido nos diagramas de ilustração, localizados nas caixas de junção dos painéis fotovoltaicos.

[4] STC: Irradiação 1000 W/m², espectro AM1.5, módulo temperatura 25°C

[5] NOCT (Temperatura de operação nominal celular): 47°C

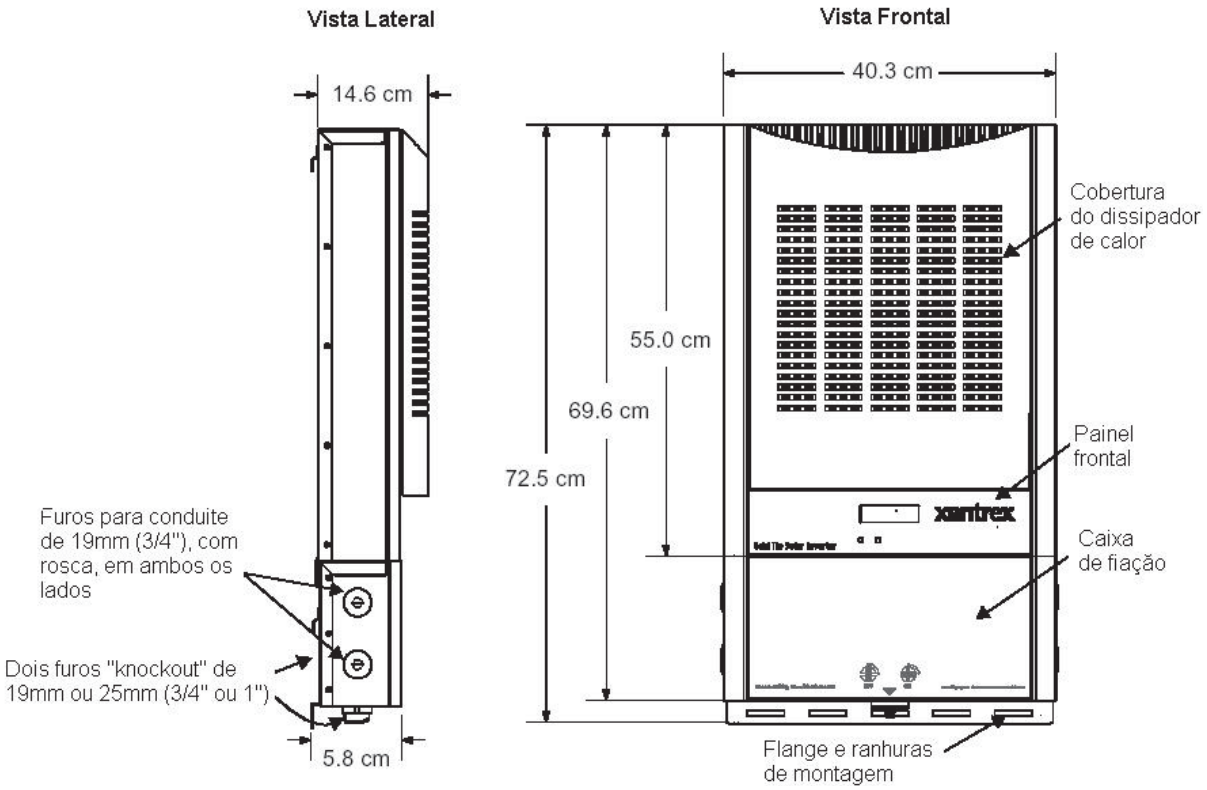
5.1.2 Inversor

O Inversor Solar Xantrex GT3.0 (*Grid Tie*) é utilizado para converter a energia elétrica produzida pelos painéis solares fotovoltaicos para corrente alternada, podendo ser utilizada no prédio ou vendida para a concessionária de energia, desde que a empresa esteja devidamente regulamentada.

Para que possa operar, o inversor precisa que haja tensão na rede elétrica, caso contrário o GT interrompe seu funcionamento se existir falha de fornecimento pela concessionária.

Podemos verificar na Figura 26 as dimensões e algumas partes do inversor que estão destacadas.

Figura 26 - **Dimensões do inversor XANTREX GT3.0**



Fonte: Manual do inversor

5.1.2.1 Compatibilidade com Painéis Solares

O inversor GT utilizado nesta instalação foi projetado para atender os módulos solares monocristalinos, policristalinos ou amorfos. Os painéis solares devem estar configurados de forma a obter alta tensão na saída (195 a 550 Vcc no Ponto de Potência Máxima).

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

Este inversor utiliza o rastreamento do ponto de potência máxima, para colher a maior quantidade possível de energia do painel solar.

5.1.2.3 Caixa de Fiação

Ponto onde são feitas as conexões CA e CC e o aterramento, também é localizado o Interruptor liga/desliga geral. Caso necessite de manutenção o GT pode ser removido da caixa de fiação com facilidade.

5.1.2.4 Instalação Individual

Nesta configuração, temos um único inversor que converte a energia fotovoltaica de corrente continua para corrente alternada e a dirige para o quadro de força, onde toda a energia excedente, não usada pelas cargas, pode ser injetada na rede da concessionária de energia, desde que a empresa esteja devidamente regulamentada.

5.1.2.5 Instalação com Múltiplos Inversores

Para termos uma maior potência podemos configurar vários GTs em paralelo. Cada inversor necessita estar conectado a um conjunto de painéis solares separados, esta energia fotovoltaica é convertida pelo inversor que a dirige ao quadro de força, onde a energia excedente pode ser injetada na rede da concessionária de energia, desde que a empresa esteja devidamente regulamentada. A comunicação entre os inversores, que é opcional, pode ser feita com a instalação de um cabo UTP que interliga as portas RJ45 dos inversores.

5.1.2.6 Requisitos de Tensão e MPPT

Os painéis solares devem operar dentro dos limites da Tabela 6. Nesta tabela podemos verificar que se a tensão for menor que 195 Vcc, o ponto de máxima será deslocado e a tensão será ajustada para 195 Vcc através da regulagem da tensão de operação do painel solar.

Conforme mostra na Tabela 6, quando a tensão na saída do painel está entre 195 a 550 Vcc, obtemos a maior potência na saída do inversor, pois o inversor estará funcionando dentro da região de “MPPT operante”.

Quando a tensão estiver entre 550 a 600 Vcc, estará funcionando fora da região onde se obtém a MPPT. Em hipótese alguma a tensão do painel poderá exceder 600 Vcc (“*Open Circuit*” – Circuito Aberto).

Tabela 6 – **Limites de tensão**

Tensão	Efeito da Tensão do Painel	Modo Inversor
<195 Vcc	A tensão de operação será baixada para 195Vcc; o painel não estará trabalhando no ponto de máxima potência	Baixa potência
195 a 550 Vcc	Máximo aproveitamento da energia solar	MPPT operante
550 a 600 Vcc	Não permitirá o máximo aproveitamento	Degradação de potência
>600	Provocará o desligamento do sistema e poderá causar danos no inversor. A venda de energia é interrompida	

Fonte: Manual inversor GT3.0

5.1.2.7 Especificações Elétricas

Na Tabela 7, podemos verificar as especificações de entrada do inversor Xantrex GT3.0.

Tabela 7 – **Especificações elétricas**

Tensão de entrada, faixa de máxima potência	195 a 550 Vcc
Tensão máxima absoluta de circuito aberto do painel solar	600 Vcc
Máxima corrente de entrada	16,6 Acc
Máxima corrente de curto-circuito do painel solar	19 Acc
Potência recomendada do painel solar	Até 3300 W
Proteção contra polaridade invertida	Diodo reverso
Proteção de falha de aterramento	Detecção de falha (GF), IDIF > 1 A

Fonte: Manual inversor GT3.0

Na Tabela 8, podemos retirar informações necessárias sobre a saída do inversor Xantrex GT3.0.

Tabela 8 – **Especificações elétrica saída**

Saída	GT 3.0 U.S.A	GT 3.0 Europa
Máxima potência de saída	3000 W	3000 W
Potência nominal de saída na faixa de temperaturas	2500 W	2500 W
Máxima corrente de retorno à rede (*Feedback*)	20 A	20 A
Tensão de rede para operação, *default* (*)	211 a 264 Vca	202 a 253 Vca
Freqüência de saída nominal	60 Hz	50 Hz
Faixa de freqüência para operação, default (*)	59,3 a 60,5 Hz	47,1 a 50,9 Hz
Máxima corrente de saída em regime contínuo	14,2 A	14,9 A
Proteção de sobrecorrente na saída	20 A RMS	20 A RMS
Distorção Harmônica Total (THD)	<5%	<5%
Fator de potência	>0,9	>0,9
Monitoramento de rede, proteção "*anti-islanding*"	V e freq. UL1741	
Características da saída	Fonte de corrente	
Forma de onda na saída	Senoidal	

Fonte: Manual inversor GT3.0

5.1.3 Sistema de proteção da instalação

Dependendo da instalação e normas locais, pode ser necessário incluir fusíveis ou quadro auxiliar, ao serem instalados, porém, para esta instalação contamos apenas com disjuntores e a proteção por falta de aterramento que existe no inversor.

5.1.3.1 Disjuntor CA

No quadro de distribuição onde conectamos o inversor devemos disponibilizar um disjuntor monofásico (220 Vca) para cada inversor Xantrex GT3.0 instalado. Este Disjuntor deve ter capacidade de 20 A.

5.1.3.2 Interruptor CA/CC

A caixa de fiação do inversor inclui um interruptor geral, este interrompe simultaneamente a entrada CC e a saída CA. Quando o inversor for instalado sem a caixa de fiação poderá ser necessário instalar interruptores CA e CC, conforme exigências locais.

5.1.4 Sistema de aterramento

O inversor deve ser conectado a um sistema de aterramento, onde o condutor negativo do painel solar precisa ser ligado ao sistema de aterramento em um único ponto do sistema, através do circuito interno de detecção de falha de aterramento (*Ground Fault Detection*).

Podemos ainda encontrar algumas variações conforme as normas de aterramento e regulações locais.

Todo o sistema de aterramento é conectado ao aterramento único do edifício, tendo com isto a equipotencialização de todos os equipamentos aterrados.

5.1.4.1 Fusível de Falha de Aterramento

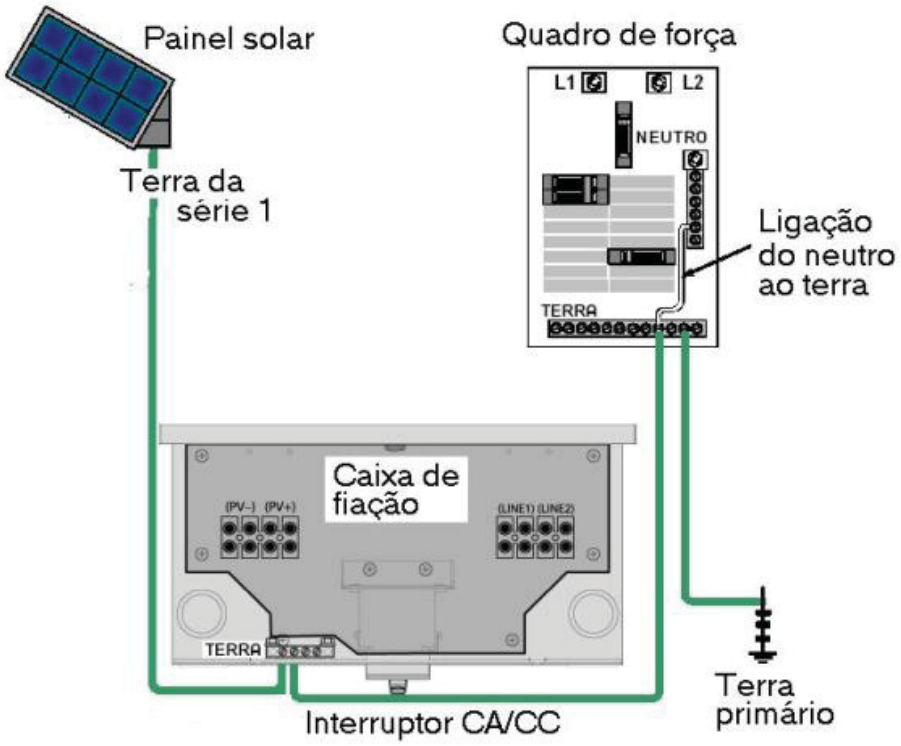
O inversor conta com um fusível de 600V, 1A (*Littelfuse* KLKD 1 ou equivalente) para proteção do sistema fotovoltaico contra falha no aterramento.

5.1.4.2 Aterramento do Painel Fotovoltaico

O inversor Xantrex GT3.0 foi projetado para receber os condutores positivo, negativo e terra do painel solar, estes são conectados internamente na caixa de fiação. O terra do painel solar deve ser conectado à barra de aterramento do inversor, esse, por sua vez, deve ser conectado à barra de terra do quadro de força e à haste de aterramento, de acordo com as normas, isto pode ser verificado na Figura 27.

A bitola do condutor terra é em geral baseada na maior bitola do sistema, neste caso a bitola do aterramento dos quadros, *racks* e módulos é de 4 mm².

Figura 27 - **Conexão do aterramento do sistema fotovoltaico**



Fonte: Manual inversor GT3.0

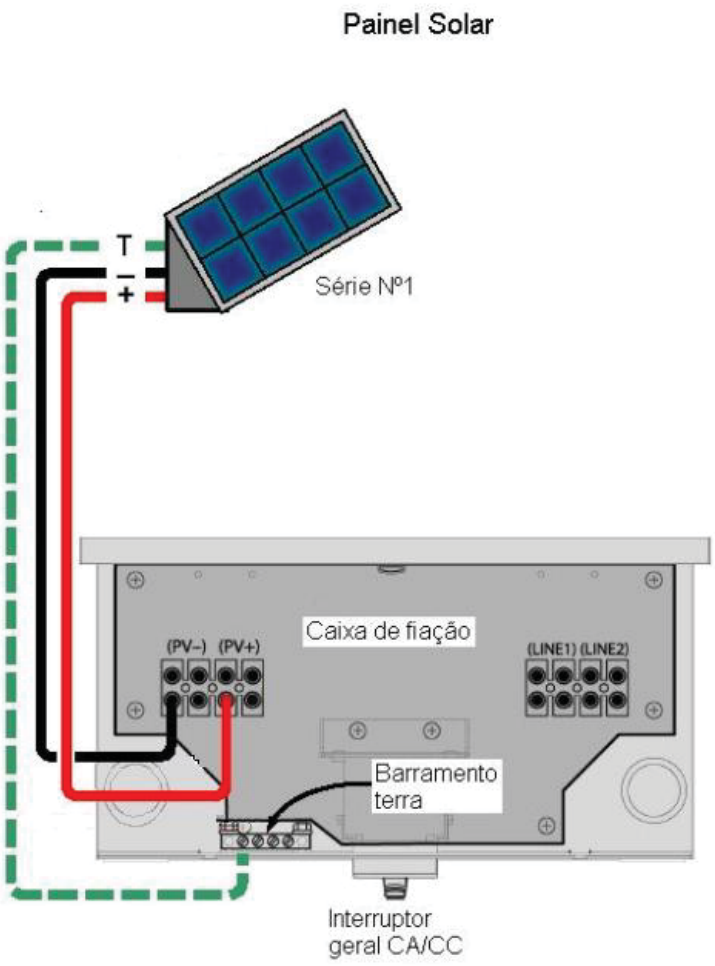
5.1.5 Condutores

A bitola da instalação também pode ser influenciada pela localização de cada componente do sistema, ou seja, podem ser afetadas devido à queda de tensão. Os condutores devem ser dimensionados de forma que a queda de tensão máxima, quando temos a máxima potência do painel solar, seja menor ou igual a 2% pois, uma instalação com condutores sub-dimensionada pode resultar em perdas significativas e redução da eficiência do sistema.

Os condutores também podem ser afetados pela utilização ou não de eletrodutos, devido ao fator de agrupamento.

Na Figura 28 podemos verificar os condutores que conectam o inversor aos painéis fotovoltaicos, condutores positivo e negativo da corrente continua e o condutor terra do sistema. Estes condutores representados na figura possuem bitola de 4 mm² para que possam por ele circular a corrente dos 20 painéis fotovoltaicos em série.

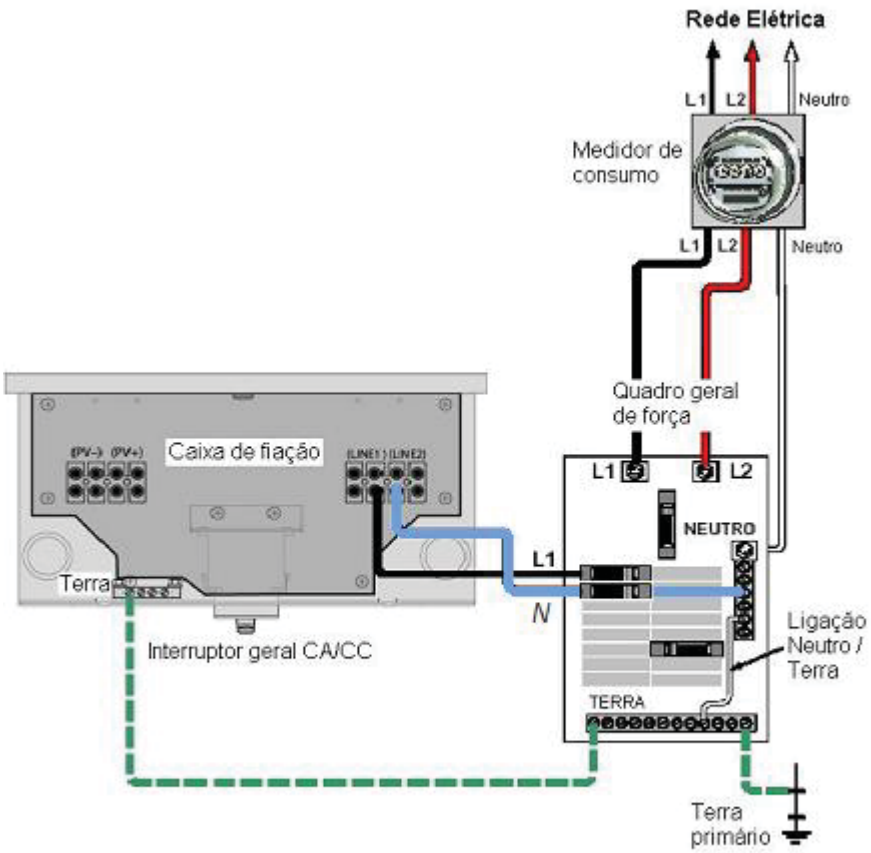
Figura 28 - **Conexão do inversor aos painéis fotovoltaicos**



Fonte: Manual inversor GT3.0

Na Figura 29 podemos verificar os condutores que conectam o inversor ao quadro de força, condutor fase linha 1 e o neutro da corrente alternada e o condutor terra do sistema. Estes condutores também apresentam bitola de 4 mm².

Figura 29 - **Conexão do inversor aos painéis fotovoltaicos**



Fonte: Manual inversor GT3.0

5.2 ANÁLISE DO CASO ESTUDADO

O sistema de geração instalado na Dígitro tem atualmente a capacidade de geração de 2,6 kWp, com a ampliação dos 90 painéis fotovoltaicos previstos, este sistema irá atingir 14,3kWp, desta forma, este sistema, de acordo com a classificação da Aneel, é considerado uma microgeração por ter uma potência fornecida à rede menor que 100 kW.

Este sistema, mesmo sendo de pequeno porte, contribui para a redução da fatura de energia elétrica da empresa e também para sua classificação como edifício sustentável.

Devido ao sistema ser conectado à rede são utilizados somente os painéis fotovoltaicos e o inversor, desta maneira os gastos com a manutenção é menor.

Para utilização deste sistema conectado a rede é importante ressaltar que a potência gerada deve ser menor que o consumo mínimo da empresa em qualquer dia da semana, ou a empresa estar preparada para enviar o excedente da energia produzida à rede da distribuidora.

6 PROJETO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ISOLADO

Projetar um sistema fotovoltaico é explorar a energia fornecida pelo sol para suprir diferentes demandas energéticas.

Em seu projeto, o sistema básico é divido em blocos, caracterizado pela geração, armazenamento de energia, unidades de controle e condicionamento de potência. Com uma estimativa pontual da curva de carga a ser alimentada e de dados meteorológicos, tem-se a base para dimensionar e especificar estes blocos e os componentes que se integram a operação e proteção dos mesmos.

Um sistema de geração fotovoltaica possui diferentes configurações de conexão e critérios de aplicação, que variam com o custo da energia gerada, confiabilidade, eficiência ou a junção destes. Conforme o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, a escolha da configuração básica é definida a partir das características das cargas e na disponibilidade de recursos energéticos.

Atualmente encontra-se implantado no edifício da Dígitro um sistema de geração fotovoltaico conectado a rede. Para análise e comparação das configurações, este capítulo reserva-se ao dimensionamento do projeto de um sistema fotovoltaico isolado, onde se estuda a aplicação deste na estrutura atualmente implantada.

O projeto de um sistema fotovoltaico isolado pode ser elaborado dividindo os blocos em etapas, dimensionando cada uma desta de acordo com a sua função e aplicabilidade.

Como, geralmente, estes sistemas são aplicados a locais remotos ou inóspitos, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico exige robustez e facilidade de manutenção, bem como de instalação.

6.1 RECURSO SOLAR

Esta etapa destina-se a quantificar a radiação solar que incide sobre os painéis fotovoltaicos, com a finalidade de calcular a energia gerada. Os dados de radiação são geralmente expressos em fluxo de potência ou energia por unidade de área.

No Brasil, de acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), os dados de radiação solar são obtidos a partir de equipamentos de medição que operam identificando o número de horas de insolação e a radiação global no plano horizontal.

Para calcular a corrente de projeto será necessário definir os valores de sol pleno sobre a região onde se instalará os painéis fotovoltaicos. Os valores de sol pleno é uma forma de apresentar a energia solar acumulada ao longo de um dia, onde há grandeza resultante refletirá no número de horas em que a radiação deva permanecer constante e equivalente a 1 kw/m².

O programa SunData[6] é uma ferramenta destinada ao cálculo da irradiação solar utilizada como apoio à projetos de sistemas fotovoltaicos. Este programa é uma fonte de informação para pesquisas relacionadas aos valores médios de radiação solar diária para diferentes pontos do território nacional ou para o ponto mais próximo ao de interesse.

A empresa Dígitro está localizada numa região que possui como coordenada geográfica 27° de latitude e 48° de longitude. Aplicando estes valores de coordenadas no programa SunData, obtemos os valores médios de irradiação diária para o ponto mais próximo.

Figura 30 – **Radiação solar diária média para Florianópolis**

Latitude: 27° S
Longitude: 48° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]														
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
☐	Camboriu	Camboriú	SC	BRA	27°S	48,654444°O	64,9	4,83	4,92	4,11	3,75	3,22	2,58	2,94	3,03	3,19	4,28	5,19	5,00	**3,92**	**2,61**
☑	Florianopolis	Florianópolis	SC	BRA	27,5967°S	48,549166°O	85,8	5,55	5,19	4,65	3,84	3,15	2,74	2,93	3,49	3,87	4,50	5,27	5,73	**4,24**	**2,99**
☐	Sao Francisco do Sul	São Francisco do Sul	SC	BRA	26,2°S	48,63533°O	109,2	5,14	4,92	4,50	3,81	3,08	2,69	3,00	3,17	3,56	4,58	5,19	5,61	**4,10**	**2,92**

Fonte: SunData. Disponível em <http://www. cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>. Acesso em 25 mai. 2014.

Para determinar os valores de sol pleno, a irradiação média solar diária deve ser dividida pela constante de 1kw/m², o que resulta nas grandezas apresentadas na Tabela 9.

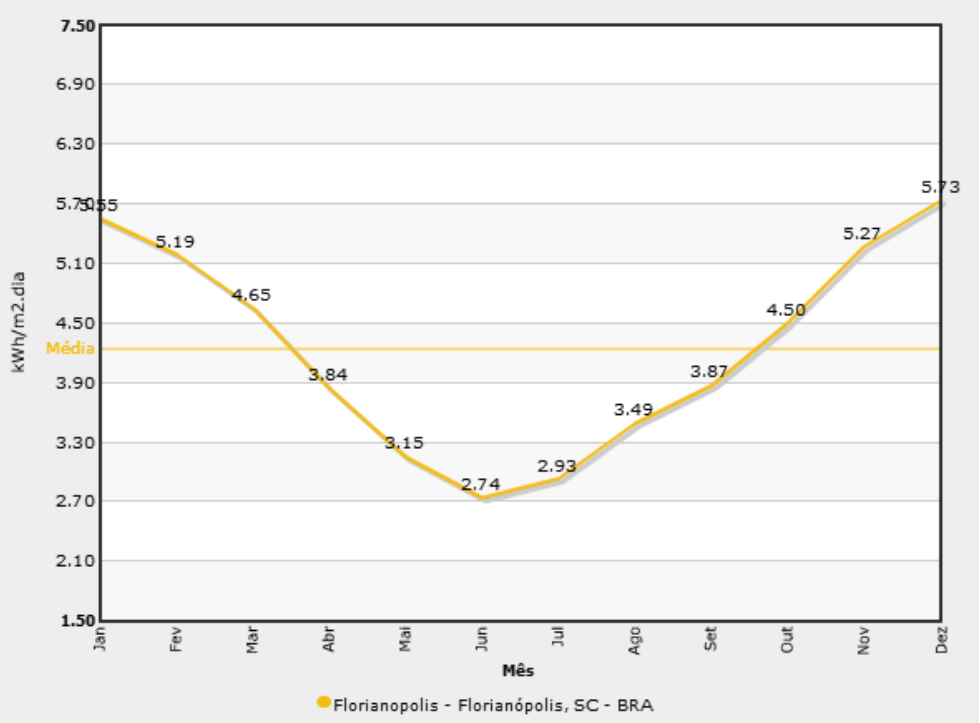
[6] Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/>

Tabela 9 – **Valores de Sol Pleno para Florianópolis**

MÊS	SOL PLENO (hora/dia)
Janeiro	5,55
Fevereiro	5,19
Março	4,65
Abril	3,84
Maio	3,15
Junho	2,74
Julho	2,93
Agosto	3,49
Setembro	3,87
Outubro	4,50
Novembro	5,27
Dezembro	5,73

Fonte: Elaboração dos autores, 2014.

Gráfico 1 – **Irradiação solar no plano horizontal para Florianópolis.**



Fonte: SunData. Disponível em <http://www. cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>. Acesso em 25 mai. 2014.

6.2 ESTIMATIVA DA CURVA DE CARGA

A análise de demanda da carga deve ser realizada para dar confiabilidade ao dimensionamento do sistema de geração. Esta etapa tem como objetivo desenvolver, o mais próximo do real, uma curva de carga que identifique as sazonalidades.

Uma carga pode ser especificada através do seu consumo diário de energia. Geralmente é aplicado nos cálculos de dimensionamento o consumo equivalente aos dias em que a relação "consumo/disponibilidade de energia" é máxima. Na elaboração da curva de carga, deve atentar-se aos valores máximo e mínimo de consumo, pois estes, que se referem às condições críticas de operação, servem como base para um bom dimensionamento dos equipamentos que compõem o sistema.

Para a empresa Dígitro, o projeto elaborado engloba a alimentação do sistema de iluminação das duas escadas de acesso a todos os andares e a iluminação de uma sala de monitoramento, que fica instalada no primeiro andar. A avaliação do consumo diário será a partir do produto do consumo nominal destas cargas.

Na sala de monitoramento, durante o horário comercial, encontra-se instalado a Dígitro *Service*, que se trata de uma unidade de monitoração dos clientes. No período noturno as equipes de plantão são deslocadas para esta sala, podendo assim, permanecer apenas esta sala com a iluminação acesa.

Em cada escada de acesso há 12 pontos de luz, e em cada ponto há instalado duas lâmpadas fluorescentes compactas com previsão de potência de 13 watts, resultando numa potência total, para cada escada, de 312 watts. A sala de monitoramento é composta por 8 luminárias de embutir, com 4 lâmpadas fluorescentes de 16 watts em cada, sendo que destas, 4 luminárias estão contempladas no sistema fotovoltaico, desta forma a potência atendida pelo sistema fotovoltaico na sala de monitoramento resulta numa potência total de 256 watts.

Tabela 10 – **Descrição das cargas**

Descrição das cargas	Quant.	Corrente da carga (A)	Tensão da carga (V)	Potência da carga (W)
Escada 1 - h comercial	24	73 m	220	312
Escada 2 - h comercial	24	73 m	220	312
Escada 1 - período noturno	24	73 m	220	312
Escada 2 - período noturno	24	73 m	220	312
Sala de monitoramento - 24 horas	16	90 m	220	256
			Potência Total	880

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed.esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 114.

O consumo da carga (ampére/hora) durante o período de um dia foi calculado conforme orientações obtidas no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), e os dados usados para calcular este consumo estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 11 – **Consumo das cargas**

Ciclo serv. diário (h/dia)	Ciclo serv. sem. (dia/sem.)	Eficiência conversão pot.	Tensão nominal sist. (V)	Consumo Amp.h (Ah/dia)
1,5	0,85	0,80	48	10,35
1,5	0,85	0,80	48	10,35
0,033	0,85	0,80	48	0,23
0,033	0,85	0,80	48	0,23
24	0,85	0,80	48	136
			Consumo total	157,2

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed.esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 114.

Na Tabela 11, os ciclos de serviço diário equivalem ao tempo médio que a carga será usada durante o período de um dia e o ciclo de serviço semanal equivale a quantidade de dias ao decorrer de uma semana. Na Dígitro há a circulação de colaboradores de segunda a sábado, seis dias na semana, resultando num ciclo de 0,85 dia/sem.

Valores de eficiência de conversão de potência relacionam-se com a perda de energia ocorrida devido a condicionadores de potência, e seu valor é obtido a partir do conversor, ou aplica-se o valor padrão de 0,80 para conversões de CC em CA.

A tensão nominal do sistema equivale ao valor da tensão de saída do sistema de geração, onde se aplica o valor usual de 48 V.

O ciclo de serviço diário é dividido em diferentes horários de trabalho. As escadas dividi-se em horário comercial (07:00 a 19:00) e período noturno (19:00 a 07:00). No horário comercial estima-se que durante uma hora aciona-se trinta vezes (5 em 5 minutos) doze

lâmpadas. Como estas lâmpadas contêm controle de acionamento por sensores de presença e relé temporizador, as mesmas ficam acionadas durante 30 segundos, resultando, portanto, no ciclo diário contínuo de 1,5 h/dia. Para o horário noturno estima-se que seja acionado duas vezes (30 em 30 minutos) quatro lâmpadas, resultando, num clico de 33 mili h/dia.

A sala de monitoramento, contém 4 luminárias que ficam acionadas em período integral, sem interrupção, ou seja, 24 horas por dia.

Para tornar o valor do consumo total mais próximo do real, fatores de correção por eficiência da fiação e da bateria são aplicados. Aplicam-se neste projeto os valores padrões de 0,98 para eficiência da fiação e 0,95 para a eficiência da bateria. Portanto, o valor referente ao consumo corrigido equivale a 170 Ah/dia.

A estimativa da corrente de pico, que corresponde a corrente máxima necessária quando há a operação de todas as cargas simultaneamente, é de 18,34 A.

6.3 ÂNGULO DE CAPTAÇÃO

A orientação e localização dos módulos fotovoltaicos deve ser tal que a instalação fique o mais exposta possível a insolação solar, evitando ao máximo a possibilidade de sombra sobre a mesma. Sombreamento e sujeira sobre os módulos são agentes prejudicam o desempenho do sistema.

De forma a explorar a máxima captação de energia solar, os módulos instalados em território brasileiro devem ser orientados para o norte geográfico e com ângulo de inclinação de captação igual à latitude local, com tolerância de mais cinco graus.

Os módulos instalados na Dígitro ficam localizados sobre o teto, na parte dianteira do edifício. Como a latitude local é de 27°, a instalação do suporte esta direcionada para o norte com um ângulo de inclinação de, aproximadamente, 30°.

Na Tabela 12 são apresentados os valores de corrente de projeto para cada mês, durante o período de um ano, de acordo com a latitude local. O valor da corrente de projeto, que equivale a corrente necessária para o arranjo alimentar as cargas do sistema, é determinado com base na carga corrigida sobre os valores de sol pleno.

Tabela 12 – **Corrente de projeto para diferentes sazonalidades**

Inclinação conforme latitude local			
Mês	Carga corrigida (Ah/dia)	Sol pleno (h/dia)	Corrente de projeto (A)
Janeiro	170	5,55	30,63
fevereiro	170	5,19	32,76
Março	170	4,65	36,56
Abril	170	3,84	44,27
Maio	170	3,15	53,97
Junho	170	2,74	62,04
Julho	170	2,93	58,02
Agosto	170	3,49	48,71
Setembro	170	3,87	43,93
Outubro	170	4,50	37,78
Novembro	170	5,27	32,26
Dezembro	170	5,73	29,67

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 115.

Além de estarem corretamente posicionados, os módulos estão instalados sobre uma estrutura metálica que permite a circulação de ar, esta circulação evita o aquecimento dos módulos e, consequentemente, colabora para uma melhor eficiência destes, tendo em vista que a eficiência das células fotovoltaicas diminui em altos níveis de temperatura.

Instalações sobre o teto de edificações têm como vantagens a redução de problemas com sombreamento e o difícil acesso do mesmo, impossibilitando ações de vandalismo. Porém, em contra partida, estas estruturas devem ser fixadas corretamente a fim de suportar as atividades do vento.

Outro problema com instalações sobre tetos trata-se do difícil acesso para manutenção, o que não é o caso do edifício analisado. Conforme pode ser verificado na Figura 31, há uma estrutura metálica projetada sobre um amplo espaço num teto plano, podendo haver circulação sem objeções sobre o mesmo.

Figura 31 - **Módulos fotovoltaicos instalados na Dígitro Tecnologia Ltda.**

Fonte: DÍGITRO. Disponível em <http://digitro.com/pt/sustentabilidade>. Acesso em 09 jun. 2014.

6.4 ARMAZENAMENTO

O armazenamento de energia em sistemas fotovoltaicos isolado é feito a partir da aplicação de baterias.

Devido às diversas tecnologias e capacidades, a definição de uma bateria tem alguns parâmetros que devem ser adotados como importantes: eficiência, máxima profundidade de descarga permitida e autonomia do sistema. Estes parâmetros servem como base essencial para escolha de um armazenador, visto que no mercado encontram-se diversos modelos, que variam a vida útil, confiabilidade, tecnologia, custos, etc.

Na Tabela 13 apresentam-se os critérios e o cálculo da capacidade necessária para a bateria que deverá ser utilizada.

Tabela 13 – **Capacidade da bateria**

Consumo ampére-hora corrigido (Ah/dia)		Dias de armazenamento		Profundidade de descarga máxima		Desconto por temperatura		Capacidade necessária para a bateria (Ah)	
170	x	3	÷	0,60	÷	1	=	850	

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 116.

O número de dias sem sol reflete no dimensionamento da bateria. Em condições onde a energia solar é insuficiente há o risco de as cargas ficarem sem alimentação, tendo em vista que o sistema de geração, neste cenário, não será capaz de repor o necessário para manter as baterias em seu estado inicial de carga, portanto, para este cálculo, considerou-se que a bateria poderá operar até três dias consecutivos sem que seja realizado o seu recarregamento.

O cíclico (diário) e o esporádico são limites expressos como percentuais da capacidade nominal da bateria, e dependem da sua expectativa de vida útil, que se torna mais curta com ciclos mais profundos. Estes limites são estabelecidos para determinar a máxima profundidade de descarga. A bateria selecionada para este cenário é do tipo chumbo-ácida, que possui o valor padrão de 0,6 para quantificar a profundidade de descarga.

Baixas temperaturas reduzem a eficiência da bateria e afetam na sua capacidade de armazenamento. No Brasil, utiliza-se o valor unitário para correção destas variações.

Em casos que se faz necessário aplicar mais de uma bateria, deve-se atentar ao número máximo de baterias em paralelo, que não deve ultrapassar o equivalente de seis baterias.

Com base em cálculos feitos e conforme apresentado na Tabela 14, será necessária quatro baterias em série, e para atender a demanda total deste projeto deverá ser utilizado o total de 16 baterias.

O modelo das baterias deve ser totalmente igual, fornecida pelo mesmo fabricante, com igual capacidade e idade.

A bateria selecionada possui capacidade de 220 Ah, resultando na instalação de quatro baterias em paralelo para atender a capacidade requerida.

Tabela 14 – **Quantidade de baterias**

Tensão nominal do sistema (V)		Tensão nominal da bateria (V)		Número de baterias em série		Número de baterias em paralelo		Número total de baterias	
48	÷	12	=	4	x	4	=	16	

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 116.

A bateria selecionada é produzida pela Moura, e pertence a linha de baterias estacionária *clean*, tipo chumbo-ácido e reguladas a válvula, modelo 12MF220. Possuem tensão nominal de 12 V e capacidade de 220 Ah.

6.5 GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Como os módulos fotovoltaicos estão disponíveis no mercado em diversos modelos e com diferentes variáveis, o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004) aponta alguns fatores que devem ser utilizados para definir o tipo e o número de módulos aplicados, facilitando, desta forma, a definição destes. Os fatores são: tensão nominal do sistema, curva característica da corrente versus tensão do módulo, custo da área disponível para instalação, degradação do desempenho em função da temperatura ambiente e idade dos módulos, custo e expectativa de vida útil para o módulo, etc.

Na Tabela 15, apresentam-se os critérios para definir a quantidade de módulos a ser aplicado em paralelo, com a finalidade de atender a maior corrente de projeto. Determinada com base nos valores de insolação sobre os módulos, a corrente de projeto selecionada para este cálculo refere-se ao mês de junho, onde há o menor índice de irradiação solar diária.

Tabela 15 – **Quantidade de módulos em paralelo**

Corrente de projeto (A)	Fator de correção do módulo		Corrente de projeto corrigida (A)		Corrente nominal do módulo (A)		Número de módulos em paralelo	
62,04	÷	0,90	=	68,93	÷	7,39	=	10

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 117.

Acúmulo de poeira, perdas entre módulos por falha de conexão, degradação devido à vida útil, são fatores que afetam o desempenho do sistema. Para corrigir estes inconvenientes

aplica-se um fator de condição de campo, onde, o valor padrão para módulos cristalinos equivale a 0,9.

Para o cálculo do número de módulos em paralelo, utiliza-se o valor da corrente nominal do módulo para as condições de teste STC (condições padrão de teste). Este valor foi obtido por meio das especificações técnicas dos atuais módulos implantados na Dígitro.

Tabela 16 – **Quantidade de módulos em série**

Tensão nominal da bateria (V)			Número de baterias em série		Tensão necessária para carregar baterias		Tensão do módulo para a temp. mais alta		Número de módulos em série	
1,20	x	12	x	4	=	57,60	÷	15,50	=	4

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 117.

Para o cálculo do número de módulos em série, a tensão do módulo para a temperatura mais alta, requerida na Tabela 16, é obtida nas especificações do fabricante.

Tabela 17 – **Especificações técnicas dos módulos fotovoltaicos**

Informações sobre o Módulo Fotovoltaico					
Fabr./Mod.	Kyocera / KC130TM		Tensão nominal		12
Comprimento	1425 mm	Largura	652 mm	Espessura	58 mm
Peso		11,9 Kg	Diodos de "by-pass"	S	~~N~~

Tensão (V)	Na condição padrão de teste	Circuito aberto	Valor esperado para temp. mais elevada
	17,6	21,9	15,5
Corrente (A)	Na condição padrão de teste	Curto circuito	
	7,39	8,02	

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 118.

De acordo com as Tabelas 15 e 16, para atender a demanda deste projeto, a instalação deve constar de dez módulos em paralelo e quatro módulos em série, resultando no produto final de 40 módulos. Atualmente há implantado na Dígitro 20 módulos fotovoltaicos, fabricados pela Kyocera, modelo KC130TM.

6.6 COMPONENTES BÁSICOS

Controladores de carga e dispositivos de condicionamento de potência (inversores e conversores) são componentes básicos que se integram ao sistema proporcionando uma correta operação e bom desempenho do mesmo.

Quando especificados corretamente, estes componentes influenciam na redução da complexidade, redução dos custos do projeto e aumentam a confiabilidade do sistema.

6.6.1 Controladores de carga

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), para um correto dimensionamento dos controladores de carga, o valor máximo de corrente e a tensão de operação são os principais parâmetros para a sua especificação.

Tabela 18 – **Capacidade e quantidade de controladores**

Corrente de curto circuito do arranjo (A)			Corrente mínima do controlador (A)		Capacidade do controlador (A) (lado do arranjo)		Controladores em paralelo	
1,25	x	80,20	=	100,25	÷	60	=	2

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 117.

Na Tabela 18, a corrente de curto-circuito do arranjo é o produto da quantidade de módulos em paralelo com a corrente de curto-circuito de cada módulo, logo, o valor correspondente a esta grandeza equivale a 80,20A. O fator multiplicativo de 1,25 comporta-se como um fator de correção para determinar a capacidade do controlador.

A capacidade mínima requerida para este projeto equivale a aproximadamente 100 A, e defini-se para o mesmo um controlador com capacidade máxima de 60 A. Sendo assim, deverão ser aplicados dois controladores em paralelo.

O controlador definido é fabricado pela Tristar e pertence a linha de controladores da Morningstar, modelo Tristar 60.

6.6.2 Inversores e conversores CC-CC

No projeto, a tensão de entrada, potência nominal e características de saída (forma de onda, frequência, amplitude, distorção) são os parâmetros básicos utilizados para especificar inversores de frequência. O dimensionamento e especificação dos conversores CC-CC segue o mesmo de um inversor, diferenciando-se apenas pela tensão de saída.

Atualmente, há instalado no sistema da Dígitro um inversor solar Xantrex GT3.0, este inversor tem tensão nominal de entrada equivalente entre 195 Vcc e 550 Vcc, portanto, para reutilizá-lo neste projeto, será necessária a integração de um conversor, para converter a tensão produzida pelo sistema que resulta em 48Vcc.

Este inversor, Xantrex GT3.0, tem 3300 W de potência máxima. O número de módulos calculados para atender ao novo projeto dobrou o a capacidade instalada, resultando em 5200 W. Logo, para atender esta demanda, seria necessário dobrar o número de inversores, aplicando mais um a fim de atender a potência gerada.

Avaliando o cenário, adota-se como solução a implantação de um novo inversor que atenda as características do projeto elaborado.

Para atender a demanda deste projeto, defini-se o inversor fabricado pela Outback Power, da série Radian, modelo GS7048E, este inversor tem tensão nominal de entrada de 48Vcc e tensão de saída entre 210 Vca e 250 Vca, fornece 7 kW de potência contínua máxima em onda senoidal pura, com frequência de operação variável entre 50 Hz e 60 Hz, a distorção total para corrente harmônica é menor que 5% e para máxima tensão harmônica simples é menor que 2%.

6.7 PROJETO ELÉTRICO

O projeto elétrico de um sistema fotovoltaico é a etapa que engloba o dimensionamento dos condutores, definição da interconexão dos equipamentos de forma eficaz e sem perdas, dimensionamento e especificação dos equipamentos de segurança para garantir proteção elétrica ao sistema e verificação se o mesmo atende os códigos locais para instalações elétricas.

No Brasil, atualmente, não há disponíveis normas técnicas ou códigos locais específicos para projetos de sistemas fotovoltaicos. Porém, com base no Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), podem-se aplicar as normas destinadas para as instalações elétricas convencionais e as recomendações encontradas na seção do Código Elétrico Nacional dos Estados Unidos (*NEC - National Electric CO DE-U.S.A.*)[7].

6.7.1 Diodos de passo e bloqueio

A aplicação de diodos de proteção, de acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), tem como objetivo:

e) otimizar a captação de energia total pelos módulos fotovoltaicos e proteger os mesmos em períodos onde há sombreamento parcial do sistema ou em situações em que o arranjo seja constituído por módulos com diferentes características elétricas;

f) bloquear a fuga de correntes a partir da bateria em direção aos módulos fotovoltaicos durante baixos níveis de radiação ou no período noturno.

No projeto elétrico, a especificação dos diodos de proteção é feita com base na corrente direta de operação e na tensão reversa máxima. A corrente direta de operação é dada através do número de módulos que são instalados em paralelo e a tensão reversa máxima é obtida de acordo com o número de módulos instalado em série.

[7] Disponível em: <http://www.codebookcity.com/codearticles/nec/necarticle690-2.htm>

A queda de tensão em diodos de proteção é verificada através da tecnologia usada e do material que o mesmo foi produzido. Estes componentes têm seu valor financeiro diferenciado de acordo com a queda de tensão que produzem, logo, diodos com queda de tensão menor tenderão a ser mais caros.

Os diodos de proteção são usualmente instalados nas caixas de junção.

6.7.1.1 Diodos de passo

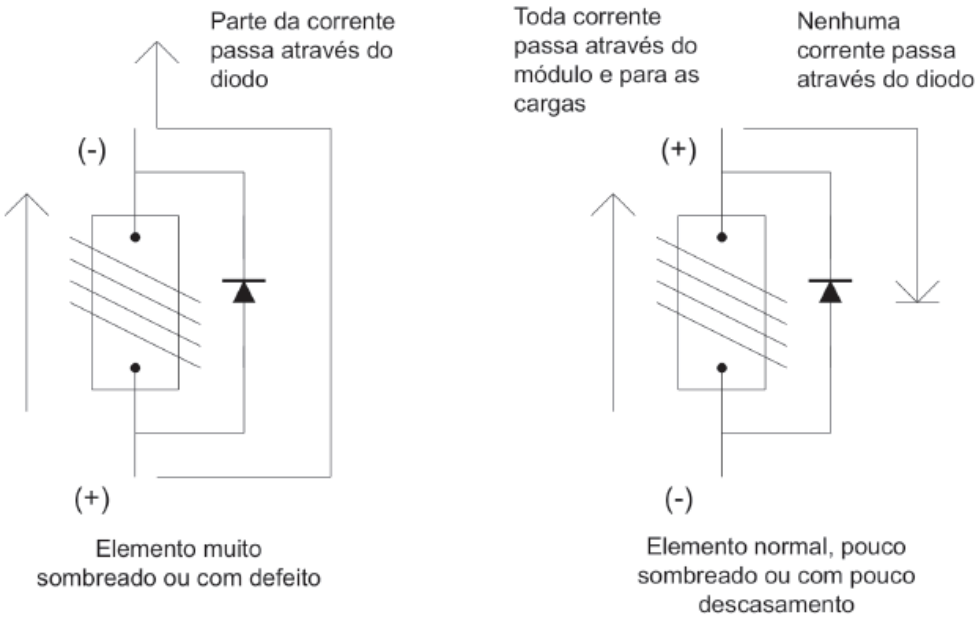
Os diodos de passo, também conhecidos como diodos de *by-pass*, entre os objetivos dos diodos de proteção apresentados, são aplicados apenas para atender aos requisitos da letra "a" anteriormente citada, atuando de forma a evitar que a corrente fornecida por um módulo ou arranjo seja limitada pelo seu mau desempenho.

Em situações em que há sombreamentos ou defeito nos módulos, o diodo de passo funciona como um segmento alternativo para a corrente, impedindo a dissipação de potência nos locais de falta. A Figura 32 apresenta as diferentes operações de um diodo de passo.

Atualmente, no mercado, os módulos fotovoltaicos já são ofertados com diodo de passo integrado ao mesmo, descartando a especificação deste durante a elaboração do projeto. Os módulos especificados para este projeto não são fornecidos com diodos de passo.

Em cada módulo, deve ser empregado um diodo de passo do tipo *Schottky*, modelo 10SQ045. Este diodo possui corrente nominal de 10 A e tensão nominal equivalente a 45 V.

Figura 32 - **Operações de um diodo de passo.**



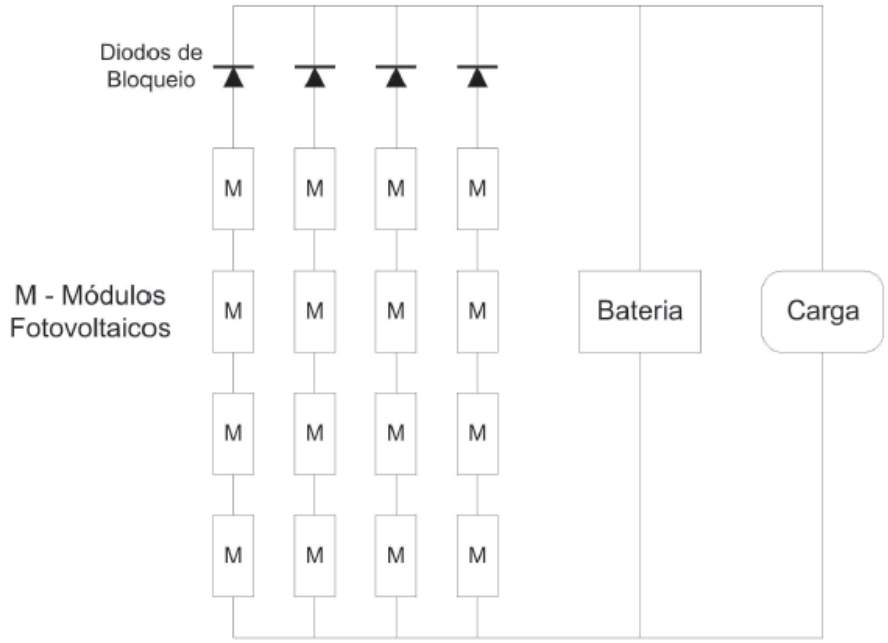
Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 111.

6.7.1.2 Diodos de bloqueio

Os diodos de bloqueio são empregados em sistemas fotovoltaicos para atender a ambos os objetivos apresentados para os diodos de proteção.

No primeiro objetivo, letra “a”(citado no subitem 1.8.1), o diodo de bloqueio é utilizado para evitar fluxos de corrente de um arranjo com maior tensão para outro com menor tensão. A instalação dos diodos de bloqueio pode ser verificada na Figura 33.

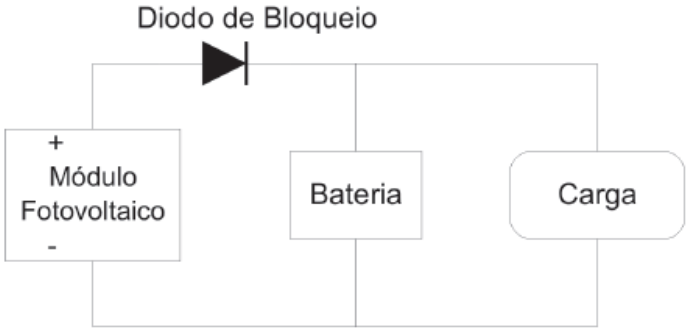
Figura 33 - **Bloqueio do fluxo de corrente entre as fileiras do arranjo.**



Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 110.

Para atender ao segundo objetivo dos diodos de proteção, letra "b" (citado no subitem 1.8.1), o diodo de bloqueio é instalado em série entre o módulo fotovoltaico e a bateria, evitando correntes reversas, conforme se pode verificar na Figura 34.

Figura 34 - **Bloqueio do fluxo de corrente entre bateria e módulo**



Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 110.

Muitos dos controladores de carga oferecidos no mercado são fabricados com diodos já integrados, e também, proteção do sistema contra inversões de polaridade no momento da instalação. Para este projeto, o controlador definido, *Morningstar Tristar 60*, possui as proteções desejáveis.

Entre os arranjos fotovoltaicos não será necessário aplicar diodo de bloqueio porque os módulos KC130TM são produzidos com células policristalinas, fornecendo resistência contra descargas elétricas.

6.7.2 Condutores

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), atualmente, no Brasil, não há normas que estabeleça as regras para dimensionar corretamente os condutores de uma instalação fotovoltaica.

Os condutores definidos no projeto do sistema isolado para a Dígitro possuem como base para dimensionamento as planilhas fornecidas pelo Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (CEPEL-CRESESB, 2004), estas planilhas fornecem o comprimento de um condutor de cobre a partir da queda de tensão máxima adotada para o circuito e da corrente máxima que por ele percorre.

No dimensionamento da seção de um condutor, um dos critérios de avaliação da capacidade de condução é a queda de tensão, portanto, para atender este critério em condições críticas de operação, adota-se que a queda de tensão permitida entre controlador e bateria equivale a 1%, e para qualquer outro ramal individual a queda máxima permitida é de 3%.

A queda de tensão total entre módulo e o ponto final não deve ultrapassar o equivalente a 5% da tensão nominal do sistema.

Na Tabela 15, apresentam-se os critérios utilizados para definir a seção e o comprimento máximo de cada condutor para os circuitos em corrente contínua.

Tabela 19 – **Condutores em corrente contínua**

Fio	Tensão do sistema (V)	Corrente máxima (A)	Compr. (m)	Queda de tensão (%)	Fator de temp.	Bitola (mm²)	Tipo de fio
módulo - módulo	12	7,39	0,8	1	0,91	2,5	cobre
arranjo - arranjo	48	73,90	3,4	1	0,91	25	cobre
arranjo - control.	48	60	4,5	1	0,91	25	cobre
control. - bateria	48	60	4,5	1	0,91	25	cobre
bateria - bateria	12	22,9	1,1	1	0,91	10	cobre
bateria - inversor	48	22,9	4,3	1	0,91	10	cobre

Fonte: MANUAL DE ENGENHARIA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. **Projeto de um sistema fotovoltaico.** ed. esp. Rio de Janeiro, 2004. p. 117.

As polaridades dos condutores em corrente contínua, positivo e negativo, são diferenciadas a partir das cores do isolamento do condutor. Utilizam-se cabos vermelhos para representar a polaridade positiva e preta para polaridade negativa.

Para os circuitos em corrente alternada, o dimensionamento da seção do condutor é realizado conforme as orientações fornecidas pela norma técnica brasileira NBR-5410 (instalações elétricas em baixa tensão).

Em corrente alternada há apenas a alimentação dos circuitos de iluminação. Ficam definidos três circuitos, um para cada escada e um para a sala de monitoramento. O circuito de maior demanda e maior comprimento é o de alimentação das escadas, que possui potência total de 390 VA e comprimento máximo de 90 metros.

A corrente de projeto para as escadas equivale a 1,77 A. Aplicando 0,80 como fator de correção por agrupamento (três circuitos agrupados e método de instalação B1-2) e 0,91 para correção por temperatura (40°C), obtém-se a corrente de projeto igual a 2,43 A.

Para esta corrente, cabos de 1,5 mm² atendem ao critério da capacidade de condução de corrente, porém, a queda de tensão máxima do sistema não deve ultrapassar 5%, logo, ficam reservados 2% para os circuitos de iluminação. Analisou-se a queda de tensão com a seção inicial de 1,5 mm², mas o mesmo não atende ao critério.

De acordo com o catálogo técnico de condutores PIRELLI Cabos S/A, para seções de 2,5 mm² a resistência do condutor equivale a 8,87 Ω/km e a indutância equivale a 0,15 Ω/km, resultando numa queda de tensão de, aproximadamente, 1%. Portanto, para os circuitos de iluminação, os condutores devem ter seção de 2,5 mm², fabricados em PVC.

6.7.3 Proteções

O dimensionamento de equipamentos e sistemas de proteção (chaves, disjuntores, fusíveis e aterramento) não possuem características especiais. Estes dispositivos têm como metodologia o dimensionamento normatizado para qualquer outro tipo de projeto elétrico.

A aplicação de chaves destina-se a possibilidade de abrir o sistema para qualquer para a realização de manutenções. Utilizam-se fusíveis e disjuntores para proteger os condutores,

equipamentos e componentes das altas correntes que podem ocorrer durante uma falha elétrica.

Disjuntores, chaves e fusíveis devem ser selecionados para operações em corrente continua. Equipamentos especificados em corrente alternada podem operar corretamente, porém, depois de algum tempo de uso, os mesmos apresentarão defeitos. Para evitar qualquer problema, os dispositivos de proteção devem ser especificados em função da tensão de operação e da máxima corrente aceitável.

Neste projeto definiu-se apenas a aplicação de disjuntores para proteger os circuitos.

Em corrente contínua, aplica-se um disjuntor em cada ramal: entre o arranjo fotovoltaico e o controlador de bateria emprega-se um disjuntor com capacidade de 125A, entre controlador e baterias um disjuntor com capacidade de 125 A e entre bateria e inversor um disjuntor com capacidade de 32A.

Em corrente alternada, a alimentação das lâmpadas é dividida em três circuitos, portanto, emprega-se uma caixa de distribuição entre o inversor e estes ramais. Na alimentação do barramento do quadro aplica-se um disjuntor com capacidade de 10A, e para cada ramal um disjuntor com capacidade de interrupção de 6A.

Todos os disjuntores selecionados são fabricados pela *Schneider Electric*. Para corrente contínua deve empregar-se disjuntores modelo C120H, tensão de operação 24/48V, e para corrente alternada, aplica-se disjuntores modelo C60N, tensão de operação 220/440V.

6.7.3.1 Aterramento

Para evitar riscos de choques elétricos, estabilizar valores de tensão e proteger os equipamentos contra falhas elétricas aplica-se a instalação um sistema de aterramento. Em sistemas fotovoltaicos, o aterramento engloba a conexão de carcaças metálicas e circuitos elétricos a terra.

Muitos dos componentes já possuem local indicativo para a conexão do terminal terra. Caso alguma estrutura ou componente com metal exposto não apresentar um meio de aterramento, deve-se estudar uma alternativa para conectar o mesmo a terra.

Assim como a atual instalação, todos os componentes e estruturas que necessitam ser aterrados, neste projeto, utilizarão a malha de terra aplicada para as instalações do edifício da Dígitro.

6.7.4 Controle

A vida útil de componentes eletrônicos pode ser comprometida quando submetida a ações da natureza, como a umidade e altas temperaturas, sendo assim, uma caixa de controle geralmente é aplicada para abrigar controladores de carga, inversores, conversores, fusíveis, componentes para o balanço do sistema, etc.

Esta caixa de controle deve ser instalada o mais próximo do arranjo fotovoltaico, em local seco e ventilado, e não deve compartilhar o mesmo espaço que as baterias, pois estas proporcionam ao compartimento um ambiente corrosivo.

6.8 ANÁLISE DO PROJETO ELABORADO

Conforme classificação da Aneel, devido a potência gerada, estamos tratando de um projeto de uma microgeração.

O sistema de geração de energia instalado na Dígitro é um sistema conectado à rede, porém, para a transformação deste, em um sistema de geração isolado da rede foi desenvolvido um projeto onde há o armazenamento do excedente da energia produzida em baterias para uso desta energia em períodos onde o sistema deixa de produzir.

Aplicações de armazenadores e controladores de carga, substituição de inversores e ampliação da quantidade de módulos são necessidades que ficam evidentemente claras, e que resultam num alto investimento para a mudança de configuração.

Este sistema proposto, mesmo devido ao seu alto custo de implantação e manutenção, se justifica pelo fato da importância de um sistema isolado para regiões que não são atendidas pelas redes de distribuição.

CONCLUSÃO

Nos últimos anos, tem se intensificado a busca por meios de geração de energia renovável. A aplicação de sistemas fotovoltaicos é um dos meios mais adotados quando se trata de sustentabilidade, por ser uma energia limpa e de fonte inesgotável, além de potencializar a independência de consumidores e reduzir a energia fornecida por concessionárias.

Pode-se verificar que a difusão destes sistemas de geração está limitada devido ao alto custo de implantação e aos baixos valores de potência gerados pelos módulos fotovoltaicos. O processo para baixar o custo de implantação está progredindo lentamente, pois o maior esforço empregado atualmente é para o aumento da eficiência de conversão de energia do sistema.

Outra limitação visível é a carência por fontes bibliográficas. A Aneel disponibilizou recentemente a resolução normativa 482, que estabelece as diretrizes para um consumidor tornar-se um produtor independente, seus direitos e deveres. O que se trata de um bom passo inicial. Porém, para sistemas fotovoltaicos, não há normas técnicas que disponibilizam fórmulas, parâmetros e fatores que auxiliem na compreensão e elaboração de projetos dos mesmos.

O Brasil possui níveis de radiação solar satisfatórios durante todo o ano e em toda a sua extensão territorial, porém, como verificado, são poucas as aplicações de sistemas de aproveitamento da energia solar.

Atualmente, o maior foco de aplicações de geração fotovoltaica no país está voltado para projetos de grande porte, instalados em usinas, edifícios comerciais, edifícios residenciais, indústrias, etc.

No que tange os objetivos deste trabalho em relação ao estudo de um projeto em grande porte, o mesmo foi alcançado. O estudo de caso realizado sobre o sistema solar conectado à rede instalado no edifício sede da Dígitro, considerado de acordo com a Aneel um sistema microgerador por possuir uma potência de geração instalada inferior a 100 kW, juntamente com a elaboração de um projeto para tornar este em um sistema isolado, fornece uma ampla visão das atuais regulamentações, da composição estrutural, do funcionamento e, principalmente, dos benefícios que o mesmo proporciona.

Evidenciou-se neste trabalho que sistemas conectados à rede, como é o caso do sistema instalado na Dígitro, são de maior interesse por possuírem vantagens em relação à economia financeira e eficiência de geração. Este sistema mostra-se mais eficiente devido a não utilização de baterias e controladores de carga, e apresenta um investimento inicial menor, bem como a diminuição de gastos com a manutenção.

Em um sistema isolado temos a alimentação de uma carga específica, logo, quando a mesma está desativada e há carregamento total dos armazenadores de energia, o sistema deixa de operar. Em sistemas conectados à rede toda a energia produzida é utilizada, pois a mesma é diretamente incorporada à rede, beneficiando-se ao máximo de toda a energia solar que incide sobre os módulos.

Projetar um sistema fotovoltaico exige atenção para que não ocorram erros relacionados à capacidade dos componentes. Uma boa eficiência do sistema não está relacionada apenas com o índice de conversão dos módulos fotovoltaicos, mas também com uma correta determinação e definição dos níveis de radiação e curva de carga, além do correto dimensionamento de cada componente.

Em edifícios comerciais, a instalação de sistemas solares sobre o teto possui a vantagem do maior aproveitamento da energia solar que ali incide, pois há uma menor presença de sombreamentos, o que potencializa a eficiência do sistema.

O projeto do sistema isolado, quando utilizado em lugares onde temos à rede da distribuidora disponível para alimentar os consumidores, pode não ser tão interessante devido ao custo de implantação e manutenção serem maiores que os gastos com o sistema conectado a rede, uma vez que, além da necessidade da instalação de equipamentos que não se fazem necessários no sistema conectado à rede, as baterias normalmente serão a primeira parte deste sistema a ter que receber manutenção devido a sua vida útil.

No entanto, esse sistema se justifica completamente quando é implantado em lugares isolados das redes das distribuidoras, pois, com isso se faz necessário um sistema que possua a capacidade de armazenar a energia produzida em determinados períodos para ser utilizada quando o sistema não tem como produzir.

Mesmo com algumas desvantagens em relação a diferentes incidências de radiação solar e eficiência de conversão de energia, a geração fotovoltaica vem ganhando espaço nos meios de obtenção de energia limpa mais estudados e aplicados. Com as promessas de avanços tecnológicos para aumentar a eficiência dos módulos e baixar os custos de produção,

bem como, o desenvolvimento das normas técnicas regulamentadoras, em breve, muitos projetos se beneficiarão desta tecnologia sustentável e o Brasil tem tudo para se tornar protagonista nesse tipo de geração renovável.

REFERÊNCIAS

ABRAVA. Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Disponível em: <http://www.abrava.com.br/a-abrava>. Acesso em 04 mar.2014.

Agência Energia. **Aquecimento Solar em residências para população de baixa renda**. Disponível em: <http://www.agenciaenergia.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=466&Itemid=82>. Acesso em: 04 mar. 2014.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica, disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 28 fev. 2014.

____. **Energia Solar.** Disponível em: <www.**aneel**.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-**Energia_Solar**(3).pdf>. Acesso em: 26 mar. 2014.

____. RESOLUÇÃO NORMATIVA 482. Dísponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 29 de abr. de 2014.

CELESC. Celesc Distribuição S.A., disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2014.

____. MANUAL DE PROCEDIMENTOS DA CELESC - Requisitos gerais para conexão de autoprodutor e produtor independente de energia à rede da Celesc. Disponível em: <http://novoportal.celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/I4320003.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2014.

COELHO, Roberto Francisco. Estudo dos conversores buck e boost aplicados ao rastreamento de máxima potência de sistemas solares fotovoltaicos, Florianópolis: UFSC, 2008 (Dissertação de Mestrado). 176p.

____. Concepção, análise e implementação de uma microrrede interligada à rede elétrica para alimentação ininterrupta de cargas cc a partir de fontes renováveis, Florianópolis: UFSC, 2013 (Tese de Doutorado). 330p.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, disponível em: < http://www.cresesb.cepel.br/principal.php> Acesso em: 26 mar. 2014.

____. disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=2>. Acesso em: 26 mar. 2014.

____. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos / Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

DASOL. Departamento Nacional de Aquecimento Solar. Disponível em: <http://www.dasolabrava.org.br/informacoes/dados-de-mercado/>. Acesso em: 02 mar. 2014.

Departamento Nacional de Aquecimento Solar. **Mercado de aquecimento solar cresceu 6,5% em 2011**. Disponível em: < http://www.dasolabrava.org.br/2012/04/mercado-de-aquecimento-solar-cresceu-65-em-2011>. Acesso em: 30 mar. 2014.

DÍGITRO Tecnologia Ltda. **Sustentabilidade**: edifício sustentável. Disponível em: <http://www.digitro.com/pt/index.php/sustentabilidade>. Acesso em: 09 jun. 2014.

ELETROSUL Centrais Elétricas S.A. **SOL Megawatt Solar**: O projeto. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1150>. Acesso em: 05 mar. 2014.

____. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/home/conteudo.php?cd=1151>. Acesso em: 28 mar. 2014.

____. Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br>. Acesso em: 05 mar. 2014.

FRAIDENRAICH, N. et al. *Análise Prospectiva da Introdução de Tecnologias Alternativas no Brasil. Tecnologia Solar Fotovoltaica.* Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia – Grupo FAE, UFPE. 2004.

FILHO, José Ribeiro de Souza. Projeto, construção e levantamento de desempenho de um concentrador solar cilíndrico parabólico com mecanismo automático de rastreamento solar, Natal: UFRN, 2008 (Dissertação de Mestrado). 91p.

Global Solar Thermal Energy Council. **Casos de sucessos de instalações de aquecimento solar de água**: Edifícios residenciais. Disponível em: <http://solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Brasil%20RESIDENCIAL%20case%20studies.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2014.

GUERRA, José Baltazar Salgueirinho Osório de Andrade; YOUSSEF, Youssef Ahmad. **O Legado do Projeto Jelare e as energias renováveis.** Palhoça: Unisul, 2012. 330 p.

HALTEN. **Dimensionamento Condutor**. Disponível em: <http://halten.com.br/Dimensionamento_Fios_e_Cabos.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2014.

KYOCERA. Manual do painel solar fotovoltaico KYOCERA. Disponível em: <www.kyocerasolar.com/assets/001/5186.pdf>. Acesso em: 29 de abr. de 2014.

MANUAL DE ENGENHARIA. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos / Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Tecnologia Fotovoltaica:** qual o tamanho da oportunidade para os fabricantes de equipamentos? Disponível em: <http://www.suframa.gov.br/minapim/news/visArtigo.cfm?Ident=336&Lang=BR>. Acesso em: 20 abr. 2014.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Energia Solar.** Disponível em: < http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/energia-solar>. Acesso em: 26 mar. 2014.

MME. Ministério de Minas e Energia. **O Proinfa.** Disponível em: < http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/>. Acesso em: 02 abr. 2014.

____. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 26 mar. 2014.

MOREIRA, Rudicley William. **Sistemas de Captação Solar Fotovoltaica:** Proposta de novas estruturas de fixação. Palhoça: Unisul, 2013 (TCC).

Neosolar Energia. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/loja/>. Acesso em: 03 jun. 2014.

____. **Sistemas de Energia Solar e seus Componentes**. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 10 mar. 2014.

OUTBACK POWER. Série Radian: Inversor/Carregador GS7048E. Disponível em: <http://www.outbackpower.com/downloads/documents/radian/radiangs7048e_specsheet_portuguese.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2014.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos:** o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil. Florianópolis: LABSOLAR, 2004. 114p.

SCHNEIDER ELECTRIC. Guia de escolha de um disjuntor em corrente contínua. Disponível em: <http://download.schneider-electric.com/files?p_File_Id=2470683&p_File_Name=pag_guia_de_escolha_corrente_continua.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2014.

____. C60: disjuntores modulares até 63A. Disponível em: < http://www.schneider-electric.com/products/br/bz/1600-dispositivos-modular-em-trilho-din/1655-multi-9-dispositivos-modulares/888-c60/>. Acesso em: 23 jun. 2014.

SOLARTHERMALWORLD. Disponível em: <http://solarthermalworld.org/sites/gstec/files/Brasil%20RESIDENCIAL%20case%20studies.pdf>. Acesso em 08 mar. 2014.

SUNDATA. **Potêncial Energético Solar**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/sundata/>. Acesso em: 25 mai. 2014.

TRACTEBEL ENERGIA. **Cidade Azul (Solar).** Disponível em: <http://www.tractebelenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/usinas-em-construcao/solar-cidade-azul>. Acesso em: 05 mar. 2014.

TOLMASQUIM, Maurício T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, Cinergia, 2003.

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA. Pró-Reitoria Acadêmica. Programa de Bibliotecas. **Trabalhos acadêmicos na Unisul**: apresentação gráfica para TCC, monografia, dissertação e tese. Cristiane Salvan Machado et. al. (Org). 2. ed. rev. e ampl. Tubarão : Ed. Unisul, 2008

URSAIA, Guilherme Crispa. **A Regulação da Microgeração e Minigeração de Energia no Brasil.** Disponível em: <http://www.ambientelegal.com.br/a-regulacao-da-microgeracao-e-minigeracao-de-energia-no-brasil/>. Acesso em: 20 mai. 2014.

XANTREX. Manual do inversor Xantrex GT3.0. Disponível em: <http://www.manualslib.com/manual/195444/xantrex-technology-gt3-0.html?page=28#manual>. Acesso em: 29 de abr. de 2014.