

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EVERTON WELCHEN FLACH

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
ENERGIA FOTOVOLTAICA INTERLIGADA A REDE DE
DISTRIBUIÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA: ESTUDO DE CASO EM
LAGES – SC**

LAGES
2018

EVERTON WELCHEN FLACH

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DA
ENERGIA FOTOVOLTAICA INTERLIGADA A REDE DE
DISTRIBUIÇÃO EM UMA RESIDÊNCIA: ESTUDO DE CASO EM
LAGES – SC**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Universitário UNIFACVEST
como parte dos requisitos para a obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Msc. Silvio Moraes de Oliveira

LAGES

2018

Monografia apresentada ao Centro Universitário Facvest – UNIFACVEST, como requisito necessário para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Ererton Wolchen Flach

NOME DO ALUNO

Viabilidade Técnica e Econômica da
Utilização da Energia Fotovoltaica Interligada
a Rede de Distribuição em uma
Residência: Estudo de Caso em Lages - SC.

BANCA EXAMINADORA:

Msc. Silvio Moraes de Oliveira

Titulação e nome do Orientador(a)

Francieli Lima de Sá, Prof.^a Dra.

Titulação e nome do Avaliador (a).

Msc. Sergio Luis Broekveld Junior

Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá, Prof.^a Dra.

Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 07 de dezembro de 2018.

RESUMO

Nos últimos anos, houve um grande aumento na preocupação das fontes geradoras de energia elétrica, pois muitas delas causam danos ao meio ambiente. Em consequência disto tem se pensado e estudado novas fontes de geração de energia elétrica, buscando criar uma forma de gerar energia sem agredir ou modificar o meio ambiente. Uma dessas fontes geradoras é a geração por módulos fotovoltaicos que converte a energia emitida pelo sol em energia elétrica. Sendo uma das mais promissoras tecnologias existentes, pelo fato de poder gerar energia elétrica de forma distribuída, diminuindo o gasto com linhas de transmissão e distribuição, além de ter uma geração silenciosa, estática, e podendo integrar-se a edificação ficando próximo aos pontos consumidores e não agredindo a estética da edificação. O presente trabalho tem o objetivo de mostrar um estudo de caso, da utilização de energia elétrica gerada pelos módulos fotovoltaicos com interligação na rede elétrica, instalada em uma residência localizada na cidade de Lages do estado de Santa Catarina, com o principal intuito de analisar se esta tecnologia tem uma viabilidade técnica e econômica para o consumidor. Foi desenvolvido um estudo com análises na incidência solar anual na região, e sua intensidade. Analisando várias marcas de módulos em relação ao seu rendimento, para escolher a melhor em custo benefício. Por fim, foi apresentada uma análise de todos os custos necessário para o investimento, e realizando ainda, uma conclusão de quanto tempo será necessário para ter o retorno do valor investido, e se a instalação desta tecnologia é viável para esta região.

Palavras-chave: Energia Solar. Placas Fotovoltaicas. Geração Distribuída. Economia.

ABSTRACT

In recent years, there has been a great increase in the concern of electricity generating sources, since many of them cause damage to the environment. As a result, new sources of electricity generation have been thought and studied, seeking to create a way to generate energy without harming or modifying the environment. One of these generating sources is the generation by photovoltaic plates that converts the energy emitted by the sun into electrical energy. Being one of the most promising existing technologies, because it can generate electricity in a distributed way, reducing the cost of transmission and distribution lines, in addition to having a silent, static generation, and being able to integrate the building, being close to the consumer points and not attacking the aesthetics of edification. The present work has the objective of showing a case study of the use of electric energy generated by photovoltaic panels with interconnection in the electric network, installed in a residence located in the city of Lages of the state of Santa Catarina, with the main intention to analyze if this technology has a technical and economic viability for the consumer. A study was carried out with analyzes of the annual solar incidence in the region, and its intensity. By analyzing various brands of boards in relation to their performance, to choose the best in cost benefit. In the end, an analysis of all the costs required for the investment was presented, as well as a conclusion of how long it will take to get the return of the invested value, and if the installation of this technology is feasible for this region.

Keywords: Solar Energy. Photovoltaic Panels. Distributed Generation. Economics.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por ter me dado saúde e condições para concluir os 5 anos de graduação no curso de Engenharia Elétrica.

Agradecer a todos os meus familiares pelo incentivo e compreensão durante esta jornada.

Agradecer especialmente aos meus pais e irmãos, por toda a dedicação e paciência contribuindo diretamente, e não medindo esforços para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos.

Agradecer a todos os meus amigos e colegas, que estiveram ao meu lado nos momentos de alegria e batalha.

Agradecer ao meu orientador e amigo Silvio Moraes de Oliveira, pelos ensinamentos me passado durante minha graduação, e por ter solucionado as dúvidas pelas quais me deparei e por ter me guiado no desenvolvimento deste trabalho

Agradecer a Coordenadora do curso de Engenharia Elétrica Franciéli Lima de Sá, e a todos os professores do curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Unifacvest, pelos ensinamentos passados ao longo destes cinco anos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Recursos Energéticos Totais da Terra	13
Figura 2 - Linha histórica da evolução da energia solar.....	19
Figura 3 - Mapa do total anual de irradiação solar direta normal do Brasil.....	23
Figura 4 - Efeito fotovoltaico na junção PN.....	25
Figura 5 - Célula do tipo monocristalino.....	26
Figura 6 - Célula do tipo policristalina.....	27
Figura 7 - Efeito causado pela temperatura da célula em um módulo fotovoltaico.....	28
Figura 8 - Dependência da característica potência x tensão com a temperatura.....	28
Figura 9 - Efeito causado pela variação de intensidade luminosa da luz para um módulo fotovoltaico.....	29
Figura 10 - Potência x Tensão para uma célula fotovoltaica mostrando quatro níveis de iluminação	30
Figura 11 - Eficiência de conversão x radiação solar.....	30
Figura 12 - As três formas geométricas das células fotovoltaicas.....	31
Figura 13 - Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.	32
Figura 14 - Conjunto de módulos fotovoltaicos ligados em série	33
Figura 15 - Curva de corrente e tensão para um módulo de 220W.....	34
Figura 16 - Conexão de módulos fotovoltaicos em paralelo.....	35
Figura 17 - Curva I-V para a conexão em paralelo de módulos fotovoltaicos idênticos.	35
Figura 18 - Sistema ilhado.....	38
Figura 19 - Desenho de uma instalação típica de dispositivos de proteção para um SFCCR.....	40
Figura 20 - Representação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica	47
Figura 21 - Residência do estudo de caso realizado.....	50
Figura 22 - Estrutura de painel para telhas	61
Figura 23 - Imagem Ilustrativa da residência com as placas instaladas	63
Figura 24 - Imagem Ilustrativa da residência com as placas instaladas	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Os 10 países com maior capacidade instalada de geração FV.	21
Tabela 2 - Tabela para escolha do ângulo de inclinação do módulo.....	52
Tabela 3 - Placa fotovoltaica CanadianSolar.....	56
Tabela 4 - Dados de entrada do inversor EcoSolys 2kW	58
Tabela 5 - Dados de saída do inversor EcoSolys 2kW	58

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da produção mundial de células fotovoltaicas até o ano de 2012.....	18
Gráfico 2 - Evolução da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica no mundo (GW-DC).....	20
Gráfico 3 - Irradiação Solar no Plano Horizontal Lages-SC.....	49
Gráfico 4 - Irradiação Solar no Plano Inclinado.....	51
Gráfico 5 - Desempenho do sistema fotovoltaico no período de 25 anos.....	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Normas nacionais utilizadas e recomendadas para consulta.....	41
Quadro 2 – Continuação normas nacionais utilizadas e recomendadas para consulta.....	42
Quadro 3 – Continuação normas nacionais utilizadas e recomendadas para consulta.....	43
Quadro 4 - Normas internacionais recomendadas para consulta.....	43
Quadro 5 - Normas internacionais recomendadas para consulta.....	44
Quadro 6 - Irradiação Sola Lages-SC.....	49
Quadro 7 - Irradiação Solar Média com inclinação de 22 ° N.....	51
Quadro 8 - Consumo mensal de energia elétrica dos últimos 12 meses.....	53
Quadro 9 - Perdas de rendimento do SFV.....	55
Quadro 10 - Lista Materiais.....	61
Quadro 11 - Orçamento total.....	62
Quadro 12 - Dados necessários para cálculo do payback.....	65
Quadro 13 - Desempenho do sistema fotovoltaico no período de 25 anos.....	66
Quadro 14 - Indicadores financeiros out-2018 Rentabilidades anuais.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	<i>Ampère</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CdS	Sulfeto de Cádmio
CdTe	Telureto de Cádmio
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CSI	<i>Current Source Inverter</i> (Inversor de Fonte de Corrente)
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
DSV	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FV	Fotovoltaico
GWp	Giga Watts Pico
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência internacional de energia)
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MME	Ministério de Minas e Energia
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i> (Rastreador do Ponto de Máxima Potência)
MWp	Mega Watts Pico
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SFV	Sistema Fotovoltaico
SPDA	Sistema de Proteção Contra Descargas Atmosféricas
V	<i>Volt</i>
Wp	<i>Watts Pico</i>
W	<i>Watts</i>

SUMÁRIO

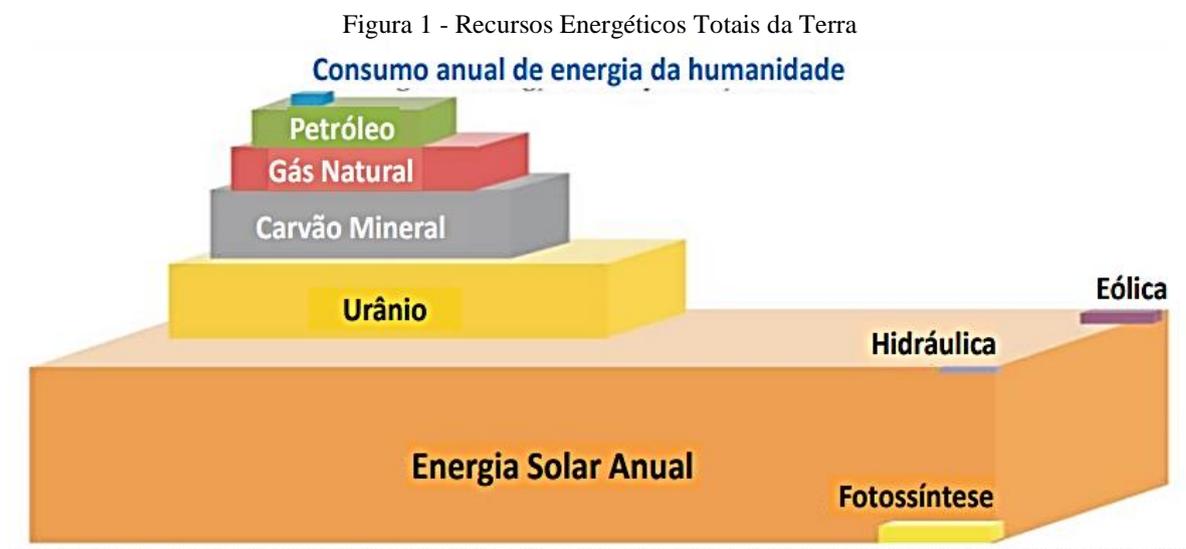
1	INTRODUÇÃO	13
2	JUSTIFICATIVA	15
2.1	O Problema	15
2.2	Objetivo	16
2.2.1	Objetivo geral	16
2.2.2	Objetivos específicos	16
3	HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	17
3.1	Visão Mundial	20
3.2	Utilização no Brasil	21
4	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	24
4.1	Sistema fotovoltaico	24
4.1.1	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede.....	24
4.1.2	Sistemas fotovoltaicos isolados	24
4.2	Efeito fotovoltaico	24
4.3	Tipos de células fotovoltaicas	26
4.4	Parâmetros que influenciam o comportamento básico das Células fotovoltaicas 27	
4.4.1	Influência da temperatura	27
4.4.2	Influência da Intensidade da Radiação Solar.....	29
4.5	Módulos fotovoltaicos	31
4.6	Associação de módulos fotovoltaicos	32
4.6.1	Considerações gerais	32
4.6.2	Módulos fotovoltaicos conectados em série	32
4.6.3	Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo.....	34
4.7	Inversor	36
4.7.1	Considerações gerais	36
4.7.2	Características.....	36
4.7.3	Detecção de ilhamento.....	38
4.7.4	Tipos para sistema fotovoltaico conectado a rede	39
4.8	Proteção	39

4.9	Recomendações gerais sobre segurança	40
4.9.1	Normas.....	41
4.10	Operação e manutenção	44
5	PROJETO	46
5.1	Considerações gerais	46
5.2	Escolha da configuração	46
5.3	Desenvolvimento	48
5.3.1	Avaliação do recurso solar.....	48
5.3.2	Localização	50
5.3.3	Levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica.....	52
5.3.4	Dimensionamento e escolha dos módulos fotovoltaicos	53
5.3.5	Dimensionamento do inversor	57
5.3.6	Condutores CC.....	60
5.3.7	Dispositivos de Proteção.....	60
5.4	Levantamento de custos	61
6	ANÁLISE	63
6.1	<i>Layout</i>	63
6.2	<i>Payback</i>	64
7	CONCLUSÃO	69
	BIBLIOGRAFIA	70
	APÊNDICE A – DIAGRAMA UNIFILAR	74
	ANEXO A – DATASHEET MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	75
	ANEXO B – DATASHEET INVERSOR SOLAR	77

1 INTRODUÇÃO

Todos os dias a superfície terrestre recebe a energia vinda do sol. Esta energia diária recebida é maior do que a demanda total de todos os habitantes de nosso planeta em todo um ano. Entre todas as diversas aplicações que usufruem da energia solar, a geração da eletricidade através de placas fotovoltaicas, é umas das mais elegantes formas de geração de energia elétrica (RÜTHER, 2004).

Na Figura 1 podemos observar a proporção do potencial de energia solar anual em relação aos outros recursos de energia.



Fonte: MME(2017)

Mesmo com pesquisas que demonstram que a energia solar é abundante no planeta, atualmente a matriz energética mundial é composta, predominantemente, de fontes não renováveis, onde sua grande maioria é composta por energias de natureza fóssil, como petróleo, gás natural e carvão mineral, das quais dependem quase todas as atividades da humanidade. Apesar de haver uma natureza quase finita de combustíveis fósseis, o consumo mundial da energia se baseia principalmente nesse tipo de fonte, correndo o risco de acabar em alguns anos. Sendo necessário a criação e utilização de outras fontes geradoras de energia (MME, 2017).

No atual momento das fontes geradoras de energia elétrica, está havendo uma transição de um sistema centralizado para um sistema misto, com geração distribuída composta por pequenas centrais geradoras e geração centralizada composta por grandes centrais geradoras. Atualmente predomina a geração de energia elétrica em grandes centros geradores, porém esses

grandes centros estão longe dos grandes centros consumidores, o que gera uma perda de energia elétrica, além de gastos de manutenção nos sistemas de transmissão. Já a nova ideia para a geração da energia elétrica se baseia na geração distribuída, onde sua geração se dará perto das grandes centrais consumidoras, ou até mesmo nas próprias centrais consumidoras, assim diminuído os gastos com linhas de transmissão e suas manutenções (ACKERMANN, ANDERSON, & SÖDER, 2001).

O Brasil tem uma localização privilegiada, tendo um intenso recurso solar, bacias hidrográficas com diversidade hidrológica e uma vasta faixa litorânea. Essas características naturais, propiciam o aproveitamento das fontes renováveis de energia em quase todas as suas regiões (BRAGA, 2008).

Porem apesar do Brasil possuir um abundante recurso solar, são poucos os programas criados para a geração de energia elétricas através do sistema fotovoltaico. Desde pesquisas até incentivo para a sua implantação (BENEDITO, 2009).

Este trabalho se concentra nos aspectos técnicos da geração distribuída interligada a rede elétrica, onde o consumidor irá gerar eletricidade para a sua própria residência, e o excesso gerado será transferido para a rede elétrica, gerando créditos. Além da vantagem da geração ser realizada próxima do consumidor, este tipo de sistema não requer área extra para sua implantação podendo ser instalado em cima de telhados e construções no meio de grandes centros urbanos.

2 JUSTIFICATIVA

Durante muitos anos, toda a humanidade desfrutou de recursos naturais para suprir suas necessidades energéticas, não havendo preocupações futuras. Consequentemente hoje, estudos revelam que esse uso causou danos ambientais ao planeta, e que os recursos naturais serão esgotados, mudando a visão mundial para fontes renováveis de energia (NASCIMENTO R. L., 2017).

Hoje no território brasileiro, as hidroelétricas são as principais fontes de geração de energia elétrica, e são consideradas fontes alternativas de energia. Porém sua instalação demanda uma vasta área de alagamentos, causando perdas ambientais localizadas. Além disso com o crescimento da população, haverá uma maior demanda de energia elétrica e o Brasil chegará a um ponto onde não será mais viável a instalação de usinas hidrelétricas, devido a sua grande devastação ambiental (TOLMASQUIM, 2003).

Consequentemente, hoje o mundo está voltado para a implantação da geração distribuída, onde o objetivo é criar pequenas centrais geradoras em cada residência, diminuindo a criação de grandes centrais geradoras longe de grandes centros consumidores, que causam maiores gastos de transportes energéticos, fazendo com que a energia elétrica seja gerada próximo ao seu consumo (NASCIMENTO R. L., 2017)

Por esses motivos, a utilização de módulos fotovoltaicos em residências, com a instalação de um sistema conectado à rede (*on-grid*), onde a energia gerada a mais pela residência é enviada para a rede de distribuição, e gerando créditos na sua conta de energia, irá proporcionar economia para o proprietário da residência, e contribuindo para o sistema interligado nacional de energia elétrica, como também gerando energia limpa, não afetando o meio ambiente.

2.1 O Problema

Devido ao grande aumento de equipamentos que utilizam a energia elétrica para funcionar, e futuramente o fim de recursos naturais disponíveis para a geração de energia, haverá um aumento na demanda de energia elétrica, com a necessidade do aumento da geração a partir de fontes renováveis.

A prática da instalação de sistemas fotovoltaicos para geração de energia elétrica, é muito pouco utilizada no Brasil em comparação com países mais desenvolvidos, um dos motivos para isso é o alto custo e falta de incentivo para instalação.

Porém, o Brasil se encontra em um ótimo ponto geográfico em relação ao sol, o que proporciona uma grande incidência de irradiação solar em nossa região, que pode ser muito bem aproveitada para a geração de energia elétrica.

Portanto, quais são as vantagens da aplicação de um sistema de módulos fotovoltaicos para a geração de energia elétrica em uma residência, como solução para a economia da conta de energia elétrica, além de não intervir no meio ambiente.

2.2 Objetivo

2.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo avaliar técnica e economicamente a implantação em uma residência localizada na cidade de Lages, SC, de um sistema de aproveitamento da energia solar, transformando-a em energia elétrica através de módulos fotovoltaicos, interligado à rede de distribuição.

2.2.2 Objetivos Específicos

- Definir o tipo de módulo fotovoltaico a utilizar;
- Dimensionar quantidade de placas fotovoltaicas;
- Dimensionar o tipo e a potência do inversor de frequência (utilizado para converter a energia elétrica de corrente contínua gerada pelas placas fotovoltaicas, em energia alternada para utilização e/ou distribuição);
- Elaborar um projeto básico de sua instalação;
- Avaliar a viabilidade econômica da implantação do sistema, através de levantamento de custo e retorno pelos créditos de energia e/ou redução de consumo de energia fornecido pela concessionária.

3 HISTÓRICO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A geração da energia elétrica através da conversão da luz é conhecido como efeito fotovoltaico e esse fenômeno foi denominado energia solar fotovoltaica. O físico francês Edmond Becquerel foi quem fez os primeiros relatos sobre o efeito fotovoltaico em 1839, quando em um de seus experimentos observou o surgimento de uma diferença de potencial em um material semicondutor quando este exposto luz (NASCIMENTO R. L., 2017).

Em 1877 o inglês William Grylls Adams e o seu aluno Richard Day Evans observaram este mesmo efeito no elemento selênio quando exposto a luz. Desta forma eles desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de foto produção de eletricidade. Esta placa apresentou uma eficiência energética de aproximadamente 0,5% (CRESESB, 2014).

Alguns anos mais tarde, o Americano Charles Fritts construiu a primeira placa solar, construída através do selênio e uma fina camada de ouro. Esta célula fotovoltaica alcançou uma eficiência aproximada de 1% (FADIGAS, 2012).

Por volta do ano 1956, as novas descobertas da microeletrônica proporcionaram a produção das primeiras células fotovoltaicas industriais. Porém devido ao seu alto custo e baixa eficiência a sua utilização não era viável para indústrias e nem residências. (CRESESB, 2014)

Esta tecnologia acabou perdendo sua importância na história, por ser afetada pelo baixo custo de combustíveis fósseis e pela facilidade de obtenção das energias não renováveis, assim a energia solar foi considerada como cara e abandonada para fins industriais. Neste momento da história, não havia preocupações sobre o possível esgotamento dos combustíveis fósseis, e pouca preocupação sobre o meio ambiente e suas consequência no efeito estufa (COOPER & JUNIOR, 2013).

Por outro lado, a utilização desta tecnologia teve seu primeiro destaque em sistemas de satélites, onde o seu custo não é importante e o local de utilização contém uma alta quantidade de radiação solar (CRESESB, 2014).

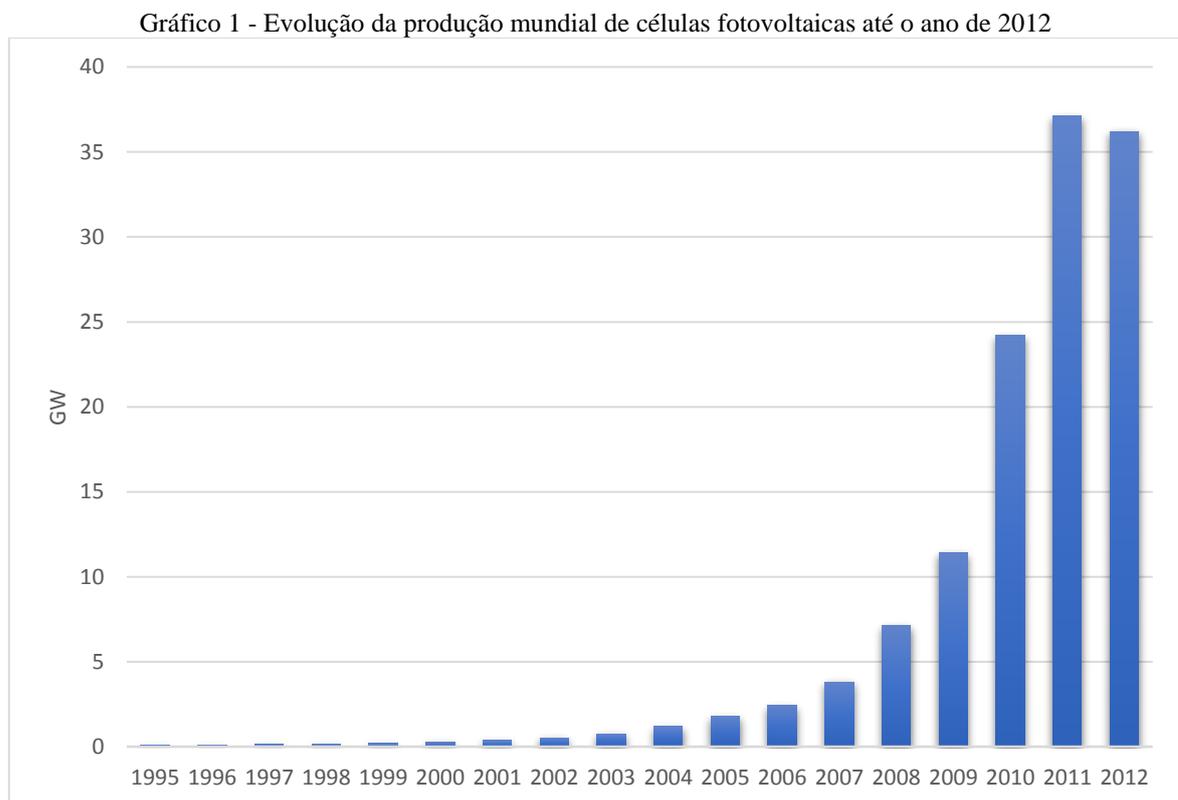
A utilização e pesquisas das placas fotovoltaicas começou a ganhar força nos anos 70, devido ao aumento no preço dos combustíveis fósseis a partir do petróleo e gás natural, assim levando a um aumento na preocupação por buscas de energias renováveis. Mas a energia solar ainda não foi a mais utilizada devido a sua baixa eficiência e alto custo, então outras fontes renováveis de energias foram mais adotadas (FADIGAS, 2012).

A maior evolução da indústria fotovoltaica aconteceu por volta dos anos 90, com os inúmeros programas de incentivos criados no mundo, mirando expandir os horizontes da utilização em massa da energia solar. Ainda que passada a crise do petróleo, o fortalecimento

do movimento de conservação do meio ambiente e do desenvolvimento sustentável, proporcionou o crescimento da indústria. Em 1998 o mundo alcançou a produção de 150MW em células fotovoltaicas, contendo o silício como material mais utilizado (CRESESB, 2014).

Ainda que a energia solar existente na terra é de grande quantidade, a sua conversão em energia elétrica ainda é pouco utilizada. Atualmente, a redução de custo dos sistemas ainda é um desafio, mas os valores foram significativamente reduzidos, e propostas como Rio + 20 prometeram incentivos fiscais e subsídio a projetos que envolvem tecnologias verdes (NASCIMENTO R. L., 2017).

Em alguns países, já existem vários incentivos para a instalação de sistemas fotovoltaicos. O Gráfico 1 apresenta alguns dados de como foi a evolução da produção mundial de células fotovoltaicas até o ano de 2012 expressa em capacidade de potência.



Fonte: RONEY(2013)

No Gráfico 1, podemos observar a grande evolução da produção de células fotovoltaicas a partir do ano de 2003.

A Figura 2 apresenta um resumos dos principais eventos associados ao desenvolvimento da tecnologia de conversão solar fotovoltaica.

Figura 2 - Linha histórica da evolução da energia solar.

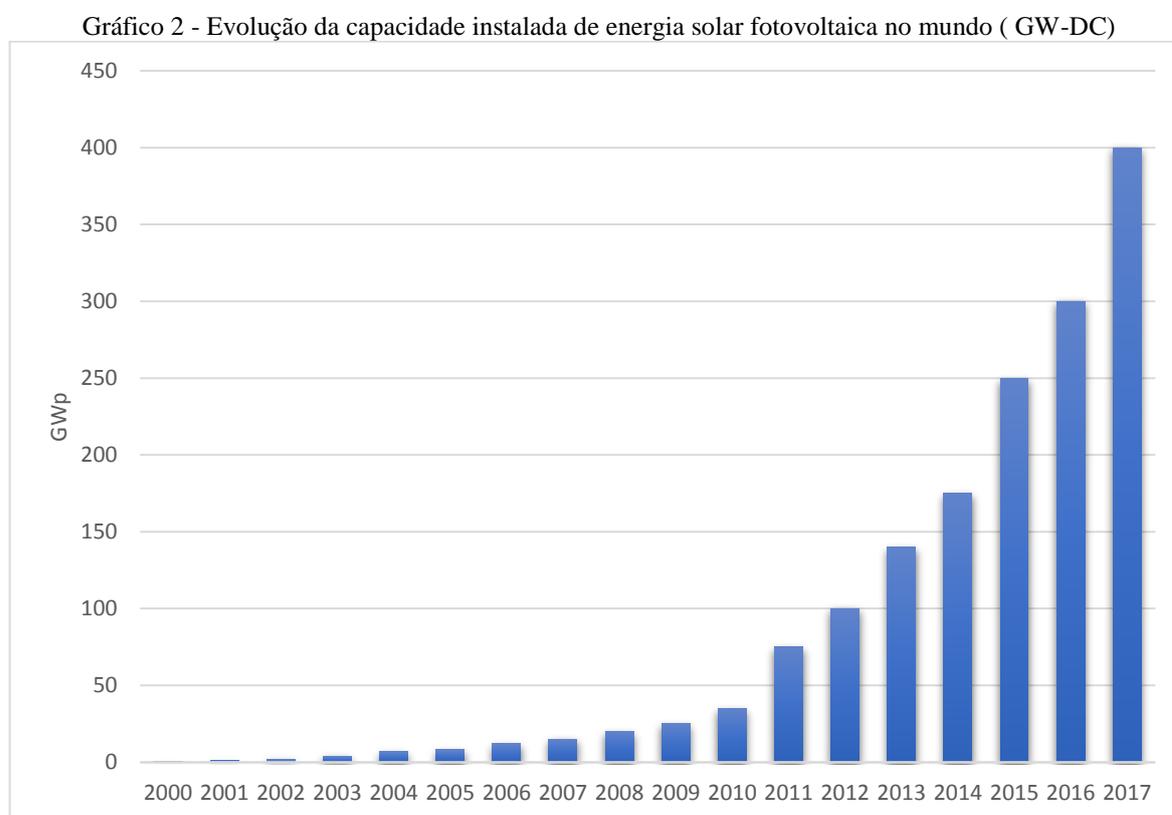
1800	Descoberta do Selênio (Se) (Berzelius)
1820	Preparação do Silício (Si) (Berzelius)
1840	Efeito Fotovoltaico (Becquerel)
1860	Efeito Fotocondutivo no Se (Smith) Retificador de Ponto de Contato (Braun)
1880	Efeito Fotocondutivo no Se (Adams & Day) Célula Fotovoltaica de Se (Fritts/Uljanin)
1900	Fotosensitividade em Cu-Cu ₂ O (Hallwachs)
1910	Efeito Fotovoltaico com Barreira de Potencial (Goldman & Brodsky)
1920	Monocristal a partir do Si Fundido (Czochralski) Retificador de Cu-Cu ₂ O (Grondahl)
1930	Célula Fotovoltaica de Cu-Cu ₂ O (Grondahl & Geiger) Teorias de Bandas em Sólidos (Strutt/Brillouin/Krönig & P) Teorias de Células com Barreiras V e H (Schottky et al)
1940	Teoria da Difusão Eletrônica (Dember) Aplicações Fotométricas (Lange) 1% de Eficiência em Células de Sulfeto de Tálio (Nix & Treptow)
1950	Crescimento de Células Fotovoltaicas com Junção (Ohl) Teoria da Junções <i>p-n</i> (Shockley)
1954	Célula Solar de Si (Pearson, Fuller & Chapin)
1955	Junções <i>p-n</i> Difundidas (Fuller)
1960	Célula Solar de CdS (Reynolds et al) Teorias de Células Solares (Piann & Roosbroeck/Prince)
1962	O "Bandgap" e a Eficiência das Células (Loferski, R. & W) Teoria da Resposta Espectral, Mecanismo de Perdas (Wolf) Efeitos de Resistência em Série (Wolf & Rauschenbach) Células de Si <i>n/p</i> Resistentes a Radiação (Kesperis & M.) Contatos Evaporados de Ti-Ag (BTL)
1973	Células Violeta com 15,2% de Eficiência
1976	Células de Silício Amorfo (a-Si)
1992	Células Metal-Insulator-Semicondutor (MIS) de 24% de Eficiência
1998	Células de Silício Monocristalino com Eficiência de 24,7%
1999	Potência Instalada Acumulada Atinge o Primeiro GWp
2002	Potência Instalada Acumulada Dobra em Relação a 1999
2005	Eficiência Superior a 20% para Células em Silício Policristalino
2006	Células Multijunção com Rendimentos Superiores a 34% Células de Tripla Junção Superam os 40 % de Eficiência
2008	Módulos de c-Si Dominam 87% do Mercado (John Wiley & Sons, 2011) Expansão de Módulos de Filme Fino (a-Si, CdTe e módulos CIS)
2009	Mais de 23 GWp Instalados (EPIA)
2011	Mais de 70 GWp de Potência Instalada Acumulada (EPIA, 2012)
2012	Potência Instalada Acumulada Supera 100 GWp (EPIA, 2013)

Fonte: CRESESB (2014)

3.1 Visão Mundial

A utilização e implantação de sistemas fotovoltaicos no mundo nos últimos anos demonstra um enorme crescimento exponencial, conforme dados da IEA(2018) apresentados na Gráfico 2, no levantamento realizado em 2018, o mundo apresentou uma capacidade total de aproveitamento da energia solar instalada de 402,5 GWp.

Observa-se também, que a partir de 2003 houve um crescimento significativo anual da capacidade de geração de energia fotovoltaica. Chegando em 2017 com um aumento da tecnologia no mundo em cerca de 98 GW de capacidade de geração em relação a 2016.



Fonte: IEA (2018)

Ainda segundo dados da IEA (2018), conforme Tabela 1, em nível mundial de capacidade de produção da energia solar instalada, a China se encontra em primeiro lugar com 131GW instalados, seguida pelos EUA com 54GW, Japão com 49GW e Alemanha com 42GW.

Tabela 1 - Os 10 países com maior capacidade instalada de geração FV.

1		China	131 GW
2		USA	51 GW
3		Japão	49 GW
4		Alemanha	42 GW
5		Italia	19,7 GW
6		India	18,3 GW
7		UK	12,7 GW
8		França	8 GW
9		Austrália	7,2 GW
10		Espanha	5,6 GW

Fonte: IEA(2018)

Conforme MME(2017), no final de 2016 o Brasil possuía aproximadamente 81 MW de energia solar fotovoltaica instalados, e segundo IEA (2018) ao final de 2017 o Brasil chegou aproximadamente à 1GW de capacidade instalada.

Um país que teve destaque no mundo segundo a EPE(2016) em relação a implantação de energia fotovoltaica foi a Alemanha, que foi líder em pesquisa e desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, e foi uns dos primeiros países a utilizar um sistema de tarifas *feed-in*, que teve como objetivo premiar o consumidor que gerar energia limpa e exporta-la para à rede. Assim incentivando a população a aderir à energia solar fotovoltaica.

3.2 Utilização no Brasil

No Brasil, as pesquisas referentes a energia fotovoltaica tiveram início a partir da década de 1950, onde primeiramente buscou-se o desenvolvimento de células de silício cristalino e filmes finos (CRESESB, 2014). A partir de 1970, as pesquisas se tornaram mais eficientes, surgindo diversos grupos de pesquisas e desenvolvimento desta tecnologia pelo país, onde nesta década também começou a ser desenvolvido aplicações tecnológicas no âmbito das telecomunicações e sistemas de bombeamento de água (TOLMASQUIM, 2003).

No início da década de 1990, o Governo Federal começou utilizar a energia fotovoltaica para fazer o atendimento de residências distantes das redes de distribuição elétrica, e criando

outros programas que visavam entregar energia para todos, chegando ao final de 2012, a capacidade de 30 a 40 MW em sistemas fotovoltaicos instalados pelo país. (CRESESB, 2014).

Os sistemas de geração de energia fotovoltaicas conectados à rede, começaram a ser instalados no Brasil no final da década de 1990, onde as maiores aplicações foram em centros de pesquisas e universidades. Porém somente em 2012, o sistema conectado à rede foi regulamentado pela ANEEL, com a Resolução Normativa nº 482/2012 (CRESESB, 2014).

Conforme a ANEEL (2012, p. 1) a resolução Normativa nº 482/2012:

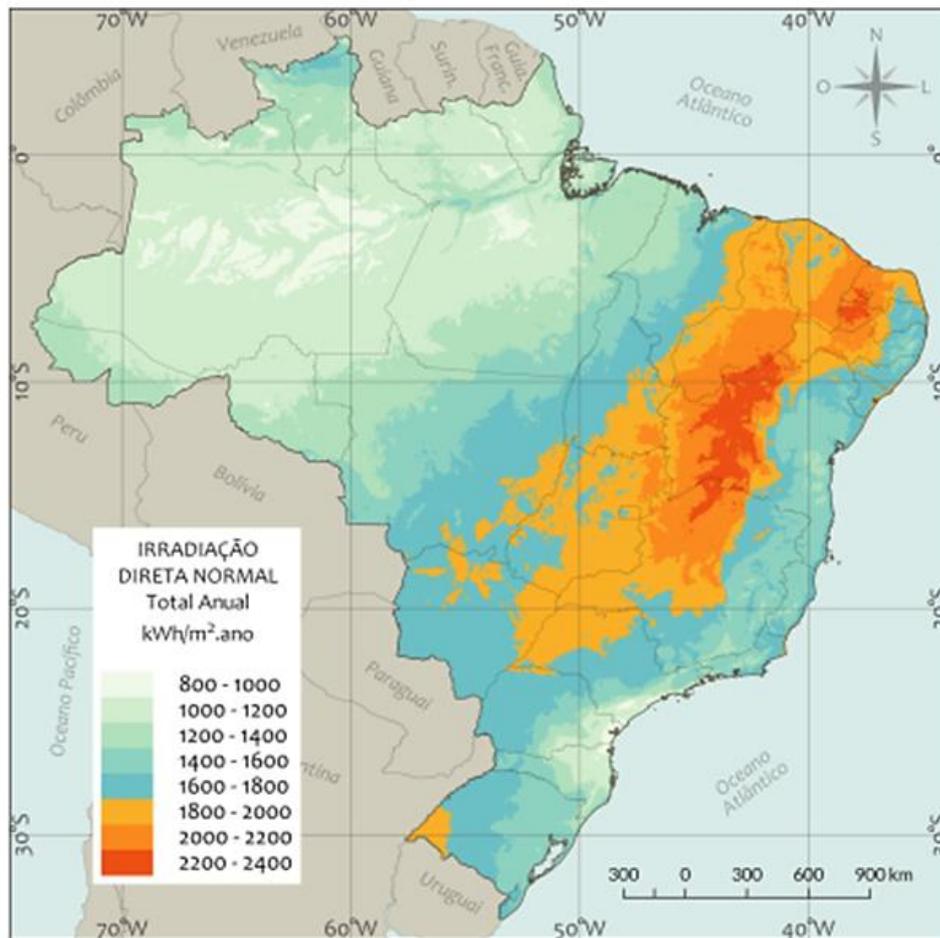
“Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.”

No decorrer do ano de 2015, a resolução normativa nº 482/2012, passou por processos de revisão e alterações, que deu origem a REN 687/2015. Onde esta nova resolução começou a valer a partir de 1º de março de 2016, a qual ampliou as possibilidades da micro e minigeração, aumentando os limites de potência, reduzindo os prazos de respostas das distribuidoras, implementando compartilhamento de geração, entre outras. (ANEEL, 2018)

Apesar de o Brasil estar apresentando avanços nas instalações da energia fotovoltaica, se compararmos com outros países europeus e asiáticos, o uso desta tecnologia no país é considerada praticamente inexistente. No entanto esta tecnologia está ficando cada vez mais acessível no país devido as reduções nos custos, aumento da tecnologia e eficiência de geração das placas e alguns incentivos governamentais (CRESESB, 2014).

Por outro lado a baixa utilização da energia solar no Brasil, se torna mais preocupante, devido ao grande potencial técnico fotovoltaico existente no país como podemos observar na Figura 3. De acordo com EPE (2016), o Brasil é beneficiado por possuir altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo, que podem nos proporcionar vantagem na produção de silício, células e módulos solares.

Figura 3 - Mapa do total anual de irradiação solar direta normal do Brasil.



Fonte: (INPE, 2017)

Segundo pesquisas realizadas pelo INPE(2017), o Brasil possui uma boa média anual de irradiação solar, contendo níveis de irradiação solar muito maiores em relação a outros países que fazem o uso desta tecnologia em grande escala, como por exemplo a Alemanha.

4 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

4.1 Sistema fotovoltaico

Atualmente existem duas principais categorias que classificam os sistemas fotovoltaicos: o sistema conectado à rede (*grid-tie/on grid*) ou o sistema isolado (*off grid*).

4.1.1 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Esse sistema deve atender aos padrões normativos estabelecidos pela concessionária de energia da região de implantação, a qual é regulamentada no Brasil pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. Neste método, são utilizados medidores eletrônicos que calculam a quantidade de energia enviada para a rede e a quantidade de energia consumida pela rede, no final, realizando um balanço entre o consumo e a produção de energia (ANDRADE, 2016).

4.1.2 Sistemas fotovoltaicos isolados

Os sistemas do tipo isolado não possuem conexão à rede elétrica da concessionária, por esse motivo necessitam de algum dispositivo para realizar o armazenamento da energia não consumida, e podendo utilizá-la quando não há a presença da luz solar. Atualmente o método mais convencional para o armazenamento desta energia é a utilização de baterias (ANDRADE, 2016).

4.2 Efeito fotovoltaico

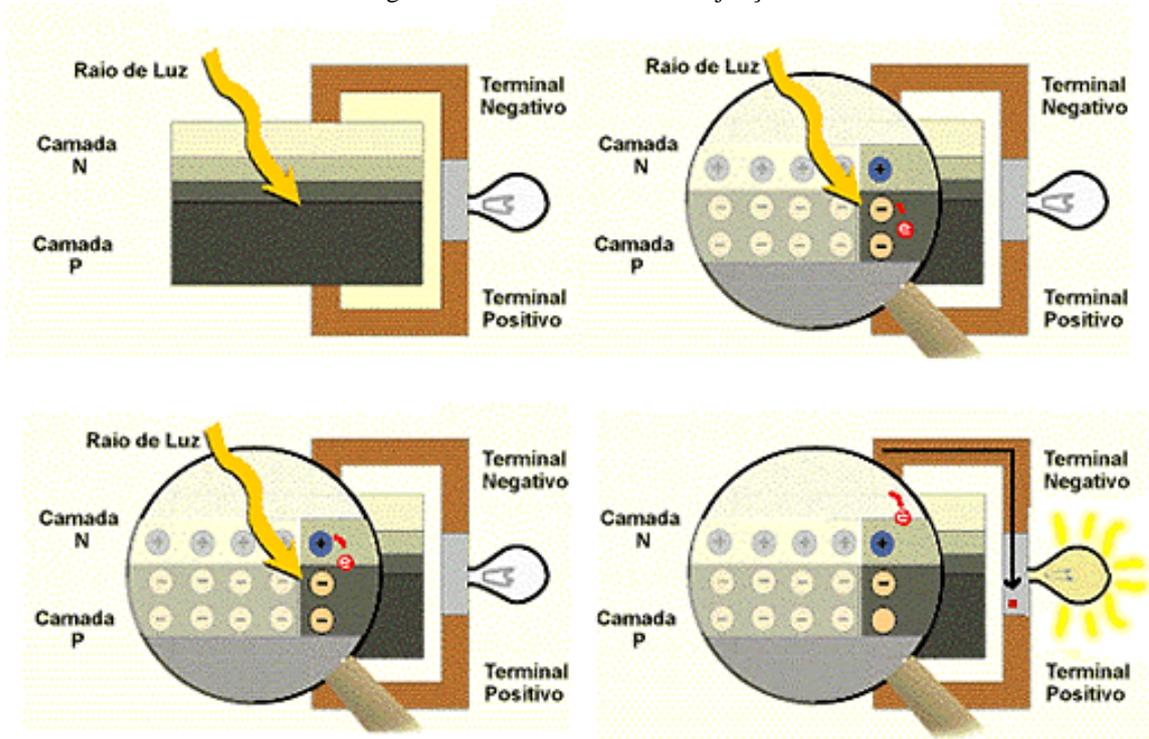
O efeito fotovoltaico basicamente é um processo físico presente em uma célula fotovoltaica, que ao receber luz, converte a energia da luz em energia elétrica. Esta conversão ocorre através do efeito da radiação sobre as células fotovoltaicas, que são materiais semicondutores, e possuem a característica de apresentarem bandas de energia que permitem a presença de novos elétrons, e outra banda em sua camada externa, conhecida como banda de condução. Um dos elementos mais utilizado é o silício, por possuir quatro elétrons em sua camada de valência, assim criando uma rede cristalina (FADIGAS, 2012).

Porém o cristal de silício puro não possui elétrons livres, tornando-se um mau condutor de eletricidade. Por esse motivo são acrescentados outros elementos, realizando assim uma dopagem deste material. Para obter um material do tipo N, por exemplo, o silício recebe uma porcentagem do elemento fósforo, realizando uma dopagem e tornando-se um material com elétrons livres portadores de cargas negativas. Para obter o semiconductor do tipo P, realiza-se o mesmo processo, porém agora acrescentando o elemento Boro, obtendo um material com cargas positivas (CRESESB, 2014).

Cada célula fotovoltaica possui uma camada fina de semiconductor do tipo N e outra maior do tipo P. Quando estes semicondutores estão separados se comportam como eletricamente neutros, no entanto quando unidos na união P-N (por exemplo) gera-se um campo elétrico (FADIGAS, 2012).

Quando as células fotovoltaicas são atingidas pelos fótons, ela gera eletricidade. Isso acontece porque a energia do fóton é transferida para um elétron em um átomo de um semiconductor, com essa energia recebida o elétron é capaz de sair da sua posição normal e se tornar parte da corrente de um circuito elétrico. Então devido ao campo elétrico gerado na união P-N, os elétrons são orientados e fluem da camada "P" para a camada "N" pelo circuito, conforme mostra a Figura 4 (NASCIMENTO C. A., 2004).

Figura 4 - Efeito fotovoltaico na junção PN



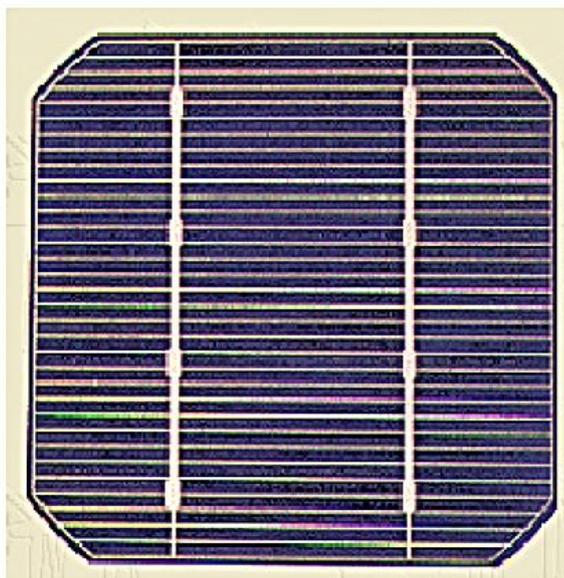
Fonte: (CRESESB, 2014)

4.3 Tipos de células fotovoltaicas

O principal material de um painel fotovoltaico é a sua célula, a qual é responsável de realizar a captação da luz e convertê-la em energia elétrica. A maioria delas são produzidas utilizando o silício (Si), existindo três tipos, conforme método de fabricação:

Célula de silício monocristalino: Estas células são obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais. As células são obtidas por corte das barras em forma de pastilhas quadradas finas (0,4-0,5 mm de espessura). Esse tipo de célula apresenta a maior eficiência e é bastante utilizada em aplicações comerciais. A sua eficiência em estudos teóricos é de 27%, porém são encontrados nos valores de 12 a 16 % em produtos comerciais. (FADIGAS, 2012).

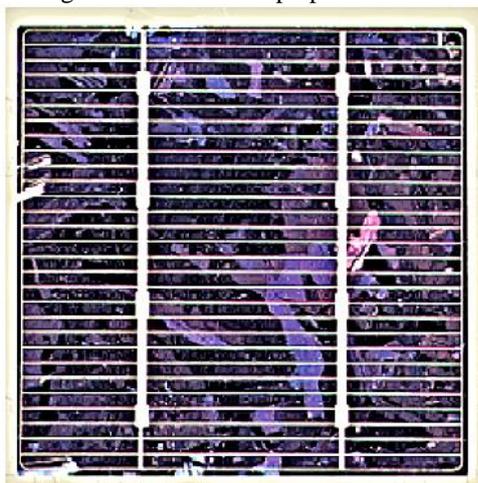
Figura 5 - Célula do tipo monocristalino



Fonte: (FADIGAS, 2012)

Célula de silício policristalino: Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de bocados de silício puro em moldes especiais. Uma vez nos moldes, o silício arrefece lentamente e solidifica-se. Neste processo, os átomos não se organizam num único cristal. Forma-se uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Estas células possuem menor custo que as células de silício monocristalino, porém possuem um rendimento menor (CRESESB, 2014).

Figura 6 - Célula do tipo policristalina



Fonte: FADIGAS (2012)

Célula de silício amorfo (filmes finos): É muito propício esse tipo de célula quando se pensa em baixo custo. Porém apresenta algumas desvantagens, dentre elas baixo rendimento e degradação nos primeiros meses de operação, em laboratório esta celular apresentou eficiência de 13%, porém as células comerciais apresentam eficiências em torno de 9%. Contudo apresentam suas vantagens, necessitam de baixo consumo energético para produção em comparação as células cristalinas, podem ser fabricadas células com áreas grandes e tem aparência estética mais agradável (CRESESB, 2014).

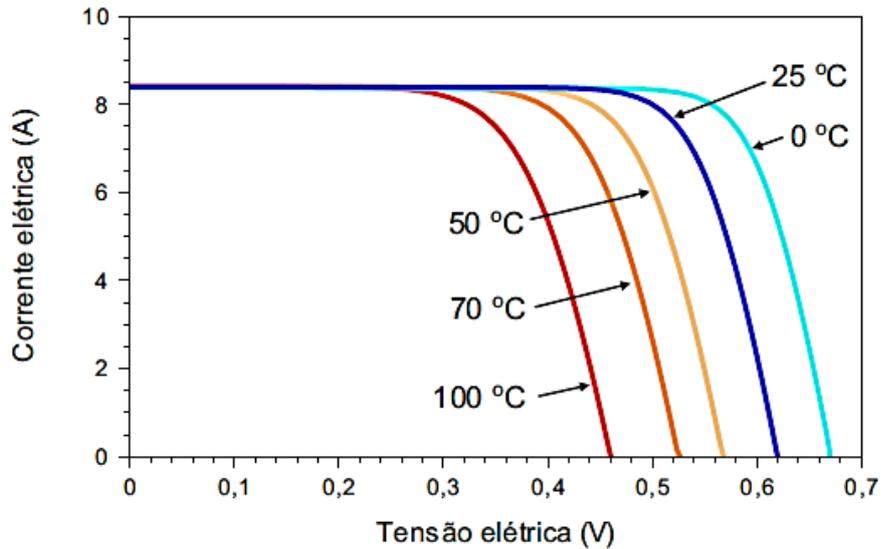
4.4 Parâmetros que influenciam o comportamento básico das Células fotovoltaicas

Para se conseguir o máximo de eficiência de uma placa fotovoltaica, é necessário que as condições para tal situação sejam atendidas. Além do tempo de exposição a luz solar, a temperatura e a intensidade de radiação solar são os principais fatores do uso das células fotovoltaicas para geração de energia elétrica. (MESSENGER & VENTRE, 2000)

4.4.1 Influência da temperatura

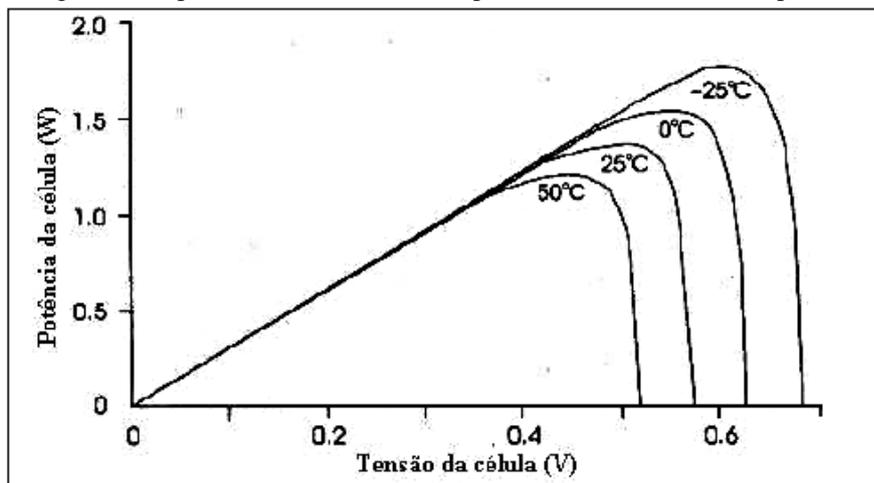
A eficiência de uma células em relação a temperatura é apresentado na Figura 7, onde podemos observar que a alteração de corrente é praticamente inexistente, porém há uma considerável diferença de tensão, em relação a uma determinada temperatura.

Figura 7 - Efeito causado pela temperatura da célula em um módulo fotovoltaico.



Observa-se também através da Figura 8 que, o aumento da temperatura também causa um decréscimo considerável, em relação a sua potência máxima gerada.

Figura 8 - Dependência da característica potência x tensão com a temperatura



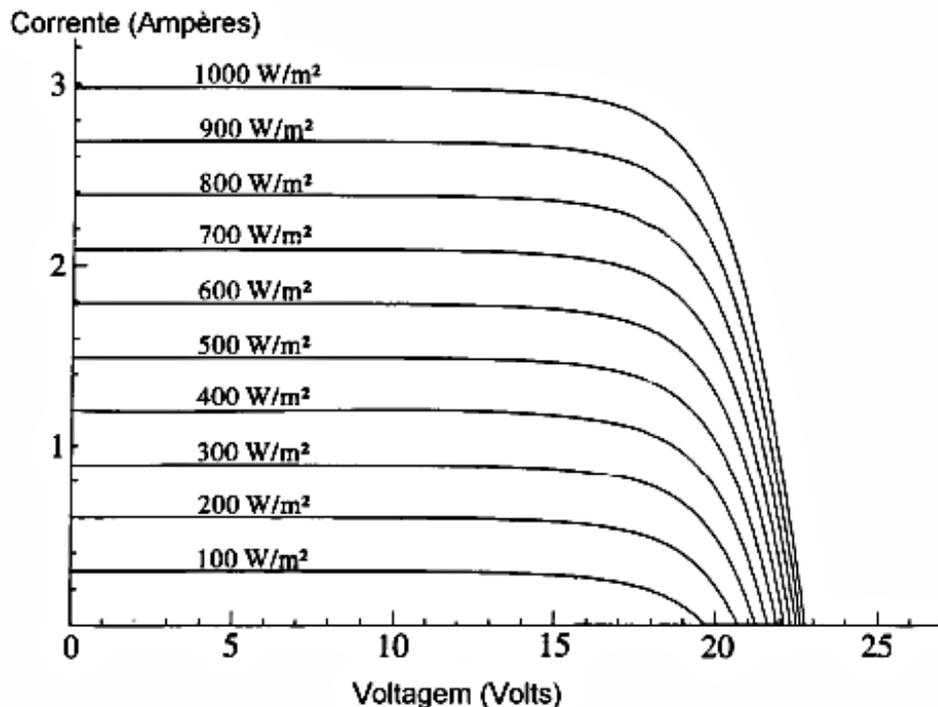
Entre as células existentes hoje no mercado, podemos salientar que a maioria delas quando iluminadas, irão converter menos que 20 % da irradiação solar em energia elétrica. O restante será convertido em calor, o que irá resultar no aquecimento da célula, assim normalmente a célula irá trabalhar com uma temperatura acima da temperatura ambiente. Por isso é importante levar em consideração o seu desempenho em relação as condições de instalação (MESSENGER & VENTRE, 2000).

4.4.2 Influência da Intensidade da Radiação Solar

Como sabemos a intensidade da radiação solar não é constante devido a rotação da terra e sua translação ao redor do sol. Ao nível do mar e ao meio dia a intensidade média da radiação solar é em torno de 1000 W/m^2 . Assim quando se obtém um módulo fotovoltaico, de por exemplo 60 Wp (Watt-pico), isso significa que ele produzira 60 Watts quando incidir na superfície onde ele se encontra 1000 W/m^2 .

Como apresentado na Figura 9, o módulo fotovoltaico gera uma corrente máxima quando a incidência de radiação for máxima também. Conseqüentemente com menores intensidades de radiação solar, a corrente emitida pelo módulo diminuirá na mesma proporção.

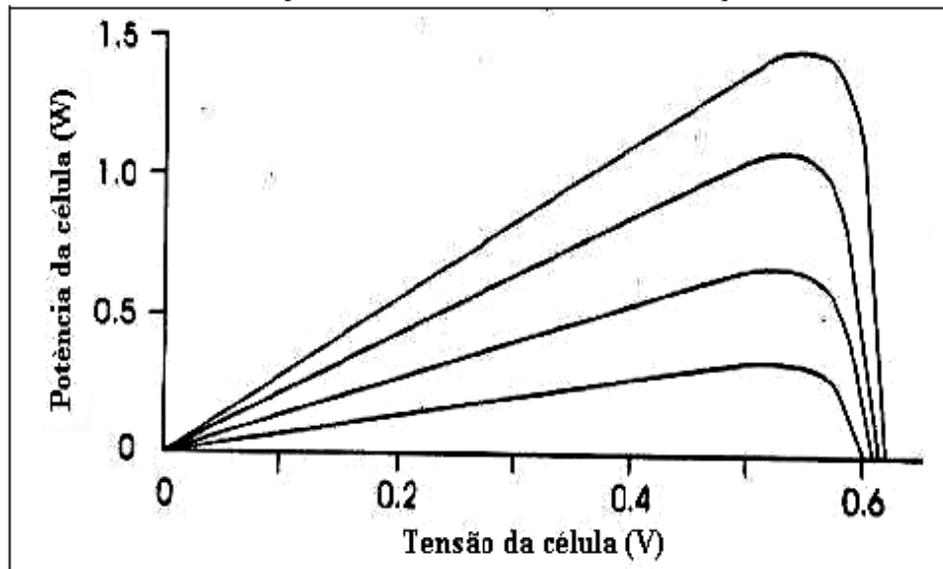
Figura 9 - Efeito causado pela variação de intensidade luminosa da luz para um módulo fotovoltaico



Fonte: CRESESB (2014)

Podemos observar, através da Figura 10, que a potência gerada pelo módulo fotovoltaico também aumenta linearmente em relação ao índice de iluminação.

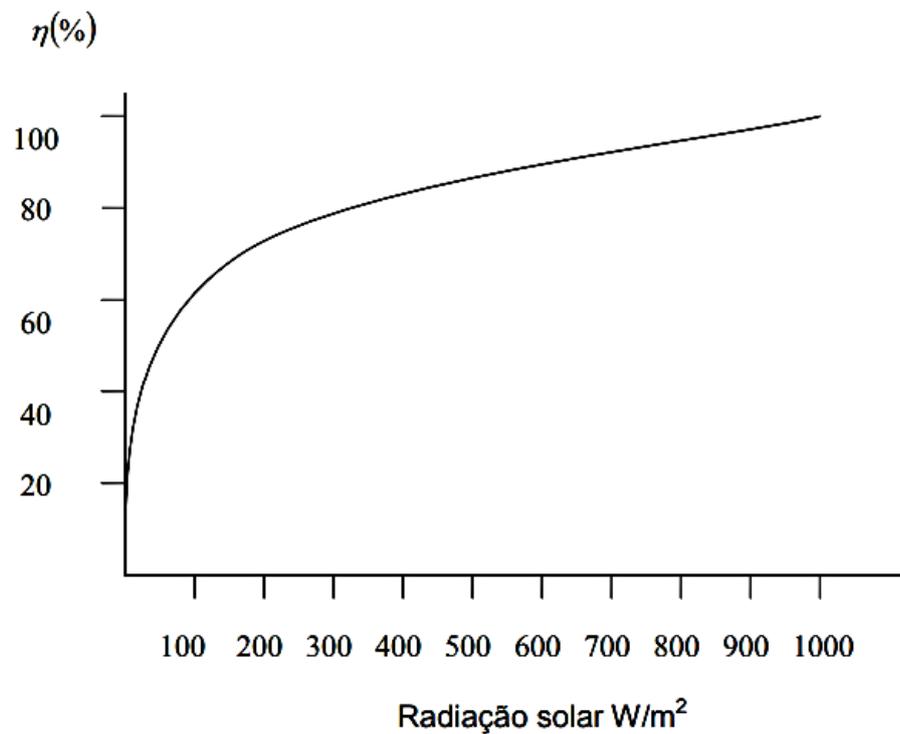
Figura 10 - Potencia x Tensão para uma célula fotovoltaica mostrando quatro níveis de iluminação



Fonte: MESSENGER & VENTRE (2000)

Por outro lado a eficiência de geração de uma célula fotovoltaica, não acaba sofrendo grandes mudanças em relação a radiação solar. Como mostrado na Figura 11, que para uma ampla faixa de radiação solar a sua eficiência é praticamente constante.

Figura 11 - Eficiência de conversão x radiação solar



Fonte: MESSENGER & VENTRE (2000)

4.5 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são encapsulamentos para as células, afim de protegê-las de intempéries, principalmente da umidade do ar. Cada uma das células podem gerar em torno de 0,4 Volts. Para obter tensões mais altas, estas células são conectadas em série, normalmente chegando a uma tensão de 16, 24 ou 36V, podendo conter entre 36 e 216 células fotovoltaicas cada módulo (FADIGAS, 2012).

Outro aspecto importante nos módulos, é a geometria das células. Atualmente existem células quadradas, redondas e semi-quadradas. As células quadradas conseguem ocupar melhor os espaços no modulo, já as redondas possuem a vantagem de não sofrerem perda de material, devido a sua forma cilíndrica e as semi-quadrada fica no meio termo entre as duas (SILVA, SILVA, JÚNIOR, & CARVALHO, 2012).

A Figura 12 mostra as três formas geométricas de células mais comuns.



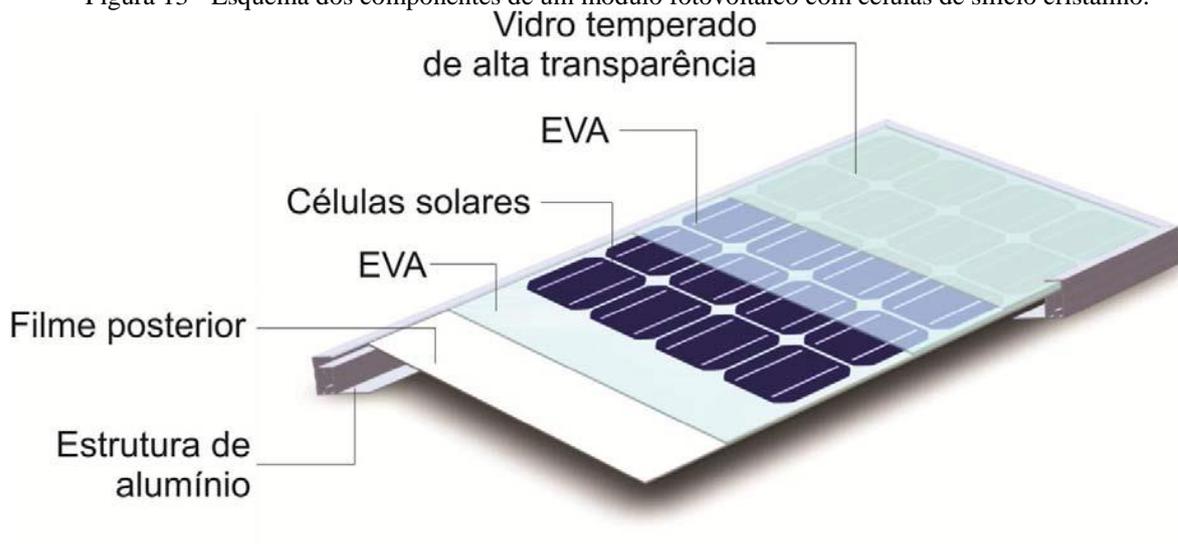
Fonte: CRESESB (2014)

Conforme CRESESB (2014):

O encapsulamento é constituído de um sanduíche de vidro temperado de alta transparência, acetato de etil vinila (EVA, do inglês *Ethylene-vinyl acetate*) estabilizado para a radiação ultravioleta, células fotovoltaicas, EVA estabilizado, e um filme posterior isolante. Este filme é uma combinação de polímeros tais como fluoreto de polivinila (PVF ou Tedlar), tereftalato de polietileno (PET), dentre outros. O processo de laminação é realizado a temperaturas de 120 °C a 150 °C, quando o EVA torna-se líquido e as eventuais bolhas de ar geradas são eliminadas. No processo seguinte, é realizada a cura do EVA, que proporciona uma maior durabilidade ao módulo fotovoltaico. Após este processo, coloca-se uma moldura de alumínio anodizado e a caixa de conexões elétricas e o módulo fotovoltaico está finalizado. (p.132).

Na Figura 13 pode ser observado como é feito o encapsulamento das células no modulo fotovoltaico.

Figura 13 - Esquema dos componentes de um módulo fotovoltaico com células de silício cristalino.



Fonte: CRESESB (2014)

4.6 Associação de módulos fotovoltaicos

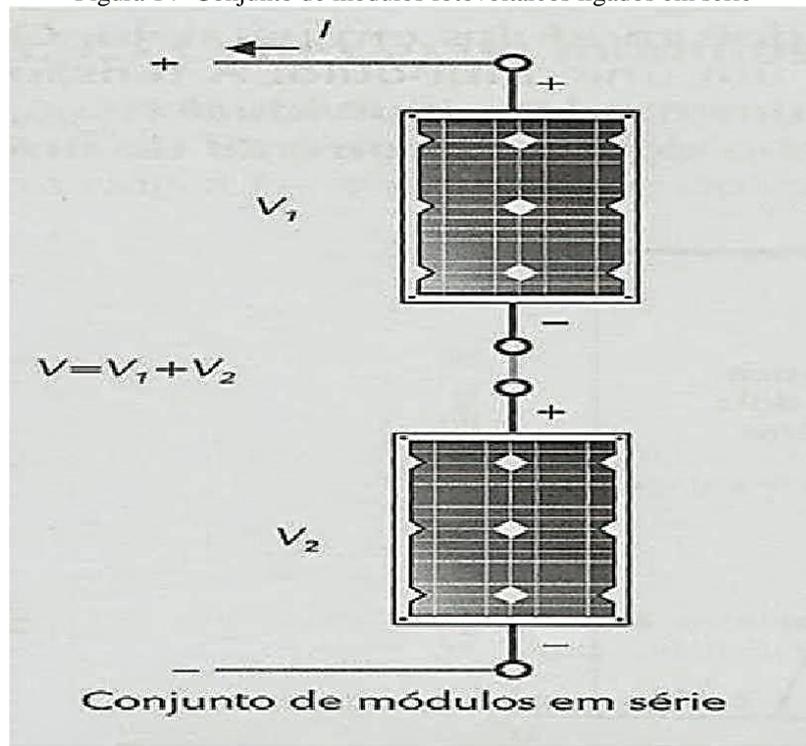
4.6.1 Considerações gerais

Os módulos podem ser conectados em ligações série e/ou paralelo, dependendo da corrente e tensão desejadas, formando assim painéis fotovoltaicos com potência mais elevada. Ao definir como serão associados os módulos, é necessário ter informações de como deverá ser a instalação e quais componentes serão utilizados, pois as tensões e correntes resultantes devem ter plena compatibilidade com esses componentes (CRESESB, 2014)

4.6.2 Módulos fotovoltaicos conectados em série

A conexão dos módulos fotovoltaicos em série, cuja representação pode ser observada na Figura 14, é realizada quando se deseja obter uma tensão maior na geração da energia, esta ligação é feita ligando o terminal positivo de um módulo no terminal negativo de outro e assim por diante (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

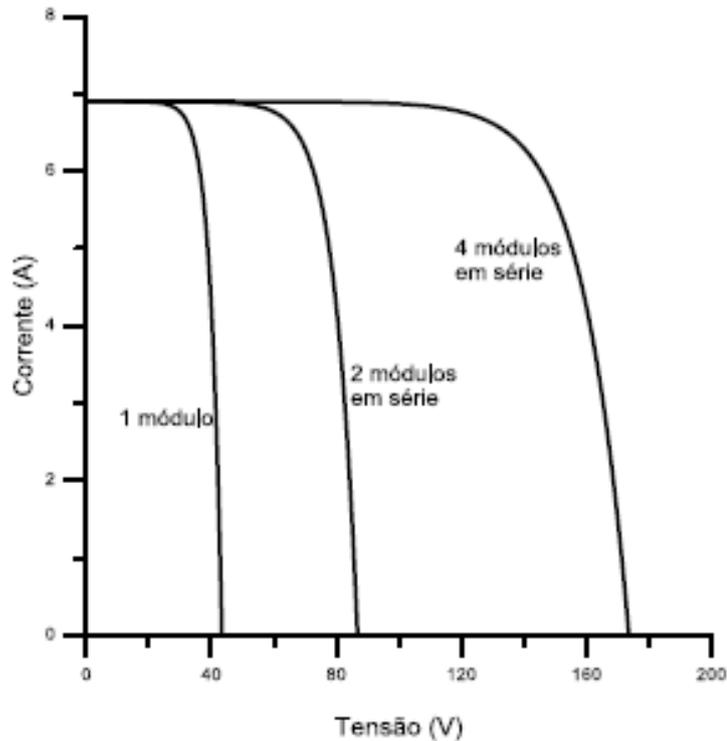
Figura 14- Conjunto de módulos fotovoltaicos ligados em série



Fonte: VILLALVA & GAZOLI (2012)

O efeito da conexão em série de módulos idênticos está ilustrado na Figura 15, através da curva característica da corrente em relação a tensão. Neste exemplo, cada módulo de 220 Wp tem corrente = 6,9A e tensão= 43,4 V. O conjunto resultante de 4 módulos em série tem potência de 880 Wp, $I = 6,9$ A e $V = 173,6$ V (CRESESB, 2014).

Figura 15 - Curva de corrente e tensão para um módulo de 220W



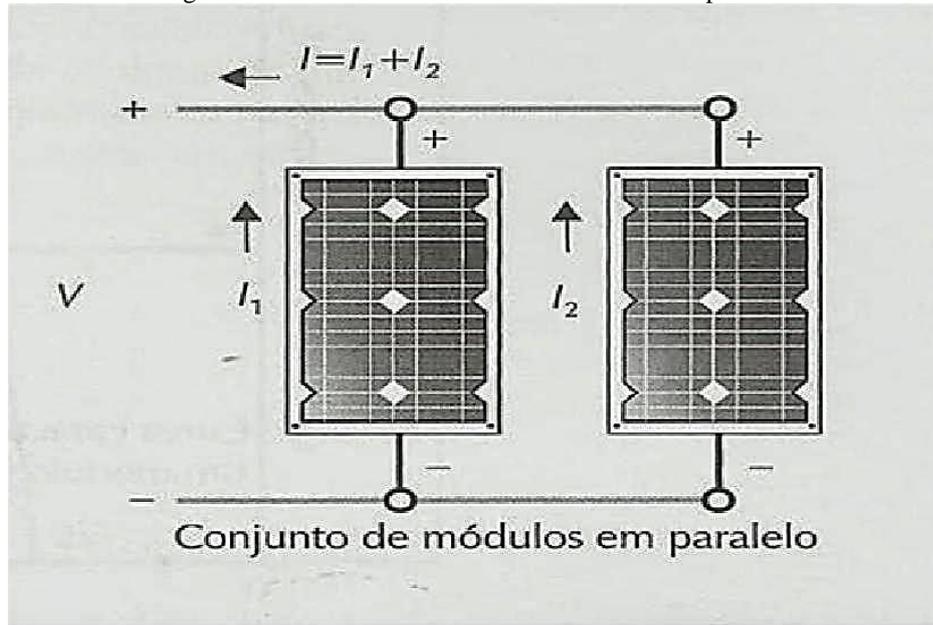
Fonte: CRESESB (2014)

Depois de realizado a ligação em série dos módulos, as corrente que passarem pelos módulos serão iguais, porém para este caso, considera-se que os módulos são idênticos e expostos as mesmas condições de radiação e temperatura. Porque se houver algumas diferença nestas características entre os módulos, o conjunto conectado em série é limitado com a menor corrente individual (CRESESB, 2014).

4.6.3 Módulos fotovoltaicos conectados em paralelo

Para realizar a conexão dos módulos em paralelo, é realizado a união dos terminais positivos de todos os módulos entre si, e igualmente a união dos terminais negativos entre si, conforme ilustrado na Figura 16. A conexão dos módulos em paralelo vai resultar na soma das corrente sem alterar a tensão (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Figura 16 - Conexão de módulos fotovoltaicos em paralelo

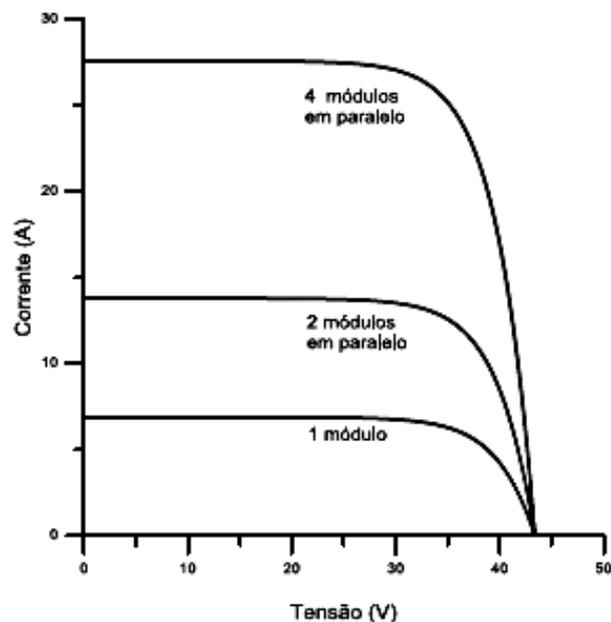


Fonte: VILLALVA & GAZOLI (2012)

A Figura 17 apresenta um gráfico do efeito da soma das correntes conectado em paralelo, considerando módulos idênticos.

No exemplo retirado de CRESESB (2014), cada módulo de 220 Wp tem $I = 6,9\text{A}$ e $V = 43,4\text{ V}$. O conjunto resultante de 4 módulos em paralelo tem potência de 880 Wp, $I = 27,6\text{ A}$ e $V = 43,4\text{ V}$.

Figura 17 - Curva I-V para a conexão em paralelo de módulos fotovoltaicos idênticos.



Fonte: CRESESB (2014)

4.7 Inversor

4.7.1 Considerações gerais

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua, por esse motivo é necessário a utilização de um equipamento que faça a conversão de corrente contínua para corrente alternada. Esse equipamento é o inversor, que realiza esta conversão com as características necessárias para satisfazer as condições impostas pela concessionária da rede elétrica, assim possibilitando a sua ligação na rede de distribuição (CAMARGO, 2017).

Os inversores podem ser divididos em dois grandes grupos: os comutados pela rede e os autocomutados.

Segundo COSTA (2010) a diferença entre os dois tipos é, que no sistema comutado pela rede, o sinal da rede é utilizado para fazer o sincronismo da rede com o inversor, e no inversor autocomutado um circuito eletrônico no inversor controla e sincroniza o sinal do inversor ao sinal da rede.

Para a instalação dos inversores conectados à rede no Brasil, é preciso atender a norma ABNT NBR 16149:2013, a qual estabelece os parâmetros de funcionamento como: a faixa de variação da tensão e frequência, fator de potência, as proteções necessárias, etc. (CRESESB, 2014)

4.7.2 Características

Uma das principais características para indicar a qualidade e custo do inversor é a forma de onda gerada. Para especificar um inversor, primeiramente é necessário analisar para qual sistema ele será utilizado, inversor para Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) ou inversor para Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede (SFCR). Segundo CRESESB (2014) os parâmetros que devem ser analisados são: tensão de entrada da Corrente Contínua (CC), tensão de saída Corrente Alternada (CA), faixa de variação de tensão aceitável, potência nominal, potência de surto, frequência, formas de onda e distorção harmônica, grau de proteção, temperatura ambiente, umidade do local de instalação.

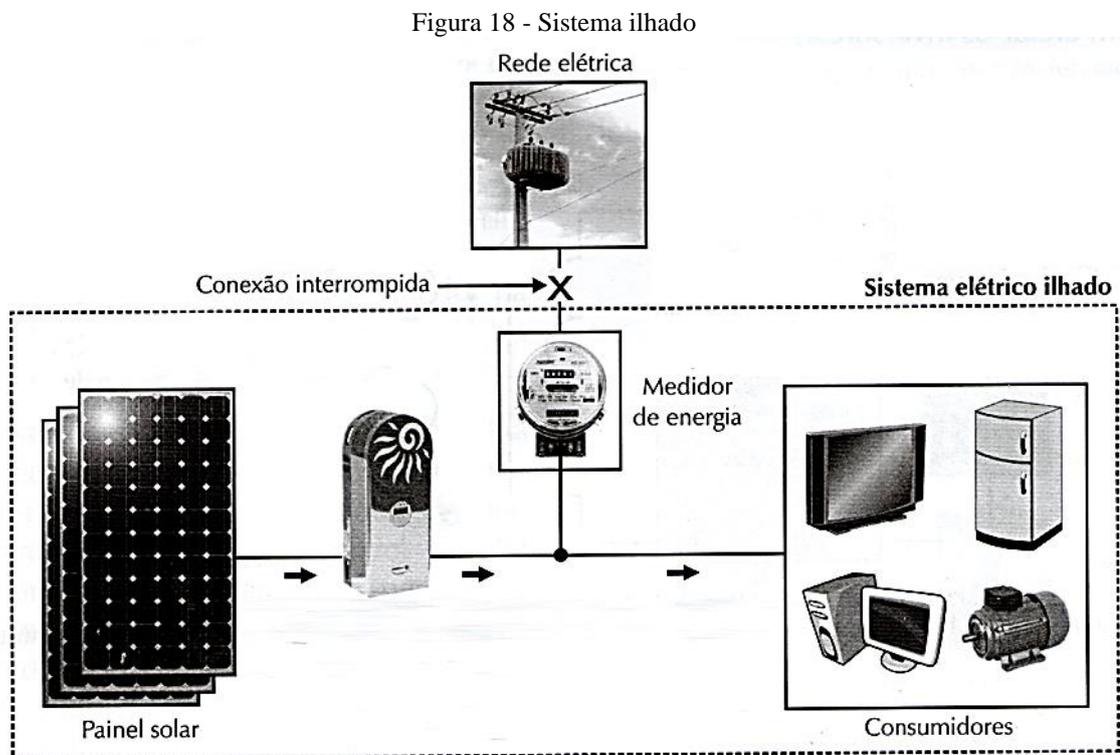
Ainda segundo CRESESB (2014) as principais características para se preocupar na escolha de um inversor e garantir seu desempenho são:

- **Forma de onda e Distorção harmônica:** a forma de onda produzida pelo inversor em CA deve ser uma senoidal, e sua distorção harmônica total não pode passar de 5% em qualquer potência nominal de operação.
- **Eficiência na conversão de potência:** A eficiência é a relação da potência de saída e a potência de entrada do inversor.
- **Potência nominal de saída:** Nos inversores para SFCR a potência está associado a potência do painel fotovoltaico utilizado.
- **Taxa de utilização:** é o número de horas que o inversor poderá fornecer energia atuando com potência nominal.
- **Tensão de entrada:** é a tensão em CC vindo dos painéis fotovoltaicos, onde ela pode variar em relação a associação em serie ou paralelo dos módulos.
- **Tensão de Saída:** Normalmente ela pode ser regulada pelos inversores, que já no Brasil nos podemos ter tensão usuais nos valores de 127 ou 220V, sempre na frequência de 60Hz. Para os sistemas conectado a rede elétrica com potência de até 100kW, devem operar em BT, já as potencias superiores até 1MW, a injeção deverá ser feita na MT de distribuição.
- **Regulação de tensão:** é a variação de amplitude permitida pelo inversor na sua tensão de saída CA, ela deve ser de acordo com os limites estabelecidos pela ANEEL-PRODIST.
- **Frequência da tensão de saída:** é a frequência de saída do inversor que no Brasil normalmente é utilizado 60Hz.
- **Fator de potência:** O inversor deve ter um fator de potência nominal compatível com o fator de potência desejado para as cargas.
- **Temperatura e umidade do ambiente:** a temperatura e a umidade no ambiente instado e muito importante porque pode afetar a eficiência do inversor.
- **Grau de proteção:** O grau de proteção IP (*Ingress Protection*) qualifica e pondera o grau de proteção de pessoas contra o contato a componentes energizadas sem isolamento; Normalmente, para espaços desabrigados se institui IP54 ou melhor e para espaços abrigados IP20 ou melhor.

4.7.3 Detecção de ilhamento

Uma função necessária e obrigatória para a segurança, que todos os inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica precisam conter, é o recurso de detecção do ilhamento ou anti-ilhamento. Este, é um recurso exigido pelas normas que regem a conexão do sistema na rede elétrica, para garantia a segurança de pessoas e equipamento. (VILLALVA & GAZOLI, 2012)

A Figura 18 mostra um exemplo de ilhamento, onde o sistema é desconectado da rede de distribuição elétrica.



Fonte: VILLALVA & GAZOLI (2012)

Conforme VILLALVA & GAZOLI (2012) para a figura 18:

A instalação elétrica encontra-se ilhada e, se não houver um sistema de anti-ilhamento para fazer a desconexão do inversor, o sistema fotovoltaico pode continuar alimentando sozinho os consumidores locais, energizando indevidamente a rede elétrica à qual está conectado, o que não é permitido devido riscos que isso representa para pessoas que realizam manutenção na rede ou para outros equipamentos que estão conectados à mesma rede. (p.170)

Caso a rede elétrica venha a se desligar, o inversor deve ser capaz de perceber rapidamente a ausência de alimentação, e automaticamente desligar ou se desconectar. Este sistema precisa estar presente em todos os inversores comerciais para sistemas fotovoltaicos

conectados à rede. E o inversor precisa atender aos procedimentos de testes adotado pelas normas (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

4.7.4 Tipos para sistema fotovoltaico conectado a rede

Conforme CRESEB (2014), os tipos de inversores mais utilizados para os sistema fotovoltaicos conectados à rede são:

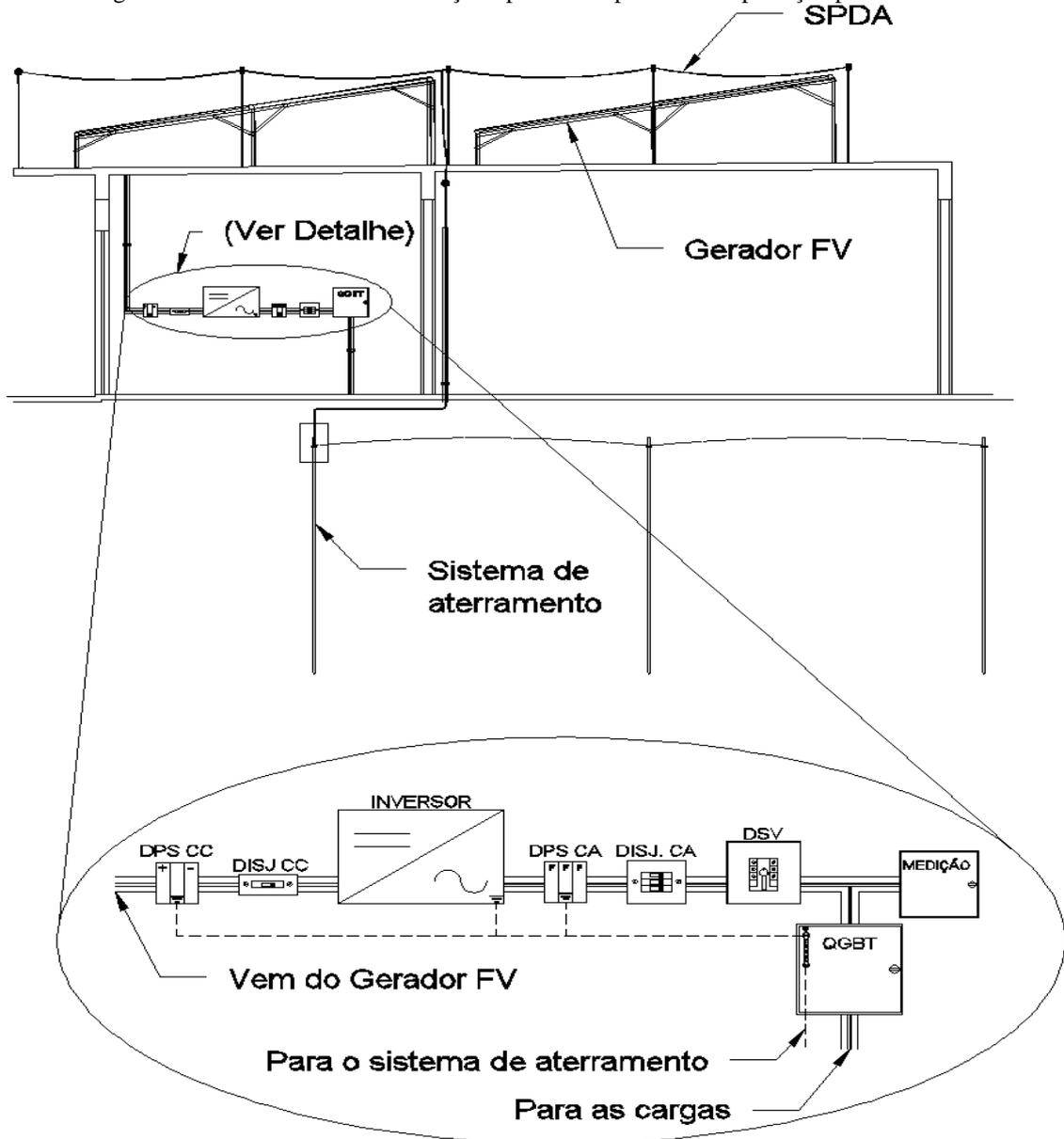
- **Inversores Centrais**– inversores trifásicos de grande porte, com potência numa faixa que vai de centenas de kWp até MWp, utilizados em Usinas Fotovoltaicas (UFVs).
- **Inversores Multistring** – são inversores que possuem várias entradas independentes com SPPMs para conexão de fileiras de módulos. São adequados para instalações urbanas e tem potência na faixa de dezenas de kWp.
- **Inversores de String** – inversores monofásicos dotados de apenas uma entrada SPPM, adequados a instalações de microgeração (até 10kWp);
- **Módulo AC.** – módulo fotovoltaico associado a um microinversor.

4.8 Proteção

A utilização dos dispositivos de proteção contribuem para a minimização ou até mesmo eliminação de falhas. Os inversores já possuem alguns dispositivos de proteção integrados, porém além dos dispositivos de proteção integrados nos equipamentos, é necessária a instalação de outros dispositivos de proteção externos, como disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos, sistema de aterramento e sistemas de proteção contra descargas atmosféricas quando necessário (CAMARGO, 2017).

Para os sistemas fotovoltaicos conectados a rede, conforme regulamentação da ANEEL (2012), é necessário a instalação de uma chave seccionadora sob carga, após o medidor, que garante a desconexão da geração fotovoltaica quando houver manutenção na rede. A Figura 19 apresenta um esquema da instalação dos principais dispositivos de proteção necessários.

Figura 19 - Desenho de uma instalação típica de dispositivos de proteção para um SFCCR SPDA



Fonte: CRESESB (2014)

4.9 Recomendações gerais sobre segurança

Os sistemas fotovoltaicos, de pequeno porte como este, geralmente possuem baixas tensões de trabalho, porém podem oferecer níveis letais de corrente elétrica. E o tipo de associação dos módulos podem tornar ainda mais perigosa a manipulação dos sistemas, com algumas potências nas unidades de kWp podendo conter altos valores de corrente. Por esse e outros motivos, é muito importante ter cuidado na instalação e manutenção, seguindo sempre as normas de segurança adequadas.

4.9.1 Normas

Para a realização do projeto e da instalação dos sistemas fotovoltaicos, é muito importante seguir as normas e recomendações relacionados ao sistema instalado. Primeiramente observar as normas nacionais, e na falta destas é necessário consultar as normas internacionais. Muito importante a utilização das normas vigentes atualizadas.

Os Quadros 1, 2, 3, 4 e 5 apresentam, as normas utilizadas para a realização deste projeto e as principais normas para a fabricação e as que devem ser seguidas para a realização da instalação do SFV de forma adequada, visando a segurança da residência e do instalador.

Quadro 1 - Normas nacionais utilizadas e recomendadas para consulta

Org.	Código	Título	Descrição
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas	NBR 5410:2004	Instalações Elétricas de Baixa Tensão	Esta Norma estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.
	NBR 5419:2005	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas	Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas Fixa as condições de projeto, instalação e manutenção de sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA), para proteger as edificações e estruturas contra a incidência direta de raios. A proteção se aplica também contra a incidência direta de raios sobre os equipamentos e pessoas no interior dessas edificações e estruturas, ou no interior da proteção imposta pelo SPDA instalado.
	NBR IEC 62116:2012	Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica	Procedimento de Ensaio de Anti-Ilhamento para Inversores de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica Fornece o procedimento de ensaio para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento utilizadas em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Fonte: Modificada de CRESESB (2014)

Quadro 2 – Continuação normas nacionais utilizadas e recomendadas para consulta

Org.	Código	Título	Descrição
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas	NBR 16149:2013	Sistemas fotovoltaicos – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição	Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade Estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia.
	NBR 16150:2013	Sistemas fotovoltaicos — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade	Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição Especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149.
	NBR 16274:2014	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede — Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho	Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho Estabelece as informações e a documentação mínimas que devem ser compiladas após a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede. Também descreve a documentação, os ensaios de comissionamento e os critérios de inspeção necessários para avaliar a segurança da instalação e a correta operação do sistema.
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica	PRODIST	Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição	Estabelece as condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso do sistema de distribuição, não abrangendo as demais instalações de transmissão, e define os critérios técnicos e operacionais, os requisitos de projeto, as informações, os dados e a implementação da conexão, aplicando-se aos novos cessantes bem como aos existentes.

Fonte: Modificada de CRESESB (2014)

Quadro 3 – Continuação normas nacionais utilizadas e recomendadas para consulta

Org.	Código	Título	Descrição
MTE - Ministério do Trabalho e Emprego	NR-10	Segurança em instalações e serviços em eletricidade	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade Esta Norma Regulamentadora (NR) estabelece os requisitos e condições mínimas, objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam com instalações elétricas e serviços de eletricidade.
	NR-35	Trabalho em altura	Estabelece os requisitos mínimos e as medidas de proteção para o trabalho em altura, envolvendo o planejamento, a organização e a execução, de forma a garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos direta ou indiretamente com esta atividade.

Fonte: Modificada de CRESESB (2014)

Quadro 4 - Normas internacionais recomendadas para consulta.

Org	Código	Título	Descrição
IEC - International Electrotechnical Commission	60364-7-712:2002	Requirements for special installations or locations – Solar photovoltaic (PV) power supply systems	Aplica-se às instalações elétricas dos sistemas de abastecimento de energia fotovoltaica, incluindo sistemas com módulos c.a.
	62109-2:2011	Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters	Cobre as necessidades específicas de segurança relevantes aos inversores de tensão, bem como a outros equipamentos que executam esta função em SFV.

Fonte: Modificada de CRESESB (2014)

Quadro 5 - Normas internacionais recomendadas para consulta.

Org.	Código	Título	Descrição
IEC - International Electrotechnical Commission	61000-6-1:2005	Eletromagnetic Compatibility (EMC) - Generic Standards – Immunity for residential, commercial and light industrial environments	Define ensaios para dispositivos elétricos para imunidade em relação a perturbações conduzidas e irradiadas incluindo descargas eletrostáticas.
	61724:1998:	Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis	Fornece diretrizes para avaliação de desempenho de sistemas fotovoltaicos

Fonte: Modificada de CRESESB (2014)

Para a instalação do sistema fotovoltaico é muito importante também seguir o procedimento de instalação e operação descrito no manual de cada equipamento.

4.10 Operação e manutenção

O sistema fotovoltaico tem uma operação simples, onde não requer muita intervenção dos usuários para funcionar corretamente, e muitas vezes o sistema opera de modo automático. Se em algum caso, o sistema fotovoltaico precisar ser manipulado pelo usuário, é muito importante que ele receba um manual e um rápido treinamento para que possa realizar este processo de forma segura e adequada. E mesmo se o sistema não precise de interferência do usuário, é muito importante que ele possua um manual de procedimento e manutenção, que seguem as recomendações do fabricante. (CRESESB, 2014).

Os procedimentos de manutenção de SFV podem ser preventivos ou de forma corretiva. Quando acontecer algum defeito mais grave do sistema não funcionar ou algum processo similar, é muito importante chamar um pessoa com qualificação adequada para realizar a manutenção. (ALTENER, 2004)

Porém é muito importante realizar a manutenção preventiva do sistema que pode ser realizada pelo próprio usuário, esta manutenção pode ser inicializada logo após a sua instalação. A manutenção preventiva tem como objetivo diminuir futuras manutenções corretivas e manter a eficiência do SFV.

A principal manutenção que o usuário deve fazer é uma inspeção visual, onde devem ser observados se os módulos estão limpos e não apresentam sinais de rachaduras, se a estrutura dos módulos esta fixa, se o aterramento ainda se encontra adequado e sem corrosão, observar se o ângulo de instalação dos módulos não alterou, e observar a eficiência da geração das placas para saber se estão gerando a energia adequada e sem problemas (ALTENER, 2004).

Para a realização da limpeza das placas é muito importante que o usuário realize esta limpeza com muito cuidado para não riscar o vidro das placas, e que realize este processo no período da manhã ou à noite quando o sol não estiver muito intenso podendo evitar algum choque elétrico (FADIGAS, 2012).

5 PROJETO

5.1 Considerações gerais

Para a realização do projeto do sistema fotovoltaico, é importante primeiramente escolher o tipo de configuração que será utilizado, observar a orientação dos módulos, a disponibilidade do recurso solar, a quantidade de energia necessária a ser gerada e diversos outros fatores. O projeto basicamente é um estudo que busca adequar o gerador fotovoltaico as necessidades definida pela demanda de energia, para realizar o melhor dimensionamento do sistema (CRESESB, 2014).

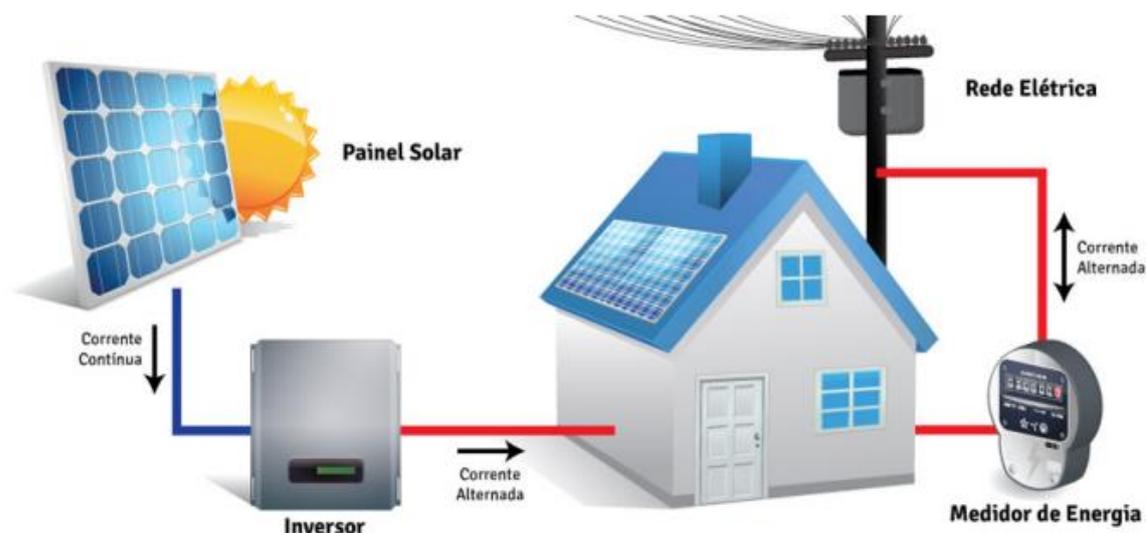
5.2 Escolha da configuração

A escolha do tipo de sistema a ser utilizado, depende muito do local de sua instalação. Neste trabalho foi realizado o projeto para a instalação do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, pelo fato da residência se encontrar em área urbana, sem necessidade do armazenamento de energia, conseqüentemente sem a utilização de baterias.

Os Sistemas fotovoltaicos conectados à rede dispensam o uso de acumuladores de energia, pois sua energia gerada será consumida instantaneamente pela residência, ou no caso da residência não estar usufruindo desta geração, o sistema entrega esta energia para a rede de distribuição, para ser consumida por outras unidades consumidoras, nunca armazenando a energia produzida. Podemos resumir que este sistema basicamente representa uma fonte de energia complementar ao sistema elétrico ao qual está conectado (CRESESB, 2014).

Basicamente este sistema é composto pelos módulos fotovoltaicos, que irão converter a luz solar em energia elétrica, o inversor, responsável pela conversão de CC para CA, o medidor da concessionária e os sistemas de proteção adequados. A Figura 20 ilustra esse tipo de sistema.

Figura 20 - Representação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



Fonte: CAMARGO (2017)

Neste sistema a radiação emitida pelo Sol, chega aos módulos onde se dá o início ao efeito fotovoltaicos, que transforma esta energia proveniente do sol em energia elétrica. Esta energia produzida sai dos módulos em corrente contínua e passa pelo inversor, onde o inversor fará a conversão de CC para CA, e enviará a energia para a utilização na residência ou encaminhando para a rede de distribuição (CAMARGO, 2017).

Antes desta energia ser transmitida para a rede de distribuição ela passa pelo relógio bidirecional, onde este contará a quantidade de energia que a residência enviou para a rede de distribuição e a quantidade que ela consumiu da rede de distribuição. Assim gerando um total de consumo ou crédito de energia (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

Nesta e em todas as instalações é muito importante a utilização de dispositivos de proteção, para proteger a instalação residencial e também a rede de distribuição. Nos sistemas fotovoltaicos, geralmente são utilizados os disjuntores e dispositivos de proteção contra surto (DPS).

Segundo RÜTHER (2004) Algumas das vantagens da utilização do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica são:

- A energia sendo produzida próximo ao seu consumo, diminui as perdas de transmissão e distribuição.
- Os módulos solares integrados a edificação, não necessitam de espaço extra para sua aplicação.
- Os sistemas interligados a rede contribuem para oferecer suporte a pontos críticos da rede distribuição.

- Os sistemas já instalados podem ser facilmente expandidos caso haja necessidade e espaço para isso.
- A fonte de energia é inesgotável e é encontrada em quase todos os locais da terra, além de produzir energia limpa, silenciosa e renovável.

5.3 Desenvolvimento

5.3.1 Avaliação do recurso solar

Para realizar a escolha de um sistema de geração fotovoltaico, é importante observar os recursos solares disponíveis pra a região de instalação, pelo fato de que, dependendo da região pode haver dias com poucas horas de sol, ou muita neblina, onde há uma diminuição do recurso solar. Isto pode resultar em um aumento de módulos fotovoltaicos para atender a demanda necessária.

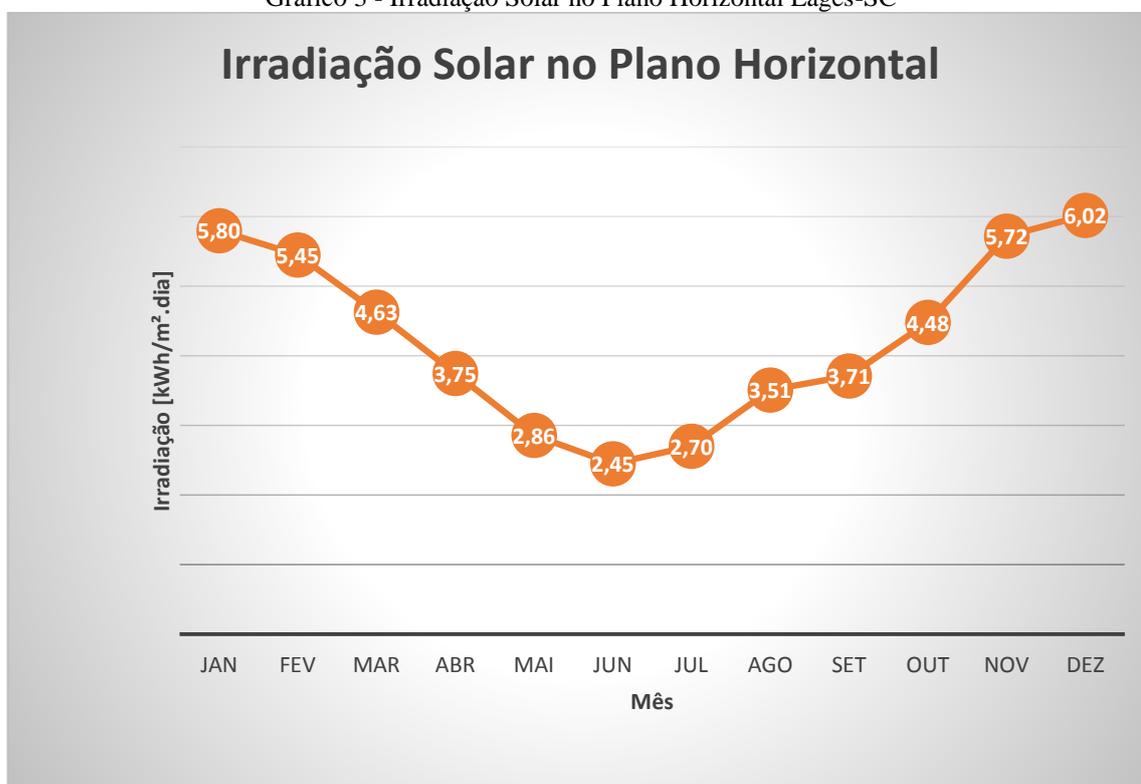
Para a obtenção do índice de irradiação da cidade de Lages-SC, foi utilizado o software SunData, disponibilizado pelo site do CRESESB. A partir destes dados obteve-se o valor de irradiação solar para a cidade de Lages mostrado no Gráfico 3, e obtendo uma média mensal de 4,26 kWh/m². dia, como mostrado no Quadro 6.

Quadro 6 - Irradiação Solar Lages-SC

Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]	Município	Lages
	UF	SC
	País	Brasil
	Latitude	27.901°S
	Longitude	50.349°O
	Janeiro	5,80
	Fevereiro	5,45
	Março	4,63
	Abril	3,75
	Mai	2,86
	Junho	2,45
	Julho	2,70
	Agosto	3,51
	Setembro	3,71
	Outubro	4,48
	Novembro	5,72
	Dezembro	6,02
MÉDIA	4,26	

Fonte: CRESESB (2018)

Gráfico 3 - Irradiação Solar no Plano Horizontal Lages-SC



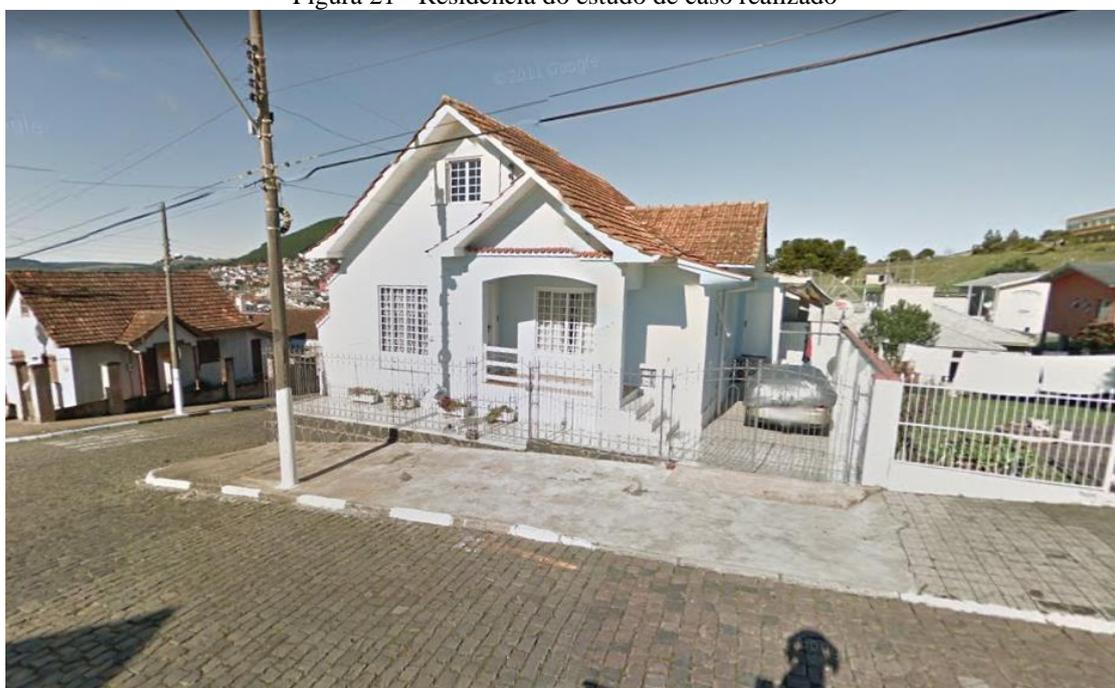
Fonte: CRESESB (2018)

5.3.2 Localização

Os recursos solares dentro de uma região podem oferecer mudança em relação a irradiação total da região. E é muito importante realizar uma instalação onde há o melhor aproveitamento da luz solar. Escolhendo o melhor lugar para a instalação dos módulos, observando a inclinação necessária, e se há a presença de árvores e construções que podem oferecer sombreamento para os módulos (CRESESB, 2014).

Neste caso, a casa se localiza em uma área urbana, considerando ao seu redor somente construções mais baixas ou iguais. Conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Residência do estudo de caso realizado



Fonte: GOOGLE EARTH (2018)

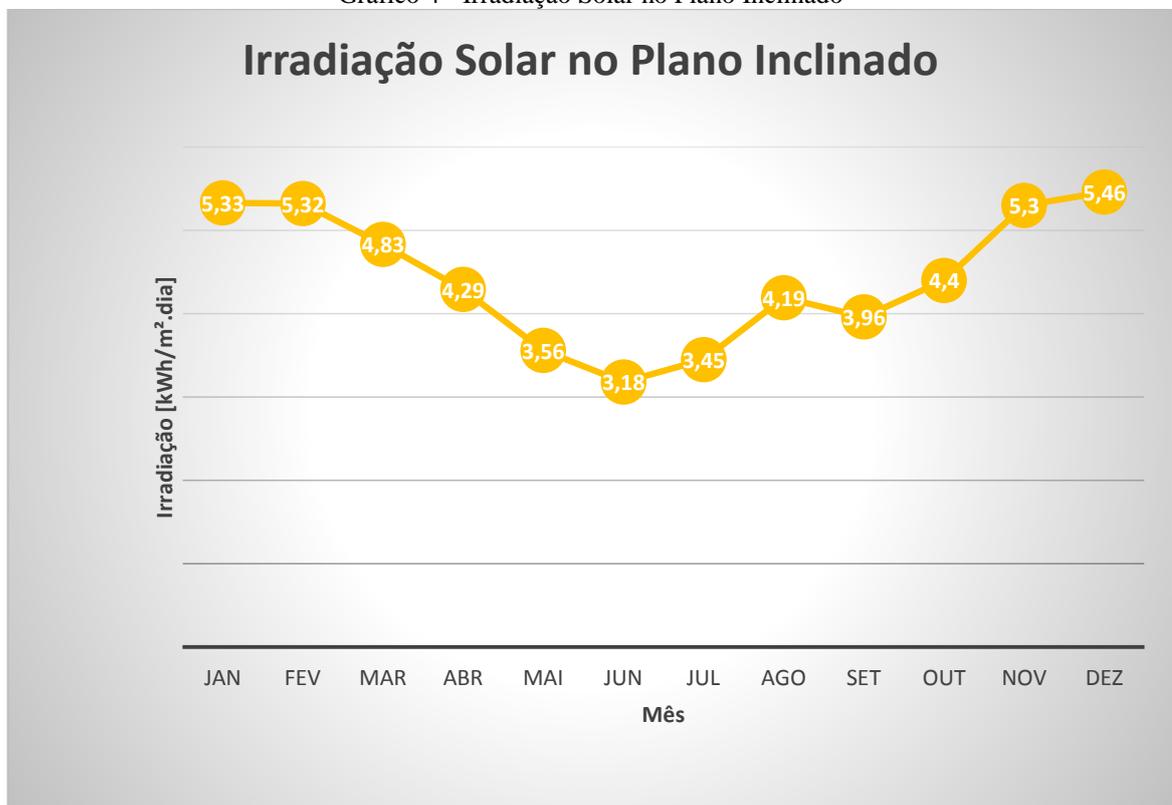
Conforme dados retirados do GOOGLE MAPS a residência está localizada pela latitude $27^{\circ}49'25.2''S$ e longitude $50^{\circ}19'54.3''W$. O Quadro 7 e o Gráfico 4 abaixo demonstram o melhor ângulo de inclinação necessário para obtenção do melhor nível de irradiação. A partir destes dados, obtém-se o valor de irradiação solar diária média mensal de $4,44 \text{ kWh/m}^2.\text{dia}$ com latitude em $22^{\circ}N$.

Quadro 7 - Irradiação Solar Média com inclinação de 22 ° N

Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]	Município	Lages
	UF	SC
	País	Brasil
	Ângulo	Maior média anual
	Inclinação	22°N
	Janeiro	5,33
	Fevereiro	5,32
	Março	4,83
	Abril	4,29
	Mai	3,56
	Junho	3,18
	Julho	3,45
	Agosto	4,19
	Setembro	3,96
	Outubro	4,4
	Novembro	5,3
	Dezembro	5,46
MÉDIA	4,44	

Fonte: CRESESB (2018)

Gráfico 4 - Irradiação Solar no Plano Inclinado



Fonte: CRESESB (2018)

A Tabela 2, retirada de (VILLALVA & GAZOLI, 2012) mostra o ângulo de instalação recomendado para painéis fotovoltaicos de acordo com a latitude da localização.

Tabela 2 - Tabela para escolha do ângulo de inclinação do módulo

Latitude geográfica do local	Ângulo de inclinação recomendado
0° a 10°	$\alpha = 10^\circ$
11° a 20°	$\alpha = \text{latitude}$
21° a 30°	$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ$
31° a 40°	$\alpha = \text{latitude} + 10^\circ$
41° ou mais	$\alpha = \text{latitude} + 15^\circ$

Fonte: VILLALVA & GAZOLI (2012)

De acordo com a Tabela 2, para latitudes entre 21° e 30°, que é o caso de Lages, o ângulo de inclinação recomendado é:

$$\alpha = \text{latitude} + 5^\circ \quad (1)$$

onde:

α = é o ângulo de inclinação recomendado.

$$\alpha = 22^\circ + 5^\circ \quad (2)$$

$$\alpha = 27^\circ \quad (3)$$

Portanto, o ângulo de inclinação recomendado para os módulos fotovoltaicos é de 27°.

Com relação à orientação dos módulos, como a cidade de Lages está localizada no hemisfério Sul, a melhor maneira de instalá-los é orientá-los com sua face voltada para o norte geográfico. Essa orientação melhora o aproveitamento da luz solar ao longo do dia, pois há a incidência de raios solares sobre o módulo durante todo o dia, com valor máximo ao meio-dia solar (VILLALVA & GAZOLI, 2012).

5.3.3 Levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica

Para realização do levantamento da demanda do consumo de energia elétrica, pode ser feito calculando os equipamentos existentes na edificação quando for uma edificação nova, ou

mais comum, fazer o levantamento médio mensal anual do consumo da residência (kWh/mês) com o histórico das faturas mensais já emitidas pela distribuidora local.

A Quadro 8 apresenta a média do consumo mensal retirada da conta de energia elétrica pertencente a residência em questão, onde resulta uma média mensal anual de 214 kWh/mês.

Quadro 8 - Consumo mensal de energia elétrica dos últimos 12 meses

MÊS		CONSUMO (kWh)
Agosto	2017	249
Setembro	2017	225
Outubro	2017	221
Novembro	2017	199
Dezembro	2017	200
Janeiro	2018	201
Fevereiro	2018	125
Março	2018	168
Abril	2018	193
Mai	2018	197
Junho	2018	271
Julho	2018	261
Agosto	2018	266
MÉDIA		214

Fonte: Valores retirado da conta de energia da residência estudada

5.3.4 Dimensionamento e escolha dos módulos fotovoltaicos

Para fazer o dimensionamento da quantidade de placas fotovoltaicas necessária para o projeto, é importante conhecer as normas da regulamentação do sistema na região. Que no sistema de compensação de energia utilizado no Brasil apresentado pela Resolução Normativa ANEEL 482/2012, diz que, quando o sistema gerar mais energia do que está consumindo esta energia é transferida para a rede e registrada pelo medidor, e quando a residência está consumindo mais energia do que gerando, esse consumo também é registrado no medidor. No final do mês gerando um balanço energético de consumo, podendo resultar em créditos para o consumidor. (CRESESB, 2014).

Logo para a realização do dimensionamento do sistema fotovoltaico de forma otimizada, precisa obter o consumo médio diário anual da residência (kWh/dia) que neste caso é de 214 kWh/mês, e descontar o valor de 30 kWh/mês que é referente a taxa mínima que a

concessionário cobra para uma instalação monofásica, assim resultando em um valor de 184 kWh/mês.

Então para calcular a potência necessária é utilizado a formula a seguir:

$$PT_{\text{Módulos}} = \frac{E_{\text{Geração dia}}}{T_{\text{Exposição}} \times \eta} \quad (4)$$

onde:

$E_{\text{Geração dia}}$ = é a energia que será necessário gerar para atender a demanda da residência, que neste caso é de 184kWh/mês. É necessário converter esta média mensal para uma média diária conforme equação 3 abaixo:

$$E_{\text{Geração dia}} = \frac{184\text{kWh/mês}}{30 \text{ dias}} \quad (5)$$

$$E_{\text{Geração dia}} = 6,133\text{kWh/dia} \quad (6)$$

$T_{\text{Exposição}}$ = é o tempo que os painéis solares irão permanecer no sol diariamente. Este valor foi retirado do site do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito) que na localização da residência é de 4,44 h/dia.

$PT_{\text{Módulos}}$ = Potência total de geração necessária pelo sistema fotovoltaico.

η = é o rendimento que é calculado pelas perdas possíveis no sistema que podem ser causados pela mudança de temperatura, incompatibilidade elétrica, acúmulo de sujeira, cabeamento, ângulo de instalação e rendimento do Inversor.

Conforme VILLALVA & GAZOLI (2012) o Quadro 9 mostra os principais fatores que afetam o rendimento do sistema levando em conta alterações realizadas para se adequar a localização atual do sistema.

Quadro 9 - Perdas de rendimento do SFV

Perdas	Valor Considerado
Desvio no rendimento nominal do módulo	5%
Temperatura no módulo	5%
Perdas nos condutores do lado CA	1%
Eficiência do Inversor na conversão	2%
Sombreamento	0,5%
Diodos e Conexões	0,5%
Sujeira nos módulos	2%
Desvio da orientação correta do módulo	5%
Total de perdas	21%

Fonte: Adaptado de VILLALVA & GAZOLI (2012)

Conforme Quadro 9, a perda de rendimento do sistema é de 21%, com isso o rendimento do sistema fica com 79%.

Assim realizando o cálculo da potência total de módulos é dado pela equação 7:

$$PT_{\text{Módulos}} = \frac{6,133\text{kWh/dia}}{4,44\text{h/dia} \times 0,79} \quad (7)$$

$$PT_{\text{Módulos}} = 1,748 \text{ kW} \quad (8)$$

Conforme cálculo, será necessário 1,748 kW de potência gerada pelos módulos fotovoltaicos para atender os 6,133kwh/dia de consumo diário.

Depois de calcular a potência necessária dos painéis, precisou-se descobrir quantos módulos serão necessárias para atender esta potência. Para isso é importante primeiro escolher qual módulo será utilizada, e a sua potência de geração.

Para a escolha do módulo, levou-se em consideração o rendimento, o tamanho da placa, o material de construção e o seu valor.

Com isso, realizando pesquisas de preços, eficiência e recomendações de profissionais da área, escolheu-se um módulo com potência de geração de 300 Wp, da marca CanadianSolar, feita com silício monocristalino com dimensões de 1650x992x40mm. Suas especificações são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 - Placa fotovoltaica Canadian Solar

CS6K	300MS
Max. Potência Nominal (Pmax)	300W
Opt. Tensão Operacional (Vmp)	32,5V
Corrente de Operação (Imp)	9,24A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	39,7V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,83A
Eficiência do módulo	18,33%
Temperatura de operação	40°C - +85°C
Max. Voltagem do sistema	1000V
Max. Classificação do fusível da série	15A
Classificação de aplicação	Class A
Tolerância de Potência	0 ~+5W

Fonte: Datasheet Canadian Solar (2018)

Com a escolha do módulo temos a potência gerada de 300Wp por cada módulo, colocando na fórmula abaixo retirada de (VILLALVA & GAZOLI, 2012), pode-se descobrir a quantidade de placas necessárias pela equação 9:

$$Qtd_{\text{Módulos}} = \frac{PT_{\text{Módulos}}}{P_{\text{Módulos}}} \quad (9)$$

onde:

$Qtd_{\text{Módulos}}$ = quantidade total de módulos necessários para o sistema;

$PT_{\text{Módulos}}$ = Potência total de geração necessária pelo sistema fotovoltaico.

$P_{\text{Módulos}}$ = potência máxima gerada por cada módulo fotovoltaico.

Substituindo os valores obtém-se:

$$Qtd_{\text{Módulos}} = \frac{1748W}{300W} \quad (10)$$

$$Qtd_{\text{Módulos}} = 5,82 \quad (11)$$

Como o resultado deu 5,82 este valor é arredondado para cima, assim a residência necessitando de 6 módulos fotovoltaicos de 300Wp para atender a sua demanda de energia elétrica diária.

Calculando a potência gerada utilizando 6 módulos de 300W o sistema fica:

$$PT_{\text{Módulos}} = P_{\text{Módulos}} \times Qtd_{\text{Módulos}} \quad (12)$$

$$PT_{\text{Módulos}} = 300 \times 6 \quad (13)$$

$$PT_{\text{Módulos}} = 1800W \quad (14)$$

Assim a potência máxima total gerada pelos módulos fotovoltaicos é 1800 W.

5.3.5 Dimensionamento do inversor

O dimensionamento do inversor depende da potência gerada pelos módulos fotovoltaicos, características elétricas do módulo, características ambientais e topologia de instalação.

A potência gerada pelos módulos fotovoltaicos calculado anteriormente é de 1800Wp, então é necessário um inversor que atenda este requisito.

Porém é muito importante levar em consideração que o inversor não pode ser superdimensionado e nem acabar atuando na sua potência máxima. É possível escolher um inversor de potência igual a gerada pelas placas fotovoltaica, pois o sistema não gera sempre na sua potência máxima. Conforme VILLALVA & GAZOLI (2012) é recomendado escolher um inversor que atenda a +/- 20% da potência gerada pelos módulos. Assim:

$$\text{Potência}_{\text{máxima}}: 1800W + 20\%$$

$$\text{Potência}_{\text{máxima}}: 2160 \text{ W}$$

$$\text{Potência}_{\text{mínima}}: 1800W - 20\%$$

$$\text{Potência}_{\text{mínima}}: 1440 \text{ W}$$

Outro aspecto que pode ser levado em consideração é a necessidade de ampliações futuras, sendo possível acrescentar algumas placas fotovoltaicas futuramente no sistema, assim já dimensionando o inversor para possíveis alterações.

Levando-se em consideração as características técnicas necessárias e o seu custo, optou-se por utilizar um inversor de 2 kW da marca EcoSolys modelo Ecos 2000. Com as principais especificações mostrada nas Tabelas 4 e 5 a seguir.

Tabela 4 – Dados de entrada do inversor EcoSolys 2kW

Dados de Entrada	Ecos 2000
Potencia fotovoltaica nominal	2000W
Tensão CC de partida	45V
Máxima tensão CC	380V
Corrente CC máxima	10A
Faixa de operação MPPT	125 - 380V
Quantidade de MPPT	1
Conector CC	Tipo MC4

Fonte: Datasheet ecoSolys (2018)

Tabela 5 - Dados de saída do inversor EcoSolys 2kW

Dados de Saída	Ecos 2000
Potencia nominal de saída	2000W
Máxima potencia CA	2200W
Tensão nominal de saída	220V
Corrente nominal de saída	9,0A
Frequência nominal de saída	60Hz
Eficiência	96,60%
THD	<0,5%
Fator de potência	1
Conexão CA	Mnofásica/bifásica

Fonte: Datasheet ecoSolys (2018)

Depois da escolha do melhor inversor em relação a potência e local de instalação, algumas equações, retiradas de (ROSA & SANTOS, 2016) são levadas em contas para a melhor configuração do sistema.

$$NM_{\max} = \frac{P_{\text{inv}}}{P_M} \quad (15)$$

Onde:

NM_{\max} = é o número máximo de módulos para o inversor escolhido;

P_{inv} = é a potência do inversor escolhido;

P_M = é potência do módulo solar.

$$NM_{\max} = \frac{2000W}{300W} \quad (16)$$

$$NM_{\max} = 6,66 \quad (17)$$

Como o cálculo demonstra, o número máximo de módulos para o inversor escolhido é 6,66, comprovando que o inversor atende as capacidade de módulos dimensionada neste projeto.

$$\frac{V_{\text{invMIN}}}{V_M} \leq NM_{\text{MPPT}} \leq \frac{V_{\text{invMAX}}}{V_M} \quad (18)$$

Onde:

NM_{MPPT} = é o número de módulos por entrada MPPT para o inversor escolhido;

V_M = é a tensão do módulo solar;

V_{invMIN} = é a tensão mínima de operação do inversor;

V_{invMAX} = é a tensão máxima de operação do inversor.

Assim:

$$\frac{125}{32,5} \leq NM_{\text{MPPT}} \leq \frac{380}{32,5} \quad (19)$$

$$3,84 \leq NM_{\text{MPPT}} \leq 11,69 \quad (20)$$

A partir da equação 7 obtém-se que o inversor suporta o número de módulos em série por entradas MPPT, entre 3 e 11 módulos. Contendo em nosso projeto a utilização de 6 módulos em série, estando dentro do suportado pelo inversor.

$$N_L = \frac{I_{\text{invMAX}}}{I_M} \quad (21)$$

onde:

N_L = é o número máximo de linhas em paralelo para a operação do inversor;

I_M = é a corrente de operação do módulo solar.

I_{invMAX} = é a corrente de operação máxima do inversor.

$$N_L = \frac{10}{9,24} \quad (22)$$

$$N_L = 1,08 \quad (23)$$

A equação 8 nos dá a quantidade máxima de linhas de módulos em paralelo por entrada do inversor. Como o inversor é de pequeno porte, possuindo somente uma entrada MPPT, assim dimensionando todos os 6 módulos fotovoltaicos ligados em série, atendendo a todos os cálculos realizado.

5.3.6 Condutores CC

Conforme ROSA & SANTOS (2016), o cabo utilizado deve suportar uma corrente CC igual ou maior que a corrente de curto circuito das placas, multiplicada pelo fator de 1,25. Porém para os sistemas de minigeração, os fabricantes já fazem a recomendação do cabo ideal para ser utilizado por cada modulo, facilitando a sua utilização. Assim para o modulo utilizado o fabricante recomenda a utilização do cabo com seção de 4mm², com isolamento HEPR 90°C, que foi a especificação dos cabos adotados.

5.3.7 Dispositivos de Proteção

Para o lado CC do circuito antes da entrada do inversor, os dispositivos de proteção são dimensionados baseados na máxima tensão do inversor, para isso, serão utilizados uma chave seccionadora bipolar DC 1000V – 32 A, 2 DPS de 1000V e 2 fusíveis 15 A.

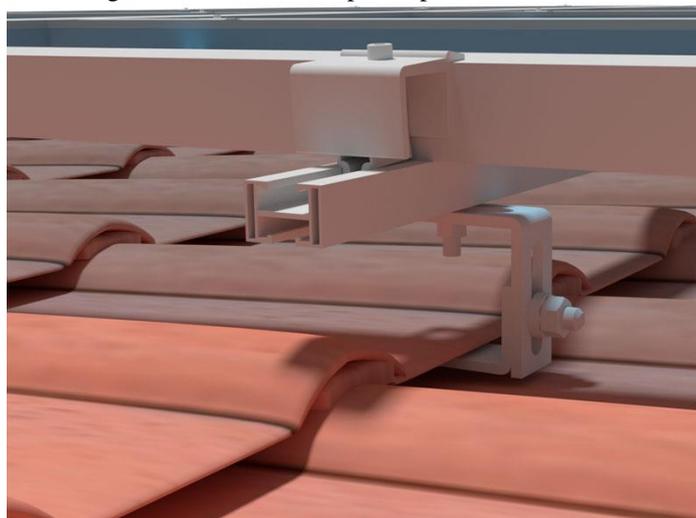
Já para a proteção do circuito no lado AC logo após a saída do inversor, será utilizado um DPS 275V e um disjuntor monofásico 20A. E para a ligação do cabo de alimentação no quadro de distribuição, também será utilizado um disjuntor monofásico de 20A

Estes dispositivos estão apresentados no diagrama unifilar (APÊNDICE A).

5.4 Levantamento de custos

A estrutura metálica para a fixação das placas fotovoltaicas, é uma estrutura especial para telhas como mostrado na Figura 22 a seguir:

Figura 22 - Estrutura de painel para telhas



Fonte: ALDO (2018)

Todos os materiais necessário estão listados na Quadro 10 abaixo com seus respectivos valores:

Quadro 10 - Lista Materiais

Orçamento					
Material	Custo unit.	Un.	Qtd	Valor total	Fonte
Módulos fotovoltaicos CanadianSolar	R\$ 785,00	pç	6	R\$ 4.710,00	Neosolar
Inversor 2kW ecosolys	R\$ 2.790,00	pç	1	R\$ 2.790,00	ALDO
Estrutura Romagnole Colonial	R\$ 468,00	conj	2	R\$ 936,00	ALDO
Cabo 4mm ² HEPR	R\$ 2,34	m	25	R\$ 58,50	EVM Eletricidade
Cabo 6mm ² flexível	R\$ 2,78	m	50	R\$ 139,00	EVM Eletricidade
DPS classe II - 1000V - 20KA	R\$ 65,00	pç	2	R\$ 130,00	Leroymerlin
DPS classe II - 275V -20KA	R\$ 34,42	pç	1	R\$ 34,42	EVM Eletricidade
Chave seccionadora DC	R\$ 200,00	pç	1	R\$ 200,00	Leroymerlin
Disjuntor Mono 20A	R\$ 8,00	pç	2	R\$ 16,00	EVM Eletricidade
Quadro Distribuição	R\$ 23,15	pç	2	R\$ 46,30	EVM Eletricidade
Fusível 15A- com porta fusível	R\$ 28,40	pç	2	R\$ 56,80	Leroymerlin
Conectores	R\$ 13,75	pç	4	R\$ 55,00	Leroymerlin
TOTAL				R\$ 9.172,02	

Fonte: Próprio autor (Pesquisa realizada 30/10/2018)

Para a contratação caso necessário de um técnico adequado para a instalação foi somado uma porcentagem de 10% no valor total de materiais, conforme mostrado no Quadro 11 o valor total do sistema instalado é R\$ 10.089,22.

Quadro 11 - Orçamento total

Orçamento Total	
Materiais	R\$ 9.172,02
Mão de obra para instalação	R\$ 917,20
TOTAL	R\$ 10.089,22

Fonte: Próprio autor

6 ANÁLISE

6.1 *Layout*

Conforme cálculos e análises realizada visando a melhor instalação do sistema para a localização e estrutura da residência, as placas foram dimensionadas conforme Figura 23 e Figura 24.

Figura 23 - Imagem Ilustrativa da residência com as placas instaladas



Fonte: Próprio autor

Figura 24 - Imagem Ilustrativa da residência com as placas instaladas



Fonte: Próprio autor

6.2 Payback

Segundo SOLAR (2018), o tempo de retorno para o investimento de energia solar ou “payback” é o tempo necessário para que o valor investido na instalação se pague, e então comece a dar lucro para o investidor. Este cálculo basicamente é o levantamento do custo do investimento dividido pela economia proporcionada mensalmente.

A equação (25), retirada de (SOLAR, 2018) que determina o tempo de payback:

$$\text{Payback}_{(\text{meses})} = \frac{\text{Investimento (R\$)}}{\text{Energia Gerada } \left(\frac{\text{kWh}}{\text{mês}}\right) \times \text{ValorDaTarifa}} \quad (25)$$

Outra forma de calcular o benefício obtido pela instalação do sistema fotovoltaico, é pelo cálculo da taxa de retorno sobre o investimento, conhecida como rentabilidade que pode ser calculada pela equação (26). (SOLAR, 2018)

$$\text{Rentabilidade} = \frac{\text{Economia} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{ano}} \right)}{\text{Investimento}} \quad (26)$$

Primeiramente para realizar os cálculos é necessário conhecer os custos de todo o sistema. Conforme já informado em orçamento, o custo de implantação do sistema fica em R\$10.089,22.

É necessário também realizar o levantamento da inflação das tarifas de energia e as possíveis perdas por depreciação do painel fotovoltaico. Com relação ao reajuste das tarifas, de acordo com PIERRY (2018), aponta que o Ministério de Minas e Energia prevê um reajuste de 7% por ano.

Quanto a depreciação dos módulos fotovoltaico segundo o fabricante, para o primeiro ano a perda de eficiência do módulo é de 2,5%, e 0,5% nos anos seguintes chegando a uma eficiência total dos módulos em 25 anos em torno de 85,5%.

De acordo com a CELESC, a tarifa de energia para residência pertencente ao grupo B com ligação monofásica é R\$ 0,734 para cada kWh consumido, com todos os impostos inclusos.

Os dados obtidos, são resumidos no Quadro 12.

Quadro 12 - Dados necessários para cálculo do payback

Investimento inicial	R\$ 10.089,22
Inflação energética	0,07/ano
Depreciação dos módulos 1ºano	2,50%
Depreciação dos módulos 1ºano	0,5%
Geração anual (kWh)	2.208
Preço da tarifa inicial (kW/h)	R\$ 0,735

Fonte: Próprio autor

Com os dados mostrados na Quadro 13 é possível analisar o rendimento do sistema ao longos dos anos. Onde a segunda coluda mostra a geração de energia dos módulos com o passar dos anos, conforme perda de sua eficiencia. A terceira coluna mostra o valor da tarifa cobrada pela energia com o passar dos anos. A quarta coluda mostra o valor economizado pela geração da energia gerada pelos módulos. E a última coluna demonstra o fluxo financeiro acumulado com o passar dos anos.

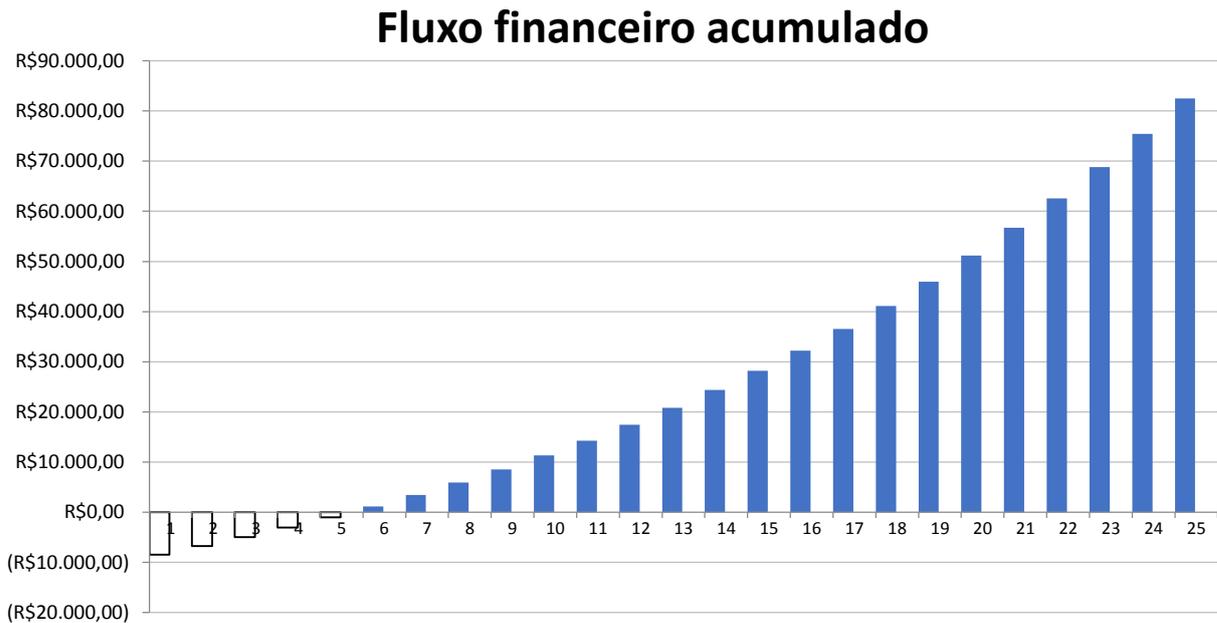
Quadro 13 - Desempenho do sistema fotovoltaico no período de 25 anos

	Geração (kWh)	Projeção Tarifa/kWh	Economia	Fluxo Financeiro Acumulado
1º ano	2208	R\$ 0,73	R\$ 1.620,67	-R\$ 8.468,55
2º ano	2152,80	R\$ 0,79	R\$ 1.690,77	-R\$ 6.777,78
3º ano	2141,76	R\$ 0,84	R\$ 1.799,84	-R\$ 4.977,94
4º ano	2130,72	R\$ 0,90	R\$ 1.915,90	-R\$ 3.062,04
5º ano	2119,68	R\$ 0,96	R\$ 2.039,40	-R\$ 1.022,64
6º ano	2108,64	R\$ 1,03	R\$ 2.170,79	R\$ 1.148,15
7º ano	2097,60	R\$ 1,10	R\$ 2.310,58	R\$ 3.458,73
8º ano	2086,56	R\$ 1,18	R\$ 2.459,31	R\$ 5.918,04
9º ano	2075,52	R\$ 1,26	R\$ 2.617,54	R\$ 8.535,58
10º ano	2064,48	R\$ 1,35	R\$ 2.785,87	R\$ 11.321,45
11º ano	2053,44	R\$ 1,44	R\$ 2.964,94	R\$ 14.286,39
12º ano	2042,40	R\$ 1,54	R\$ 3.155,43	R\$ 17.441,82
13º ano	2031,36	R\$ 1,65	R\$ 3.358,06	R\$ 20.799,87
14º ano	2020,32	R\$ 1,77	R\$ 3.573,60	R\$ 24.373,47
15º ano	2009,28	R\$ 1,89	R\$ 3.802,85	R\$ 28.176,32
16º ano	1998,24	R\$ 2,03	R\$ 4.046,69	R\$ 32.223,02
17º ano	1987,20	R\$ 2,17	R\$ 4.306,04	R\$ 36.529,06
18º ano	1976,16	R\$ 2,32	R\$ 4.581,87	R\$ 41.110,92
19º ano	1965,12	R\$ 2,48	R\$ 4.875,21	R\$ 45.986,13
20º ano	1954,08	R\$ 2,65	R\$ 5.187,17	R\$ 51.173,30
21º ano	1943,04	R\$ 2,84	R\$ 5.518,91	R\$ 56.692,21
22º ano	1932,00	R\$ 3,04	R\$ 5.871,68	R\$ 62.563,89
23º ano	1920,96	R\$ 3,25	R\$ 6.246,80	R\$ 68.810,69
24º ano	1909,92	R\$ 3,48	R\$ 6.645,66	R\$ 75.456,35
25º ano	1898,88	R\$ 3,72	R\$ 7.069,75	R\$ 82.526,10

Fonte: Próprio autor

Os Gráficos 5 e 6 apresentam o desempenho do sistema fotovoltaico instalado ao longo dos anos, podendo perceber que a partir do 6º ano o sistema começa a dar lucro, então entre o 5º e 6º o sistema se paga.

Gráfico 5 - Desempenho do sistema fotovoltaico no período de 25 anos



Fonte: Próprio autor

Com o cálculo do tempo de retorno, é possível observar que o sistema começa a dar lucro após 5 anos e 4 mês.

Podemos também calcular a rentabilidade que o investimento terá durante a sua utilização. Para este cálculo utilizamos a equação (26), e pegando como base somente o primeiro ano de geração, que tem uma economia de R\$ 1.620,67. Sendo assim a rentabilidade do sistema é:

$$\text{Rentabilidade} = \frac{1.620,67}{10.089,22} \quad (27)$$

$$\text{Rentabilidade} = 0.1606 \quad (28)$$

Para realizar uma comparação em relação a aplicações financeiras em 2018, o Quadro 14 abaixo mostra alguns dos principais investimentos, comparando com a rentabilidade do sistema fotovoltaico.

Quadro 14 - Indicadores financeiros out-2018 Rentabilidades anuais

Investimento	Rentabilidade 2018
Sistema Fotovoltaico	16,06%
Ibovespa	14,43%
Dólar	12,32%
Ouro	7,90%
EURO	6,13%
SELIC	5,39%
CDI	5,38%
Poupança	5,11%

Fonte: MINHASECONOMIAS (2018)

Com isso podemos perceber que com o sistema fotovoltaico, podemos ter uma rentabilidade de 16,06% sendo um investimento de baixo risco, dependendo apenas das condições climáticas as quais são baseadas em médias históricas.

7 CONCLUSÃO

A implantação dos sistemas fotovoltaicos demonstrou um grande crescimento no cenário mundial na última década. Alguns países incorporaram a energia solar à sua matriz energética, como é o caso da Alemanha, Japão, Espanha e Estados Unidos, os quais implementaram programas e incentivos para quem faz o uso desta fonte de energia.

Os sistemas fotovoltaicos isolados, são muito utilizados para levar energia a locais distantes das centrais geradoras de eletricidade, possibilitando a utilização de energia elétrica para mais pessoas. Já os sistemas fotovoltaicos interligados a rede de transmissão, proporcionam uma grande economia para o consumidor, além de contribuir com a diminuição de perdas e redução de investimentos em linhas de distribuição e transmissão, sendo um sistema de geração com recurso inesgotável e livre da poluição ambiente em sua utilização.

Como foi apresentado, o Brasil possui condições favoráveis para a utilização de sistemas fotovoltaicos, devido a sua localização intertropical e a sua grande disponibilidade de recursos naturais e territoriais. Porém embora o Brasil possua ótimas condições para a utilização deste sistema, não possui históricos desta aplicação. Uma das características que contribuem para isso é o elevado custo de sua implantação.

Portanto como foi apresentado no estudo de caso neste trabalho, a utilização do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, é um ótimo investimento para uma residência localizada na cidade de Lages-SC. Visto que o sistema em questão possui uma rentabilidade de 16,06%, sendo muito maior do que outros investimentos. Com o investimento de R\$10.089,22, a residência tem um retorno de *payback* de 5 anos e 4 meses, após este período passa a obter lucro, chegando após 25 anos em uma economia de mais de R\$ 82.000,00.

Desta forma, podemos perceber que apesar desta tecnologia não ser muito barata no Brasil, ela é um sistema viável economicamente. Espera-se então uma expansão da energia fotovoltaica na matriz Brasileira cada vez maior. Trazendo benefício para o consumidor, além de diversificar a matriz energética Brasileira, gerando uma energia limpa e impulsionando o desenvolvimento tecnológico do país gerando novos empregos, renda e desenvolvimento econômico nacional.

BIBLIOGRAFIA

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 3**, Acesso ao Sistema de Distribuição. 2012.

ABNT NBR 16149:2013 - **Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 16150:2013 - **Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 5410:2004 - **Instalações elétricas de baixa tensão**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 5419:2005 - **Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR IEC 62116:2012 - **Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede Elétrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 10899. **Energia solar fotovoltaica – Terminologia**, segunda edição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 04 de novembro de 2013a.

ABNT NBR 16149. **Sistemas Fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Primeira edição. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1 de março de 2013b.

ACHARYA, Naresh; MAHAT, Pukar; MITHULANANTHAN, Nadarajah. **An analytical approach for DG allocation in primary distribution network**, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Kidlington, Oxford, U.K., 30 nov. 2006. Disponível em: < <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:188014> > Acesso em 13 outubro 2018.

ACKERMANN, Thomas; ANDERSON, Göran; SÖDER, Lennart. **Distributed generation: a definition**. Electric Power Systems Research. 2001.

ALDO. **Aldo 2018**. Disponível em: <http://www.aldo.com.br/>. Acessado em 3 de Novembro de 2018.

ALTENER. **Energia Fotovoltaica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Portugal, 2004. Disponível em < <https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf> > Acesso em 15 novembro 2018.

ANDRADE, Caio Vinicius Aguiar. **Análise da inserção de armazenadores de energia na rede elétrica de distribuição**. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília. Brasília,. 2016.

ANEEL, 2012 Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº482**. Disponível online < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acessado em Novembro de 2015.

ANEEL, 2015 Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº687**. Disponível online < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acessado em Maio de 2016.

ANEEL, 2015 Agência Nacional de Energia Elétrica. **Micro e Minigeração Distribuídas**. Disponível em < <http://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida> >. Acessado em agosto de 2018.

BENEDITO, Ricardo Sá Silva. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. (Dissertação de Mestrado USP) São Paulo, 2009.

CAMARGO, Lucas Tamanini. **Projeto de um Sistema Fotovoltaico Conectado a Rede Elétrica**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual de Londrina Londrina, 2017.

CASTRO, Rui . **Introdução à Energia Fotovoltaica**. Universidade de Lisboa, Lisboa, 2008.

CELESC- I-432.0004 - Manual de Procedimentos – **Requisitos para a conexão de micro ou mini geradores de energia ao sistema elétrico da Celesc distribuidora**. Disponível em < <http://celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/Normativa-GD-revisao-03-2016.pdf> > Acesso em outubro 2018.

COOPER, Elison; JUNIOR, Wellyngton Moralles Martins. **Aplicação de painéis solares fotovoltaicos como fonte geradora complementar de energia elétrica em residências**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Paraná CURITIBA, 2013.

COSTA, Higor José Serafim da. 2010. **Avaliação do fator de dimensionamento do inversor em sistemas conectado a rede**. Monografia - Universidade Federal do Ceará Fortaleza, 2010.

CRESESB. **Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. 2018 . Disponível em< <http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 10 de Outubro de 2018

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos., 2014**. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: setembro de 2018.

BRAGA, Renata Pereira. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. Monografia - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: Produção e Uso da Energia**. Rio de Janeiro, 2016.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Faria Amaral. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FERREIRA, Maria Julita Guerra. **Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

FRAIDENRAICH, Naum; LYRA, Francisco J. **Energia Solar. Fundamentos e tecnologias de conversão heliotermoelétrica e fotovoltaica**. Ed Universitária da UFPE, 1995.

GOOGLE EARTH. 2018. Disponível em <<https://earth.google.com/web/>>. Acessado em 10 de outubro de 2018.

IEC 60364-7-712:2002 - Requirements for special installations or locations - **Solar photovoltaic (PV) power supply systems**. International Electrotechnical Commission.

IEC 62109-2:2011 - Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: **Particular requirements for inverters**. International Electrotechnical Commission.

INPE. 2017. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, **Atlas brasileiro de energia solar 2ª edição**. São José dos Campos : INPE, 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. International Energy Agency. s.l. : Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2018.

LEROYMERLIN 2018. Disponível em < <https://www.leroymerlin.com.br/> > Acessado em 3 novembro 2018.

MESSENGER, Roger A. e VENTRE, Jerry. **Photovoltaic Systems Engineering**. CRC Press. Boca Raton London New York Washington, D.C, 2000.

MINHASECONOMIAS. **Resumo do Mercado Financeiro Outubro 2018**, minhas economias. 2018, Disponível em <<http://minhaseconomias.com.br/blog/investimentos/resumo-do-mercado-financeiro>. > Acessado em 03 de Novembro de 2018.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2014.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e Mundo**, Ed. 16 outubro 2017, Disponível em: < http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv_154 >. Acessado em Outubro de 2018.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Estudo e propostas de geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas**. Brasília , 2009.

NASCIMENTO, Cássio Araújo. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Lavras – Minas Gerais: UFLA. 2004. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf> Acessado em 10 de setembro de 2018.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **Energia solar no brasil: situação e perspectivas.** Consultoria Legislativa, 2017.

NEOSOLAR.2018, Disponível em <https://www.neosolar.com.br/loja/> Acessado em 3 novembro 2018

PIERRY, Flávia. **Conta de luz pesou no bolso neste ano? Tendência é encarecer ainda mais em 2018.** Gazeta do Povo, 2017. Disponível em < <https://www.gazetadopovo.com.br/politica/republica/conta-de-luz-pesou-no-bolso-neste-ano-tendencia-e-encarecer-ainda-mais-em-2018-adpoq8axtihlhp50xash19q6/>> Acessado em 15 outubro 2018.

SILVA, Cláudio R. da, et al. **Radiação solar estimada com base na temperatura do ar para três regiões de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Uberlândia 2012.

RODRIGUES, Renato; GONÇALVES, José Correia. **Procedimentos de Metodologia Científica.** 8 ed. Lages, Papervest: 2007.

RONEY, J. Matthew. **World Solar Power Topped 100,000 Megawatts in 2012.** 2 de Agosto de 2013, Disponível em < <https://www.resilience.org/stories/2013-08-02/world-solar-power-topped-100-000-megawatts-in-2012/>> Acesso em 25 outubro 2018.

ROSA, P; SANTOS, E. **Apostila de instalação de Sistemas Fotovoltaicos: Módulo 1.** s.l. : ECODOT, 2016.

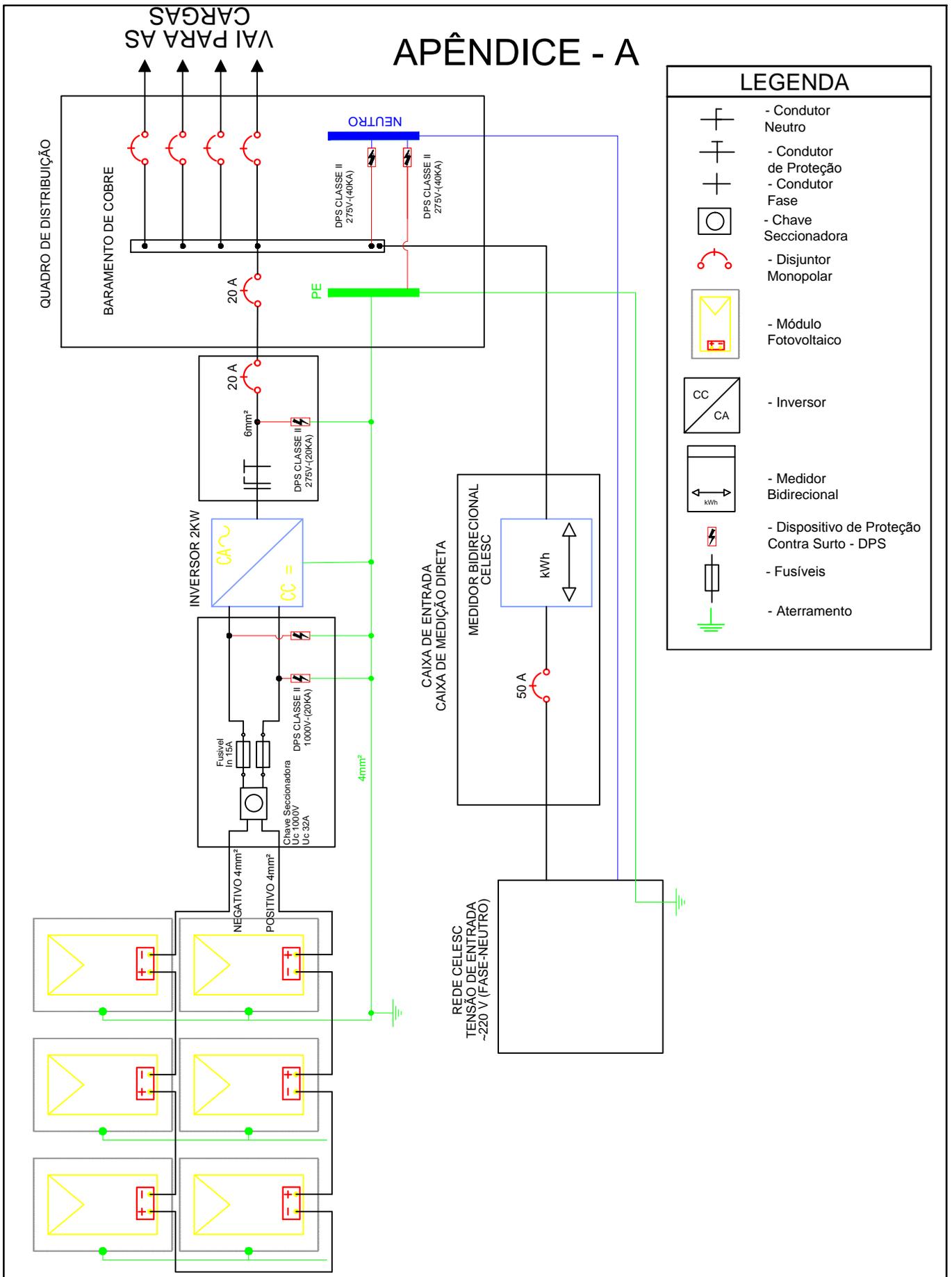
RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no brasil.** 1ª ed. Florianópolis : UFSC / LABSOLAR, 2004.

SOLAR, W. **Tempo de retorno do investimento em energia solar.** WA Solar, 2016. Disponível em: < <http://www.wasolar.com.br/tempo-de-retorno-do-investimento-em-energia-solar> >. Acessado em 15 outubro 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e aplicações.** 1ª ed. São Paulo : Érica, 2012.

APÊNDICE - A



LEGENDA	
	- Condutor Neutro
	- Condutor de Proteção
	- Condutor Fase
	- Chave Seccionadora
	- Disjuntor Monopolar
	- Módulo Fotovoltaico
	- Inversor
	- Medidor Bidirecional
	- Dispositivo de Proteção Contra Surto - DPS
	- Fusíveis
	- Aterramento

Projeto		Minigeração de Energia Elétrica - Energia Solar Fotovoltaica	
Descrição	Data	Folha	Projeta
Diagrama Unifilar Geral	XX/XX/XXXX	1	Everton Flach
Localização	Proprietário	Folha	Desenhista
Rua Josphat Lenzi, 190 Bairro Brusque Lages - Santa Catarina	XXXXXXX	A4	Everton Flach
		Escala	S/Escala



SUPERPOWER CS6K-290 | 295 | 300MS

Canadian Solar's new SuperPower modules with Mono-PERC cells significantly improve efficiency and reliability. The innovative technology offers superior low irradiance performance in the morning, in the evening and on cloudy days, increasing the energy output of the module and the overall yield of the solar system.

KEY FEATURES



11 % more power than conventional modules



Excellent performance at low irradiance: 97.5 %



High PTC rating of up to 91.87 %



Improved energy production due to low temperature coefficients



IP67 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa



linear power output warranty



product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2008 / Quality management system
ISO 14001:2004 / Standards for environmental management system
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / CEC AU
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE / Take-e-way
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1



* As there are different certification requirements in different markets, please contact your local Canadian Solar sales representative for the specific certificates applicable to the products in the region in which the products are to be used.

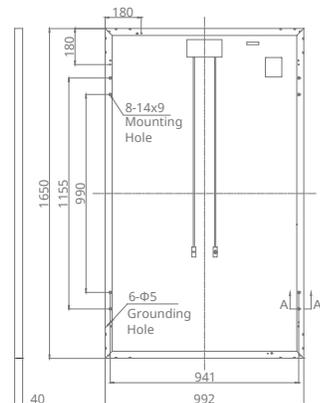
CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 15 GW deployed around the world since 2001, Canadian Solar Inc. (NASDAQ: CSIQ) is one of the most bankable solar companies worldwide.

CANADIAN SOLAR INC.

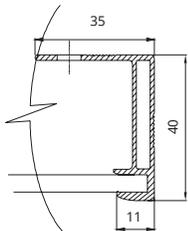
2430 Camino Ramon, Suite 240 San Ramon, CA, USA 94583-4385 | www.canadiansolar.com/na | sales.us@canadiansolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)

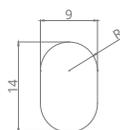
Rear View



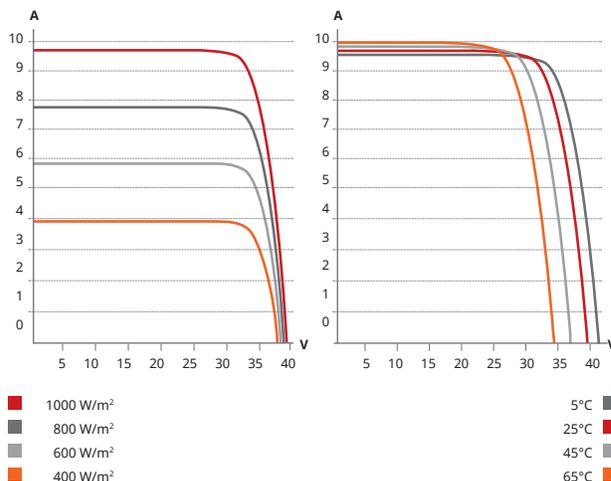
Frame Cross Section A-A



Mounting Hole



CS6K-295MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS6K	290MS	295MS	300MS
Nominal Max. Power (Pmax)	290 W	295 W	300 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	32.1 V	32.3 V	32.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.05 A	9.14 A	9.24 A
Open Circuit Voltage (Voc)	39.3 V	39.5 V	39.7 V
Short Circuit Current (Isc)	9.67 A	9.75 A	9.83 A
Module Efficiency	17.72 %	18.02 %	18.33 %
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC) or 1000 V (UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NOCT*

CS6K	290MS	295MS	300MS
Nominal Max. Power (Pmax)	210 W	213 W	216 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	29.0 V	29.2 V	29.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.25 A	7.30 A	7.35 A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.2 V	36.4 V	36.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.74 A	7.83 A	7.92 A

* Under Nominal Operating Cell Temperature (NOCT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE

Excellent performance at low irradiance, average relative efficiency of 97.5 % from an irradiance of 1000 W/m² to 200 W/m² (AM 1.5, 25°C).

The specification and key features described in this datasheet may deviate slightly and are not guaranteed. Due to on-going innovation, research and product enhancement, Canadian Solar Inc. reserves the right to make any adjustment to the information described herein at any time without notice. Please always obtain the most recent version of the datasheet which shall be duly incorporated into the binding contract made by the parties governing all transactions related to the purchase and sale of the products described herein.

Caution: For professional use only. The installation and handling of PV modules requires professional skills and should only be performed by qualified professionals. Please read the safety and installation instructions before using the modules.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	60 (6×10)
Dimensions	1650×992×40 mm (65.0×39.1×1.57 in)
Weight	18.2 kg (40.1 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP67, 3 diodes
Cable	4 mm ² (IEC) or 4 mm ² & 12 AWG 1000 V (UL), 1000 mm (39.4 in)
Connector	T4 (IEC/UL)
Per Pallet	26 pieces, 520 kg (1146.4 lbs)
Per container (40' HQ)	728 pieces

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.39 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.30 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.053 % / °C
Nominal Operating Cell Temperature	45±2 °C

PARTNER SECTION



INVERSORES ECOS

Desenvolvidos e fabricados no Brasil.

ecoSolys

Características Técnicas

Dados de Entrada	Ecos 1000	Ecos 2000	Ecos 5000
Potência fotovoltaica nominal	1000 W	2000 W	5000 W
Tensão CC de partida	45 V	45 V	45 V
Máxima tensão CC	320 V*	380 V**	400 V
Corrente CC máxima	10 A	10 A	2X10 A
Faixa de operação MPPT	60~320 V*	125~380 V**	125~400 V
Quantidade de MPPT	1	1	2
Conector CC	Tipo MC4		

Dados de Saída	Ecos 1000	Ecos 2000	Ecos 5000
Potência nominal de saída	1000 W	2000 W	5000 W
Máxima potência CA	1100 W	2200 W	5500 W
Tensão nominal de saída	220 V	220 V	220 V
Corrente nominal de saída	4,7 A	9,0 A	23,0 A
Frequência nominal de saída	60 Hz	60 Hz	60 Hz
Eficiência	93%	96,6%	97,5%
THD	<0,5%	<0,5%	<0,5%
Faixa de operação CA	57,5~62Hz ; 176~242Vca		
Fator de potência	1	1	0,95 ind ... 0,95 cap
Conexão CA	Monofásica / bifásica		

Dados Gerais	Ecos 1000	Ecos 2000	Ecos 5000
Dimensões (l x a x p)	315X295X150 mm	315X345X150 mm	245x485x150 mm
Peso Líquido	8,3 Kg	9,3 Kg	13 Kg
Temperatura de operação	-20~55 °C	-20~55 °C	-20~55 °C
Montagem	Fixação na parede - acompanha suporte		
Grau de proteção	IP54***		
Topologia	Sem transformador		
Garantia	5 anos - consulte os termos de garantia		
Normas Brasileiras	ABNT NBR 16149, 16150 e ABNT NBR IEC 62116		
Concessão INMETRO	004042/2016	005575/2016	em processo

Dispositivos de Proteção

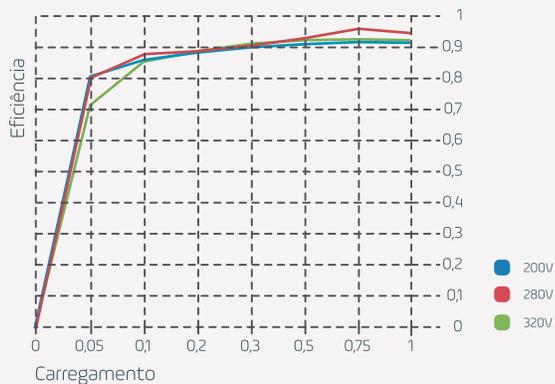
Anti-ilhamento
Sobre/sub tensão
Sobre/sub corrente
Sobre/sub frequência
Proteção contra sobrecarga
Controle de potência ativa em sobrefrequência
Proteção contra injeção de componente CC
Proteção de temperatura
Proteção contra inversão de polaridade
Religamento automático fora de fase

* Tensão máxima para os equipamentos com versão acima de 1800. Equipamentos com versão inferior possuem tensão máxima de 200 V.
 ** Tensão máxima para os equipamentos com versão acima de 2000. Equipamentos com versão inferior possuem tensão máxima de 340 V.
 *** De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60529:2017.

Eficiência e Proteções

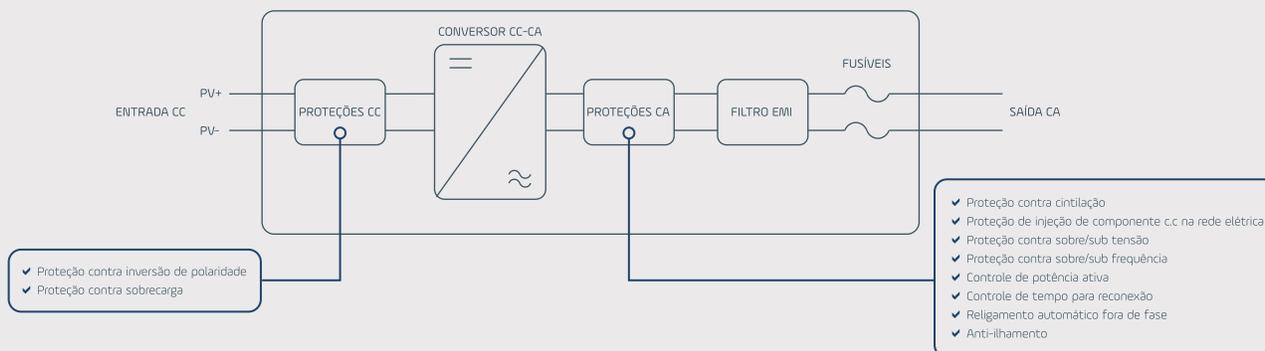
Tecnologia com vocação ambiental e economia.

Eficiência



	Ecos 1000...			Ecos 2000		
	100V	140V	180V	200V	280V	320V
$\eta_{0,05}$	72%	72%	72%	$\eta_{0,05}$ 81,3%	81%	72,2%
$\eta_{0,1}$	81%	82%	82%	$\eta_{0,1}$ 81,6%	88,1%	86%
$\eta_{0,2}$	86%	86%	88%	$\eta_{0,2}$ 88,8%	89,1%	89,1%
$\eta_{0,3}$	87%	89%	90%	$\eta_{0,3}$ 90,7%	91,2%	91,3%
$\eta_{0,5}$	88%	91%	92%	$\eta_{0,5}$ 91,4%	93,4%	92,5%
$\eta_{0,75}$	88%	91%	92%	$\eta_{0,75}$ 92,2%	96,6%	93,2%
η_1	87%	91%	93%	η_1 92,1%	94,8%	92,6%

Diagrama de Proteções



Vantagens ecoSolys

- ✓ Sistema inteligente e de alta durabilidade.
- ✓ Redução imediata na sua fatura de energia.
- ✓ Adequado às normas de segurança (ABNT NBR 16149, ABNT NBR 16150 e ABNT IEC 62116).
- ✓ Permite expansão em paralelismo.

Faça sua compra pelo BNDES



ecosolys.com.br

@ecosolys

@ecosolys

@ecosolys

Escritório Curitiba

Rua Deputado Heitor de Alencar Furtado, 270
CEP 80740-060 . Curitiba . PR . Brasil

Fábrica Pato Branco

Rua João Viganó Neto, 170 . Núcleo Bom Retiro
CEP 85.501-970 . Pato Branco . PR . Brasil

+55 41 3056-8511

contato@ecosolys.com.br