

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

JAIR JAISSON FARIAS DOS SANTOS

**PROJETO DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA
APLICADA A UMA RESIDÊNCIA DE CURITIBA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2018

JAIR JAISSON FARIAS DOS SANTOS

**PROJETO DE UMA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA
APLICADA A UMA RESIDÊNCIA DE CURITIBA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentada à disciplina ET70L – Trabalho De
Conclusão De Curso 2, do Curso Superior de
Engenharia Elétrica da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, como requisito para obtenção do
título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Gerson Máximo Tiepolo

CURITIBA

2018

Jair Jaisson Farias Dos Santos

Projeto de uma Microgeração Fotovoltaica Aplicada a uma Residência de Curitiba

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 21 de novembro de 2018.

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Carlos Henrique Karam Salata, Esp.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gerson Máximo Tiepolo, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jorge Assade Leludak, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Obs.: A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

A Deus que iluminou meus caminhos durante a realização desse projeto.

Aos meus pais que sempre me ofereceram apoio, carinho e fé em meu trabalho e na vida.

Ao professor Orientador Gerson Máximo Tiepolo pela paciência, dedicação e por acreditar no êxito desse projeto.

A todas as famílias da nação brasileira que se sacrificam diariamente e contribuíram através de impostos para a minha formação nesta universidade pública.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus desde o primeiro momento em que fui abençoado ao ser aprovado no vestibular. Obrigado por me transmitir força, foco e fé que me acompanharam ao longo desses anos e que não me permitiram desistir. Serei eternamente grato a Deus por todas as bênçãos sobre a minha família e por proporcionar tranquilidade aos corações daqueles que acompanharam a minha longa trajetória acadêmica.

Agradeço aos meus pais Jair e Janeth, meus maiores exemplos. Sou grato pelo incentivo, dedicação e todas as orações diárias que vocês me dedicaram. Obrigado por estarem sempre ao meu lado!

Agradeço ao Programa Bom Aluno de Curitiba por ter investido nos meus estudos e acreditado no meu potencial por todos esses anos de vida acadêmica.

Agradeço a minha namorada pela paciência, carinho, companheirismo e apoio na realização desse projeto.

Agradeço, em especial, ao professor Orientador Gerson Máximo Tiepolo por ter tido paciência e disponibilidade ao longo do desenvolvimento desse trabalho. Agradeço por seus conselhos e ensinamentos, pois foram essenciais para o êxito desse projeto. Obrigado por acreditar em mim professor! Que Deus ilumine seus caminhos.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná que me deu a oportunidade de cursar Engenharia Elétrica nesta renomada instituição. Obrigado por proporcionar um ambiente saudável para todos os alunos, além de estimular a criatividade, a interação e a participação nas atividades acadêmicas. Sou grato a todo corpo docente, à direção e administração dessa instituição.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes. (KING, Martin Luther).

RESUMO

DOS SANTOS, Jair J. F. Projeto de uma microgeração fotovoltaica aplicada a uma residência de Curitiba. 2018. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A energia elétrica, nos dias atuais, se tornou fundamental para a execução de basicamente todas as atividades realizáveis. Por isso, investe-se muito em formas de geração de energia renováveis, ou seja, que agredem menos o meio ambiente, conseguindo, assim, satisfazer as necessidades da sociedade. Uma forma de energia renovável utilizada para geração de energia elétrica é a transformação da energia luminosa do Sol. O contexto energético brasileiro passa por uma mudança estrutural sem precedentes na história do país, em virtude da publicação pela Agência Nacional de Energia Elétrica da Resolução Normativa 482 de 2012; criou-se um novo marco no setor. Os consumidores adquiriram o direito de produzir sua própria energia elétrica. Este trabalho apresenta o projeto de uma microgeração residencial para o município de Curitiba, o texto explana primeiramente a situação energética brasileira e as peculiaridades do sistema elétrico nacional. São abordados conceitos básicos referentes à produção de energia elétrica, com maior ênfase na energia solar fotovoltaica. O funcionamento e as partes componentes dos painéis solares fotovoltaicos são explicados. As principais tecnologias presentes no mercado e suas características são citadas na sequência. Também são consideradas as normas e a regulamentação relacionadas à instalação de painéis fotovoltaicos à rede elétrica. Após a análise teórica, é feito o projeto do sistema fotovoltaico no local de instalação dos painéis, considerando as características elétricas que são peculiares da região e da edificação analisada, dentre elas o consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Sistema fotovoltaico conectado à rede. Energia solar fotovoltaica. Irradiação. Microgeração.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Jair J. F. Project of a photovoltaic microgeneration applied to a residence in Curitiba. 2018. 82 p. Final Project. (Electrical Engineering Major). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The electric energy, in the present day, is fundamental for the execution of all the realizable activities. Therefore, it invests a lot in forms of renewable energy generation, that is, that attack less the environment, thus managing to meet the needs of society. A form of renewable energy used for the generation of electric energy is a process of the luminous energy of the Sun. The Brazilian energy context undergoes an unprecedented structural change in the country's history, due to the publication by the National Electric Energy Agency of Normative Resolution 482 of 2012; a new milestone has been created in the sector. Consumers have acquired the right to generate their own electricity. The paper presents the project of a residential microgeneration for the city of Curitiba, the explanatory text is a Brazilian energy practice and the peculiarities of the national electric system. From solar energy, with greater emphasis on solar photovoltaic energy. Operation and solar photovoltaic components are explained. The main technologies do not present market and its characteristics are mentioned in the sequence. Installations of photovoltaic panels to the grid. After the theoretical analysis, the design of the photovoltaic system is carried out at the installation site of the panels, considering the electrical characteristics that are peculiar to the region and the analyzed residence, and are themselves the consumption of electric energy.

Keywords: Photovoltaic system connected to the grid. Photovoltaic solar energy. Irradiation. Microgeneration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz elétrica brasileira.....	15
Figura 2 – Comparativo de radiação solar, Esp. x Ale. x Brasil.....	19
Figura 3 – Demanda mundial de energia primária 2017.....	22
Figura 4 – Potência instalada de energia renovável.....	22
Figura 5 – Crescimento da energia solar fotovoltaica 2017/2018.....	23
Figura 6 – A oferta de recursos energéticos renováveis.....	29
Figura 7 – Componentes da Radiação Solar	30
Figura 8 – Adição de energia solar FV em 2017.....	32
Figura 9 – Diagrama representativo de um sistema fotovoltaico híbrido.....	36
Figura 10 – Diagrama pictográfico de um SFVI.....	37
Figura 11 – Constituição básica do sistema fotovoltaico conectado à rede.....	38
Figura 12 – Exemplo de um sist. fotovoltaico distr. conectado à rede elétrica.....	39
Figura 13 – Exemplo de um sist. fotovoltaico centra. conectado à rede elétrica.....	39
Figura 14 – Corte de um módulo fotovoltaico.....	40
Figura 15 – Célula, módulo, painel e matriz fotovoltaica.....	43
Figura 16 – Diodo de desvio (<i>Bypass</i>) em módulos fotovoltaicos.....	44
Figura 17 – Sistema <i>net metering</i>	51
Figura 18 – Irradiação e produtividade Curitiba e região – Total Anual	53
Figura 19 – Irradiação e produtividade Curitiba e região – Médias diárias mensais.....	53
Figura 20 – Fatura da residência do consumidor.....	56
Figura 21 – Área da cobertura da residência.....	57
Figura 22 – Ângulo do desvio azimutal do telhado da residência.....	58
Figura 23 – Água “A” foi a área escolhida para a instalação do SFVCR.....	59
Figura 24 – Telhado com destaque para a água “A”	59
Figura 25 – Cálculo do ângulo de inclinação e medidas da água “A”	60
Figura 26 – Irradiação no plano inclinado na lat. na área da residência.....	61
Figura 27 – Tabela de irradiação no plano inclinado na lat. e produtividade.....	62
Figura 28 – Módulo fotovoltaico YL320P-35b da Yingli.....	64
Figura 29 – Disposição dos módulos fotovoltaicos na água “A”.....	65
Figura 30 – Irradiação no plano horizontal na área da edificação.....	66
Figura 31 – Irradiação no plano horizontal de acordo com as condições reais da edificação.....	67
Figura 32 – Diversos tipos de irradiações de acordo com as condições reais da edificação.....	67
Figura 33 – Médias mensais dos diversos tipos de irradiações para as condições reais da edificação.....	68
Figura 34 – Preço médio no Brasil (< 5kWp).....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz elétrica brasileira de 2018.....	25
Tabela 2 – Exemplo de classificação de sistemas fotovoltaicos.....	35
Tabela 3 – Lista do consumo em kWh dos últimos 12 meses.....	55

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

BEN - Balanço Energético Nacional.

CA – Corrente Alternada.

CC – Corrente Contínua.

CCPE - Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais.

CNPE - Conselho Nacional de Política Energética.

DGS - *Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie*.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética.

EPIA - *European Photovoltaic Industry Association*.

EU - *European Union*.

EVA - Etil Vinil Acetato.

FV – Fotovoltaico.

G – Irradiância.

GD – Geração Distribuída.

GMO - *Global Market Outlook*.

G_{TOT} – Irradiância Total.

GW – *Gigawatt*.

Hz – *Hertz*.

I_{SC} – Corrente de Curto Circuito.

kW – *Kilowatt*.

kWh – *Kilowatt hora*.

kWp – *Kilowatt Pico*.

m² - Metro Quadrado.

mm² - Milímetro Quadrado

MAE - Mercado Atacadista de Energia.

MME - Ministério de Minas e Energia.

MW – *Megawatt*.

MWh – *Megawatt* hora.

NBR – Norma Brasileira.

ONS – Operador Nacional do Sistema.

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas.

PIB - Produto Interno Bruto.

PRODIST – Procedimentos de Distribuição.

SFV – Sistema Fotovoltaico.

SFVCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.

SFVI - Sistemas Fotovoltaicos Isolados.

SIN – Sistema Integrado Nacional.

TWh – *Terawatt-hora*.

V – *Volt*.

W/m² – *Watt* por Metro Quadrado.

Wp – *Watt-Pico*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEMA.....	14
1.1.1 Delimitação do Tema.....	16
1.2 PROBLEMA E PREMISSAS.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo Geral.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 JUTIFICATIVA.....	17
1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	20
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
2.1 SUSTENTABILIDADE E A GERAÇÃO DE ENERGIA.....	21
2.2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO.....	26
2.2.1 Histórico.....	26
2.2.2 Sistema Interligado Nacional (SIN).....	27
2.3 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA.....	28
2.3.1 Energia Solar.....	29
2.3.2 Radiação Solar.....	30
2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	32
2.4.1 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos (SFVs).....	34
2.4.1.1 Configuração.....	35
2.4.1.2 Sistemas Isolados (SFVI).....	36
2.4.1.3 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR).....	37
2.5 COMPONENTES DO SFVCR.....	40
2.5.1 Módulos Fotovoltaicos.....	40
2.5.1.1 Diodos de Proteção.....	43
2.5.2 Inversores.....	45
2.5.2.1 Seguidor do Ponto de Máxima Potência (MPPT).....	46
2.5.3 Estruturas.....	46
2.5.4 Cabos e Conectores.....	46
2.5.5 Fusíveis de Fileira (Corrente contínua).....	47
2.5.6 Disjuntores.....	47
2.5.7 Aterramento e Proteção contra Descargas Atmosféricas.....	47
2.5.8 Medidores de Energia.....	47
2.6 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	48
2.6.1 ANEEL.....	49

3. ANÁLISE DO CONSUMIDOR.....	52
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA COLETA DE DADOS.....	52
3.1.1 Dados de Radiação Solar.....	52
3.1.2 Tipo de Ligação da Residência.....	54
3.1.3 Análise da Fatura do Consumidor.....	55
3.1.4 Levantamento da Área da Cobertura.....	56
3.1.5 Detalhes Construtivos do Telhado.....	58
3.1.6 Cálculo da Área da Água “A” e Inclinação da Cobertura.....	60
4. PROJETO.....	61
4.1 DADOS DE IRRADIAÇÃO NA RESIDÊNCIA.....	61
4.2 CÁLCULO PARA A CONDIÇÃO DE UM SISTEMA IDEAL.....	63
4.3 ESCOLHA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	64
4.3.1 Instalação dos Módulos Fotovoltaicos.....	65
4.4 DADOS DE IRRADIAÇÃO HORIZONTAL NA RESIDÊNCIA.....	65
4.5 CÁLCULO PARA A CONDIÇÃO REAL DO SISTEMA.....	66
4.6 ESCOLHA DO INVERSOR <i>GRID-TIE</i> PARA O SFVCR.....	69
4.7 CABEAMENTO DO LADO CC.....	71
4.8 CABEAMENTO DO LADO CA.....	71
4.9 DISJUNTOR DO LADO CA.....	72
4.10 INVESTIMENTO NO SFVCR.....	72
4.10.1 Custos de Implantação do SFVCR.....	72
5. CONCLUSÃO.....	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
Anexo I – Folha de Dados do Módulo Fotovoltaico YL320P-35b.....	81
Anexo II – Folha de Dados do Inversor S2000 PLUS.....	82

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O tema energia renovável tem se tornado cada vez mais o alvo de discussões pelo mundo, sendo que, manter ou aumentar o uso de fontes de energia que são nocivos ao meio ambiente, como os combustíveis fósseis que tem dominado a cadeia da matriz energética global, se torna uma decisão insustentável (*INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2012*).

É de extrema importância que a disponibilidade de energia elétrica se mantenha compatível com o aumento do consumo, provocado pelo atual ciclo de crescimento econômico. Entretanto, para esta expansão, a participação das fontes tradicionais, como as hidroelétricas, que causam o alagamento de grandes áreas, e os combustíveis fósseis, que emitem gases de efeito estufa, deve ser gradualmente reduzida, utilizando-se outros recursos menos agressivos ao meio ambiente e que favoreçam a diversificação da matriz elétrica, como, por exemplo, o uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica – SFVCR (EPE, 2016).

Dentre as diversas fontes para geração de energia elétrica disponíveis, a mais utilizada no Brasil ainda é a hidráulica. Pode-se notar na Figura 1, a qual apresenta a matriz elétrica brasileira para o ano de 2017, que a energia elétrica obtida através das fontes hidráulicas ainda ocupa mais de 65% do total de fontes disponíveis. Entretanto, o percentual correspondente à energia solar fotovoltaica tem se expandido no decorrer dos últimos anos.

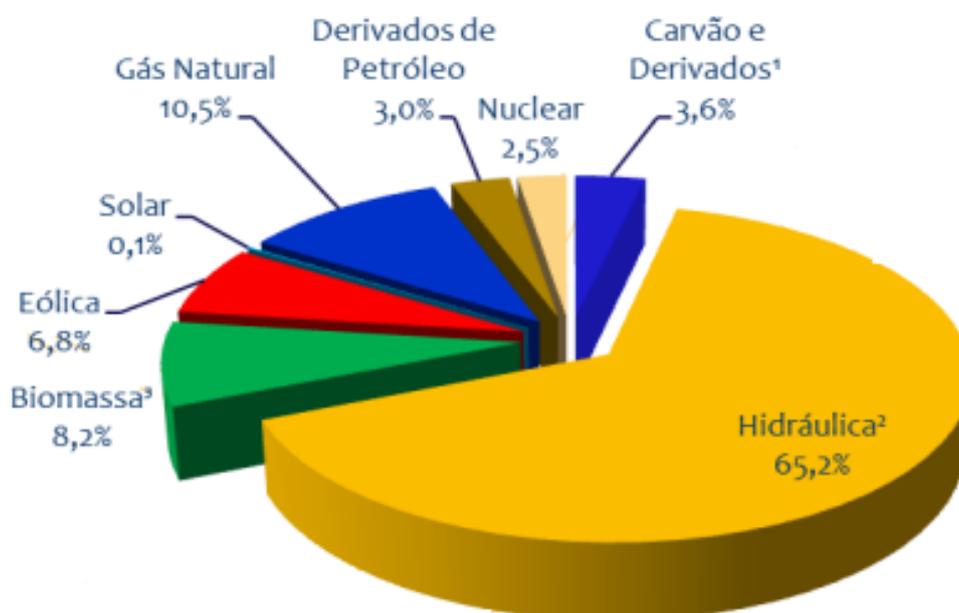


Figura 1 – Matriz elétrica brasileira.
Fonte: EPE (2018).

Apesar dos grandes investimentos no cenário mundial em SFVCR, o Brasil ainda é incipiente no emprego dessa tecnologia detendo a potência instalada de 1.322.168 kW, conforme dados do banco de informações de geração de energia (EPE, BEN 2018). Por outro lado, a China é reconhecida como o país que possui a maior capacidade instalada de sistemas de geração solar fotovoltaico no mundo, sendo aproximadamente 130 GW até o fim do ano de 2017, sendo grande parte de SFVCR (REN21, 2018).

Segundo Mauro Lemos, ex-presidente da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, o Brasil possui os principais fatores para atingir o sucesso na geração fotovoltaica (FV): uma das maiores reservas de silício do mundo, principal matéria prima para construção dos painéis FV, sua localização favorecida em relação à radiação solar e o seu tamanho continental. Porém o país não tem um grande acúmulo de conhecimento na purificação do silício, que é essencial para o desenvolvimento da tecnologia em painéis FV.

1.1.1 Delimitação do Tema

O trabalho aborda o projeto da implantação de uma microgeração fotovoltaica em uma residência da região de Curitiba com dimensionamento dos principais componentes utilizados em um SFVCR.

1.2 PROBLEMA E PREMISSAS

O estudo sobre a energia fotovoltaica vem desde 1839 quando Edmond Becquerel verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas num eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz. Mas somente em 1954 a primeira célula solar foi oficialmente apresentada na reunião anual da *National Academy of Sciences* e tinha eficiência de 6% (VALLÊRA, M.; BRITO, C, 2006). Os sistemas fotovoltaicos atualmente comercializados no Brasil possuem eficiência variável entre 10% e 16% na conversão de energia solar em energia elétrica, segundo o *website* Portal Solar.

De acordo com uma pesquisa feita pelo Datafolha datada de janeiro de 2017 se revelou que a população brasileira tem grande interesse em microgeração de energia solar. De acordo com os resultados, mais de 70% dos pesquisados mostraram algum interesse em instalar painéis solares em suas casas para suprir sua própria necessidade por eletricidade. O estudo foi realizado em todo o território nacional: ao todo, foram envolvidos 178 municípios e 2.044 pessoas foram entrevistadas. A pesquisa foi encomendada pela organização não governamental *Greenpeace*. Contudo, as pessoas interessadas temem quanto à forma que será feito o projeto de dimensionamento para atender a sua demanda e ao custo de uma empreitada como essa.

Diante destes pressupostos, a questão que motivou o desenvolvimento do presente trabalho é: De que forma fazer um projeto básico de microgeração que atenda a necessidade de dimensionamento de uma residência de Curitiba?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Realização do projeto para a implantação de uma microgeração fotovoltaica em uma residência na região de Curitiba.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Elaborar uma revisão bibliográfica sobre o tema energia solar, SFVCR, radiação solar no Brasil, no estado do Paraná e no município de Curitiba, além da produtividade de sistemas fotovoltaicos. Além de pesquisar sobre normas, regulamentação, funcionamento dos painéis solares fotovoltaicos;
2. Conhecer a instalação elétrica da residência que será estudada e analisar o consumo da instalação, e verificar qual o SFV mais adequado para a microgeração;
3. Elaborar projeto preliminar para a implantação de SFVCR com dimensionamento dos principais componentes;
4. Prever o custo de implantação do SFVCR.

1.4 JUSTIFICATIVA

Percebe-se que a demanda de energia elétrica aumenta cada vez mais à medida que o país se desenvolve. Porém, o uso de combustíveis fósseis, ditos não renováveis, tem como consequência a degradação do meio ambiente, contribuindo de forma impactante para o aquecimento global. Portanto, é importante o estudo e o incentivo ao uso de fontes renováveis de energia que permitam o desenvolvimento sustentável.

Entre estas fontes, está a energia solar, que pode ser utilizada para geração de energia elétrica de forma direta através do efeito fotovoltaico. A geração de energia através de painéis fotovoltaicos tem a grande vantagem de apresentar mínimo impacto ambiental, pois não emitem poluentes durante a sua operação, não produzem ruído e podem ser instaladas em usinas geradoras próximas aos centros urbanos, ou ainda, em telhados residenciais, comerciais e industriais, reduzindo os custos e os impactos das longas linhas de transmissão e distribuição. O conceito de geração distribuída (GD) se aplica a este trabalho. A Geração Distribuída consiste na geração de energia elétrica próxima ao consumidor, economizando investimentos em transmissão e reduzindo as perdas já citadas (INEE, 2018).

Também porque a energia solar no território brasileiro tem elevado potencial para sua conversão em energia elétrica, com irradiação global média anual entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano. Para efeito de comparação, em países que exploram esta fonte há mais tempo, como Alemanha e Espanha, os valores variam, respectivamente, nas faixas 900-1.250 e 1.200-1.850 kWh/m²/ano. (PDE, 2012, p.90). Na Figura 2, são apresentados os mapas de radiação solar de Alemanha, Brasil e Espanha para efeito comparativo.

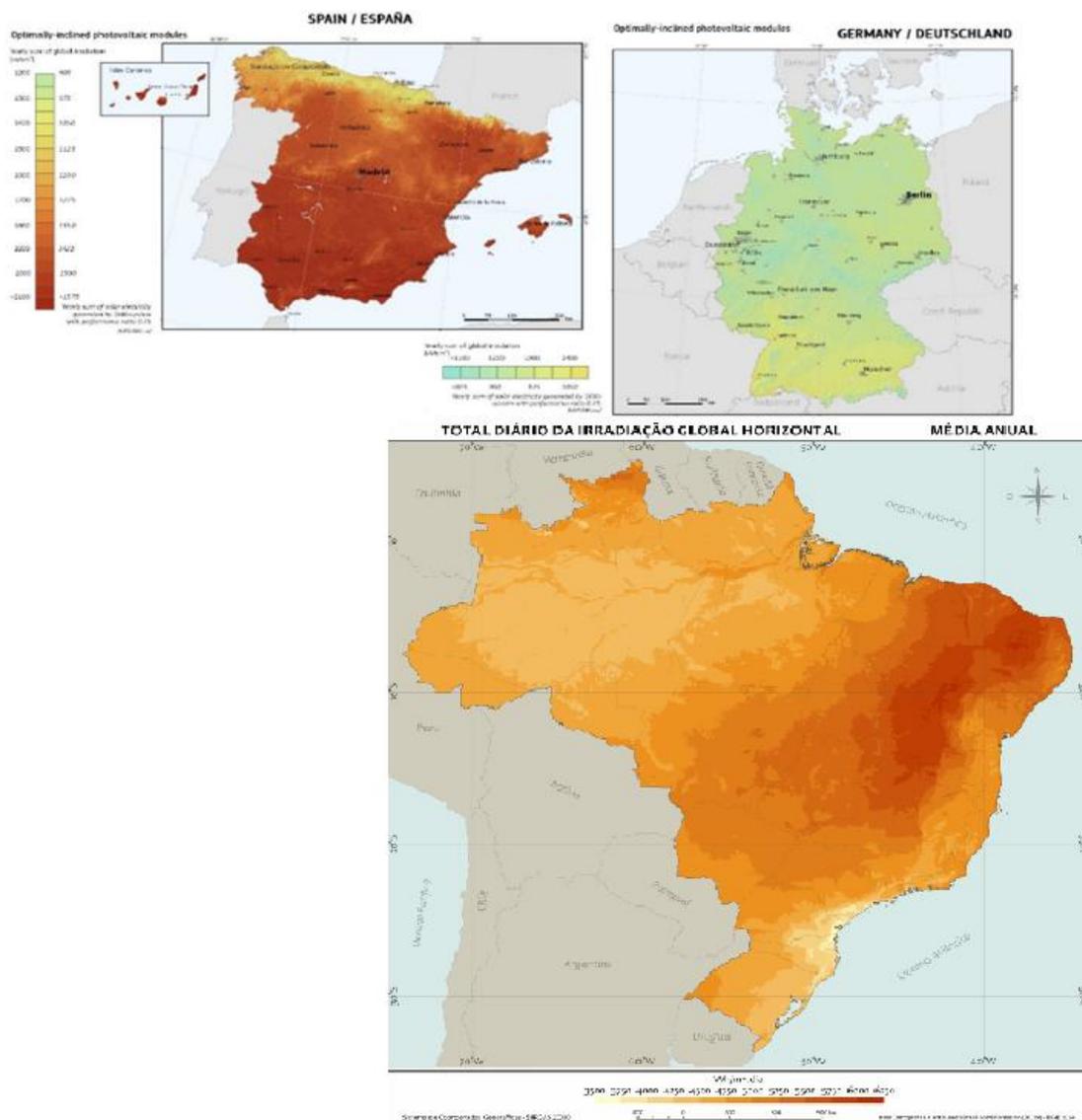


Figura 2 – Comparativo de radiação solar, Espanha x Alemanha x Brasil.
Fonte: Adaptado de EUROPEAN COMMISSION (2012); Pereira et al. (2017).

O consumidor a ser analisado será residencial, que tem baixo consumo de energia elétrica. Esta característica faz dos SFVCR uma boa opção, uma vez que dependem somente da incidência de raios solares para a microgeração de energia elétrica, proporcionando a inserção de uma energia renovável.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho será realizado em três etapas. A primeira consiste em estudar os aspectos dos painéis solares fotovoltaicos.

A segunda se dará com a análise de consumo da residência em questão. Dimensionamento dos principais componentes do SFVCR aplicados a microgeração, e verificar de que maneira a geração fotovoltaica poderá auxiliar na geração de energia elétrica total e na sua respectiva redução.

A terceira será a análise dos resultados obtidos, com as respectivas conclusões sobre a pesquisa.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1 – Introdução: apresentação da proposta, definição do tema, problemas e premissas, objetivos, justificativa, procedimentos metodológicos e estruturação do trabalho;

Capítulo 2 – Referencial Teórico. É realizada a revisão bibliográfica da pesquisa, abordando temas como sustentabilidade, geração de energia elétrica e suas principais fontes, energia solar, SFVCR e seus componentes;

Capítulo 3 – Análise do consumidor: busca de detalhes técnicos do consumidor residencial, apresentação desses dados além da radiação solar para a cidade de Curitiba e região;

Capítulo 4 – Projeto: estudo da microgeração do SFVCR a ser implantado, analisando a estimativa de energia elétrica gerada;

Capítulo 5 – Conclusão. Será descrita a conclusão final da pesquisa, com a identificação de trabalhos futuros;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE E A GERAÇÃO DE ENERGIA

Um dos grandes desafios para a humanidade neste século é o de fazer a transição para um futuro de energia sustentável. O conceito de sustentabilidade energética abrange não apenas a necessidade imperiosa de garantir uma oferta adequada de energia para atender as necessidades futuras, mas fazê-lo de modo que: (a) seja compatível com a preservação da integridade fundamental dos sistemas naturais essenciais, inclusive evitando mudanças climáticas catastróficas; (b) estenda os serviços básicos de energia aos mais de 2 bilhões de pessoas em todo o mundo que atualmente não têm acesso às modernas formas de energia. Além disso, o alcance ao desenvolvimento dessa parte da população só será possível com o uso eficiente da energia e com a criação de fontes de energia que sejam renováveis; e (c) reduza os riscos à segurança e potenciais conflitos geopolíticos que de outra forma possam surgir devido a uma competição crescente por recursos energéticos irregularmente distribuídos (UM FUTURO ..., 2010).

Entretanto, a utilização de fontes de energia que são nocivas ao meio ambiente ainda é o principal meio de obtenção de energia. A Figura 3 mostra o percentual do uso dessas fontes no ano de 2017. Pode-se notar que as fontes que mais prejudicam o meio ambiente ocupavam 89,6% da matriz energética mundial.

Entre 2008 e 2017, a produção de energia renovável vem crescendo. Até o final de 2016 ela representava 18,2% da energia produzida mundialmente, isto é, pulou de quase 13% em 2008 para 18,2% em 2016. Desse total, cerca de 7,8% veio da biomassa tradicional e o restante da energia renovável dita moderna que inclui solar, geotérmica, eólica, biocombustíveis, hidrelétricas, marés, etc. (REN21, 2018). Pode-se observar o crescimento das energias renováveis na Figura 4. Cabe salientar que as tecnologias voltadas à energia do sol mostraram um dos maiores crescimentos com relação às demais tecnologias, onde se destacam os painéis fotovoltaicos. O mercado de energia solar fotovoltaica (FV) cresceu cerca de 33% em relação a 2016, com um aumento recorde de 98 GW, elevando o total global para 402 GW. O mercado anual em 2017 foi mais de 50 vezes a capacidade mundial

acumulada de energia solar FV de uma década antes. China, Estados Unidos e Japão foram responsáveis mais uma vez pela maior parte da capacidade adicionada, mas mercados emergentes em todos os continentes contribuíram significativamente para o crescimento mundial, impulsionado em grande medida pelos custos cada vez mais competitivos da energia solar FV (REN21, 2018 p. 39).

A energia renovável moderna pode substituir os combustíveis fósseis e nucleares não apenas na geração de energia, mas também no aquecimento e refrigeração, combustíveis para transporte e serviços de energia rural em geral.

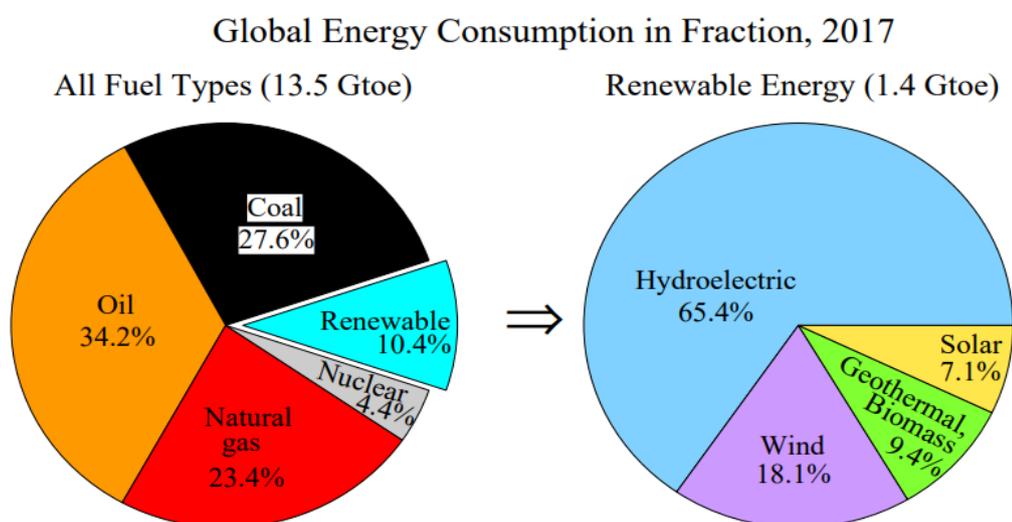


Figura 3 – Demanda mundial de energia primária no ano de 2017.
Fonte: COLUMBIA (2018).

		2016	2017
INVESTIMENTOS			
Novos investimentos (anuais) em eletricidade e combustíveis renováveis ¹ bilhões de USD		274	279.8
ELETRICIDADE			
Capacidade de energia elétrica renovável (total, sem incluir hidrelétrica)	GW	922	1,081
Capacidade de energia elétrica renovável (total, incluindo hidrelétrica)	GW	2,017	2,195
Capacidade hidrelétrica ²	GW	1,095	1,114
Capacidade de bioenergia ³	GW	114	122
Geração de bioenergia (anual)	TWh	501	555
Capacidade de eletricidade geotérmica	GW	12.1	12.8
Capacidade solar fotovoltaica	GW	303	402
Energia solar térmica concentrada	GW	4.8	4.9
Capacidade de energia eólica	GW	487	539

Figura 4 – Potência instalada de energia renovável.
Fonte: Adaptado de REN21 (2018, p. 11).

Ao comparar o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica durante o período de 10 anos entre 2007 e 2017 o crescimento se torna muito evidente e segue uma tendência de crescimento cada vez mais alta com o passar dos anos como pode ser observado na Figura 5 (REN21, 2018).

SOLAR FOTOVOLTAICA

Capacidade mundial e adições anuais de energia FV, 2007 - 2017

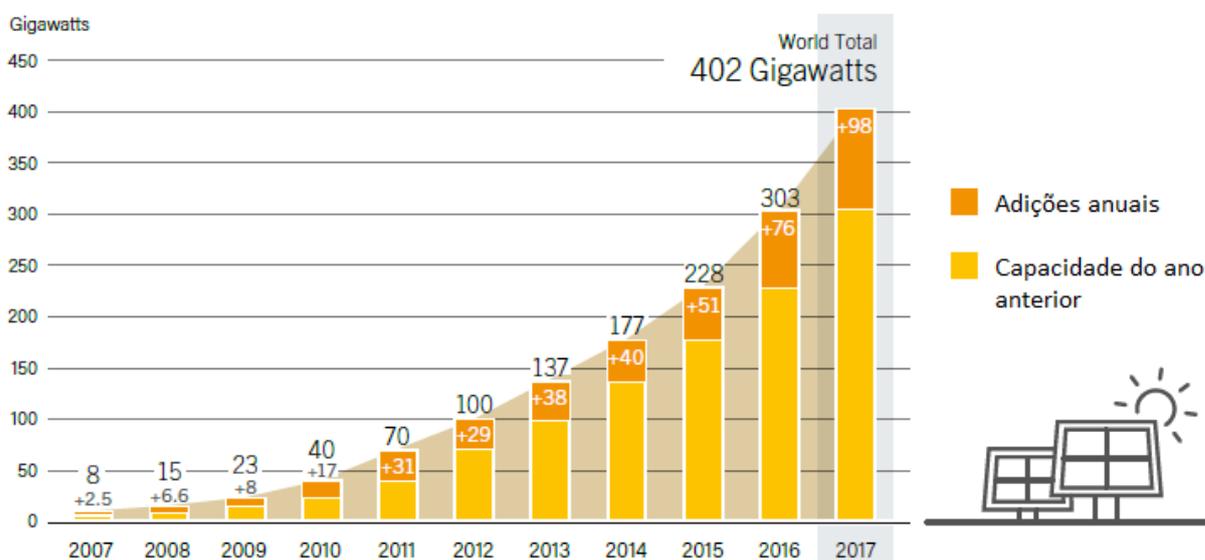


Figura 5 – Crescimento da energia solar fotovoltaica no mundo entre 2007 e 2017.
 Fonte: Adaptado de REN21 (2018, p. 38).

De acordo com um estudo levantado com dados da Eurostat, em 2004, 8,5% da matriz energética da União Europeia (EU) provinha de renováveis, já em 2016 esse número dobrou indo para 17%. A meta até 2020 é alcançar os 20% (Eurostat, 2017).

A meta de cada país se difere em função de seu ponto de partida, capacidade econômica e o potencial de energia renovável. Portugal, por exemplo, em 2004 gerou 19,2% de energia advinda de fontes renováveis, em 2016 foi para 28% e até 2020 pretende alcançar os 31% (Eurostat, 2017).

No topo dessa lista destaque para a Suécia, que ultrapassou sua meta que era de 49% e hoje apresenta 53,9% de matriz energética renovável. Seguida da

Finlândia com 39,3%, Letônia com 37,6%, Áustria com 33% e Dinamarca com 30,8% (Eurostat, 2017).

Investimentos em energia renovável no grupo de países desenvolvidos caíram 18,3% em 2017, apesar da implantação de quantidades substanciais na capacidade instalada de energia renovável. O investimento diminuiu em países desenvolvidos considerados pioneiros como os Estados Unidos (queda de 6% ou \$ 2,6 bilhões) e Japão (queda de 28% ou \$ 5,2 bilhões) e nos principais países europeus como a Alemanha (queda de 35% ou \$ 5,6 bilhões) e Reino Unido (queda de 65% ou \$ 14,1 bilhões) (REN21, 2018 p. 21).

Ao contrário dos países em desenvolvimento e emergentes, muitos países desenvolvidos estão experimentando a baixa ou até mesmo o declínio do crescimento da demanda por eletricidade, têm quantidades significativas de capacidade de geração de energia existente e, em alguns casos, estão intencionalmente desacelerando a implantação de renováveis para se concentrar mais sobre a integração dessas energias renováveis com a rede. Contudo, ainda há uma necessidade de políticas para incentivar o aumento do investimento em energias renováveis, permitindo tecnologias e infraestrutura necessária, em consonância com a nova realidade das energias renováveis (por exemplo, custos decrescentes, necessidade de maior flexibilidade e acoplamento setorial, etc.) (REN21, 2018 p. 21).

No Brasil, a maior parte da matriz energética se constitui de usinas hidrelétricas caracterizando-o como um país sustentável quanto a sua produção de energia. Protagonistas da geração de energia no país, as usinas hidrelétricas são responsáveis por cerca de 70% da matriz brasileira atualmente, tendo evoluído de mais de 13 mil *megawatts* de potência instalada na década de 1970 para cerca de 70 mil *megawatts* no início deste século. Dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) mostram que estão operando atualmente 1.122 empreendimentos de fonte hidráulica, além de 209 já outorgados e outros 34 em construção. Entretanto, a inauguração de novas grandes usinas está com os dias contados: 15 anos, no máximo. Estima-se que, após este período, o potencial de construir novas unidades terá se esgotado, não havendo mais usinas de grande porte para serem implementadas ao sistema. O Plano Decenal de Expansão de 2022, do Ministério de Minas e Energia (MME), prevê que a participação das hidrelétricas deve cair para

65% já no início da próxima década. Em contrapartida, a carga de energia crescerá 4,2% ao ano, passando dos atuais 63 mil *megawatts* médios para mais de 91 mil *megawatts* em 2022 (REZENDE, 2015).

Quando se fala de energia oriunda do sol, o Brasil ainda não alcançou uma produção significativa. Na matriz de energia elétrica, a capacidade instalada de energia por radiação solar corresponde a pouco mais de 0,7%, conforme é possível observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Matriz elétrica brasileira de 2018.

Fonte			Capacidade Instalada			Total		
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	(KW)	%	Nº de Usinas	(KW)	%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	404	11.262.192	6,6958	421	11.347.176	6,7463
		Biogás-AGR	3	7.951	0,0047			
		Capim Elefante	2	31.700	0,0188			
		Casca de Arroz	12	45.333	0,0270			
	Biocombustíveis líquidos	Etanol	1	320	0,0002	3	4.670	0,0028
		Óleos vegetais	2	4.350	0,0026			
	Floresta	Carvão Vegetal	8	43.197	0,0257	97	3.156.630	1,8767
		Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705	0,0759			
		Lenha	5	23.915	0,0142			
		Licor Negro	18	2.542.616	1,5117			
		Resíduos Florestais	54	419.197	0,2492			
	Resíduos animais	Biogás - RA	14	4.481	0,0027	14	4.481	0,0027
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	20	133.129	0,0791	21	135.829	0,0808
Carvão - RU		1	2.700	0,0016				
Eólica	Cinética do vento	Cinética do vento	538	13.194.643	7,8447	538	13.194.643	7,8447
Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	2	28.400	0,0169	24	3.717.830	2,2104
		Carvão Mineral	14	3.323.740	1,9761			
		Gás de Alto Forno - CM	8	365.690	0,2174			
		Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0238			
	Gás natural	Gás Natural	166	12.963.278	7,7071	167	13.003.278	7,7309
		Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0238			
	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	1	147.300	0,0876	1	147.300	0,0876
	Petróleo	Gás de Alto Forno - PE	1	1.200	0,0007	2251	9.798.572	5,8256
		Gás de Refinaria	6	315.120	0,1874			
		Óleo Combustível	78	4.055.967	2,4114			
Óleo Diesel		2148	4.397.957	2,6147				
Outros Energéticos de Petróleo		18	1.028.328	0,6114				
Hídrica	Potencial hidráulico	Potencial hidráulico	1332	102.205.863	60,7650	1332	102.205.863	60,7650
Nuclear	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,1831	2	1.990.000	1,1831
Solar	Radiação solar	Radiação solar	2252	1.322.168	0,7861	2252	1.322.168	0,7861
Undi-Elétrica	Cinética da água	Cinética da água	1	50	0,0000	1	50	0,0000
Importação	Paraguai			5.650.000	3,3591			4,8573
	Argentina			2.250.000	1,3377			
	Venezuela			200.000	0,1189			
	Uruguai			70.000	0,0416			
Total			7124	168.198.490	100	7124	168.198.490	100

Fonte: ANEEL (2018).

2.2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

2.2.1 Histórico

Durante a década de 1990 o sistema elétrico brasileiro passou por uma série de mudanças. Leis foram criadas para reorganizar, reformular e regular o setor elétrico.

Em 1993, a Lei 8.631 reorganizou econômica e financeiramente as empresas, dando a partida para que a indústria da energia elétrica se reestruturasse. Em 1995, a Lei 8.987, também conhecida como Lei de Concessões dos Serviços Públicos, e a Lei 9.074 reformularam o setor elétrico; elas estabeleceram as bases para um novo modelo institucional. Ao mesmo tempo, privatizações e a atração de capitais privados reestruturaram e fizeram expandir o setor (ONS, 2018).

No ano seguinte, o Decreto 2003 passou a regular a atuação dos Produtores Independentes e Autoprodutores e a Lei 9.427, que regulamenta e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil. Em 1997 e 1998, novas regulamentações foram criadas, instituindo o Mercado Atacadista de Energia (MAE) e o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), o Poder Executivo promoveu a reestruturação da Eletrobrás. A Lei 9648, de 1998, previu a segmentação setorial e definiu a abertura progressiva à competição de mercados (ONS, 2018).

O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) foi criado em 1998, com o intuito de proteger o consumidor em termos de preços, promover o aproveitamento racional de energia, garantir a qualidade e oferta de produtos, proteger o meio ambiente, incrementar o uso de fontes renováveis de energia, promover a livre concorrência, ampliar a competitividade, atrair capitais para a produção de energia, entre outros. E desde 1999, o Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos (CCPE) é a entidade que planeja a expansão do sistema elétrico (ONS, 2018).

2.2.2 Sistema Interligado Nacional (SIN)

O SIN abrange as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte e integra mais de 90% de toda a capacidade de produção de energia elétrica do Brasil (tanto a energia oriunda de fontes internas quanto de importações). O ONS coordena e controla a operação do SIN, a partir das companhias geradoras e transmissoras, sob regulação e fiscalização da ANEEL (ONS, 2018).

O Sistema Integrado tem operação coordenada, o que possibilita a troca de energia elétrica entre regiões, fato importante em função do predomínio da geração a partir de usinas hidrelétricas que se localizam em regiões com diferentes regimes hidrológicos. Períodos de seca e períodos chuvosos podem ocorrer simultaneamente no Brasil, interferindo diretamente na produção de energia elétrica e a partir do Sistema Elétrico Nacional essa questão pode ser solucionada através do intercâmbio energético, enviando energia elétrica de uma região que produza em excesso para uma região que sofra de escassez (ONS, 2018).

Na região Norte há também Sistemas Isolados, assim denominados por não estarem ligados ao SIN e, conseqüentemente, não participar do intercâmbio energético. Estes sistemas, predominantemente abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo combustível, atendem a uma pequena parcela da população brasileira. Os Sistemas Isolados correspondem a menos de 1% do total da energia elétrica produzida no país (ONS, 2018).

2.3 FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Como o uso de energia elétrica tem se intensificado cada vez mais, o potencial de energia instalado aumentou muito com o passar do tempo. Isso impactou no crescimento econômico das nações, já que o mesmo está ligado diretamente à disponibilidade energética. Conforme Chaim destaca (2011, p.1) “uma diminuição no consumo de energia está diretamente relacionada a um decréscimo do produto interno bruto (PIB), sendo necessário, portanto, aumentar a disponibilidade de energia antes de pleitear um crescimento econômico”. Dessa forma, a busca por diferentes fontes de energia tem-se aumentado consideravelmente, impactando em diversas fontes diferentes para a obtenção de energia.

Dentre essas diversas fontes para geração de energia elétrica disponíveis, a mais utilizada no Brasil é a hidráulica, conforme dito anteriormente. Pode-se voltar na Figura 1 e notar, que na matriz elétrica brasileira no ano de 2017, a energia elétrica obtida através das fontes hidráulicas ocupa cerca de 65% do total de fontes disponíveis naquele ano.

Com o alto crescimento da demanda por energia, as fontes alternativas de energia, que antigamente podiam apresentar um alto custo de geração, começam a ser parte fundamental na matriz elétrica de diversos países ao redor do mundo, já que a sua viabilidade tornou-se satisfatória principalmente com a evolução tecnológica.

O governo brasileiro criou o programa de Incentivo às Fontes de Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) em 26 de abril de 2002 pela Lei 10.438 e é coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, solar fotovoltaica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição. O intuito é promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica (ANEEL, 2017).

2.3.1 Energia Solar

De certa forma qualquer tipo de energia é proveniente do sol direta ou indiretamente e poderia ser chamada de energia solar. A energia hidrelétrica, eólica, da biomassa, dos combustíveis fósseis, por exemplo, são todos, formas indiretas de energia solar porque dependem de alguma forma do sol para existir (FARIA, 2017).

Entretanto, costuma-se chamar de energia solar àquela proveniente da obtenção direta de energia do sol, seja por aproveitamento do calor gerado pela sua radiação (energia térmica) ou elétrica e aplicada em diversos usos. As duas principais formas de aproveitamento da energia solar são a geração de energia elétrica e o aquecimento solar de água (FARIA, 2017).

Para a produção de energia elétrica são usados dois sistemas: o heliotérmico, em que a irradiação é convertida primeiramente em energia térmica e posteriormente em elétrica; e o fotovoltaico, em que a irradiação solar é convertida diretamente em energia elétrica.

Na Figura 6 tem-se a representação de recursos energéticos não renováveis e renováveis disponíveis na Terra. Os recursos energéticos renováveis representados são os disponíveis em um período de um ano, em comparação com a quantidade mundialmente aproveitada desses recursos (cubo interno), na forma de eletricidade, energia química e calor nesse mesmo período.

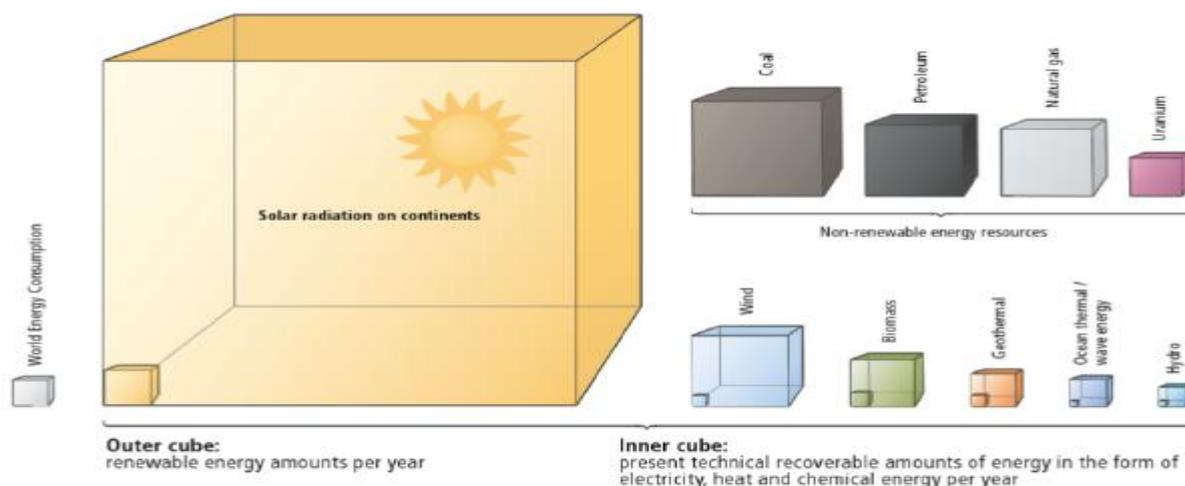


Figura 6 - A oferta de recursos energéticos renováveis e seu potencial explorável em comparação com a energia demandada e o consumo mundial de energia.

Fonte: DGS, 2013.

De acordo com a Figura 6 pode-se observar que a energia solar é a mais abundante, e ainda tem um enorme potencial a ser explorado. Foi observado que um período de duas horas é o suficiente para suprir o consumo energético anual na Terra (PINHO e GALDINO, 2014).

2.3.2 Radiação Solar

A radiação solar que entra na atmosfera da Terra é constituída por duas componentes: a radiação direta, que chega à superfície sem sofrer desvio em sua trajetória e que produz sombras nítidas, e a radiação difusa, que é proveniente de todas as direções devido ao espalhamento ocorrido na atmosfera para fora do feixe direto por moléculas, aerossóis e nuvens (NREL, 2017). Em dias totalmente nublados, 100% da radiação que chega à superfície é difusa. Em dias de céu claro sem nuvens, a radiação difusa ainda é da ordem de 20%, sendo o restante radiação direta (PINHO e GALDINO, 2014). Entretanto, caso a superfície analisada esteja inclinada em relação à horizontal, haverá uma terceira componente refletida pelo ambiente de entorno (edificações, solo, vegetação, etc.), onde o coeficiente de reflexão destas superfícies é denominado de Albedo. A representação básica das componentes da radiação solar é mostrada na Figura 7.

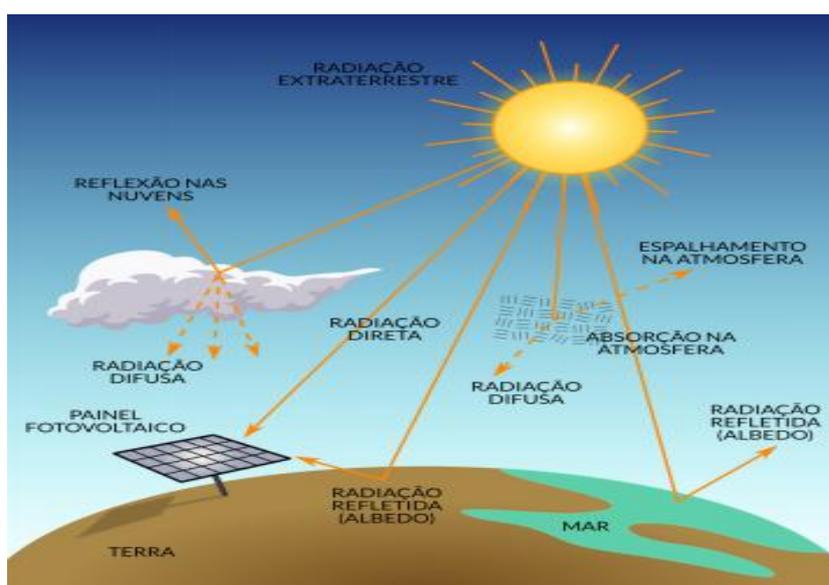


Figura 7 - Componentes da radiação solar.
Fonte: Tiepolo et al. (2017a).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), a irradiância solar que atinge a camada atmosférica, perpendicular à superfície da terra, é de aproximadamente 1.367 W/m^2 , denominada constante solar. Entretanto, nem toda essa radiação chega à superfície da Terra. A atmosfera terrestre reduz este valor através de reflexão, absorção e espalhamento. O nível de irradiância que chega à superfície da Terra, adotado como condição padrão de ensaio, é de 1.000 W/m^2 .

Quando calculada a irradiação no plano inclinado, a componente refletida das superfícies (albedo) também é considerada. A radiação solar em uma superfície inclinada, alinhada perpendicularmente com a direção dos raios solares, é maior que na superfície horizontal (DGS, 2013).

Vale ressaltar, que o termo radiação solar é utilizado de forma genérica, podendo significar irradiância solar, quando se referido como fluxo de potência (valor instantâneo), ou então irradiação solar, quando se referido em termos de energia por unidade de área (valor integrado).

De acordo com a NBR 10899 (2006):

Irradiância (G) é a taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área. Sua unidade é o *watt* por metro quadrado (W/m^2).

Irradiância total (G_{TOT}) é a potência radiante solar total com todas as suas componentes (direta, difusa e refletida), por unidade de área, em uma superfície com qualquer inclinação.

Irradiação Solar é a irradiância solar integrada durante um intervalo de tempo. Sua unidade é o *watt* hora por metro quadrado (Wh/m^2). É representada por “H” quando integrada em um dia (Wh/m^2 dia).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações no tempo em horas em que dura à luz solar dos dias. Contudo, a maioria da população brasileira e as atividades socioeconômicas do País se concentram em regiões mais distantes do Equador.

Assim para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia (ANEEL, 2005, p.30).

2.4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico (SFV) consiste, basicamente, na geração direta de energia elétrica a partir da energia do sol. Esse fenômeno é denominado efeito fotovoltaico, que foi primeiramente observado por Henry Becquerel em 1839 (GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005, p.1). Este efeito acontece quando os fótons que estão contidos na energia solar incidem sobre um material semicondutor, que possui junção elétrica p-n ou p-i-n, e uma fração da energia desses fótons excita os elétrons do semicondutor ocasionando o movimento ordenado desses elétrons, a corrente elétrica (RÜTHER, 2004 p. 8). No SFV o efeito fotovoltaico acontece nas células fotovoltaicas.

Segundo a *European Photovoltaic Industry Association* (EPIA, 2016), no seu relatório *Global Market Outlook for Photovoltaics*, a Europa era a líder em potência instalada, com 104 GW até o começo de 2016. Entretanto, com o significativo aumento da adição de energia solar por parte da China, a Ásia tomou a liderança da Europa já no fim de 2016. A China foi o país que mais instalou sistemas FV com impressionantes 53,1 GW recém-conectados a rede em 2017, seguido por EUA (10,6 GW) e Índia (9,1 GW). A Figura 8 mostra como foi à adição de energia solar FV nos 10 principais países em 2017.

Capacidade e adições de energia FV, Ranking dos 10 principais países, 2017

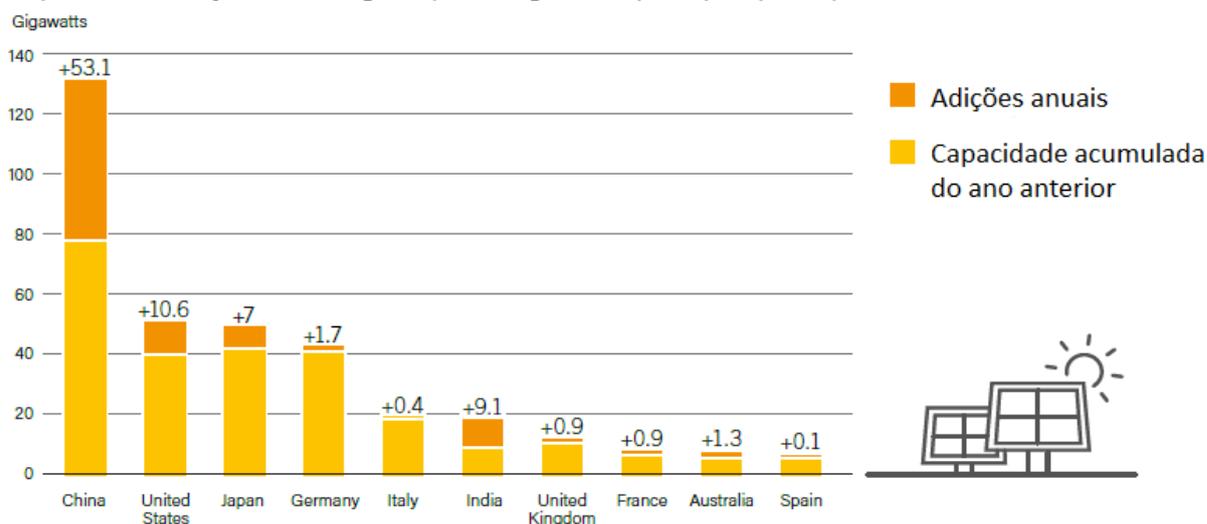


Figura 8 – Adição de energia solar FV em 2017.
 Fonte: Adaptado de REN21, (2018, p. 39).

Se na China e EUA a energia solar continuou seu forte crescimento anual, uma situação política menos favorável impediu que o Reino Unido seguisse essa tendência. Em 2015, o governo do país cortou drasticamente os incentivos para moradores que instalassem sistemas fotovoltaicos em suas casas, além de acabar com os subsídios para projetos de usinas solares de grande escala. Isso fez com que a capacidade instalada da tecnologia no país caísse cerca de metade da quantidade instalada em comparação a época antes de tal medida (VAUGHAN, 2017).

No entanto, apesar dessa desaceleração, o Reino Unido ao lado da França ficaram em segundo lugar no crescimento da energia solar na Europa. A Alemanha foi à primeira em crescimento no continente europeu (VAUGHAN, 2017).

A Alemanha, ainda, após mudar suas políticas para subsidiar e construir uma indústria solar continua líder na capacidade instalada desta tecnologia na Europa, seguida pela Itália. No geral, o total de energia solar na Europa ultrapassou o marco histórico de 100 GW no começo de 2016, já contabilizando 104 GW no começo de 2017. No entanto, a desaceleração da energia solar na Europa fez com que a indústria solar local clamasse a União Europeia por metas de energias renováveis mais ambiciosas (VAUGHAN, 2017).

“Nós precisamos construir um enorme projeto industrial em torno da energia solar e energias renováveis. Para começar, aumentar a meta de energias renováveis para 2030 em, ao menos, 35% (acima dos 27%) irá mandar um forte recado que a Europa está de volta nos negócios solares”, disse Alexandre Roesch, diretor de políticas na *Solar Power Europe*.

Em 2017, a China inaugurou na cidade de Huainan, conhecida por seu terreno rico em carvão, a usina solar flutuante de 40 MW, a maior do mundo nessa categoria. Ela fica localizada em uma área de mineração que está inundada devido às chuvas, com profundidade de água entre 4 m e 10 m. A China é o país que mais gera energia solar em todo o mundo, com uma capacidade instalada de aproximadamente 130 GW. Eles planejam adicionar mais 110 GW até 2020, com um investimento que somará US\$ 360 bilhões ao longo dos próximos três anos. O objetivo do país é obter 20% da energia a partir de fontes renováveis até 2030 (VENTURA, 2017).

Uma das maiores usinas de energia solar da América Latina, denominada Complexo Ituverava, ou Projeto Ituverava, foi inaugurada na cidade de Tabocas do Brejo Velho, no estado da Bahia, com capacidade instalada de 254 MW e produção anual de energia estimada em 550 GWh. Segundo seus empreendedores, Ituverava ajuda a suprir a demanda crescente de energia elétrica no país que, de acordo com estimativas aumenta a uma taxa média de 4% ao ano até 2020. O empreendimento recebeu investimentos totais de cerca de 1,2 bilhão de reais, ou 400 milhões de dólares, segundo informações da companhia (PEREIRA, 2017).

Além de Ituverava, a companhia de eletricidade italiana, *Enel*, construiu uma usina solar ainda maior no Brasil, o complexo Nova Olinda, no Piauí, com investimento estimado em 300 milhões de dólares, que tem 292 MW em capacidade instalada e é a maior da América Latina, segundo a empresa (PEREIRA, 2017).

De acordo com o Banco de Informações de Geração da agência, o BIG, que foi criado pela ANEEL, atualmente existe 2.252 centrais geradoras solares fotovoltaicas em operação no país, as quais somam 1.322.168 kW de potência fiscalizada. Esse valor ainda é pequeno no total da matriz elétrica do país, contabilizando o valor aproximado de 0,78% na capacidade instalada total.

2.4.1 Classificação dos Sistemas Fotovoltaicos (SFVs)

Segundo a NBR 11704 (2008, p. 2), os SFVs se classificam de acordo com a interligação com o sistema público de distribuição de energia elétrica e de acordo com a sua configuração. Conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplo de classificação de sistemas fotovoltaicos.

Tipo de sistema		Alimentação dos consumidores	Acumulação de energia elétrica	Componentes básicos	Aplicações típicas
Sistemas isolados	Puros	Tensão contínua	Não	Seguidor de potência máxima (desejável)	Bombeamento, produção de hidrogênio etc.
			Sim	Controlador de carga e acumulador	Iluminação, telecomunicações, sinalização náutica, cerca elétrica, proteção catódica etc.
		Tensão alternada	Não	Inversor	Bombeamento, uso industrial etc.
			Sim	Controlador de carga, acumulador e inversor	Eletrificação rural, bombeamento, telecomunicações, uso industrial, iluminação etc.
	Híbridos	Tensão contínua	Sim	Controlador de carga, acumulador e gerador complementar	Telecomunicações, iluminação, sinalização rodoviária e ferroviária etc.
		Tensão alternada	Opcional	Controlador de carga, acumulador opcional e gerador complementar	Iluminação, uso industrial etc.
Sistemas conectados à rede elétrica	Puros	Tensão alternada	Não	Inversor	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
	Híbridos	Tensão alternada	Não	Inversor e gerador complementar	Aplicações residenciais, comerciais e industriais, produção de energia para a rede pública etc.
			Sim	Inversor, gerador complementar e acumulador	Eletrificação rural, uso industrial, suprimento ininterrupto de energia etc.
NOTA Todos os tipos de sistemas possuem gerador fotovoltaico entre os componentes básicos.					

Fonte: NBR 11704:2008.

2.4.1.1 Configuração

I - Sistemas puros: São aqueles que utilizam apenas o sistema FV como gerador de energia elétrica.

II - Sistemas híbridos: São aqueles que utilizam o sistema FV e mais algum outro tipo de gerador de energia elétrica. A Figura 9 mostra o diagrama representativo de um sistema híbrido.

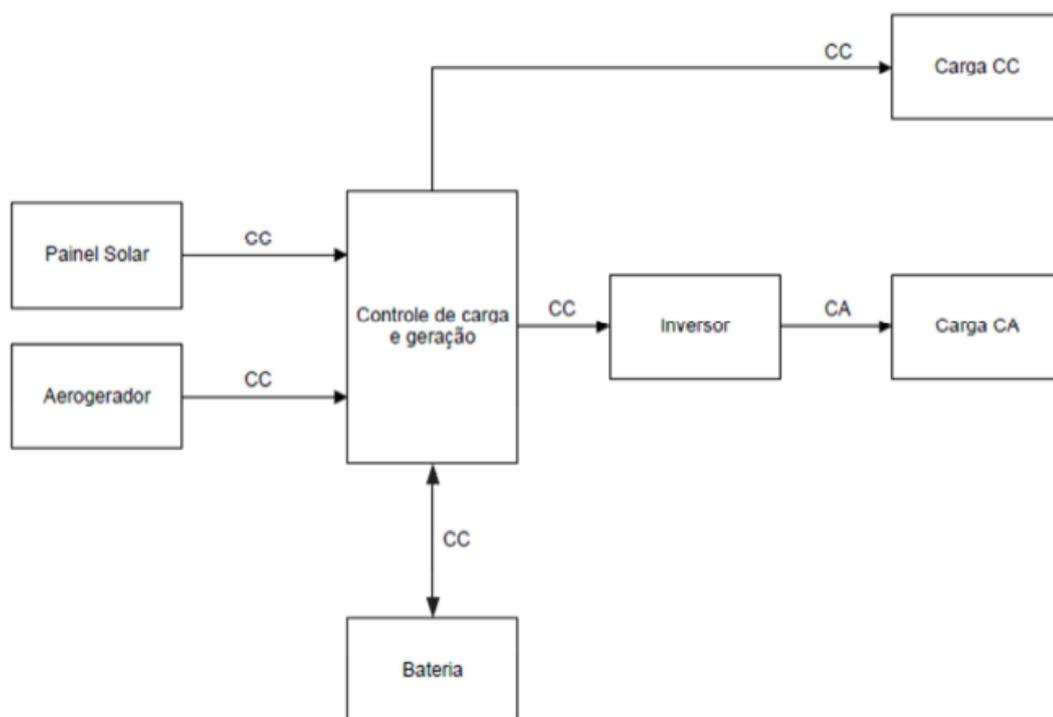


Figura 9 - Diagrama representativo de um sistema fotovoltaico híbrido.
Fonte: O Autor (2018).

2.4.1.2 Sistemas Isolados (SFVI)

São aqueles que não são conectados ao sistema público de fornecimento de energia elétrica. Os sistemas isolados, que somente dispõem da geração fotovoltaica necessitam de um banco de baterias para armazenar a energia gerada e fornecê-la nos períodos nos quais não há radiação solar. Geralmente os sistemas isolados possuem os seguintes componentes principais: painel fotovoltaico, controlador de carga, banco de baterias e inversor, como pode ser visto na Figura 10. (LAMBERTS, R... et al. 2010).

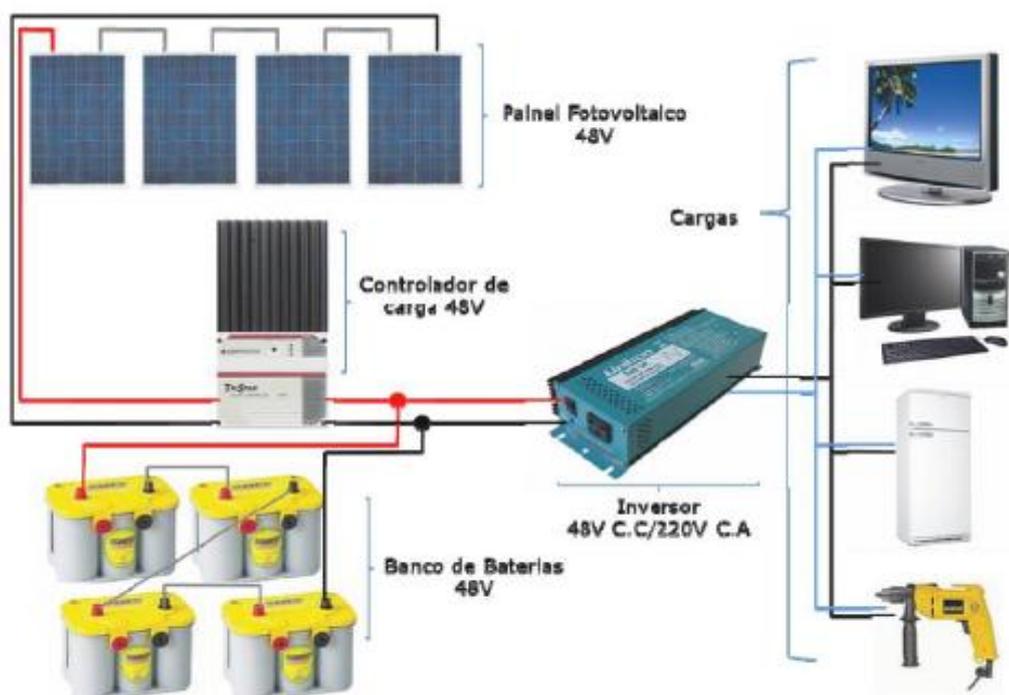


Figura 10 – Diagrama pictográfico de um SFVI.
Fonte: Viana, T. (2011).

2.4.1.3 Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR)

O SFVCR dispensa a utilização dos bancos de baterias necessários nos casos de sistemas isolados, que precisam armazenar energia para os momentos em que a geração FV não supre a demanda das cargas ou à noite. A rede funciona como o armazenador de energia para o SFVCR, pois a energia gerada além da demandada é injetada na rede e essa energia volta para o consumidor em créditos energéticos e ainda é distribuída para outros consumidores reduzindo a geração nas fontes convencionais de energia. Em contra partida, quando o SFVCR não é suficiente para gerar a energia demandada, a diferença de energia entre a energia gerada e a demandada é suprida pela rede. A não utilização de banco de bateria diminui o custo da instalação do sistema e as manutenções recorrentes (RÜTHER, 2004 p. 9; URBANETZ, 2010 p. 37).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede apresentam duas configurações distintas: os sistemas fotovoltaicos distribuídos e os sistemas fotovoltaicos centralizados (MAYCOCK, 1981; RÜTHER, 1999; MARKVART, 2000; RÜTHER *et*

al., 2005). A Figura 11 apresenta uma constituição básica da configuração de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. Os dois principais equipamentos pertencentes ao sistema mencionado são o gerador fotovoltaico (Painel FV) e o inversor conectado à rede elétrica que converte a energia elétrica gerada em CC pelos painéis para CA, adequada à conexão na rede de distribuição de energia.

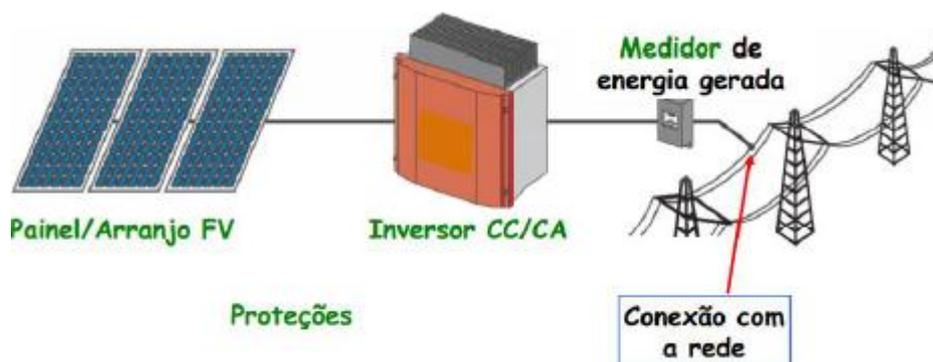


Figura 11 - Constituição básica do sistema fotovoltaico conectado à rede.
Fonte: Viana, T. (2011).

Os sistemas fotovoltaicos distribuídos podem ser instalados de forma integrada a uma edificação, no telhado ou na fachada de um prédio e, portanto, junto ao ponto de consumo, conforme mostra a Figura 12. Já os sistemas fotovoltaicos centralizados, como em uma usina central geradora convencional, normalmente se localizam a certa distância do ponto de consumo, conforme a Figura 13 (MAYCOCK, 1981; FRAINDENRAICH & LYRA, 1995; RÜTHER, 1999; MARKVART, 2000; RÜTHER *et al.*, 2005). Neste último caso, existe, como na geração centralizada convencional, a necessidade dos complexos sistemas de transmissão e distribuição (T&D) tradicionais (RÜTHER *et al.*, 2005).

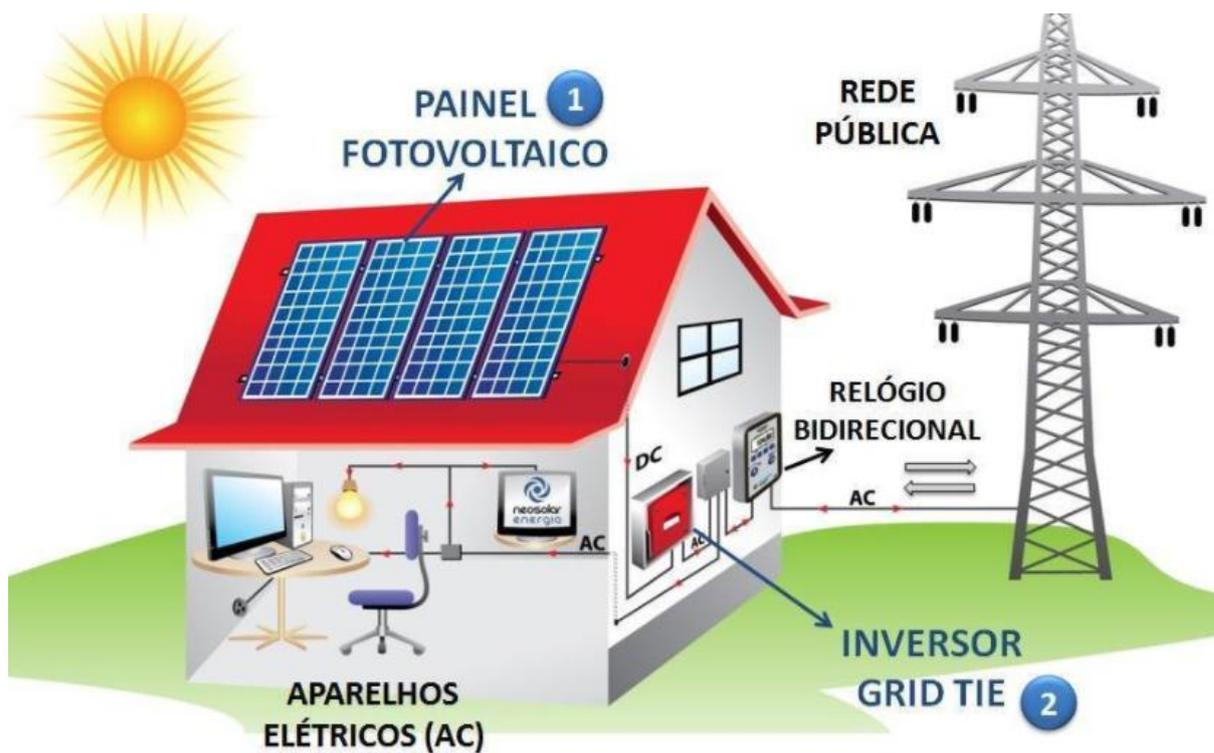


Figura 12 - Exemplo de um sistema fotovoltaico distribuído conectado à rede elétrica.
Fonte: NEOSOLAR (2017).



Figura 13 - Exemplo de um sistema fotovoltaico centralizado conectado à rede elétrica.
Fonte: E3SSOLAR (2017).

2.5 COMPONENTES DO SFV

2.5.1 Módulos Fotovoltaicos

Em um sistema fotovoltaico os módulos são os elementos responsáveis pela conversão da radiação solar em eletricidade. A ABNT (NBR10899/TB-328) define o módulo fotovoltaico como sendo o “menor conjunto ambientalmente protegido de células solares interligadas, com o objetivo de gerar energia elétrica em corrente contínua”. O conjunto de células conectadas é encapsulado, de modo a oferecer proteção contra a intempérie (principalmente umidade) ao mesmo tempo em que possibilita um caminho ótico para a luz que chega até as mesmas. A maioria dos módulos conta ainda com uma moldura metálica que proporciona a necessária rigidez mecânica ao conjunto e facilita a fixação do módulo.

Na Figura 14 é apresentado o corte de um módulo fotovoltaico, mostrando seus principais componentes:

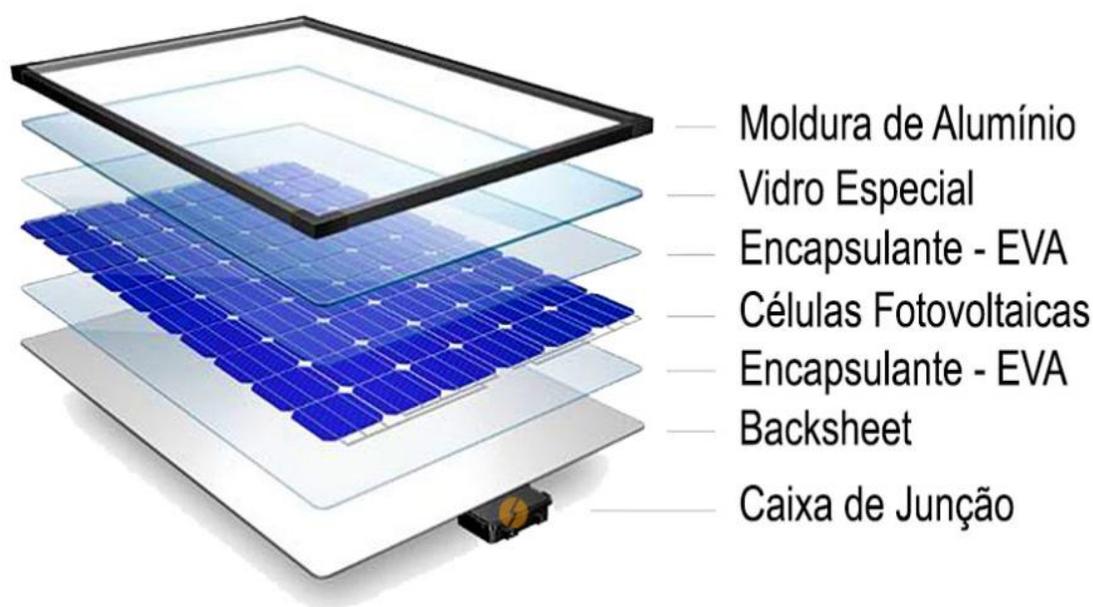


Figura 14 - Corte de um módulo fotovoltaico.
Fonte: Portal Solar (2018).

- **Células Fotovoltaicas:** A célula fotovoltaica é a "vida" do painel solar, é ela que através de uma reação físico-química transforma a luz do sol em energia elétrica.

Ela representa aproximadamente 60% do custo de um painel solar. São muito finas com aproximadamente 185 microns de espessura (menos de 2 mm). São feitas a partir de uma "fatia" de cristal de silício ultra puro e precisam ser manuseadas com extremo cuidado, pois trincam com muita facilidade. O processo de fabricação do painel solar foi desenvolvido para proteger as células e fazer com que o painel solar produza energia por décadas (Portal Solar, 2018).

- **Vidro Fotovoltaico:** O vidro utilizado na fabricação de um painel solar não é o vidro comum. Ele é um vidro especial ultra puro com baixo teor de ferro, desenvolvido especialmente para refletir menos e deixar o máximo de luz passar através dele. Trata-se de um vidro temperado especial de 3.2 mm ou 4 mm revestido com uma substância antirreflexiva. Os painéis com vidros de boa qualidade vão resistir as mais fortes chuvas de granizo. Este vidro especial representa aproximadamente 10% do custo de fabricação do painel solar (Portal Solar, 2018).
- **Filme Encapsulante para o Painel Solar – EVA:** O filme encapsulante para o painel solar, tradicionalmente conhecido como EVA, acetato-vinilo de etileno (que deriva do inglês: *Ethylene Vinyl Acetat*), é um material selante de cura rápida especificamente projetado para os painéis fotovoltaicos. Ele protege as células fotovoltaicas contra o envelhecimento causado por raios UV, temperaturas extremas e umidade, assegurando que o máximo de luz visível atinja as células solares. O EVA representa aproximadamente 8% do custo de fabricação do painel solar (Portal Solar, 2018).
- **Backsheet (Material plástico branco posicionado na parte de trás do painel solar):** O filme branco que é acoplado na parte de trás do painel solar é chamado de *Backsheet*. A função principal da *Backsheet* é proteger os componentes internos do painel solar, especificamente as células fotovoltaicas bem como agir como um isolante elétrico. Elas têm uma composição robusta sendo composta por três camadas. Ela possui a aparência de um "filme branco plástico grosso". A *Backsheet* representa aproximadamente 8% do custo de fabricação do painel solar (Portal Solar, 2018).

- **Caixa de Junção (PV - Junction Box):** A caixa de junção é uma parte muito importante do painel solar. Ela é um "gabinete" que fica na parte de trás do painel solar onde as *strings* (células fotovoltaicas interconectadas em série) estão conectados eletricamente. A caixa de junção fica grudada/colada na parte de trás do painel solar com adesivo de silicone ou uma fita dupla-face especial. Ela possui dentro diodos de *by-pass* que vão garantir a segurança e o bom funcionamento do painel solar. Elas já vêm com os cabos e conectores especiais (tradicionalmente se utiliza os conectores MC4 ou MC3) que são utilizados para interconectar os painéis solares quando instalados no telhado. A caixa de junção representa aproximadamente 6% do custo de fabricação do painel solar (Portal Solar, 2018).

Obs.: As caixas de junção devem ter no mínimo um grau de proteção IP65, mas o ideal é que se tenha o grau IP67. Isso vai garantir que o seu painel solar dure por muito mais tempo prevenindo a ocorrência de corrosões.

- **Molduras do Painel Solar de Alumínio Anodizado (Frame do Painel Solar):** Ao redor de um painel é adicionada uma moldura de alumínio anodizado especialmente desenvolvida para adicionar robustez ao painel solar e garantir a sua integridade nas mais adversas situações. Ela serve tanto para proteger o painel na hora da instalação como para assegurar que o painel solar não "torça" causando trinca nas células. Por isso é muito importante que se observe a espessura da moldura que não deve ser menor que quatro centímetros e ter a garantia de que ela foi anodizada para que os seus painéis durem por muito tempo. O frame do painel solar representa aproximadamente 8% de seu custo (Portal Solar, 2018).

A Figura 15 apresentada de maneira ilustrativa a célula, módulo, painel e o arranjo fotovoltaico.

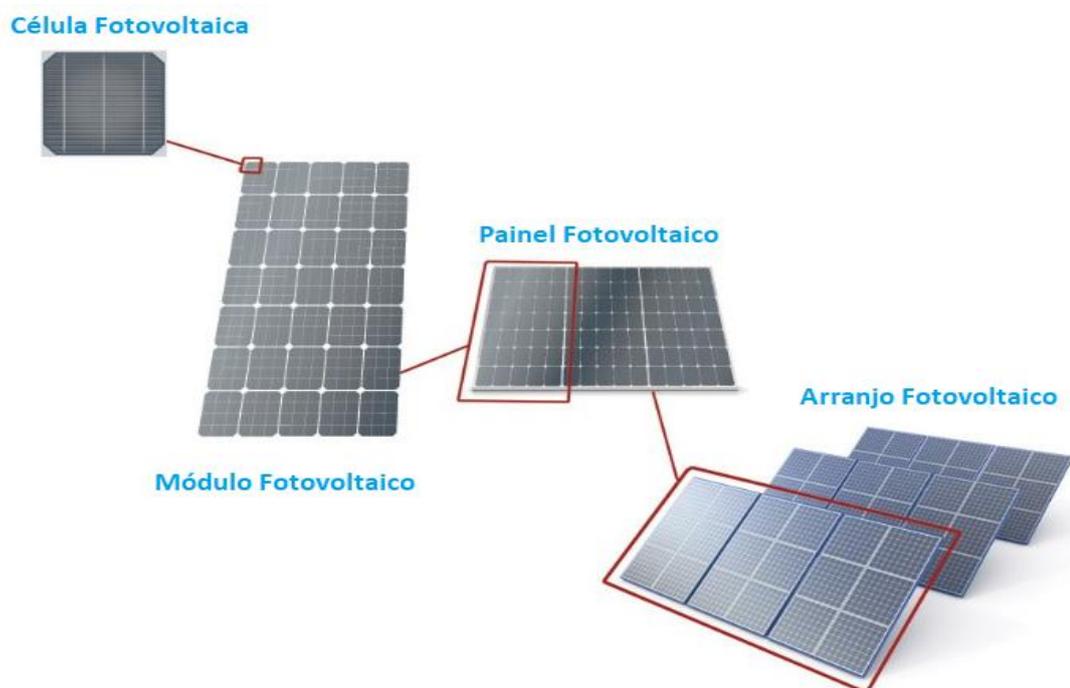


Figura 15 – Célula, módulo, painel e arranjo fotovoltaico.

Fonte: Adaptado do Portal Energia (2018).

Os painéis FV e seus módulos fotovoltaicos de silício monocristalino são construídos e projetados para ficar em ambientes externos e suportar as intempéries do tempo, como a chuva, sol e outros agentes climáticos. Nessas condições os fabricantes garantem que os módulos funcionam de modo satisfatório por 20-25 anos e operam com uma eficiência mínima de 80% da potência nominal após esse tempo (RÜTHER, 2004 p. 11; GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005 p. 155).

2.5.1.1 Diodos de Proteção

Em algumas situações os módulos podem receber sombras que causam o aquecimento do material semicondutor. Isso acontece quando, ao invés de gerar, o módulo recebe corrente. Esses locais são chamados de pontos-quentes (*hot-spots*), e danificam o módulo permanentemente. Um exemplo disso se dá quando uma folha

cai sobre o módulo, de forma a cobrir uma célula, esta estará inversamente polarizada e passará a agir como uma carga, convertendo eletricidade em calor.

Para evitar a formação de *hot-spots*, a corrente deve ser desviada das células através de um diodo de desvio - também chamado de diodo de *by-pass* - conectado de maneira inversamente polarizada em relação a um conjunto de células. A Figura 16 destaca o processo a seguir.

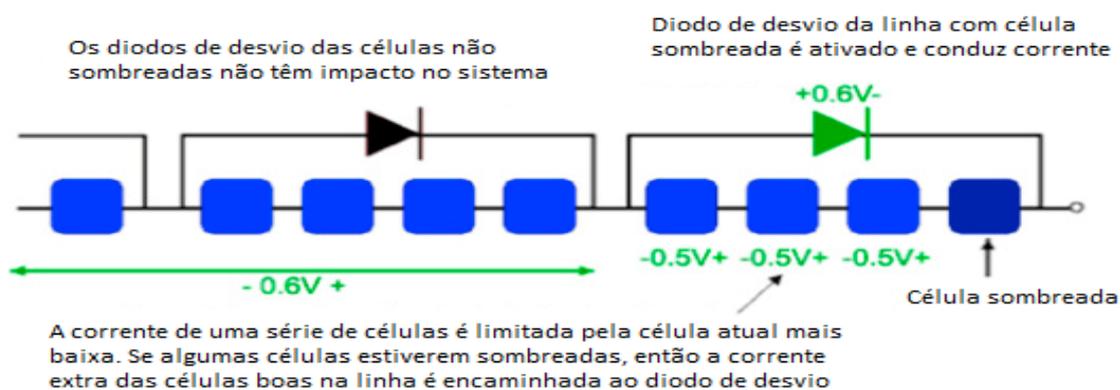


Figura 16 – Diodo de desvio (*Bypass*) em módulos fotovoltaicos para evitar o ponto quente.
 Fonte: Adaptado de MAGHAMI (2016).

Outro diodo utilizado para proteção é o diodo de bloqueio. Esses são utilizados nas fileiras de módulos em série para evitar que um módulo sombreado transforme a fileira inteira em uma carga. Em alguns sistemas autorregulados, os diodos são utilizados para evitar que a bateria se descarregue sobre o painel fotovoltaico. Nos sistemas que utilizam controladores não é necessário, sendo até desencorajado o seu uso, pois o diodo provoca uma queda de tensão, que em sistemas menores pode ser significativa. De acordo com a norma IEC 6036-7- 712, os diodos de bloqueio não são necessários se forem utilizados módulos do mesmo tipo, com proteção classe II e certificados para funcionar com 50% da corrente nominal de curto-circuito, quando polarizados inversamente (ZILLES, 2012).

2.5.2 Inversores

Os módulos fotovoltaicos geram energia em corrente contínua CC, portanto é necessário um equipamento eletrônico que converta a energia de corrente contínua CC para corrente alternada CA, este equipamento é chamado de inversor.

Geralmente os inversores são ligados em série com o SFV, porém surge a possibilidade de implementar microinversores diretamente aos painéis FV, isso reduzirá o custo na montagem do sistema, dará maior segurança, diminuirá o tempo de instalação e homogeneizará o custo da inversão em relação a potência (EPE, 2012 p. 23).

Os inversores tem a função também de ajustar continuamente a potência máxima do sistema FV em função da temperatura e radiação e de desligar o sistema FV na falta de energia da rede, evitando o fenômeno de ilha, que é quando se forma um subsistema isolado. Eles ainda podem corrigir o fator de potência e agir como filtro ativo (URBANETZ, 2010 p. 38).

Segundo Urbanetz (2010, p. 176), no Brasil o que se utiliza mais são os inversores importados ao invés dos nacionais, isso se dá pela baixa demanda nacional que não viabiliza a produção. De acordo com a EPE, a vida útil média dos inversores é de 10 anos. (EPE, 2012 p.30).

Atualmente, existem basicamente dois tipos de inversores no mercado: os inversores de rede conhecido como *Grid-tie* e os inversores autônomos, também conhecidos como *Stand-Alone*. O tipo de inversor a ser escolhido irá depender do tipo de projeto. A diferença entre eles é que o primeiro trabalha conectado à rede elétrica e o segundo isolado.

Os inversores *Grid-Tie* transferem energia diretamente ao quadro de distribuição elétrica. Eles permitem que o usuário possa consumir a energia produzida pelos módulos fotovoltaicos, ou até mesmo injetar à rede elétrica quando não for consumida.

2.5.2.1 Seguidor do Ponto de Máxima Potência (MPPT)

É uma nova tecnologia presente nos inversores para aumentar a eficiência energética. Os níveis de radiação e de temperatura variam ao longo do dia, e conseqüentemente, o ponto de máxima potência varia dentro de uma faixa de valores. Para conseguir um rendimento maior da geração, utiliza-se um sistema de controle capaz de rastrear o ponto de máxima potência (Energia Solar, 2018).

2.5.3 Estruturas

Os módulos requerem um sistema de suporte estrutural, tanto para fixação como para posicionar os módulos num ângulo que tenham melhor aproveitamento da incidência dos raios do sol, podendo essa estrutura ser móvel.

Normalmente, usa-se alumínio ou aço como material dessas estruturas. A montagem delas varia dependendo do local onde o sistema FV está sendo instalado, com diferentes arranjos para residências, indústrias ou edifícios comerciais, levando em conta os tipos de telhado, arquitetura do edifício ou se montado no chão (GOETZBERGER; HOFFMAN, 2005 p. 119).

A estrutura deve suportar ventos, cargas mecânicas, alterações de temperaturas e possuir vida útil igual ao sistema (RÜTHER, 2004 p. 17).

2.5.4 Cabos e Conectores

Os cabos usados nos sistemas FV são diferenciados, pois devem suportar as elevadas temperaturas que atingem a parte posterior dos módulos e terem resistência a radiação ultravioleta (RÜTHER, 2004 p. 17).

Os conectores são utilizados para simplificar a interligação dos painéis fotovoltaicos e fazer extensão nos cabos. Os conectores mais utilizados são os conectores MC4.

2.5.5 Fusíveis de Fileira (Corrente Contínua)

Os fusíveis de fileira estão localizados no lado CC do sistema fotovoltaico e possuem o objetivo de proteger os condutores (cabos) contra sobrecargas.

2.5.6 Disjuntores

O disjuntor é capaz de interromper correntes normais e anormais especificadas pelo sistema, antes que a corrente cause danos ao circuito, e o seu dimensionamento é feito de acordo com o projeto do sistema fotovoltaico.

2.5.7 Aterramento e Proteção Contra Descargas Atmosféricas

Uma forma de proteger os circuitos elétricos é com o sistema de aterramento. Ele fornece um caminho de baixa resistência de um ponto aterrado no sistema para a terra, de forma que a corrente de curto circuito possa ser dissipada com segurança.

O sistema de proteção contra descargas atmosféricas fica a critério do projetista, já que nos inversores mais modernos tal proteção já está inclusa. Sua proteção é feita em ambos os lados, tanto no lado CC quanto no lado CA.

2.5.8 Medidores de Energia

Os medidores de energia possuem a função de obter a medição de quanto de energia será injetada na rede durante a geração do SFVCR.

2.6 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída (GD) é a geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga, com opção de interagir, ou seja, comprar ou vender com a rede, e, em alguns casos, considerando a máxima eficiência energética (OLADE, 2011).

Denomina-se GD como um tipo de geração elétrica que se diferencia da realizada pela geração centralizada por ocorrer em locais em que não seria instalada uma usina geradora convencional, contribuindo assim para aumentar a distribuição geográfica da geração de energia elétrica em determinada região (COGEN, 2013).

Os conceitos de geração distribuída apresentados acima trazem em comum a proximidade com a região de consumo, possibilidade de conexão em diversos pontos da rede elétrica (alta, média e baixa tensão), a potência reduzida e o emprego de diversas fontes de energia.

O incentivo inicial à GD surgiu nos EUA com as mudanças na legislação, iniciadas pelo *Public Utilities Regulatory Policies Act* (PURPA) em 1978 e ampliadas em 1992 pelo *Energy Policy Act*, com a desregulamentação da geração de energia. A difusão da geração distribuída foi facilitada pelo progresso tecnológico mundial no campo da computação, resultando em controle e processamento de dados mais rápido e mais barato, e no campo das telecomunicações, oferecendo maior rapidez e menor custo na transmissão de maior volume de informação (INEE, 2018).

O investimento na geração distribuída é cada vez mais atrativo e inúmeras vantagens para o setor elétrico são obtidas com esse método de geração de energia. A seguir são listadas as principais delas:

- A GD é economicamente atraente na medida em que reduz os custos, adia investimentos em subestações de transformação e em capacidade adicional para transmissão, além de reduzir perdas nas linhas de transmissão e distribuição, perdas reativas de potência e estabilidade na tensão elétrica (OLADE, 2011);
- Aumento na rapidez no atendimento ao crescimento da demanda, inserindo menor prazo e menor complexidade no licenciamento e na liberação para implantação dos projetos (COGEN, 2013);

- Aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuída (INEE, 2018);
- A diversidade de investimentos privados gerados pela GD tende a ampliar o número de agentes geradores e participantes do setor elétrico, distribuídos regionalmente (COGEN, 2013).

No entanto, o sistema também apresenta alguns pontos que geram bastante discussão no setor elétrico, a seguir são citadas as principais:

- ❖ A concessionária a qual vai se conectar um produtor independente pode ser apenas transportadora e não compradora da energia que lhe é entregue por aquele produtor para um cliente remoto;
- ❖ Possível diminuição do fator de utilização das instalações das concessionárias de distribuição, o que pode aumentar o preço médio de fornecimento das mesmas;
- ❖ Maior complexidade nos procedimentos e na realização de manutenções, inclusive nas medidas de segurança a serem tomadas e na coordenação das atividades.

2.6.1 ANEEL

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, foi criada para regular o setor elétrico brasileiro, por meio da Lei nº 9.427/1996 e do Decreto nº 2.335/1997.

No que tange a distribuição de energia elétrica, a ANEEL elaborou os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associações do setor elétrico nacional. O

PRODIST é dividido em 10 módulos que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas elétricos.

O Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, a partir da quarta revisão, inclui as diretrizes para acesso ao sistema de micro e minigeração distribuída. Essa revisão ocorreu após a publicação da Resolução Normativa nº 482 em de 17 de Abril de 2012.

A Resolução Normativa nº 482 estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, visando reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte na rede de distribuição. Essa resolução sofreu atualizações em seu texto a partir da resolução normativa nº 687, de 24 de Novembro de 2015, e, a partir de então, a geração distribuída é classificada da seguinte forma:

- a) Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

- b) Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

O sistema de compensação de energia elétrica (*Sistema net metering*), segundo a resolução, é definido como o sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração e minigeração distribuída compensa o consumo de energia elétrica ativa. O consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada.

Neste caso, o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente pode abater o consumo de meses subsequentes. Esse excedente, não compensado na própria unidade residencial consumidora pode

compensar o consumo de outras unidades consumidoras, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação, se estas forem atendidas pela mesma distribuidora. Os créditos, isto é, o excedente não compensado, expirarão 36 meses após a data de faturamento. Importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada (ANEEL, 2014). A seguir, a Figura 17 ilustra o funcionamento do Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

Além disso, a resolução cita que os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de microgeração distribuída, como por exemplo, a adequação do medidor de energia não deve fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, sendo integralmente arcados pela distribuidora. Essa medida ajuda a incentivar os pequenos consumidores a se tornarem também pequenos geradores, uma vez que os custos para implementar o sistema são reduzidos.



Figura 17 – Sistema *net metering*.
Fonte: ANEEL (2014).

3. ANÁLISE DO CONSUMIDOR

Foi escolhida uma residência localizada na cidade de Curitiba para a coleta de dados.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA COLETA DE DADOS

Para esta etapa foram necessários:

- Dados de irradiação solar e do potencial fotovoltaico, médias anuais para a cidade de Curitiba.
- Análise na fatura do consumidor.
- Levantamento da área total de cobertura.
- Percentual de cobertura útil para a implantação do sistema fotovoltaico.
- Percentual de orientação e inclinação dos painéis fotovoltaicos, para condições favoráveis ao máximo aproveitamento da energia a ser gerada.
- Estudo do potencial de geração solar, através da utilização dos módulos e tecnologias SFVCR mais adequados e comercialmente disponíveis.
- Estudos no impacto da inserção de SFVCR na fatura do consumidor.

3.1.1 Dados de Radiação Solar

Os dados de irradiação solar e potencial fotovoltaico no plano inclinado para a cidade de Curitiba onde está instalado o consumidor foram obtidos do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, apresentados nas Figuras 18 e 19. Ao analisar a Figura 18 constata-se que o valor de irradiação anual para o município de Curitiba fica na faixa de 1.500 a 1.600 (kWh/m².ano) com uma produtividade de 1.125 a 1.200 (kWh/kWp.ano). O valor de produtividade corresponde a energia elétrica gerada por um sistema fotovoltaico de 1 kWp e taxa de desempenho de 0,75.

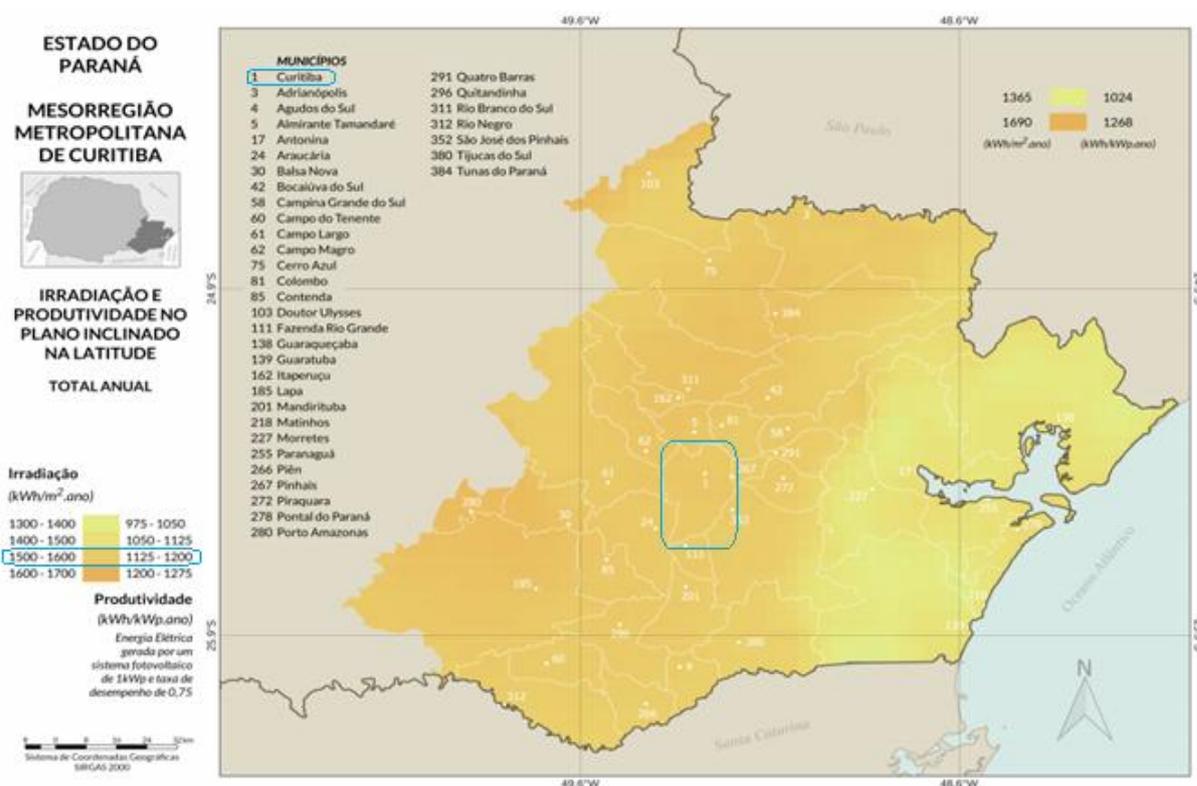


Figura 18 – Irradiação e produtividade para Curitiba e região – Total anual.
 Fonte: Adaptado de Tiepolo et al. (2017a).

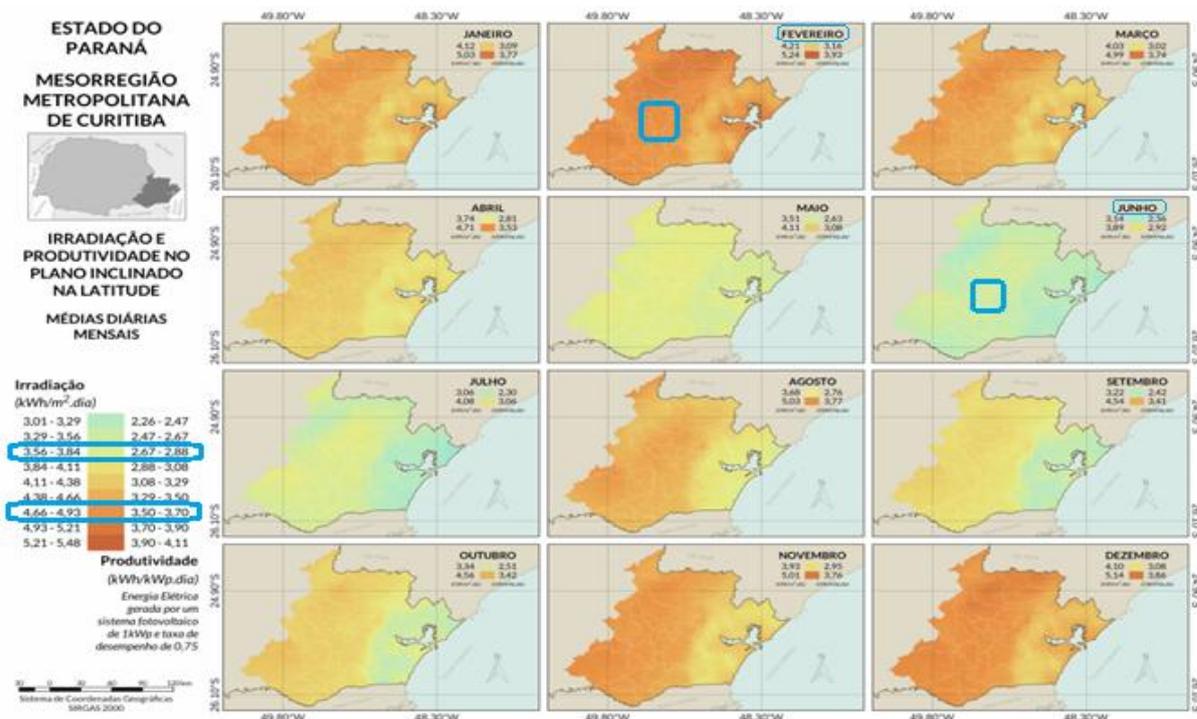


Figura 19 – Irradiação e produtividade para Curitiba e região – Médias diárias mensais.
 Fonte: Adaptado de Tiepolo et al. (2017a).

Já a Figura 19 tem por objetivo mostrar os índices de irradiação e produtividade diários com parciais para cada um dos 12 meses do ano. A Figura revela que o mês de fevereiro (verão) é o mais produtivo para a região com valores de irradiação na faixa de 4,66 a 4,93 (kWh/m².dia) com valores de produtividade de 3,50 a 3,70 (kWh/kWp.dia). Por outro lado o mês de junho (inverno) é o mês menos produtivo com valores de irradiação alternando de 3,56 a 3,84 (kWh/m².dia) com valores de produtividade de 2,67 a 2,88 (kWh/kWp.dia).

3.1.2 Tipo de Ligação da Residência

Segundo a ANEEL (2014), terá o pagamento referente ao custo de disponibilidade para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão, mesmo que a energia injetada na rede seja superior ao consumo. Este custo é o valor em reais equivalente a 30 kWh para ligação monofásica, 50 kWh para bifásico ou 100 kWh para ligação trifásica.

Levou-se em conta essa informação para o dimensionamento do sistema, subtraindo o custo de disponibilidade da média de consumo da residência, para que o sistema não ficasse superdimensionado e conseqüentemente, mais caro que o necessário, além de gerar em média mais energia do que o consumidor irá utilizar, sendo que no modelo de compensação de energia não há venda do excedente, e sim créditos de energia que devem ser utilizados num prazo determinado de tempo conforme definido na regulamentação 687/2015.

Para a finalidade de dimensionar o SFV, o projeto aborda uma residência com ligação monofásica, ou seja, o consumo mínimo equivalente do consumidor de 30 kWh, sendo por esta quantidade mínima que o cliente será faturado (consumidor do Grupo B).

3.1.3 Análise da Fatura do Consumidor

A seguir a Tabela 3 mostra o consumo dos últimos 12 meses do consumidor. A média de consumo mensal ficou em 178,1 kWh. Já a Figura 20 traz a fatura de energia residencial do consumidor.

Tabela 3 – Lista do consumo em kWh dos últimos 12 meses.

Meses/ano	Consumo em kWh
Setembro/2017	176
Outubro/17	168
Novembro/17	172
Dezembro/17	183
Janeiro/2018*	192*
Fevereiro/18	235
Março/18	204
Abril/18	144
Mai/18	203
Junho/18	142
Julho/18	160
Agosto/18	159
Total Anual	2.138
Média no período dos 12 meses	178,1

Fonte: O Autor (2018).

* Devido a uma situação excepcional, que resultou em uma alteração significativa do consumo em kWh no mês de Janeiro de 2018 (501 kWh), foi feita uma média do consumo de Janeiro de 2016 (182 kWh) e Janeiro de 2017 (202 kWh). Esse valor médio obtido foi utilizado para Janeiro/2018 na Tabela 3.

COPEL Copel Distribuição S.A.
Rua José Izidoro Biazotto, 156
81200-240 Curitiba - PR
CNPJ 04.368.896/0001-06
IE 90.233.073-99 IM 423.992-4

PARANÁ
ESTADO DO PARANÁ

www.copel.com
0800 51 00 116

Unidade Consumidora
27504913
Vencimento
09/06/2018
Valor a Pagar
R\$ 149,03

CURITIBA - PR

Responsável pela manutenção: Empresa Pública Municipal
Reaviso de Vencimento

Informações Técnicas

No. Medidor: 0933216972 - MONOFASICO
Mes Referência: 05/2018

Letura Anterior	Letura Atual	Medido	Constante de Multiplicação	Total Faturado	Consumo Médio/Dia	Data Apresentação
05/04/2018	07/05/2018	32 dias 203 kWh	1,00	203 kWh	6,34 kWh	07/05/2018

Proxima Letura Prevista: 06/05/2018
RESIDE/RESIDENCIAL

Indicadores de Qualidade FR (1.7.06.0)

Conjunto	CAMPO COMPRIDO	Mes 03/2018	Tensão Contratada:
Realizado Mensal:	DIC 2,52 h FIC 1,00	DMIC 2,52 h EUSD (R\$) 39,01	127 volts
Limite Mensal:	4,83 h	3,17	Limite faixa adequada de Tensão: 117 - 133 volts
Limite Trimestral:	9,67 h	6,36	
Limite Anual:	19,34 h	12,70	

Declaração Anual de Quitação de Débitos

Em atendimento a Lei 12.007/2009, a Copel Distribuição S. A. declara, pela presente, que as faturas de energia elétrica desta unidade consumidora e de sua responsabilidade, vencidas em 2017, encontram-se devidamente quitadas. Esta declaração substitui os comprovantes de pagamento das faturas vencidas em 2017, salvo aqueles contestados judicialmente e ou decorridos de prazos não faturados.

Valores Faturados

NOTA FISCAL CONTA DE ENERGIA ELETRICA no. 19667018 Serie B
Emitida em 07/05/2018

Produto	Descrição	Un.	Consumo	Valor Unitario	Valor Total	Base de Calculo	Aliq. ICMS
01	ENERGIA ELETRICA CONSUMO	kWh	203	0,667438	135,49	135,49	29,00%
02	ENERGIA CONS. B. AMARELA	kWh			0,67	0,67	29,00%
03	CONT. ILLUMIN. PUBLICA MUNICIPI				12,87		
Base de Calculo do ICMS			136,16	Valor ICMS:	39,48	Valor Total da Nota Fiscal:	149,03

Composicao dos Valores

Energia	51,06
Distribuicao	28,19
Transmissao	4,92
Tributos	46,29
Encargos	6,70
TOTAL	136,16

Reservado ao Fisco

A109.B65E.333E.11B1.CED5.3EE6.CE73.04B0

CONSUMO ESTIMADO CONF. ART 67 REN ANEEL 414/10 - PORTA/PORTAO FECHADO E OBRIGACAO MANTER LIVRE ACESSO A LEITURA. SUJEITO A SUSPENSAO DO FORNECIMENTO INCLUSO NA FATURA PIS R\$ 1,21 E COFINS R\$ 5,60 CONFORME RES. ANEEL 130/2005. A qualquer tempo pode ser solicitado o cancelamento de valores não relacionados a prestação do serviço de energia elétrica, como convênios e doações. Atraso superior a 45 dias sujeita inclusao no cadastro de inadimplentes CADIN/PR. Agora e possível recorrer a Ouvidoria da Copel pelo Site ou Mobile. Períodos Band Tarif.: Verde 06/04-30/04 Amarela 01/05-07/05

Figura 20 – Fatura da residência do consumidor.
Fonte: O Autor (2018).

3.1.4 Levantamento da Área da Cobertura e Desvio Azimutal

A área total da cobertura do telhado da residência do consumidor tem aproximadamente 112 m². Porém, a área a ser utilizada para a instalação do SFVCR

será menor, uma vez que nem toda a cobertura é propícia para a instalação do sistema conforme apresentado na Figura 21.

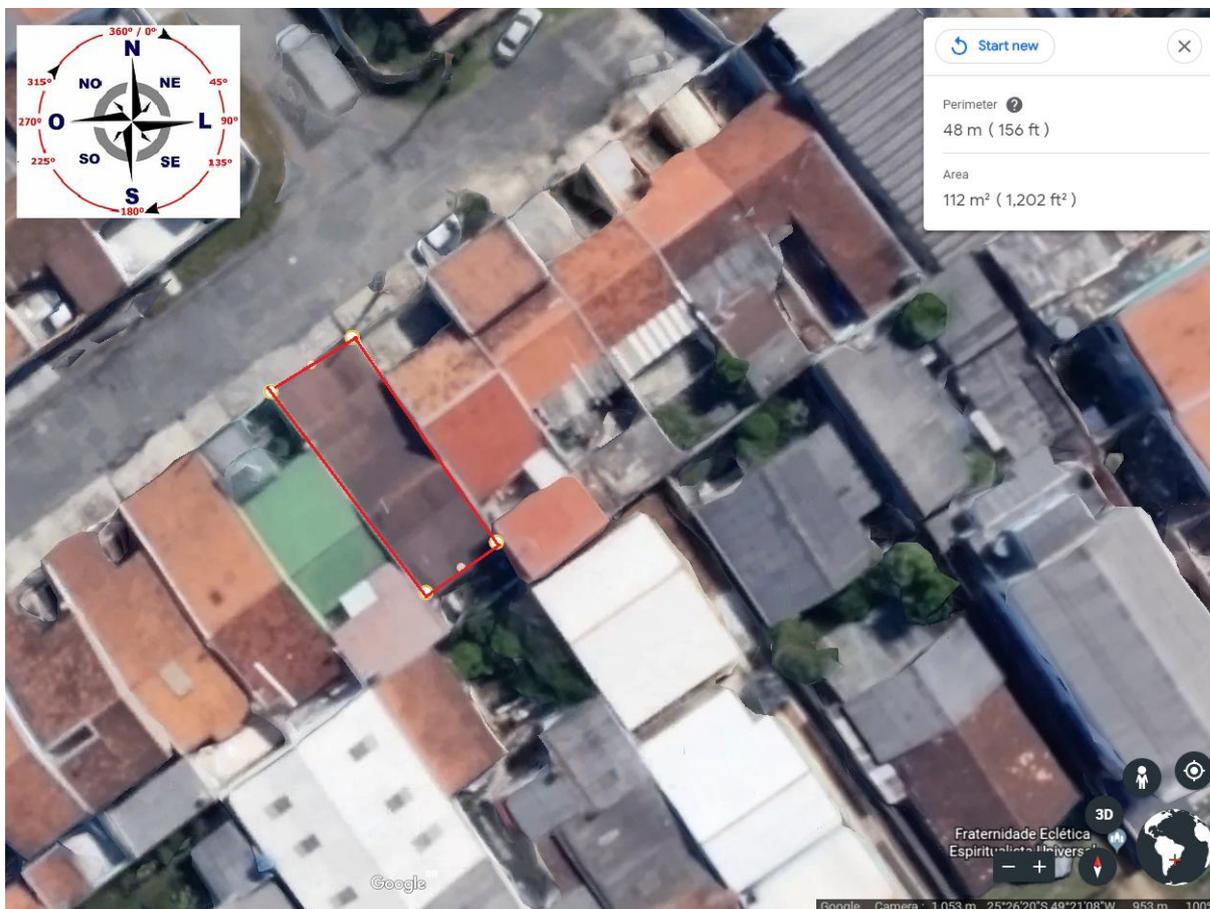


Figura 21 – Área da cobertura da residência.
Fonte: *Google Earth (2018)*.

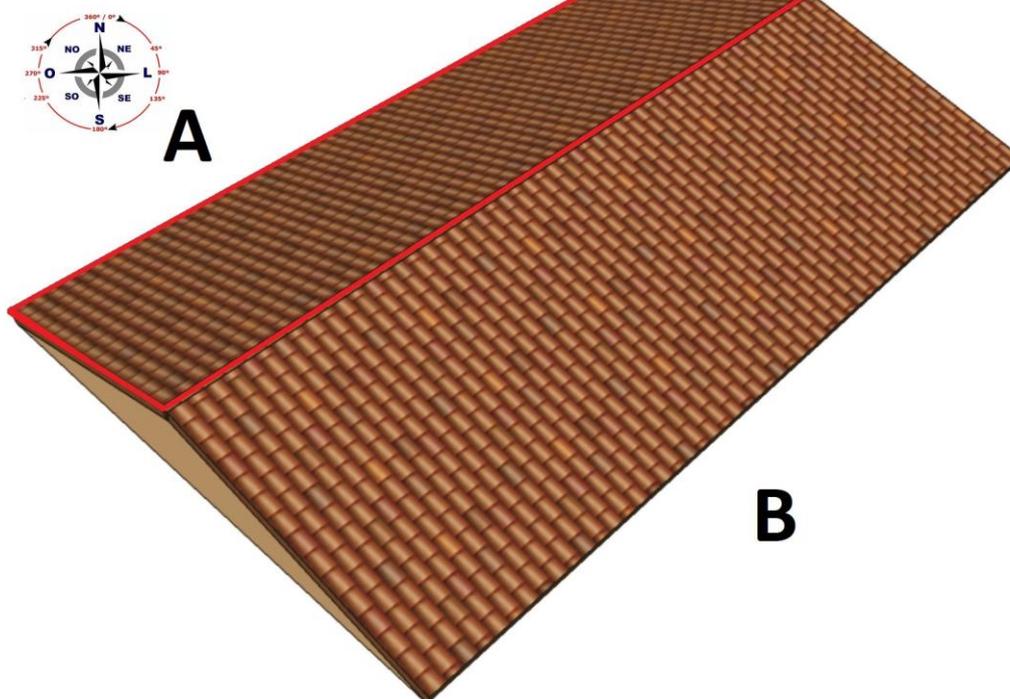
Outro dado relevante a ser observado é o desvio em relação ao ângulo azimutal de superfície, que no caso do telhado está a aproximadamente 34° oeste em relação ao norte geográfico como pode ser observado na Figura 22, ou seja, está orientado para o noroeste em vez do norte e conseqüentemente tem-se uma perda de radiação solar.



Figura 22 – Ângulo do desvio azimutal do telhado da residência.
Fonte: *Google Earth* (2018).

3.1.5 Detalhes Construtivos do Telhado

A área que abrange a cobertura não está totalmente voltada para o norte geográfico. Isto restringe a área de instalação dos painéis e, além disso, nem toda a cobertura conta com o mesmo ângulo de inclinação. Dessa maneira, foi escolhida uma área da cobertura menor chamada de água “A”, que dispõe das condições mais adequadas para receber o SFVCR como mostram as Figuras 23 e 24.

TELHADO 02 ÁGUAS

**Figura 23 – Água “A” foi a área escolhida para a instalação do SFVCR.
Fonte: O Autor (2018).**



**Figura 24 – Telhado com destaque para a água “A”.
Fonte: O Autor (2018).**

3.1.6 Cálculo da Área da Água “A” e Inclinação da Cobertura

A área da cobertura mais propícia para a instalação dos painéis fotovoltaicos a água “A” tem área de aproximadamente $26,6 \text{ m}^2$. O cálculo da inclinação da cobertura desse local da cobertura em relação à superfície horizontal também foi considerado e corresponde, aproximadamente, ao ângulo α de $23,94^\circ$ muito próximo da latitude da cidade de Curitiba que é de 25° , como pode ser observado na Figura 25.

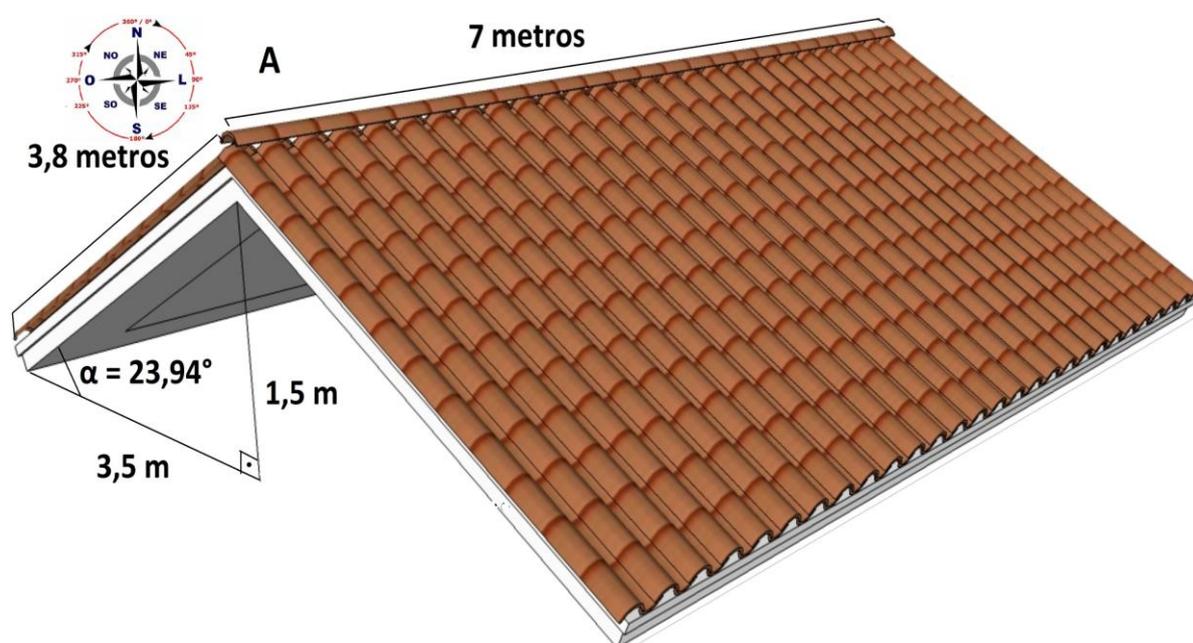


Figura 25 – Cálculo do ângulo de inclinação da cobertura e medidas da água “A”.
Fonte: O Autor (2018).

4. PROJETO

4.1 DADOS DE IRRADIAÇÃO NO PLANO INCLINADO E DE PRODUTIVIDADE NA RESIDÊNCIA

Utilizaram-se dados de irradiação solar total no plano inclinado e no período dos 12 meses do ano contidos na ferramenta interativa online do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná, conforme pode ser visto nas Figuras 26 e 27, as quais já representam o valor de acordo com a latitude local e a indicação da orientação para o norte verdadeiro.



Figura 26 – Irradiação no plano inclinado na latitude na área da residência.
Fonte: Tiepolo et al. (2017b).

Irradiação Plano Inclinado Na Latitude			
Valores diários (kWh/m ² .dia) Produtividade (kWh/kWp.dia)			
+	Janeiro	4.76	3.57
-	Fevereiro	4.96	3.72
☰	Março	4.78	3.59
📅	Abril	4.40	3.30
🖱️	Maio	3.85	2.89
	Junho	3.61	2.71
	Julho	3.75	2.81
	Agosto	4.72	3.54
	Setembro	4.18	3.13
	Outubro	4.31	3.23
	Novembro	4.85	3.64
	Dezembro	4.93	3.70
	Primavera	4.45	3.34
	Verão	4.88	3.66
	Outono	4.34	3.26
	Inverno	4.03	3.02
	Anual	4.42	3.32
	Total Anual	(kWh/m ² .ano)	(kWh/kWp.ano)
		1614	1211
Localização Geográfica			
	Latitude	-25.439160972925418°	
	Longitude	-49.35215303237961°	
	Município	Curitiba	
	Mesorregião	METROPOLITANA DE CURITIBA	

Figura 27 – Tabela de irradiação no plano inclinado na latitude e produtividade.
Fonte: Tiepolo et al. (2017b).

A análise da Figura 27 revela que a irradiação total anual média na área da residência é de 1.614 kWh/m².ano com uma média anual de 4,42 kWh m².dia para o plano inclinado na latitude. O valor de produtividade fica em 1.211 kWh/kWp.ano com um valor médio anual de 3,32 kWh/kWp.dia.

4.2 CÁLCULO PARA A CONDIÇÃO DE UM SISTEMA IDEAL

A média anual de consumo de energia elétrica da residência em estudo é de 203,9 kWh (como visto anteriormente na Tabela 3). O sistema tem característica monofásica, dessa forma o consumo mínimo aplicado a esse tipo de consumidor é de 30 kWh/mês. A taxa respectiva a esse valor mínimo sempre será cobrada mensalmente pela concessionária de energia.

Para o cálculo do SFVCR é feito a subtração da média de consumo pelo consumo mínimo aplicado ao consumidor como mostra a equação a seguir:

$$\text{SFVCR} = \text{Média de Consumo} - \text{Consumo Mínimo} \quad (1)$$

$$\text{SFVCR} = 178,1 \text{ kWh} - 30 \text{ kWh}$$

$$\text{SFVCR} = 148,1 \text{ kWh}$$

O valor de 148,1 kWh corresponde ao valor médio que o SFVCR precisa gerar de energia, a fim de que o consumo mensal seja atendido pelo projeto.

O próximo passo é identificar a produtividade local que foi abordada anteriormente na Figura 27. Nela foi obtido, o valor médio de 1.211 kWh/kWp.ano ou valor médio mensal aproximado de 100,92 kWh/kWp.mês. Dessa forma, torna-se possível determinar a potência do SFVCR em kWp para a condição ideal:

$$1 \text{ kWp} = 100,92 \text{ kWh/mês}$$

$$P_{\text{SFVCR}} = 148,1 \text{ kWh/mês}$$

$$P_{\text{SFVCR}} = 1,467 \text{ kWp}$$

4.3 ESCOLHA DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

O módulo fotovoltaico previsto para ser utilizado neste projeto é o modelo YL320P-35b da fabricante Yingli da tecnologia de silício policristalino, cuja folha de dados encontra-se no Anexo I. Segundo as especificações elétricas, esse módulo tem as seguintes características: sua máxima potência é de 320 Wp, a tensão de máxima potência é de 37,0 V e a corrente de máxima potência é de 8,64 A.

Cada módulo é composto por 72 células, e sua respectiva área é de aproximadamente 1,94 m². Então para uma potência demandada de 1,467 kWp (valor obtido ao fim do tópico anterior) serão necessários em torno de 5 módulos fotovoltaicos (1,6 kWp). Isso significa que a área aproximada do SFVCR seria de aproximadamente 10 m².

A potência instalada deste SFVCR é dada então por: $P_{SF} = 1,6 \text{ kWp}$.



**Figura 28 – Módulo fotovoltaico YL320P-35b da Yingli.
Fonte: Yingli Solar (2018).**

4.3.1 Instalação dos Módulos Fotovoltaicos

A dimensão dos módulos fotovoltaicos é de aproximadamente 1,96 m de comprimento por 0,99 m de largura. Eles serão instalados seguindo o sentido vertical do telhado da água “A”, de maneira que um fique ao lado do outro. Dessa forma, uma área total aproximada de 10 m² será ocupada. A Figura 29 mostra a posição dos módulos de maneira similar a desejada no projeto.



Figura 29 – Disposição dos módulos fotovoltaicos na água “A”.
Fonte: O Autor (2018).

4.4 DADOS DE IRRADIAÇÃO HORIZONTAL NA RESIDÊNCIA

Entretanto, como a cobertura não está nas condições ditas ótimas de geração (painel orientado para o norte geográfico com inclinação igual a da latitude e sem sombreamento), é necessário determinar os valores de irradiação nas condições em que a cobertura se encontra, ou seja, com inclinação igual a 23,94° e desvio azimutal de 34° para o Oeste. Para isto, faz-se necessário a determinação dos valores de irradiação no plano horizontal, os quais serão ajustados pelo *software* “Radiasol 2” de acordo com as condições anteriormente descritas.

Na Figura 30, são apresentados os dados de radiação global horizontal na localização da edificação.

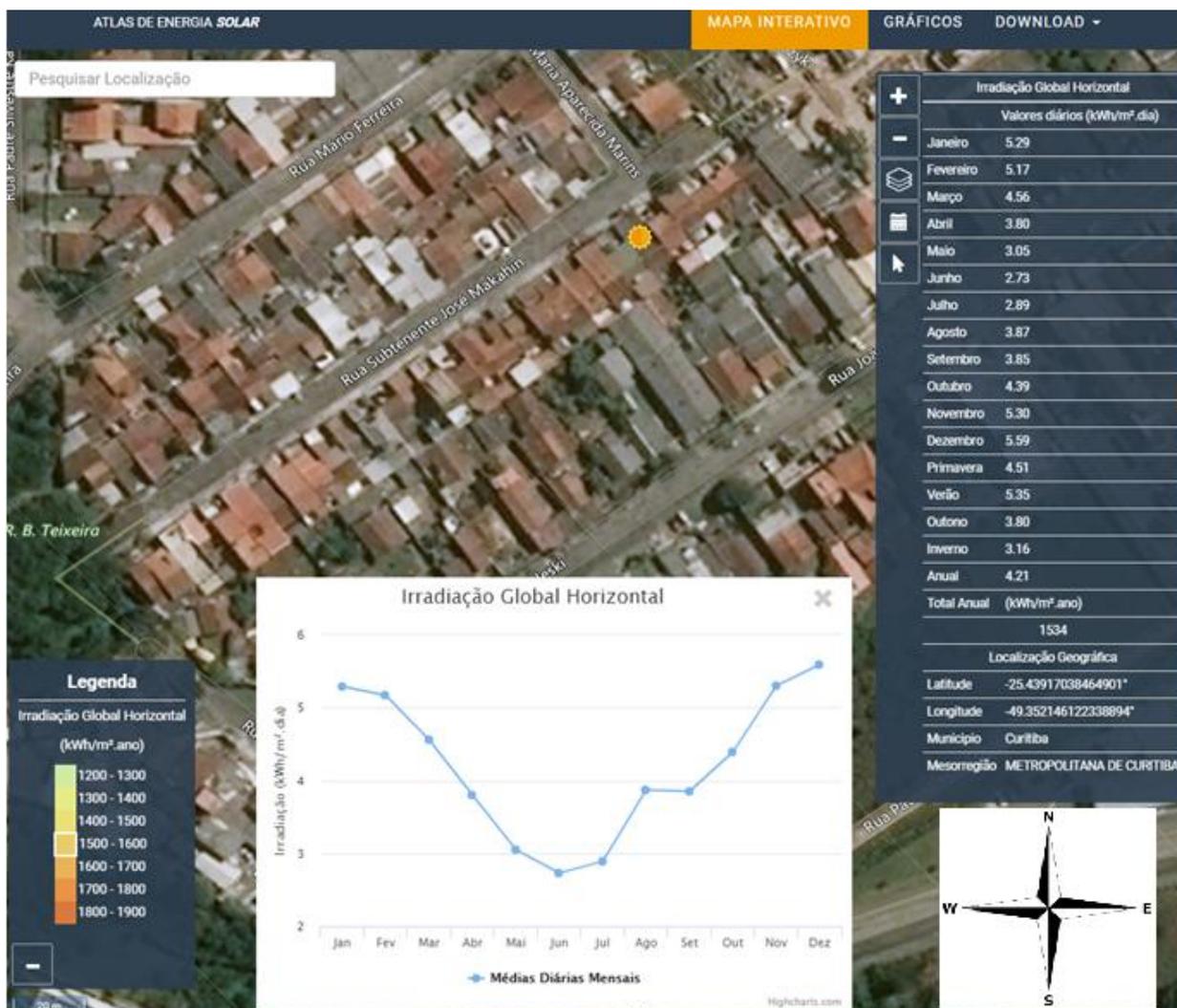


Figura 30 – Irradiação no plano horizontal na área da edificação.
Fonte: Tiepolo et al. (2017b).

4.5 CÁLCULO PARA A CONDIÇÃO REAL DO SISTEMA

A inserção dos dados reais do sistema como o desvio azimutal e a inclinação no *software* “Radiasol 2” pode ser observada nas Figuras 31 e 32. Nelas os diversos tipos de irradiações mensais podem ser vistas com base nos gráficos gerados.

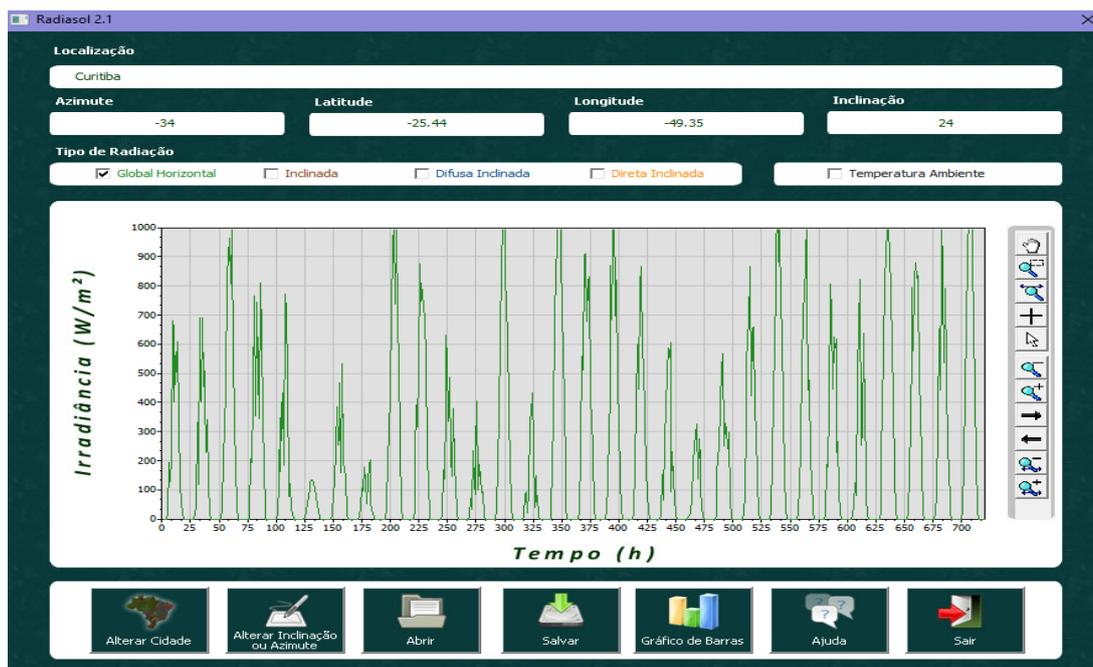


Figura 31 – Irradiação no plano horizontal de acordo com as condições reais da edificação.
Fonte: Radiasol 2 (2018).

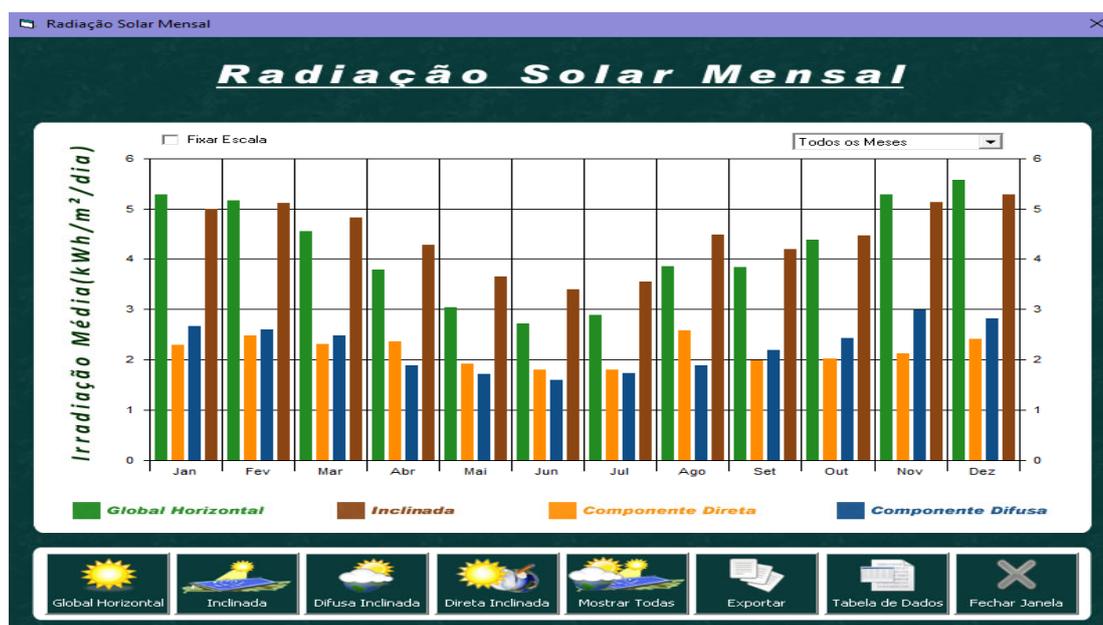


Figura 32 – Diversos tipos de irradiações de acordo com as condições reais da edificação.
Fonte: Radiasol 2 (2018).

De acordo com o software “Radiasol 2” por meio da Figura 33 o valor médio de irradiação diário no plano da cobertura da edificação é de aproximadamente 4,47 kWh/m².dia ou 135,9 kWh/m².mês. Considerando uma taxa de desempenho de 75% para o SFVCR, a produtividade prevista para esse sistema será de 101,92 kWh/m².mês.

Tabela de Dados

X

Irradiação Média (kWh/m ² /dia)					
Mês	Global	Direta	Difusa	Inclinada	
1	5.29	2.13	2.88	5.05	
2	5.17	4.72	2.77	5.17	
3	4.56	6.6	2.49	4.86	
4	3.8	8.86	2.24	4.32	
5	3.05	10.48	1.74	3.67	
6	2.73	12.59	1.63	3.4	
7	2.89	14.12	1.61	3.57	
8	3.87	16.74	1.85	4.5	
9	3.85	19.07	2.45	4.25	
10	4.39	20.41	2.51	4.5	
11	5.30	23.31	2.89	5.12	
12	5.59	24.91	2.89	5.28	

Irradiâncias Médias (W/m ²)					
Mês	Hora	Global	Direta	Difusa	Inclinada
1	4	0	0	0	0
1	5	21	0	9	9
1	6	137	0	76	76
1	7	239	30	128	159
1	8	429	119	204	326
1	9	534	188	258	450
1	10	607	232	320	557
1	11	697	326	345	677
1	12	597	254	350	609
1	13	676	369	335	709
1	14	552	273	317	595

Figura 33 – Médias mensais dos diversos tipos de irradiações para as condições reais da edificação.
Fonte: Radiasol 2 (2018).

Logo, para atender a demanda média de energia elétrica, já considerando o custo de disponibilidade, de 173,9 kWh/mês, será necessário um SFVCR de:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kWp} & \quad 101,92 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês} \\
 P_{\text{SFVCR}} & \quad 146,7 \text{ kWh/mês} \\
 \boxed{P_{\text{SFVCR}} = 1,44 \text{ kWp}}
 \end{aligned}$$

Nota-se que o valor da potência do SFVCR encontrado para as condições reais da cobertura se alterou pouco em relação à potência determinada para as condições ideais de geração. Isto é, enquanto para a condição de um sistema ideal a potência determinada do SFVCR foi de 1,467 kWp, a condição para o sistema real

da edificação resultou em uma potência do SFVCR de 1,44 kWp (um valor muito próximo quando comparado a potência da condição ideal). Tal fato ocorre devido à inclinação da cobertura ser muito próxima da inclinação ideal de 25° e ao desvio azimutal em relação ao norte geográfico ser voltado para o oeste.

Para essa condição real a área a ser utilizada pelo SFVCR continuará sendo de aproximadamente 10 m² para uma potência de 1,6 kWp, que será gerada pelos 5 módulos fotovoltaicos descritos anteriormente no tópico 4.3.

4.6 ESCOLHA DO INVERSOR *GRID-TIE* PARA O SFVCR

O dimensionamento do inversor é baseado principalmente na potência nominal do SFVCR de acordo com os módulos fotovoltaicos, ou seja, 1,6 kWp. Dessa forma, para o sistema em questão, foi escolhido o inversor da marca ECOSOLYS modelo S2000 PLUS de 2,0 kWp. Segundo as especificações elétricas, esse inversor tem as seguintes características para a entrada CC:

- Potência Fotovoltaica Nominal: 3,3 kW
- Tensão mínima de entrada CC (partida): 45 volts
- Tensão máxima de entrada CC (limite): 480 volts
- Corrente máxima de entrada CC: 10 A
- Entrada MPPT: 1 (Faixa de operação 125 V ~ 380 V)

Já para os parâmetros de saída CA tem-se:

- Potência nominal de saída: 2 kW
- Potência máxima de saída: 2.2 kW
- Conexão CA: Monofásica ou Bifásica
- Tensão nominal de saída CA: MONOFÁSICO 220 V (Fase+Fase ou Fase+Neutro - Faixa de operação: 176 V ~ 242 V)
- Corrente nominal de saída: 9 A
- Frequência nominal de saída: 60HZ (Faixa de operação: 57,5 Hz ~ 62 Hz)
- Eficiência máxima: 96,6%

O inversor escolhido irá sincronizar o sistema FV com a rede. Além disso, faz o monitoramento da tensão, frequência da rede, possui o esquema de proteção “anti-ilhamento”, quando detecta condição de ilhamento (*islanding*) e possui proteções contra sobre/sub tensão, sobre/subcorrente, sobre/sub frequência, sobrecarga além da proteção contra inversão de polaridade. Dessa forma, não será necessário à instalação de um relé de proteção para falhas de tensão, frequência e ilhamento, nem um relé de sincronismo.

Inicialmente, para este projeto foi definido que o arranjo fotovoltaico será formado pelos 5 módulos fotovoltaicos conectados em série. Entretanto, algumas condições precisam ser atendidas, para compatibilizar a tensão e a corrente do arranjo FV com as especificações do inversor e dessa forma, o inversor escolhido possa estar adequado ao SFVCR. A primeira delas diz respeito à tensão máxima que deve ser menor em relação à tensão máxima CC do inversor:

$$V_{\text{máx}} = \text{Quantidade de módulos em série} * V_{\text{OC}} (\text{módulo}) \quad (2)$$

$$V_{\text{máx}} = 5 * 46 \text{ V}$$

$$V_{\text{máx}} = 230 \text{ V}$$

$$V_{\text{máx}} < V_{\text{máx CC Inversor}}$$

$230 \text{ V} < 480 \text{ V}$

A segunda condição diz respeito à faixa de valores da tensão de máxima potência recomendada pelo fabricante do inversor (para o modelo escolhido no projeto é de 125 V a 380 V). O cálculo é feito através da Equação (3):

$$V_{\text{MPP}} = \text{Quantidade de módulos em série} * V_{\text{MPP}} (\text{módulo}) \quad (3)$$

$$V_{\text{MPP}} = 5 * 37 \text{ V}$$

$V_{\text{MPP}} = 185 \text{ V}$

A terceira condição é a de que a corrente de curto circuito máxima nos módulos deve ser menor que a máxima corrente de entrada no inversor ($I_{MÁX \text{ entrada}} = 10A$).

$$I_{MÁX \text{ SC módulo}} = I_{MPP} = \text{Núm. de conj. em paralelo} * I_{MPP} (\text{inversor}) \quad (4)$$

$$9,18A < 10A$$

A quarta condição é o cálculo da quantidade máxima de módulos associados em série, dada pela equação a seguir:

$$\text{Quant. máx. módulos em série} = \frac{\text{Tensão Máx. entrada inversor}}{V_{OC}} (\text{em MPPT}) \quad (5)$$

$$\text{Quant. máxima módulos em série} = \frac{380 \text{ V}}{46 \text{ V}} = 8 \text{ módulos}$$

O projeto prevê que os 5 módulos fotovoltaicos sejam instalados em série, portanto a quarta condição também é atendida.

4.7 CABEAMENTO DO LADO CC

O dimensionamento dos condutores que saem dos módulos fotovoltaicos será feito pela maior corrente gerada nos módulos, ou seja, a corrente de curto circuito. Através da norma europeia IEC 60364-7-7-712, o dimensionamento do condutor deve ser feito para suportar $1,25 * I_{sc} = 1,25 * 9,18 \text{ A} = 11,47 \text{ A}$. Segundo a norma ABNT NBR-5410, o condutor deve possuir a bitola de pelo menos $2,5 \text{ mm}^2$ de área.

4.8 CABEAMENTO DO LADO CA

O condutor especificado para o lado CA deverá suportar a corrente máxima de saída do inversor de 9 A. Neste caso, de acordo com NBR-5410, o condutor será de $2,5 \text{ mm}^2$.

4.9 DISJUNTOR DO LADO CA

Há necessidade de instalação de um disjuntor entre a saída do inversor e o barramento. Dessa forma, um disjuntor monopolar será instalado para a proteção da parte de corrente alternada do projeto. A corrente nominal do lado CA (saída) do inversor é de 9 A. Logo, este disjuntor será dimensionado para suportar 10 A, segundo as especificações da ABNT NBR NM 60898.

4.10 INVESTIMENTO NO SFVCR

4.10.1 Custos de Implantação do SFVCR

O preço médio cobrado por instaladores no Brasil no ano de 2017 foi de R\$ 6,29 por *Watt* pico (Wp) instalado para sistemas de até 5 kWp, segundo estudo anual do Instituto Ideal chamado “O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica – Edição 2018”. Este foi o valor utilizado para determinar o custo do sistema neste trabalho.

Ano após ano os preços médios em R\$/Wp vêm em tendência de queda. Em 2013 era de R\$8,69 como pode ser observado na Figura 34.

Para o sistema de 2 kWp, o preço do sistema instalado ao custo de R\$6,29/Wp é de aproximadamente R\$12.580,00.

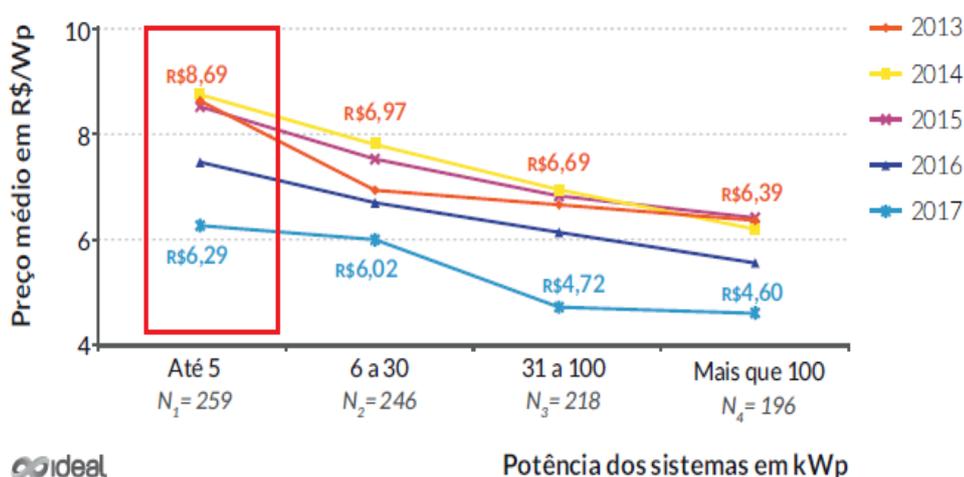


Figura 34 - Preço médio no Brasil (< 5kWp).
Fonte: Instituto Ideal (2018).

5. CONCLUSÃO

A demanda mundial por eletricidade é crescente, assim como o conceito de sustentabilidade. O desenvolvimento humano e financeiro do planeta requer muita energia elétrica, pois progresso é sinônimo de consumo, percebe-se isto nos modelos econômicos da maioria dos países, principalmente ao avaliar os países desenvolvidos. Tais modelos econômicos têm características baseadas em consumo, produção e demanda de produtos e serviços, observam-se estes fatos analisando historicamente a evolução da humanidade, onde o desenvolvimento da tecnologia demanda exploração da natureza. Toda essa evolução demanda força energética, que pode ser extraída de diferentes fontes primárias. O alto nível de consumo humano na atualidade gera uma grande preocupação em explorar recursos naturais com sabedoria, pois os mesmos são limitados.

A energia do sol é considerada uma fonte primária inesgotável, pois estará presente nos próximos milhares de anos, por isso deve-se explorá-la cada vez mais. Devido a estes fatos, cresce os estudos com objetivos de aprimorar o aproveitamento desta energia, e ao mesmo tempo, surgem legislações para que haja um controle maior sobre ela.

A primeira normativa brasileira que regulamenta o uso de energia fotovoltaica conectada a rede elétrica surgiu no ano de 2012. O objetivo dela foi estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, visando reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte na rede de distribuição.

O SFVCR pode ser amplamente instalado em residências como geração distribuída, mas ainda não é tão disseminado no país, pelo fato de ainda ser visto como um investimento de alto custo. O fator econômico, no entanto, pode se tornar uma vantagem ao consumidor que opte pela instalação do sistema, tendo em vista as economias na fatura de energia elétrica.

Esse trabalho se propôs a desenvolver o projeto básico de um sistema de microgeração FV distribuída para uma residência localizada em Curitiba. O estudo baseou-se numa revisão teórica a respeito da conversão de energia solar em elétrica e dos equipamentos utilizados nesse processo. Outro aspecto importante

objeto desse estudo foram as normas brasileiras vigentes que determinam os pré-requisitos de projeto, para permitir o acesso de microgeradores às redes de distribuição.

Seguindo todas as premissas adotadas, foi possível dimensionar o SFVCR através da irradiação média no ponto exato do local da edificação (utilizando a ferramenta interativa online do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná), que fica no município de Curitiba. Além do tipo de ligação da residência (monofásica) e também através da realização da média de consumo de energia elétrica mensal da mesma. Por fim, foi obtido também o custo do sistema fotovoltaico, utilizando a média do custo do Wp instalado no Brasil calculado através de dados de publicações especializadas na área.

Em um primeiro momento, o sistema FV foi dimensionado para as condições ideais de irradiação ao considerar o plano inclinado na latitude do município e indicação do telhado para o norte verdadeiro. A potência determinada do SFVCR foi de 1,467 kWp. Já para a condição do sistema real, onde as irradiações foram determinadas levando em conta o ângulo de desvio azimutal (-34°) e o ângulo de inclinação do telhado ($23,94^\circ$), a potência do SFVCR foi de 1,44 kWp. Valores muito próximos quando comparados. O que leva a crer que a constatação é devido à inclinação da cobertura ser muito próxima da inclinação ideal de 25° e ao desvio azimutal em relação ao norte geográfico ser voltado para o oeste.

De acordo com os dados característicos da edificação para o correto dimensionamento do sistema FV, obteve-se que um sistema de 2 kWp é o ideal para atender as necessidades elétricas da residência destacada no projeto. Os módulos fotovoltaicos foram especificados em quantidade e modelo, bem como as especificações do inversor, cabos CA e CC e disjuntor. Quanto aos módulos, a quantidade estipulada foi de cinco unidades com ligação em série, que por meio dos cálculos é o adequado para atender ao consumo de energia elétrica na residência.

Apesar de um custo estimado em R\$12.580,00, a contribuição para o meio ambiente e o valor economizado na tarifa da fatura de energia elétrica faz com que sistemas fotovoltaicos sejam um bom investimento.

Como sugestões para trabalhos futuros citam-se:

- A análise de viabilidade econômica atualizada de uma microgeração FV considerando o tempo de retorno de investimento.
- Estudo de novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas e aplicadas em módulos fotovoltaicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil - 2ª Edição**. ANEEL, 2005. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar(3).pdf)>. Acesso em: 9 set. 2018.

_____. **Aprovado valor das cotas do proinfa para 2018**. ANEEL, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aprovado-valor-das-cotas-do-proinfa-para-2018/656877?inheritRedirect=false>. Acesso em: 9 set. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 5410. Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. 2008.

CHAIM, Omar Cheidde. **Análise de custo de fontes alternativas de energia**. 2011. USP, São Paulo, 2011.

COGEN. **Geração Distribuída – Novo Ciclo de Desenvolvimento**. 2013. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/workshop/2013/Geracao_Distribuida_Calabro_22052013.pdf>. Acesso em 10 set. 2018.

COLUMBIA. **Energy Consumption**. *Columbia University*. Nova Iorque. 2017. Disponível em: <<http://www.columbia.edu/~mhs119/EnergyConsump/>>. Acesso em: 8 set. 2018.

DGS - *German Solar Energy Society*. **Planning and Installing Photovoltaic Systems**. 2013.

E3SSOLAR. **Energia Solar**. Rio De Janeiro. 2016. Disponível em: <<http://www.e3ssolar.com.br/os-beneficios-reais-da-energia-solar-para-comercio-e-industria/>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica EPE: Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2018.

_____. **Balço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/benrelatoriosintese.aspx> >. Acesso em: 10 set. 2018.

ENERGIA SOLAR. **Microgeração de Energia Solar**. 2018

Disponível em: < <https://energiasolar-microgr.com.br/inversores/mppt/> > Acesso em: 12 set. 2018.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. MME, mai. 2012. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf >. Acesso em 5 set. 2018.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2021**. MME, 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2012/Relatxrio_PDE2021_ConsultaPxblica.pdf>. Acesso em 5 set. 2018.

EPIA. **Solar Generation V**, set. 2016. Disponível em: < www.energetica-india.net/download.php?seccion=articles&archivo...pdf >. Acesso em: 9 set. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe**, 2012. Disponível em: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvGIS/cmmaps/eur.htm>>. Acesso em: 12 set. 2018.

EUROSTAT. **Statistics Explained. Renewable energy statistics**, 2017.

Disponível em: < http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics >. Acesso em: 12 set. 2018.

FARIA, Caroline. **Energia solar**. Infoescola. São Paulo. 2017. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/tecnologia/energia-solar/>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

GOETZBERGER, Adolf; HOFFMAN, Wirt V. U. **Photovoltaic Solar Energy Generation**. Freiburg: Springer, 2005.

INSTITUTO IDEAL – INSTITUTO PARA O DESENSOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA. “**O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica** – Edição 2018”. Disponível em: < http://ahkbusiness.de/fileadmin/ahk_business_br/05_Publicacoes-

Publikationen/O_Mercado_Brasileiro_de_Geracao_Distribuida_FV_-_2018.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **O que é Geração Distribuída?**. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 7 set. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Annual Report 2012**. France. 2012. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IEA_Annual_Report_publicversion.pdf>. Acesso em: 10 set. 2018.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Consumo e Geração de Energia Volume 2**. UFSC, 2010. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_II_WEB.pdf>. Acesso em: 9 set. 2018.

MAGHAMI, Mohammad R.; HIZAM, Hashim; GOMES, Chandima; RADZI, Mohd A. M. ; REZADAD, Mohammadesmaeil; HAJIGHORBANI, Shahrooz. **Power Loss Due to Soiling on Solar Panel: A review**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Serdang, 2016.

NEOSOLAR. **SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES**. São Paulo. 2017. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

NREL. “**Glossary of Solar Radiation Resource Terms: National Renewable Energy Laboratory**”, 2017. Disponível em: <http://rredc.nrel.gov/solar/glossary/gloss_s.html>. Acesso em 18 set. 2018.

OLADE - ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA. **Curso de la Generación Distribuida**. SABA System. 2011. Disponível em: <<http://www.olade.org/elearning>>. Acesso em 11 set. 2018.

ONS. **Evolução do Setor Elétrico Brasileiro**, 2018. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons>>. Acesso em 10 set. 2018.

PEREIRA, Eduardo. **Ituverava: Em construção, a maior usina de energia solar da América Latina**. Xapuri Socioambiental. Formosa, 2017. Disponível em:

<<https://www.xapuri.info/meio-ambiente/sustentabilidade-meio-ambiente/ituverava-em-construcao-a-maior-usina-de-energia-solar-da-america-latina/>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

PEREIRA, E. B.; MARTINS F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. INPE, 2017. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao.pdf>. Acesso em 7 set. 2018.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. CRESESB. 2014.

PORTAL SOLAR. **Tudo sobre a eficiência do painel solar**. Disponível em <http://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painelsolar.html>. Acesso em: 7 set. 2018.

REN21. **RENEWABLES 2018: global status report**. Paris, 2018. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf>. Acesso em: 14 set. 2018.

REZENDE, Líria Costa. **É preciso diversificar a matriz energética no Brasil**. **Canal-Jornal da Bioenergia**. Goiânia. 18 jun. 2015. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/desafios-energeticos-diversificacao-e-a-saida-para-o-brasil/>>. Acesso em: 10 set. 2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública no Brasil**. 1 ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SOUZA, Ronilson. **Painel Solar (Placa Solar): A Verdade Sobre o Preço e Como Funciona**. BlueSol Energia Solar. São Paulo. 2016. Disponível em: <<http://blog.bluesol.com.br/painel-solar-preco-e-como-funciona/>>. Acesso em: 3 set. 2018.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná". 1a Edição. Curitiba: UTFPR, 2017a.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "Ferramenta Interativa Online do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná". 2017b. Acesso em: 30 set. 2018.

UM FUTURO COM ENERGIA SUSTENTÁVEL: ILUMINANDO O CAMINHO. São Paulo: FAPESP, 2010. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018.

URBANETZ, Jair Junior. **Sistemas fotovoltaicos conectados a rede de distribuição urbanas: Sua influência da qualidade de energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. 2010. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

VALLÊRA. A. M; BRITO. M. C. **Meio Século de História Fotovoltaica**. Lisboa, 2004.

VAUGHAN, Adam. **Solar power growth leaps by 50% worldwide thanks to US and China**. *The Guardian*. London. 2017. Disponível em: <<https://www.theguardian.com/environment/2017/mar/07/solar-power-growth-worldwide-us-china-uk-europe>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

VENTURA, Felipe. **Maior usina solar flutuante do mundo começa a gerar energia**. *Tecnoblog*. São Paulo. 2017. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/215441/maior-usina-solar-flutuante/>>. Acesso em: 29 abr. 2018.

VIANA, T. S. **Potencial de geração de energia elétrica com sistemas fotovoltaicos com concentrador no Brasil**. (Tese de Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2011.

YINGLI SOLAR. **Multicrystalline Solar Panels**. 2018

Disponível em: < <http://www.yinglisolar.com/en/products/multicrystalline/>> Acesso em: 14 out. 2018.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F., 2012. **Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede Elétrica**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos.

Anexo I – Folha de Dados do Módulo Fotovoltaico YL320P-35b

YGE 72 CÉLULAS SÉRIE 2

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Parâmetros Elétricos para STC								
Tipo de módulo	YLxxxP-35b (xxx=P _{max})							
Potência de saída	P _{max}	W	335	330	325	320	315	310
Tolerância	ΔP _{max}	W	0 / + 5					
Eficiência do módulo	η _m	%	17,3	17,0	16,7	16,5	16,2	16
Tensão em P _{max}	V _{mp}	V	37,6	37,4	37,3	37,0	36,8	36,3
Intensidade em P _{max}	I _{mp}	A	8,91	8,84	8,72	8,64	8,56	8,53
Tensão em circuito aberto	V _{oc}	V	46,7	46,4	46,3	46,0	45,7	45,6
Corrente de curto-circuito	I _{sc}	A	9,34	9,29	9,24	9,18	9,12	8,99

STC: 1000 W/m² irradiância, temperatura do módulo de 25 °C, AM1,5 distribuição espectral de acordo com a norma EN 60904-3. Redução média de 3,3% de eficiência relativa de 200 W/m² de acordo com EN 60904-1.

Parâmetros Elétricos em Temperatura de Operação (NOCT)								
Potência de saída	P _{max}	W	244,4	240,7	237,1	233,4	229,8	226,1
Tensão em P _{max}	V _{mp}	V	34,3	34,0	34,0	33,8	33,6	33,1
Corrente em P _{max}	I _{mp}	A	7,13	7,07	6,98	6,91	6,85	6,82
Tensão em circuito aberto	V _{oc}	V	43,1	42,8	42,8	42,5	42,2	42,1
Corrente de curto-circuito	I _{sc}	A	7,55	7,51	7,47	7,42	7,37	7,27

NOCT: operação do módulo em condições de circuito aberto com irradiância de 800W/m² e temperatura ambiente de 20°C e de velocidade de vento de 1m/s.

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS

Temperatura nominal da célula	NOCT	°C	46 +/- 2
Coefficiente de temperatura para P _{max}	γ	%/°C	-0,42
Coefficiente de temperatura para V _{oc}	β _{oc}	%/°C	-0,32
Coefficiente de temperatura para I _{sc}	α _{sc}	%/°C	0,05
Coefficiente de temperatura para V _{mp}	β _{mp}	%/°C	-0,42

CONDIÇÕES DE FUNCIONAMENTO

Tensão máxima do sistema	1000V _{cc}
Valor máximo do fusível em série	15A
Limitação da corrente inversa	15A
Faixa de temperatura em funcionamento	-40°C to 85°C
Carga estática máxima frontal (neve)	5400Pa
Carga estática máxima inversa (vento)	2400Pa
Máximo impacto por granizo (diâmetro/velocidade)	25mm / 23m/s

MATERIAIS

Proteção frontal (material / espessura)	O vidro temperado contém baixo teor de ferro / 4 mm
Célula solar (número / tipo / tamanho / número de busbar)	72 / Silício Multicristalino / 156mm x 156mm / 2 ou 3
Quadro (material / cor / anodização / bordas de vedação)	Alumínio anodizado / prata / claro / adesivo
Caixa de junção (grau de proteção)	≥ IP65
Cabo de ligação (comprimento / secção) (tipo / grau de proteção)	1000mm / 4mm ²
Conector (tipo/grau de proteção)	MC4 / IP67 ou YTO8-1 / IP67 ou Amphenol H4 / IP68

* Devido a contínua inovação, pesquisa e melhoria de produto, informações e especificações citadas nesta ficha técnica estão sujeitos a alterações sem aviso prévio. As especificações podem ser ligeiramente diferentes e não estão garantidas.

* Os dados não se referem a um único módulo e não faz parte da oferta, servem para comparação entre diferentes tipos de módulos.

QUALIFICAÇÕES E CERTIFICADOS

IEC 61215, IEC 61730, CE, NRE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, PV Cycle, SA 8000

Consultar os modelos já homologados pelo Inmetro



© Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.

DS_YGE72Cell-35b_40mm_BR_2017_Dec_Y85

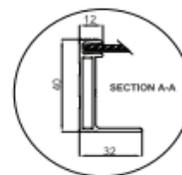
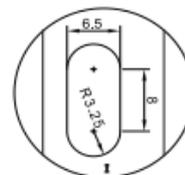
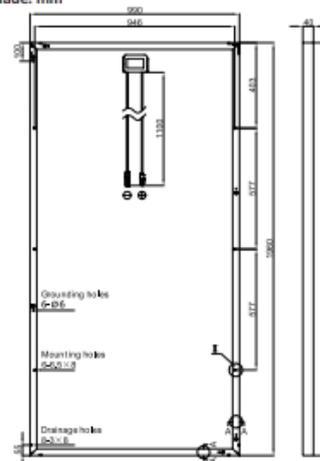
CARACTERÍSTICAS GERAIS

Dimensões (C / L / A)	1960mm / 990mm / 40mm
Peso	25,5kg

ESPECIFICAÇÕES DA EMBALAGEM

Número de módulos por paleta	26
Número de paletes por container	24
Dimensões da embalagem (C / L / A)	1995mm / 1145mm / 1170mm
Peso do paleta	707kg

Unidade: mm



Aviso: Leia o Manual de Instalação e de Operação em sua totalidade antes de utilizar, instalar e operar módulos Yingli Solar.

Parceiros da Yingli Solar:

Yingli Green Energy do Brasil, S.A.

brasil@yingli.com

Tel: +55 (19) 3707-1605

YINGLISOLAR.COM



Anexo II – Folha de Dados do Inversor S2000 PLUS

INVERSORES ECOS		ecoSolys	
Desenvolvidos e fabricados no Brasil.			
Características Técnicas			
Dados de Entrada	Ecos 2000	Ecos 2000 plus	
Potência fotovoltaica nominal	2000 W	3300 W	
Tensão CC de partida	45 V	45 V	
Máxima tensão CC	380V*	480V	
Corrente CC máxima	10 A	10 A	
Faixa de operação MPPT	125-380V*	125-380V	
Quantidade de MPPT	1	1	
Conector CC	Tipo MC4	Tipo MC4	
Dados de Saída	Ecos 2000	Ecos 2000 plus	
Potência nominal de saída	2000 W	2000 W	
Máxima potência CA	2200 W	2200 W	
Tensão nominal de saída	220V	220V	
Corrente nominal de saída	9,0 A	9,0 A	
Frequência nominal de saída	60 Hz	60 Hz	
Eficiência	96,6%	96,6%	
THD	<0,5%	<0,5%	
Faixa de operação CA	7,5-62Hz ; 176-242Vca	7,5-62Hz ; 176-242Vca	
Fator de potência	1	1	
Conexão CA	Monofásica / bifásica	Monofásica / bifásica	
Dados Gerais	Ecos 2000	Ecos 2000 plus	
Dimensões (l x a x p)	315X345X150 mm	315X345X150 mm	
Peso Líquido	9,3 Kg	9,3 Kg	
Temperatura de operação	-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		
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 2000. Equipamentos com versão inferior possuem tensão máxima de 340 V.			
** De acordo com a norma ABNT NBR IEC 60529:2017.			