

ELIANE DA SILVA VILELA

**Estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado
à rede aplicado a consumidores residenciais.**

Eliane da Silva Vilela

**Estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado
à rede aplicado a consumidores residenciais.**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mesquita

V699e	Vilela, Eliane da Silva Estudo de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede aplicado a consumidores residenciais / Eliane da Silva Vilela – Guaratinguetá, 2019. 71 f : il. Bibliografia: f. 66-68 Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019. Orientador: Prof. Dr. Leonardo Mesquita 1. Geração de energia fotovoltaica. 2. Energia solar. 3. Energia – Fontes alternativas. I. Título. CDU 620.91
-------	---

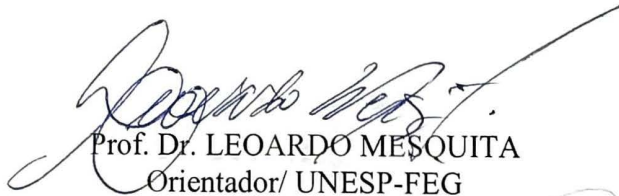
ELIANE DA SILVA VILELA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA”

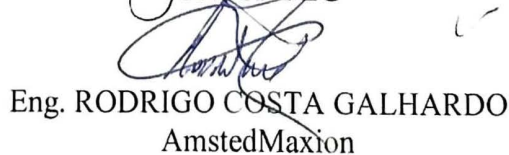
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Profa. Dra. Paloma M.S. R. Rizol
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. LEOARDO MEŠQUITA
Orientador/ UNESP-FEG


Prof. Dr. LUIZ OTAVIO MATTOS DOS REIS
UNESP-FEG


Eng. RODRIGO COSTA GALHARDO
AmstedMaxion

Dezembro – 2019

DADOS CURRICULARES

ELIANE DA SILVA VILELA

NASCIMENTO	13.03.1986 – Lorena / SP
FILIAÇÃO	José de Medeiros Vilela Fátima da Silva Leite
2010/2019	Graduação em Engenharia Elétrica UNESP - Campos Guaratinguetá

Dedico este trabalho a todos que, de alguma forma, incentivaram e auxiliaram para a concretização desta etapa, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, fonte da vida e da graça. Agradeço pela minha vida, minha família e meus amigos.

ao meu orientador, Prof. Dr. Leonardo Mesquita que me orientou com muita dedicação e empenho.

à todos os membros da banca pela disponibilidade

à minha mãe Fátima e meu falecido pai José que apesar de toda simplicidade estiveram comigo me apoiando, incentivando e me deram a oportunidade de estar realizando este trabalho.

às minhas amigas de infância Najara e Ana Paula e aos amigos que fiz durante o curso o qual sou imensamente grata por ter conhecidos em especial Reinaldo, Patrícia Galvão, Cibele e Francelly.

à minha irmã Aline que jamais deixou de me incentivar

aos funcionários da Faculdade de Engenharia do Campos de Guaratinguetá pela dedicação e alegria no atendimento.

e em especial ao meu querido namorado Washington que me suportou nos dias difíceis, e que sempre me apoiou para que eu pudesse alcançar este grande objetivo.

"Felicidade só é real quando compartilhada"

Christopher McCandless

RESUMO

Este trabalho apresenta o panorama geral dos países que são referência nos estudos voltados à energia solar fotovoltaica baseando-se na potência instalada, no avanço em pesquisas voltado à geração de energia utilizando fontes renováveis, investimento em tecnologias para geração de energia solar fotovoltaica, nas normas e incentivos aplicados no setor. Com base nestas informações serão apresentados os países com maior crescimento no número de unidades geradoras utilizando sistemas conectados à rede de distribuição (*on grid*). Além do cenário mundial este trabalho visa à apresentação do cenário nacional apresentando as normas e diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica- ANEEL, projetos de Leis, tributações, impostos, componentes utilizados nas configurações (*on-grid*) e (*off-grid*), as configurações utilizadas na implantação de um sistema fotovoltaico residencial conectado à rede de distribuição e as demais particularidades do setor. Com base nos estudos normativos esta obra também apresenta os cálculos necessários para o dimensionamento de um projeto fotovoltaico *on-grid* (conectado à rede elétrica) juntamente com as simulações no software disponibilizado pela empresa ABB. Por fim, serão apresentados os eventuais custos para a implantação do sistema, forma de financiamento e o tempo de retorno para o investimento (*payback*) de um sistema *on-grid*, residencial implantado na cidade de Guaratinguetá constatando que os consumidores com capital inicial disponível e os consumidores que necessitam de financiamento para aderir ao sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica são beneficiados pelo sistema (*on-grid*) pagando o investimento inicial antes mesmo dos componentes apresentarem a necessidade da primeira manutenção relacionada à vida útil dos componentes.

PALAVRAS-CHAVE: Incentivos. Energia solar. Fotovoltaica. Geração.

ABSTRACT

This article presents an overview of countries that are compared in studies focusing on solar powered photovoltaic energy, without furthering research on power generation using renewable sources, investing in technologies for photovoltaic solar energy generation, standards and incentives. applied in the sector. Based on this information, the countries with the largest number of generating units using systems connected to the distribution network (on the grid) will be presented. In addition to the world scenario, this article aims to present the national scenario, according to the rules and regulations of the National Electric Energy Agency - ANEEL, draft laws, taxation, taxes, components used in (within the network) and (outside from the network)) settings. , such as configurations used in the implementation of a residential photovoltaic system connected to the distribution network and other particularities of the sector. Based on the normative studies, this work also presents the necessary calculations for the sizing of a grid-connected photovoltaic project associated with software simulations not available at ABB. Finally, the reduced costs for system implementation, financing form and recovery time of a networked residential system deployed in the city of Guaratinguetá will be presented, noting that initial capital gains are available and consumers financing the financing will be available. join the network connected to the network. The PV system benefits from the on-grid system by paying or investing before the same components displayed in need of the first component life

KEYWORDS: Incentives. Solar energy. Photovoltaic. Generation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Irradiância solar ao longo de um dia	23
Figura 2 – Irradiância solar diária.....	23
Figura 3 – Total diário da irradiação direta normal- Média anual	24
Figura 4 – Matriz energética brasileira.....	26
Figura 5 – Representação do sistema interligado nacional (SIN)	27
Figura 6 – Irradiação Brasil X Alemanha.....	29
Figura 7 – Célula, módulo, painel e arranjo fotovoltaicos	32
Figura 8 – Circuito equivalente da célula fotovoltaica (modelo do diodo).....	32
Figura 9 – Curva característica I xV e P xV	35
Figura 10 – Influência da radiação e da temperatura nos módulos	36
Figura 11 – Proteção do sistema <i>on-grid</i>	39
Figura 12 – Curva característica I xV conjunto de dois módulos em série	40
Figura 13 – Curva característica I xV conjunto de dois módulos em paralelo.....	40
Figura 14 – Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	42
Figura 15 – Geração distribuída na cidade de Guaratinguetá.....	43
Figura 16 – Modalidade de geração na cidade de Guaratinguetá.....	44
Figura 17 – Classe de consumo na cidade de Guaratinguetá	44
Figura 18 – As 10 cidades com maior potência distribuída instalada (MW)	45
Figura 19 – <i>Ranking</i> das potências distribuída instalada por estado (MW) %.....	46
Figura 20 – Configuração do sistema <i>off-grid</i>	47
Figura 21 – Estrutura Principal de um sistema fotovoltaico conectado à rede (<i>on-grid</i>).....	48
Figura 22 – Número de instalações fotovoltaicas conectadas à rede por ano	50
Figura 23 – Cronograma das regulamentações.....	54
Figura 24 – Conta de energia elétrica da residência em estudo.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Países que investiram em energia solar fotovoltaica em 2018.....	19
Tabela 2 – Países com potência acumulada no setor elétrico fotovoltaico em 2018.....	20
Tabela 3 – Características das regiões do Brasil.....	25
Tabela 4 – Eficiência fotovoltaica	31
Tabela 5 – Vantagens e Desvantagens do sistema <i>off-grid</i>	47
Tabela 6 – Vantagens e Desvantagens do sistema <i>on-grid</i>	49
Tabela 7 – Resumo das etapas de acesso	55
Tabela 8 – Radiação no plano horizontal e Radiação com inclinação de 23°	57
Tabela 9 – Conta de energia elétrica da residência em estudo de caso.....	59
Tabela 10 – Especificações módulo fotovoltaico CS6K-P Células Monocristalino.....	59
Tabela 11 – Produção e Consumo de energia em kWh	61
Tabela 12 – Orçamento Sistema <i>On-grid</i>	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CMMEE	Custo Mensal Médio de Energia Elétrica
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
COFINS	Financiamento da Seguridade Social
CPF	Cadastro de Pessoa física
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
DPS	Dispositivos de proteção contra surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGTS	Fundo de Garantia de Tempo de Serviço
GES	Geração de Energia Solar
HFI	Horas de Funcionamento do Inversor
HSP	Gora de Sol Pleno
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadoria e prestação de serviços
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTU	Imposto predial e territorial urbano
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas de Energia
MPPT	Ponto de rastreamento de máxima potência
ONS	Sistema Interligado Nacional
ONU	Organização das Nações Unidas
PASEP	Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PIS	Programa de Integração Social
ProGD	Programa de Geração Distribuída
REN	Resolução Normativa
Sicredi	Sistema de Crédito Cooperativo
SIN	Sistema Interligado Nacional
TRI	Tempo de Retorno do Investimento

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampères
C	Coulomb
°C	Celsius
e	Carga do elétron
GW	Gigawatts
h.dia	Hora dia
I_d	Corrente do diodo
I_o	Corrente de saturação reversa do diodo na falta de luz
I_p	Corrente de fuga
I_{ph}	Corrente fotogerada
I_{sc}	Corrente de curto circuito
$I \times V$	Tensão por corrente
j	Taxa de juros
J/K	Joule por Kelvin
k	Constante de Boltzmann
kW	kilowatt
kWh/m ²	kilowatt por metro quadrado
kWh. mês	kilowatts hora mês
m	Fator de idealidade do diodo
m	Valor das parcelas
MW	Megawatts
MWp	Megawatts-pico
n	Número total de meses
q	Valor do financiamento
$P \times V$	Potência por tensão
R_p	Resistência paralela
R_s	Resistência série
Ta	Tempo em anos
T	Temperatura de operação da célula fotovoltaica
V	Volts
V_e	Valor da fatura elétrica descontada do valor de disponibilidade mínima
V_i	Valor total do investimento do sistema fotovoltaico
V_{oc}	Tensão de circuito aberto
W/m ²	Watt por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	MOTIVAÇÃO.....	15
1.2	OBJETIVO	16
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2	ESTUDO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO CONTEXTO MUNDIAL E BRASILEIRO.....	18
2.1	ENERGIA FOTOVOLTAICA PANORAMA MUNDIAL.....	18
2.1.1	A China no mercado mundial de energia renovável	20
2.1.2	Alemanha referência no setor de geração solar fotovoltaica.....	21
2.1.3	Potencial mundial voltado à energia solar fotovoltaica	22
2.1.4	Potencial brasileiro voltado à energia solar fotovoltaica	22
2.2	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	25
2.3	COMPARATIVO BRASIL X ALEMANHA.....	28
3	CONFIGURAÇÃO E FUNDAMENTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	30
3.1	PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	30
3.1.1	Célula Fotovoltaica	30
3.1.2	Propriedade elétrica das células solares	32
3.1.3	Curva característica da célula solar	34
3.1.4	Influência da irradiação e da temperatura nos módulos	35
3.1.5	Inversores para sistemas conectados à rede elétrica	36
3.1.6	Proteção	38
3.2	CONFIGURAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	39
3.2.1	Configuração em série.....	39
3.2.2	Configuração em paralelo.....	40
3.2.3	Configuração em série e em paralelo	41
4	ANÁLISE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE	42
4.1	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUIDOS: OFF-GRID, ON-GRID E SISTEMAS CENTRALIZADOS.....	42
4.1.1	Energia fotovoltaica distribuída.....	42
4.1.2	Sistemas <i>off-grid</i>	46
4.1.3	Sistemas <i>on-grid</i>	47
4.1.4	Sistemas centralizados	50

5	REGULAMENTAÇÕES E INCENTIVOS DO SETOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	51
5.1	REGULAMENTAÇÕES E TARIFAÇÕES	51
5.1.1	Resolução normativa nº482 da ANEEL	51
5.1.2	Resolução Normativa nº687 da ANEEL	52
5.1.3	Resolução Normativa nº786 da ANEEL	52
5.1.4	Geração distribuída nos órgãos públicos	53
5.1.5	Imposto sobre Circulação e Serviços (ICMS)	53
5.1.6	PIS/PASEP e COFINS	53
5.2	FINANCIAMENTOS	54
5.2.1	Financiamentos	54
6	DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (Payback)	57
6.1	FUNDAMENTOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PROJETO	57
6.1.1	Recurso Solar	57
6.1.2	Dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos	58
6.1.3	Dimensionamento do Inversor	60
6.1.4	Tempo de amortização do investimento	62
6.1.5	Tempo de amortização com financiamento	63
7	CONCLUSÃO	65
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A – SIMULAÇÃO ABB.....	70
	ANEXO B - DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO	71
	ANEXO C – DATASHEET INVERSOR.....	72

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas fotovoltaicos *on-grid* também conhecido como sistemas conectados à rede no decorrer dos últimos anos vem se tornando cada vez mais atraente os olhos dos consumidores que visam implantar um sistema de geração de energia nas residências, isto se deve à redução dos preços referente à compra dos painéis fotovoltaicos, melhorias nas Resoluções Normativas do setor impactando na redução das burocracias para adesão do sistema e ao aumento da conscientização ambiental da população. Este sistema funciona na conversão de radiação solar em energia elétrica e na falta de radiação solar sob os módulos fotovoltaicos a rede elétrica complementa as necessidades energéticas sem a necessidade de utilizar banco de bateria.

O Brasil apresenta grande dificuldade para aderir os sistemas de geração distribuída e principalmente o sistema de geração de energia conectado à rede de distribuição, esta dificuldade esta diretamente relacionada à falta de políticas de incentivo financeiro para adesão do sistema tornando o investimento inicial exclusivo da pessoa física que irá implantar o sistema. No entanto, nos países onde o sistema de geração distribuída é expandido existem políticas voltadas ao incentivo financeiro para subsidiar o elevado investimento inicial viabilizando e disseminando a tecnologia fotovoltaica. Com a contribuição governamental voltado á adesão do sistema de geração de energia utilizando módulos fotovoltaicos aumenta consideravelmente a viabilidade de adesão do sistema *on-grid* nas residências devido à diminuição do investimento inicial que o consumidor terá que disponibilizar para adesão e, portanto o retorno do investimento será em um menor intervalo de tempo.

Comparando o Brasil com os países que estão entre o grupo de países de referencia no setor de energia solar observamos que o setor fotovoltaico brasileiro apresenta grandes dificuldades na disseminação do setor de geração de energia através da radiação solar, porem grandes avanços foram observados a partir do ano de 2012 com a implementação da Resolução Normativa nº482 da ANEEL, esta resolução permitiu ao consumidor gerar sua própria energia elétrica tornando-se um marco nacional e consequentemente incentivando a implantação de sistemas de geração de energia conectados à rede elétrica.

1.1 MOTIVAÇÃO DO TRABALHO.

Quando observamos o crescimento econômico e avanço na economia associamos este fenômeno com o aumento da poluição, no entanto nos últimos anos houve uma grande

preocupação na redução dos gases poluentes e na preservação do meio ambiente utilizando fontes de energia limpa, com o intuito de diminuir a emissão de monóxido de carbono na atmosfera, incentivar a utilização de fontes de energia renováveis e a adesão de projetos voltados à sustentabilidade. Neste cenário o Brasil tornou-se um país de destaque e com grande potencial de desenvolvimento na utilização de geração de energia solar fotovoltaica visto que o país apresenta excelentes condições de incidência solar devido à sua localização privilegiada.

Nos últimos anos a legislação brasileira vem evoluindo abordando Leis sobre energia solar, portanto a geração distribuída no Brasil esta respaldada pela legislação conforme a Resolução Normativa nº482/2012 atualizada posteriormente pela Resolução Normativa nº786/2017 que permite ao consumidor gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e inclusive fornecer o excedente para a concessionária de energia elétrica local. Em 17 de Maio de 2018 o setor de energia solar fotovoltaica apresentou novas conquistas onde a Associação de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, *s.d.*) informou que todo país aderiu ao convênio que autoriza os governos estaduais a isentar a cobrança de ICMS sobre a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis, favorecendo o investimento em geração solar fotovoltaica.

Alem da evolução regulamentatória, em 2018 a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), apresentou os dados onde a micro e mini geração distribuída atingiu 359,1Gwh de geração, destacando-se o meio fotovoltaico que apresentou 165,8GWh de geração, estes dados relatam o cenário favorável de energia solar fotovoltaica no País.

1.2 OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar as características gerais do cenário mundial e as características específicas da cidade de Guaratinguetá voltado ao estudo de energia solar fotovoltaica, conhecer as normas, diretrizes, legislação nacional e os incentivos governamentais no setor de energia solar fotovoltaica com ênfase nos sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede elétrica. Com o intuito de conhecer melhor os componentes necessários para implantar um sistema de geração solar fotovoltaico em uma residência será realizado uma descrição de cada componente do projeto e o dimensionamento para adesão do sistema, por fim este trabalho tem o intuito de estudar a viabilidade econômica ao implantar um sistema conectado à rede de distribuição elétrica abordando simulação.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho esta subdividido em sete capítulos descritos a seguir:

O Capitulo 1 traz uma introdução ao tema proposto, motivação e objetivos.

O Capitulo 2 é realizado o estudo do sistema solar fotovoltaico no contexto mundial e brasileiro.

O Capitulo 3 mostra as configurações e fundamentos do sistema fotovoltaico.

O Capitulo 4 apresenta a análise do sistema fotovoltaico conectado à rede.

O Capitulo 5 aborda as regulamentações e incentivos do setor de energia solar fotovoltaica.

O Capitulo 6 expõe o dimensionamento e a avaliação econômica do sistema fotovoltaico.

O Capitulo 7 por fim apresenta a conclusão do trabalho.

2 ESTUDO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO NO CONTEXTO MUNDIAL E BRASILEIRO

2.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA PANORAMA MUNDIAL

Em 1839 o físico francês Edmond Becquerel foi a primeira vez em que o efeito fotovoltaico foi observado, Edmond conseguiu observar este fenômeno ao realizar suas experiências verificou que certos materiais produziam pequena quantidade de corrente elétrica quando expostos à luz, no entanto o primeiro dispositivo fotovoltaico foi produzido somente 37 anos após e de forma industrial somente em 1956 devido à “corrida espacial” (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2012).

Nos anos setenta grandes mudanças ocorreram no cenário de geração de energia, aconteceu grande interesse por métodos alternativos de geração de energia. Essas mudanças aconteceram devido à crise do petróleo que ocorria naquela época, posteriormente outros fenômenos vieram a impulsionar a geração renovável de energia como as mudanças climáticas, aumento da poluição e degradação do meio ambiente, estes fatores impulsionaram o setor de geração eficiente de energia. (VASCONCELLOS; LIMBERGER, 2012).

Ao longo dos anos a energia solar tornou-se expressiva no mercado mundial, pois é uma fonte de energia inesgotável, limpa e de implementação simples quando comparado com as demais fontes de energia.

Outro fator importante ao aderir a geração de energia solar é o fato de ser uma fonte de energia abundante mesmo no hemisfério norte onde se localiza os países não tropicais. A tecnologia para obter energia elétrica através da radiação solar é simples e apresenta baixo custo de manutenção, porém necessita-se de um investimento inicial alto, devido a este fator a disseminação e crescimento dos sistemas fotovoltaicos necessitam de apoio e decisões políticas para obter resultados favoráveis. As decisões políticas proporcionam respaldo regulatório e favorece as iniciativas de crédito na implantação do sistema, a Alemanha é um dos países considerado referência em instalação de painéis fotovoltaicos devido à facilidade de créditos na adesão dos painéis.

A *International Energy Agency* (IEA, 2011) apresentou um estudo abordando o panorama energético em 2030, onde mostra que o uso de energia elétrica proveniente de fontes renováveis de forma estimada chegará a 49% em 2030, destacando a energia solar fotovoltaica. Estes dados foram baseados observando o comportamento e desenvolvimento de

alguns países na área de geração de energia renovável e geração de energia solar fotovoltaica ao longo das últimas décadas.

Até meados de 2012 a Europa era a região de excelência no ramo de geração de energia através de fontes renovável sendo um dos mais sofisticados mercados no desenvolvimento e aplicação de energia solar, porém, nos últimos anos a Europa perdeu relevância dentro do cenário mundial, este fenômeno se deve a grande e rápida expansão do mercado asiático, sendo destaque a China.

Com a expansão do mercado de geração de energia fotovoltaica, alguns países estão visando investir adotando estratégias de alta tecnologia no setor. Na tabela 1 estão os dez países que ao longo do ano de 2018 apresentaram maior crescimento no setor fotovoltaico, esta tabela considera a geração distribuída (fonte geradora de energia que está próxima ou no local de consumo) e usinas geradoras(sistema fotovoltaico de larga escala).

A China como nos anos anteriores encontra-se no topo dos países que adotaram maior investimento no setor de geração de energia fotovoltaica, a Índia encontra-se na segunda posição possuindo apenas 24% da potência total da China.

Tabela 1: Países que investiram em energia solar fotovoltaica em 2018.

1°	China	45 GW
2°	Índia	10,8 GW
3°	USA	10,6 GW
4°	Japão	6,5 GW
5°	Austrália	3,8 GW
6°	Alemanha	3,0 GW
7°	México	2,7 GW
8°	Coréia do Sul	2,0 GW
9°	Turquia	1,6 GW
10°	Holanda	1,3 GW

Fonte: Absolar (2019).

A China apresenta grandes usinas geradoras de energia solar fotovoltaica, isto impulsiona o crescimento do país. Analisando os países que apresentam maior capacidade de geração instalada ao longo dos anos, a China encontra-se em 1° lugar, os Estados Unidos encontra-se na segunda posição com capacidade acumulada de 35,32 % em comparação com a China e a Alemanha que por muitos anos foi o país com maior potência acumulada atualmente apresenta 25,78% da potência gerada da China.

Tabela 2: Países com potência acumulada no setor elétrico fotovoltaico em 2018.

	China	176,1 GW
2°	USA	62,2 GW
3°	Japão	56,0 GW
4°	Alemanha	45,4 GW
5°	Índia	32,9 GW
6°	Itália	20,1 GW
7°	Reino Unido	13,0 GW
8°	Austrália	11,3 GW
9°	França	9,0 GW
10°	Coréia do Sul	7,9 GW

Fonte: Absolar (2019).

De acordo com a Associação Brasileira de Energia Solar (Absolar), a potência solar fotovoltaica instalada no Brasil referente a geração centralizada é de 2,26 GW e a potência distribuída é de 1,49GW totalizando 3,75GW, apesar de todos os investimentos que o Brasil vem fazendo no setor, o país apresenta uma capacidade de produção muito baixa (menos de 2% em comparação com o país da primeira posição).

2.1.1 A China no mercado internacional de energia renovável.

De acordo com *International Energy Agency* (IEA,2011), a China ao longo dos últimos anos é mundialmente reconhecido como um país que apresenta grande emissão de gás poluente principalmente emissão de CO₂, estando no ranking dos países com maior emissão de gases causadores do efeito estufa do mundo.

Atualmente o China é líder em investimento em energias renováveis, inclusive de energia fotovoltaica como verificado nas tabelas 1 e 2, mostrando seu grande potencial na implantação e tecnologias limpas.

Ainda de acordo com *International Energy Agency* (IEA, 2011), financeiramente o governo da China fez um orçamento de investimento inicial de implantação das chamadas renováveis modernas, que inclui energia eólica, solar fotovoltaica, biomassa e geotérmica. Este investimento geraria um impacto significativo na saúde devido à diminuição dos custos públicos com saúde. A China apresenta um grande problema de saúde pública voltado a problemas respiratórios causados pela emissão de carbono e despoluição ambiental.

Existe um confronto entre os acordos políticos internacionais e o avanço nos investimentos de geração de energia limpa. Os acordos políticos internacionais podem elevar

os investimentos no setor energético voltado as fontes renováveis de energia, porem muitos países acreditam que diminuir a emissão de poluentes está diretamente vinculado ao retrocesso da economia, por esse motivo acordos internacionais dificilmente são firmados, porem estudos mostram que o panorama tende a mudar para os próximos anos.

A China torna-se o país mais atrativo para investimento internacional no setor de energia renovável em 2014 e atualmente, cinco anos após este marco ainda é considerado o país de maior atratividade para investimentos internacionais em energia renovável. Dando inicio ao fenômeno chamado de “a ascensão do dragão” onde o governo chinês apresenta a abertura do mercado de energia para investimentos na área de geração de energia eólica, geração maremotriz (a partir da força das marés) e solar distribuída (VIALLI, 2015).

2.1.2 Alemanha referência no setor de geração solar fotovoltaica

Na Europa estão os países pioneiros na utilização de sistema de energia solar fotovoltaica, para chegar neste resultado foi necessário adotar políticas publicas de incentivo voltado à implantação de sistemas fotovoltaica, criando incentivos fiscais e financeiros para os consumidores interessados em instalar um sistema fotovoltaico sem sua propriedade. Os incentivos adotados são: diminuir os impostos e isentar o consumidor das taxas de juros sobre financiamento e empréstimos voltados para implantação do sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição. Além dos incentivos citados, as propriedades podem ter certificação com selos verdes esta medida é muito valorizada na Europa.

O interesse pelo mercado de energia solar ocorreu na Europa devido à crise do petróleo, nesse período a Alemanha abriu seu mercado para os recursos da energia solar. Desde então se investe em desenvolvimento e aperfeiçoamento no setor de geração de energia solar fotovoltaica, porem o expressivo crescimento no setor das fontes renováveis ocorreu na década de 1990.

A Alemanha até o ano de 2014 era líder mundial referente a capacidade de geração fotovoltaica instalada, em 2015 foi ultrapassada pela China. Porem, a Alemanha é conhecida pelo expressivo desenvolvimento em aproveitamento da energia solar fotovoltaica (NASCIMENTO, 2017).

De acordo com *International Energy Agency* (IEA,2011), nos últimos anos houve considerável redução dos incentivos relacionados às energias renováveis na Alemanha, incluindo a energia solar fotovoltaica impactando negativamente na expansão na geração de energia solar fotovoltaica no país.

2.1.3 Potencial mundial voltado à energia solar fotovoltaica

Analisando os aspectos naturais a Austrália apresenta o maior índice de radiação solar por metro quadrado no contexto mundial, portanto o país apresenta o melhor recurso solar para uso da energia solar fotovoltaica. Monitoramentos apontam uma radiação solar entre 4 KWh/m² e 6 KWh/m² diariamente, este índice relatado é relativamente alto. Portanto, evidencia o grande potencial mundial voltado à energia solar fotovoltaica.

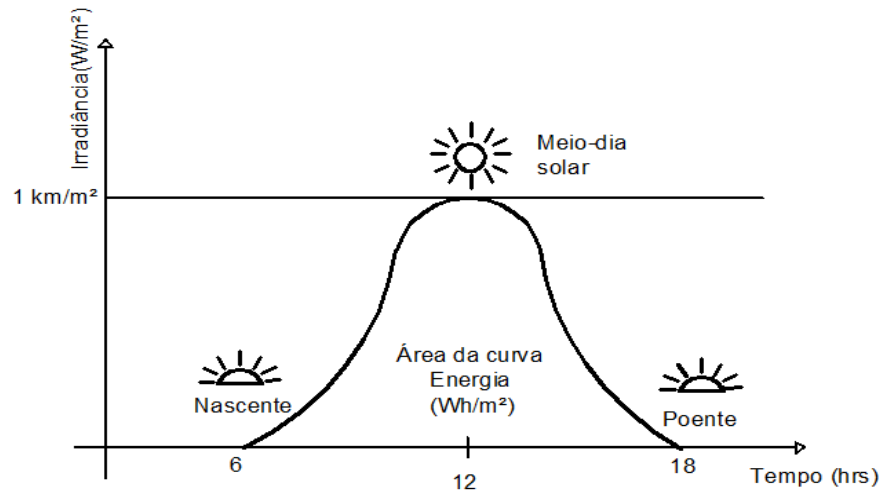
2.1.4 Potencial brasileiro voltado à energia solar fotovoltaica

O Sol é fundamental para o sucesso do setor elétrico fotovoltaico. Este emite energia em forma de radiação solar, sendo a principal fonte de energia do planeta. Para a Terra receber a energia solar ocorre transferência de energia da parte interna para a superfície do Sol, este fenômeno é realizado basicamente por radiação eletromagnética. Em seguida, essa radiação é absorvida e reemitida por átomos e gases existentes na camada mais externa do Sol.

Aproximando-se da superfície terrestre os gases frios sofrem movimentos descendentes e os gases quentes sofrem expansão. E finalmente, ao atingir a superfície da Terra ocorre novamente o transporte de energia realizado por meio de radiação eletromagnética.

Nos estudos relacionados à geração de energia solar fotovoltaica utiliza-se o termo “radiação solar” sendo o conceito de transmitir radiação através do espaço e uma grandeza utilizada para quantificar a radiação solar é chamada de irradiação solar, expressa em termos de potência por unidade de área, na unidade W/m²(watt por metro quadrado) descrevendo a magnitude de radiação que atinge a Terra.

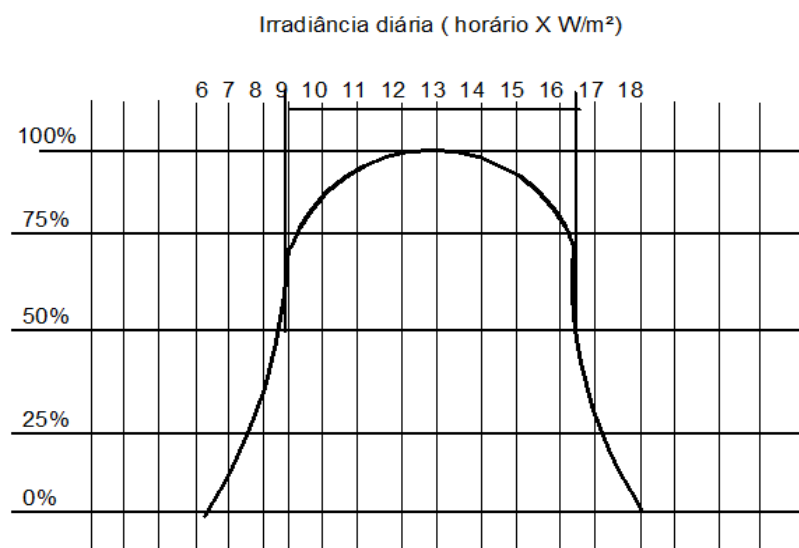
Figura 1: Irradiância solar ao longo de um dia



Fonte: Adaptado de Villalva;Gazoli (2012).

Analisando a Figura 1 podemos observar o comportamento da irradiação (W/m^2) ao longo do dia. Adotando o nascer do sol as 6:00 hrs e o por do sol as 18hrs, temos 12 horas reais de insolação para aproveitamento dos módulos solares, sendo considerado pela maioria das literaturas o horário de pico entre as 9:00hrs e 16:00 hrs conforme Figura 2. Essas informações são apresentadas de forma geral, devido à extensão do território nacional, podendo haver variações em relação ao comportamento do sol para as diversas regiões do país.

Figura 2: Irradiância solar diária

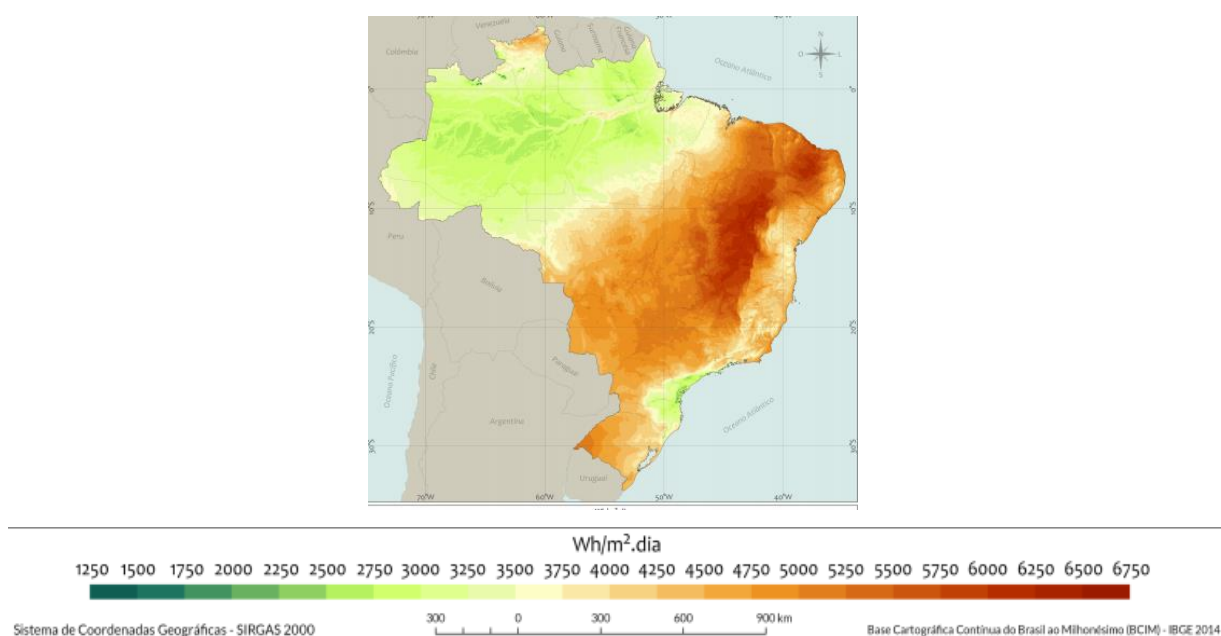


Fonte: Adaptado de ABB (2018).

A irradiação solar no Brasil apresenta níveis elevados com baixas variações mensais. A região Nordeste apresenta maior potencial energético, a região Sul apresenta características similares às apresentadas na Europa e a região Norte devido à nebulosidade frequente tem uma radiação solar incidente na superfície reduzida (PEREIRA *et. al.*, 2006).

Os estados que possuem maiores índices de irradiação são: São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Paraíba, Piauí, Tocantins, Ceará, Rio Grande do Norte e Bahia, conforme figura 3 abaixo:

Figura 3: Total diário da irradiação direta normal- Média anual



Fonte: Pereira *et al.* (2006).

Os fatores climáticos tem grande influência no desempenho da geração de energia solar, entre os fatores que podem influenciar o desempenho estão às altas temperaturas, incidência de chuvas e nebulosidade. Considerando-se a grande variedade climática do país devido a sua extensão foi criada a Tabela 3 para nos familiarizarmos com os aspectos distintos de cada região.

Tabela 3: Características das regiões do Brasil

Regiões	Características
Nordeste	A região Nordeste apresenta índice de irradiação solar elevado, sendo a região com maior índice de irradiação no Brasil, porem apresenta temperaturas muito altas ocasionando diminuição da eficiência das células fotovoltaica.
Norte	A região Norte também apresenta uma irradiação elevada, porem por ser uma região muito próxima da floresta Amazônica esta região apresenta elevada umidade. E a umidade é prejudicial aos módulos fotovoltaicos.
Irradiação e Centro-oeste	Ideal para implantação do sistema fotovoltaico.
Sudeste	A região sudeste apresenta grande índice de chuva no verão acarretando em nebulosidade, este fenômeno influencia negativamente o sistema de geração de energia através do sistema fotovoltaico.
Sul	O clima é favorável para geração de energia utilizando recurso solar, porem é a região com menor índice de ir radiação comparado as demais regiões do país.

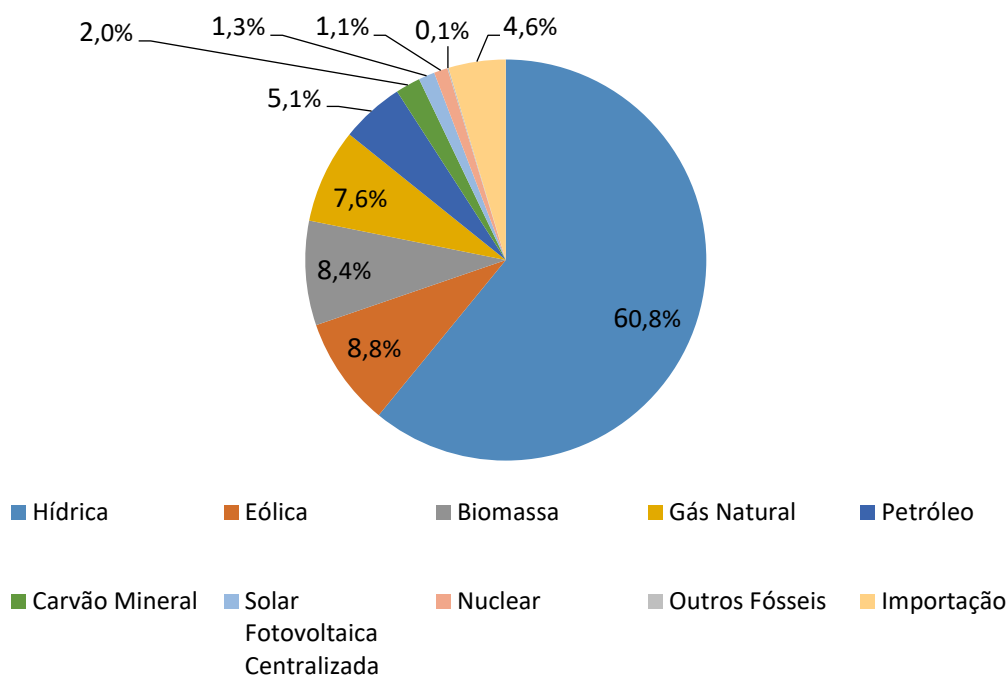
Fontes: Adaptado de Mattos (2016); Pereira *et. al.* (2006).

No cenário internacional o Brasil é visto como um país de grande potencial em voltado à energia solar fotovoltaica incluindo o sistema conectado à rede elétrica (*on-grid*), devido ao índice de irradiação favorável à aplicação da geração de energia solar e a proximidade com a rede de distribuição nacional. Além de verificarmos as condições climáticas favoráveis o Brasil apresenta grandes reservas de quartzo de qualidade, contribuindo para fabricação de células e módulos fotovoltaicos.

2.2 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

No cenário brasileiro apresenta uma matriz energética na qual a fonte hídrica corresponde por aproximadamente 60,8% da produção de energia elétrica equivalente à 107.077MW e a energia solar centralizada corresponde por aproximadamente 1,3% de produção de energia sendo produzido 2.269MW (ANEEL,2019), conforme apresentado na Figura 4:

Figura 4: Matriz energética brasileira.



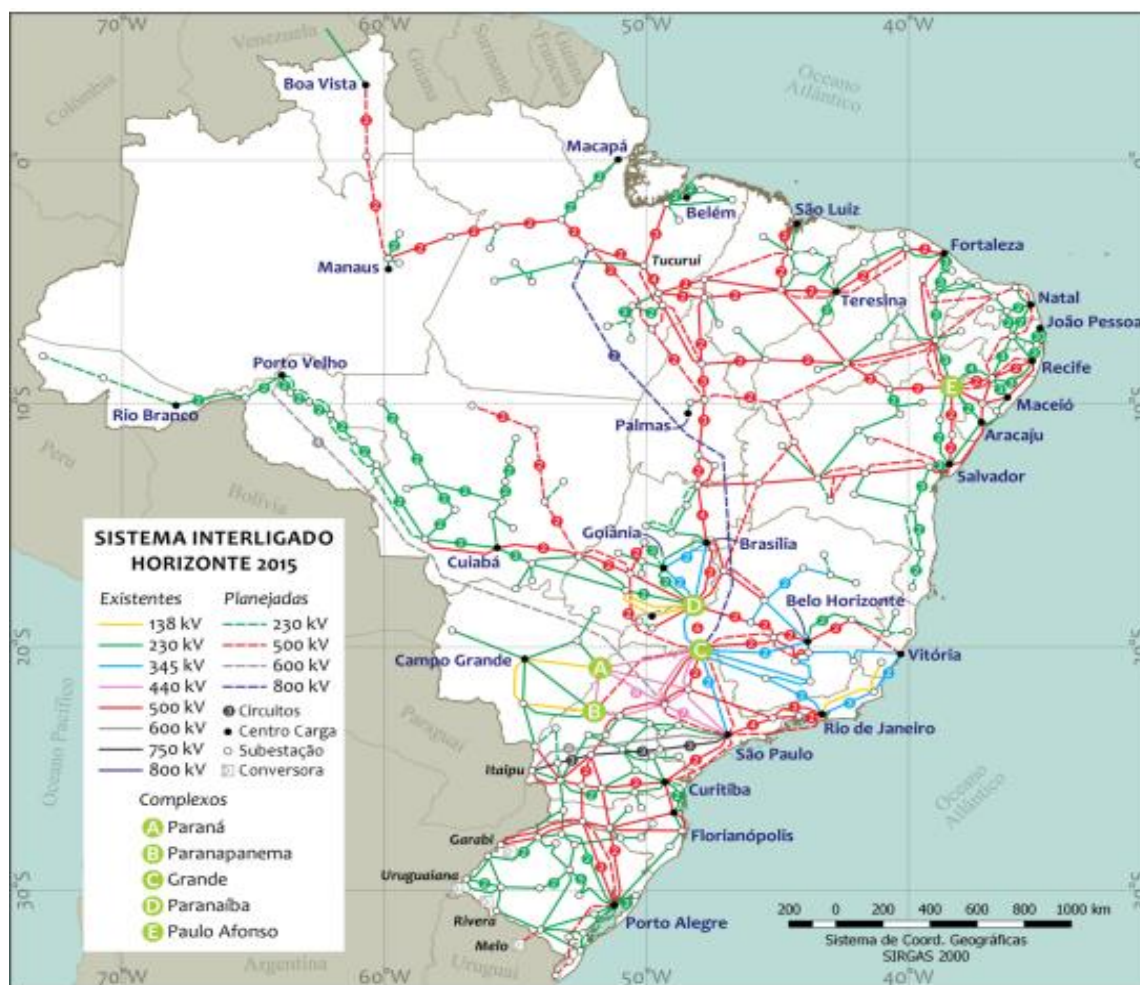
Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

O relevo brasileiro beneficia o sistema de geração de energia através de hidrelétricas, portanto verificamos que o grande potencial energético do país é o sistema hídrico apresentando 60,8% do total da matriz energética brasileira favorecendo a implantação de usinas hidrelétricas, no entanto, para a construção de uma hidrelétrica é necessário desmatamento e destruição da fauna acarretando um grande impacto ambiental.

Observa-se que a energia é gerada nas diversas usinas como citado acima e em seguida esta energia desloca-se para as distribuidoras, este é o processo chamado de transmissão. E por ultimo as distribuidoras realizam o transporte da energia elétrica até os consumidores, para que este processo ocorra de maneira eficiente o Brasil organizou uma grande infraestrutura de transmissão e conexão visando superar as grandes distâncias e interligar todas as usinas geradoras de energia elétricas espalhadas pelo país até as unidades consumidoras.

Atualmente, o sistema elétrico nacional (SIN) encontra-se quase todo conectado.

Figura 5: Representação do sistema interligado nacional (SIN)



Fonte: INPE (2017).

Para garantir que todas as etapas ocorram de maneira segura e eficiente é de extrema importância o planejamento energético como o intuito de verificar o impacto econômico e o impacto causado ao meio ambiente. A maneira ideal de gerar energia é a que apresenta menor agressão ao meio ambiental e maior abundância no país. Estes fatores contribuem para aumentar o interesse pela geração de energia através de células fotovoltaicas, visto que, o setor de energia solar fotovoltaico não é considerado agressivo ao meio ambiente em relação as outras fontes de geração e o Sol é um fonte de energia inesgotável.

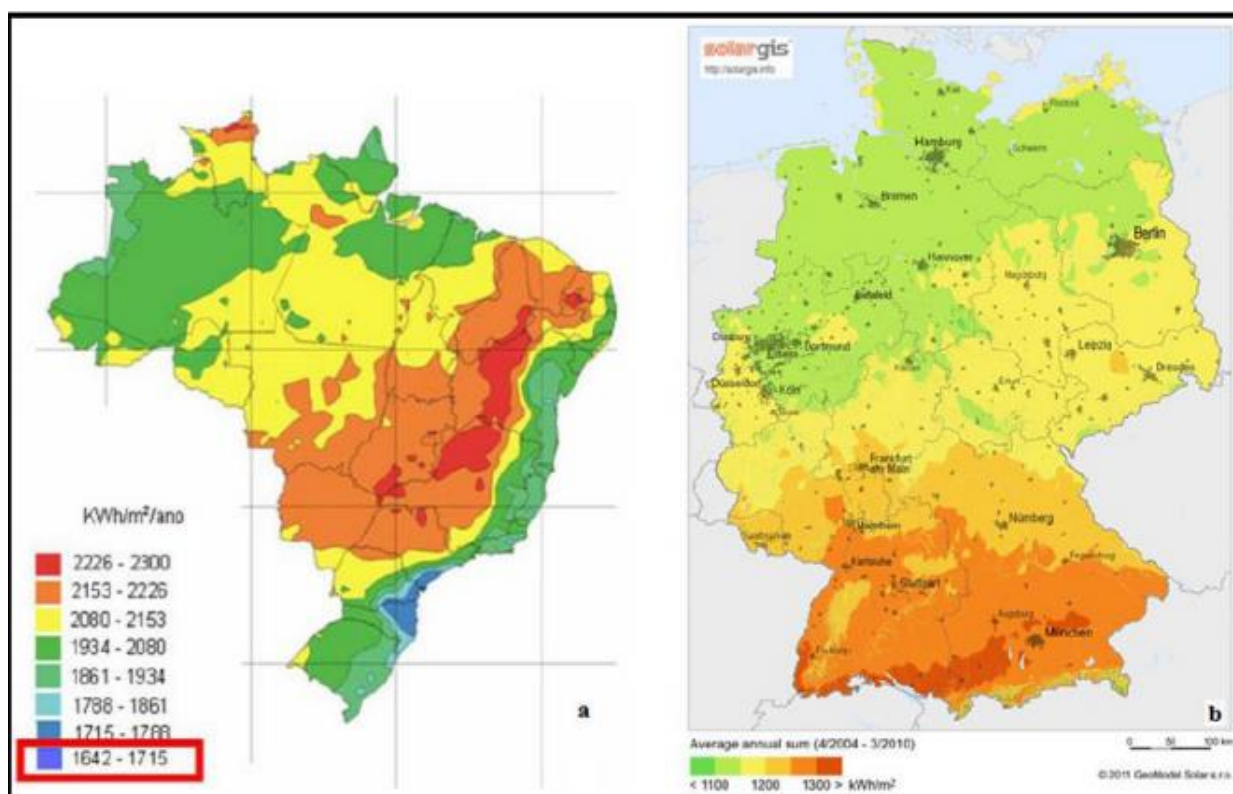
Para o país é interessante a diversidade de fontes geradoras de energia que estrutura o setor são os compromissos internacionais apresentados. O Brasil durante a reunião na ONU em setembro de 2016 propôs alcançar 45% de participações de fontes renováveis de energia e reduzir em 43% o índice de emissão de gases causadores do efeito estufa até o ano de 2030 com base nos dados de emissão referente ao ano de 2005 (MMA, 2016).

2.3 COMPARATIVO BRASIL x ALEMANHA

O fator que favorece a utilização de energia solar fotovoltaica é a posição geográfica privilegiada do Brasil em relação à irradiação solar.. Na figura 6 iremos realizar uma comparação entre os índices de radiação no Brasil e Alemanha, apesar da Alemanha não ter um índice de radiação solar bom é uma das potências no uso e desenvolvendo de tecnologias referentes ao uso de células fotovoltaicas para geração de energia.

Verifica-se ainda na Figura 6 que a região com menor radiação no Brasil está acima da região com maior incidência de radiação da Alemanha, na região Sul os índices de radiação são em média de 1642 kwh/m² a 1715kwh/m² enquanto que na Alemanha a radiação solar é aproximadamente 1300kwh/m² nas regiões de maior incidência situadas ao Sul do país.

Figura 6: Irradiação Brasil X Alemanha



Fontes: Cabral; Torres; Senna (2013).

A Alemanha não apresenta potencial de radiação elevado, mas é referência em sistema solar fotovoltaico este sucesso está relacionado com incentivos governamentais que iremos aprofundar mais à frente.

O Brasil do ponto de vista de recursos naturais é promissor na geração de energia fotovoltaica, analisando o setor industrial ainda é carente na fabricação de painéis fotovoltaicos o que eleva os custos para a implantação do sistema inicial tornando o país menos competitivo. Além destes fatores outra variável muito importante para o sucesso da geração de energia fotovoltaica são as políticas de incentivo eficiente, onde a Alemanha tem apresentado grande sucesso adotando acordos governamentais e subsídios com foco em energia renováveis e eficiência energética.

3 CONFIGURAÇÃO E FUNDAMENTOS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO.

3.1 PRINCIPAIS COMPONENTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

3.1.1 Célula Fotovoltaica

A configuração do sistema de geração de energia através de sistemas fotovoltaicos é embasada na geração de energia elétrica utilizando células fotovoltaicas, essas células têm em sua estrutura materiais semicondutores, com o intuito de capturar a irradiação solar e converter em energia elétrica do tipo corrente contínua. Existem vários fatores positivos para incentivar esse sistema: baixo impacto ambiental em relação à outras fontes de geração de energia, aproveitamento de recurso renovável e baixa poluição sonora na geração de energia.

O componente elementar do sistema de geração de energia fotovoltaica é o módulo fotovoltaico, sendo formado por células fotovoltaicas onde ocorre a conversão de radiação solar em energia elétrica. A estrutura geral da célula fotovoltaica é a composição de duas camadas de material semicondutor P e N e uma grade de coletores metálicos na base inferior e superior.

Detalhando o módulo fotovoltaico a estrutura praticamente é composta por: moldura de alumínio, vidro especial, encapsulante, células fotovoltaicas, encapsulante, *backsheet* (protetor da parte interna do painel contra efeitos ambientais principalmente umidade) e caixa de junção.

Os modos de fabricação dos módulos fotovoltaicos são formados, em sua maioria, por silício monocristalino ou silício policristalino, porém existem várias opções disponíveis no mercado. A Tabela 4 apresenta um panorama geral dos componentes adotados na fabricação dos módulos através de uma análise geral do mercado.

Para entender o conceito da eficiência energética de um painel solar utiliza-se a variável conhecida como Eficiência da célula, este fator representa basicamente a porcentagem de energia solar que o painel fotovoltaico converte em energia solar por metro quadrado (m^2), ou seja, se um painel apresentar eficiência de 16%, por exemplo, isso significa que o painel converte 16% da energia que incide sobre o painel, por m^2 , em energia elétrica.

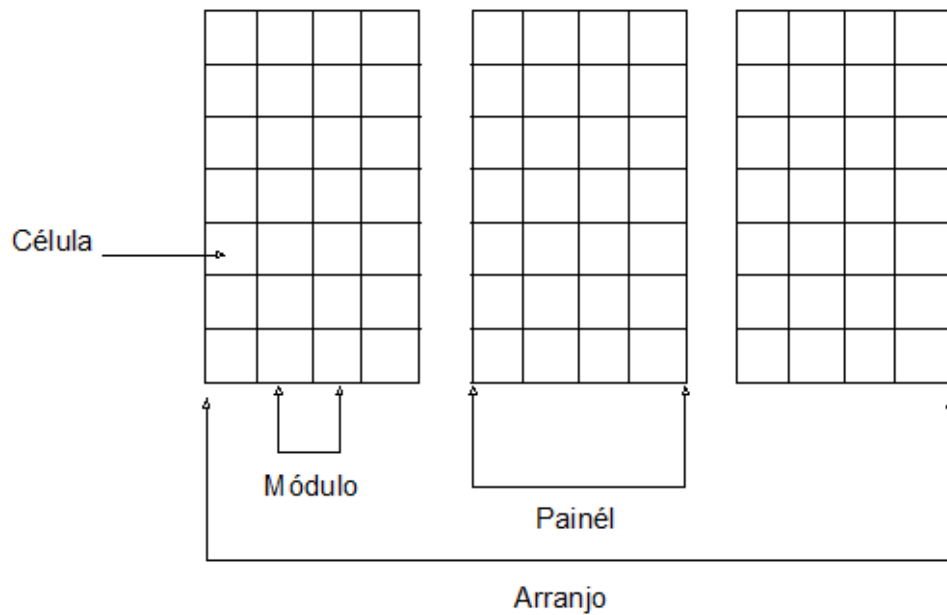
Tabela 4: Eficiência fotovoltaica

Material da célula solar	Eficiência da Célula Kz (Laboratório)	Eficiência da Célula Kz (Produção)	Eficiência da Célula KM (Produção em Série)
Silício Monocristalino	24,7%	18%	14%
Silício Monocristalino	19,8%	15%	13%
Células de silício policristalino EFG	19,7%	14%	13%
Silício cristalino de película fina	19,2%	9,5%	7,9%
Silício amorfo	13%	10,5%	7,5%
Silício micromorfo	12%	10,7%	9,1%
Célula solar híbrida HCI	20,1%	17,3%	15,2%
CIS, CIGS	18,8%	14%	10%
Telurieto de Cádmio	16,4%	10%	9%
Semicondutor III-V	35,8% (série de produção limitada)	27,4%	27%
Célula sensibilizada com colorante	12,0%	7%	5%

Fonte: Portal Energia (2004).

Atualmente os módulos fotovoltaicos cristalinos tem vida útil aproximada de 25 anos. Para entender melhor o sistema fotovoltaico é importante deixar claro os conceitos de célula, módulo, painel e arranjo fotovoltaicos, estes conceitos estão evidenciados na Figura 7.

Figura 7: Célula, módulo, painel e arranjo fotovoltaicos

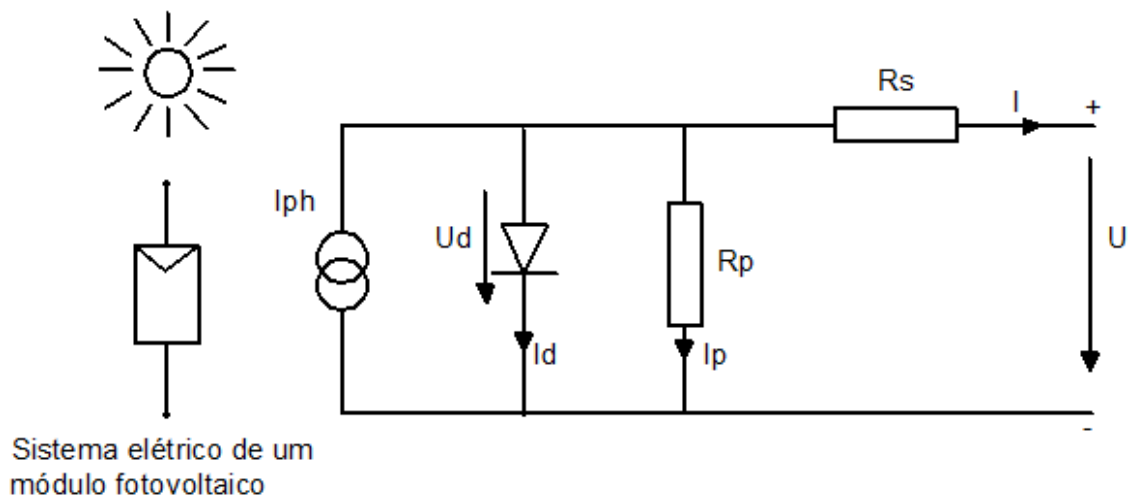


Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.2 Propriedade elétrica das células solares.

A junção P-N do semicondutor presente na célula fotovoltaica pode ser representado como um diodo. Portanto, o modelo de circuito elétrico equivalente das células solar mais aceito é conhecido como modelo do diodo (TAVARES, 2009).

Figura 8: Circuito equivalente da célula fotovoltaica (modelo do diodo).



Fonte: Adaptado de Portal Energia (2004).

Analisando este modelo temos: a corrente (I_{ph}) representando a corrente fotogerada, (I_d) corrente do diodo, (I_p) corrente de fuga, (R_p) a resistência paralela, (R_s) resistência série onde representa a resistência interna ao fluxo de corrente gerado e depende da espessura da junção P-N, o diodo representa a ligação dos semicondutores das células, (U) a tensão e (I) representa a corrente de saída da célula.

Aplicando a Lei de Kirchoff temos a Equação 1:

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad \text{Equação (1)}$$

Aplicando análise de circuitos temos que a corrente de fuga (I_p) é encontrada a partir da equação 2:

$$I_p = \frac{V + I * R_s}{R_p} \quad \text{Equação (2)}$$

Temos que a corrente do diodo (I_d) é calculada através da Equação (3) (ZILLES *et al.*, 2012).

$$I_d = I_o * \left[e^{\left(\frac{e * V}{m * k * T_c} \right)} - 1 \right] \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

I_o : representa a corrente de saturação reversa do diodo na falta de luz (A);

V : representa a tensão aplicada nos terminais do diodo (V);

e : é a carga do elétron (C);

m : representa o fator de idealidade do diodo, sendo um valor entre 1 e 2 para silício monocristalino;

k : é uma constante, conhecida como constante de Boltzmann (J/K);

T_c : representa a temperatura de operação da célula fotovoltaica(°C).

Conhecendo de forma geral a estrutura da célula fotovoltaica concluímos que uma célula fotovoltaica apresenta um fornecimento de tensão de aproximadamente 0,6V. Comercialmente é comum encontrar módulos que apresentam 36, 54,60 ou 72 células (VILLALVA; GAZOLI,2012).

A corrente elétrica gerada nas células fotovoltaicas esta diretamente relacionada à área, pois a corrente elétrica está diretamente relacionada com a quantidade de irradiação solar inserida na célula fotovoltaica. De modo geral, os módulos cristalinos comerciais apresentam aproximadamente 8A de corrente elétrica (VILLALVA; GAZOLI,2012).

3.1.3 Curva característica da célula solar

Um fator muito importante no estudo da geração de energia fotovoltaica conectada a rede é conhecer o funcionamento da Curva Característica Corrente e Tensão (I_xV) de um módulo fotovoltaico, pois esta curva apresenta informações importante sobre o sistema. Os valores de corrente e tensão podem ser representados graficamente e pelas características dos módulos fotovoltaicos temos que a tensão de saída nos terminais não é constante. Observamos ainda que a tensão elétrica é relacionada à corrente, portanto podemos dizer também que a corrente é relacionada a tensão elétrica.

Analisando a tensão de saída temos 2 situações(VILLALVA,GAZOLI,2012):

1. Se conectarmos um equipamento que demanda corrente elevada, a tensão de saída do módulo tende a diminuir;
2. Se conectarmos um equipamento que demanda pouca corrente, a tensão de saída do módulo tende a aumentar, ou seja, tende para a tensão de circuito-aberto.

Sob a condição de curto circuito temos a corrente no ponto (I_{sc}), enquanto que, na condição de circuito aberto temos a tensão (V_{oc}).

Na Figura 9 temos a curva em azul escuro que representa a curva característica $I-V$ de corrente e tensão de um módulo fotovoltaico, destacando a presença de dois pontos importantes: ponto de corrente de curto-circuito e o ponto de tensão de circuito-aberto

Quando colocamos em curto-circuito os terminais de saída do módulo ocorre a corrente de curto-circuito, onde não apresenta tensão elétrica e a corrente elétrica atinge o valor máximo.

Quando não temos nada ligado na saída do módulo, ou seja, terminais abertos. Se realizarmos a medição da tensão na saída do módulo teremos a tensão de circuito-aberto sendo esta a máxima tensão que o módulo pode atingir.

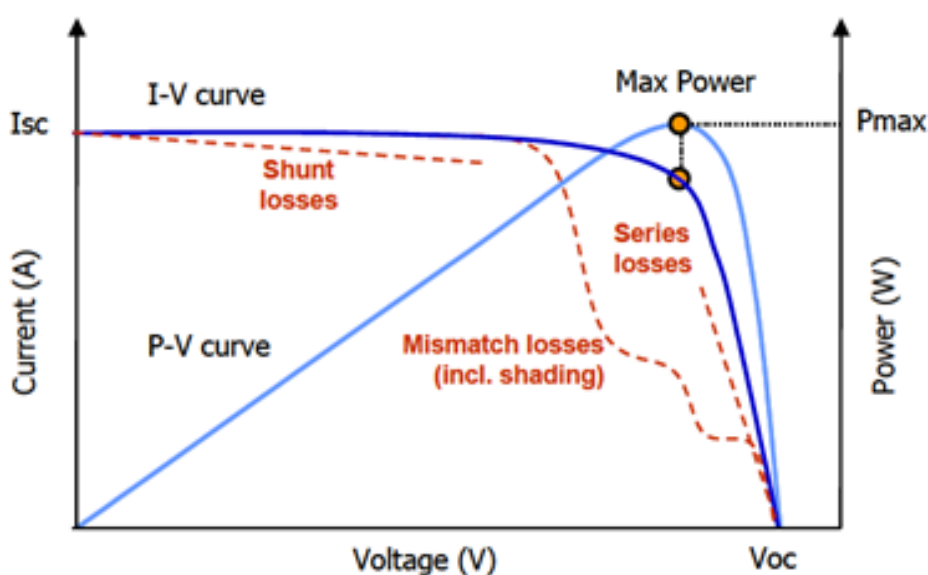
A curva de potência é construída a partir da multiplicação entre a corrente e tensão do gráfico corrente e tensão (I_xV), dando origem ao gráfico de potência do painel fotovoltaico e o ponto representado pela cor laranja caracterizando o ponto de máxima potência. Analisando a curva de Potência e Tensão de um módulo fotovoltaico (P_xV) representado na Figura 9 pela

cor azul claro, esta curva mostra como a potência do módulo varia em relação a tensão de saída do módulo fotovoltaico.

O ponto de máxima potência (*Max Power*) identificado na Figura 9 é constantemente rastreado através do rastreador de ponto máximo visando otimizar a geração de energia de acordo com as alterações climáticas, este ponto apresenta a tensão e corrente de ponto máximo (V_{mp} e I_{mp}). Estes valores de tensão e corrente caracteriza o painel fotovoltaico e são utilizados para calculo como padrão de operação nominal.

Ainda na Figura 9 ocorre a representação das perdas por sombreamento (*Mismatch losses (incl. Shading)*) este efeito influencia nos parâmetros de corrente e potência do sistema fotovoltaico, interferindo nos algoritmos do ponto de máxima potência do painel solar.

Figura 9: Curva característica I x V e P x V



Fonte: ABB (2018).

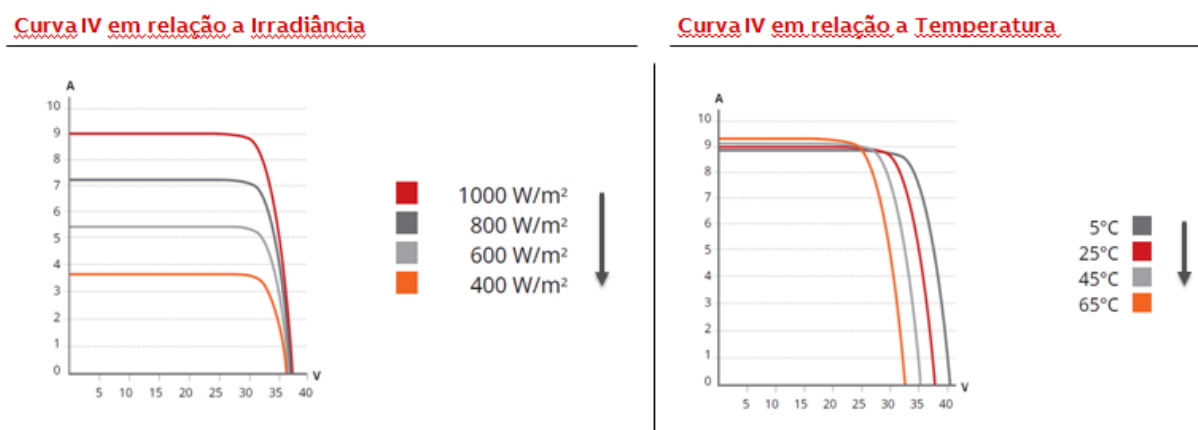
3.1.4 Influência da irradiação e da temperatura nos módulos.

Dois fatores importantes no comportamento e aproveitamento dos módulos fotovoltaico são a irradiação e a temperatura absorvida por eles, para entendermos como a irradiação interfere analisa-se a curva de tensão pela corrente para diferentes situações de incidência de irradiação. O comportamento do gráfico da tensão pela corrente nos módulos fotovoltaicos tem interferência direta da irradiação e temperatura. Analisando a curva IxV em

função da variação na incidência de irradiação solar nas células verificamos que quando a irradiância diminui, a corrente fotovoltaica gerada diminui proporcionalmente e a variação de tensão sem carga tem variação muito pequena. Com uma irradiância de 1000W/m^2 o módulo fornece a corrente máxima, nos catálogos a corrente máxima é especificada para a temperatura de 25° .

O contrário ocorre com o aumento da temperatura nos módulos fotovoltaicos, a corrente produzida continua praticamente inalterada enquanto a tensão diminui. Assim, ocorre uma redução no desempenho dos painéis devido à redução de potência elétrica produzida.

Figura 10: Influência da radiação e da temperatura nos módulos.



Fonte: ABB (2018).

3.1.5 Inversores para sistemas conectados à rede elétrica.

Iremos conhecer a estrutura e característica do inversor para o sistema de geração de energia fotovoltaica conectado à rede, este equipamento apresenta uma função importante para o sistema e valor elevado, isto justifica a preocupação com o dimensionamento correto do equipamento.

O inversor realiza a conversão de corrente alternada em corrente contínua. Para os sistemas autônomos (*off-grid*) os inversores fornecem tensões elétricas alternadas em seus terminais.

Para os sistemas conectados à rede elétrica o inversor apresenta um controle elaborado que exerce a função de fonte de corrente e não é projetado para fornecer tensão na saída, ou seja, não é projetado para fornecer tensão de saída para o consumidor. A grande funcionalidade do inversor é fazer a corrente de saída apresentar um formato senoidal e

sincronizar a tensão senoidal da rede. Este equipamento apresenta vida útil de aproximadamente 15 anos.

Uma característica importante do inversor é o comportamento deste em caso de ausência no fornecimento de energia disponibiliza pela concessionária, quando esta situação ocorre o inversor automaticamente será desligado. Este comportamento ocorre primeiramente porque o inversor não foi projetado para funcionar sem estar conectada a rede elétrica e ocorre o desligamento também devido ao fator de segurança relacionado às pessoas e equipamentos que por ventura possam estar em manutenção elétrica. Outra característica dos inversores comerciais é o sistema de proteção embutido em sua estrutura interna, onde o inversor é desconectado da rede elétrica caso seja detectado alguma fuga de corrente nos módulos fotovoltaicos.

Vimos às características de segurança do inversor, agora iremos ver as características relacionadas ao sistema de funcionamento. O inversor opera buscando o ponto de rastreamento de máxima potência (MPPT) é realizado por todos os inversores voltado a conexão de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, esta operação é baseado na busca da operação dentro do seu ponto de máxima potência. A temperatura e radiação solar não são variáveis constantes mudando ao longo do dia, isso resulta na oscilação e consequentemente nas condições de operação do inversor. O rastreamento do ponto máximo de potência (MPPT) é necessário para maximizar constantemente a produção de energia, com o intuito de garantir o maior rendimento possível para o sistema. O princípio de funcionamento é baseado na oscilação intencional das tensões de saída nos módulos fotovoltaicos observando o comportamento da potência, o rastreamento ocorre no “joelho” da curva de Corrente e Tensão ($I \times V$) esse incremento e decremento são muito sutis, portanto é considerado que o inversor atendeu o ponto de máxima potencia quando ocorre uma estabilidade (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Toda a superfície dos módulos fotovoltaicos precisa estar em contato com a irradiação solar para obter o máximo aproveitamento, quando ocorre a presença de sombras parciais nos módulos fotovoltaicos a curva de potência tende a apresentar dois pontos máximos, conhecido com global e local. Para este fenômeno o ponto de rastreamento de máxima potência (MPPT) pode fazer com que o sistema opere em uma região de máxima potência equivocada, para corrigir este problema o procedimento adequado é utilizar dois ou mais pontos de rastreamento de máxima potência (MPPT) contornando o efeito de sombreamento parcial nos módulos fotovoltaicos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

3.1.6 Proteção

A proteção do sistema visa a interrupção da corrente elétrica. Os dispositivos são projetados de forma a garantir a proteção dos componentes, circuitos e pessoas.

Uma tendência nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede é a inserção de chave de desconexão e implementação de botão de emergência no lado que apresenta corrente contínua (CC) com o intuito de seccionar a conexão de corrente contínua (CC) (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A utilização de proteção de surto (DPS) instalados no lado da corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC) é imprescindível para garantir a proteção dos módulos, inversores e instalações. As descargas elétricas podem apresentar sobretensões no sistema o DPS garante a proteção, o valor deste sistema é muito baixo em comparação com os prejuízos causados pelas sobrecargas caso o sistema não esteja devidamente protegido (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Na prática o método de proteção utilizado nos sistemas conectado à rede elétrica (*on-grid*) é um *string box* instalado do lado da corrente contínua (CC) esta caixa contém uma chave seccionadora e a proteção de surto (DPS) específica para sistema voltados à energia solar e do lado da corrente alternada(CA) a *string box* contendo disjuntor e a proteção de surto DPS de uso comum.

A chave seccionadora tem a função de desligar o sistema fotovoltaico com segurança, seu funcionamento é baseado em interromper a passagem de corrente contínua sem haver o arco voltaico.

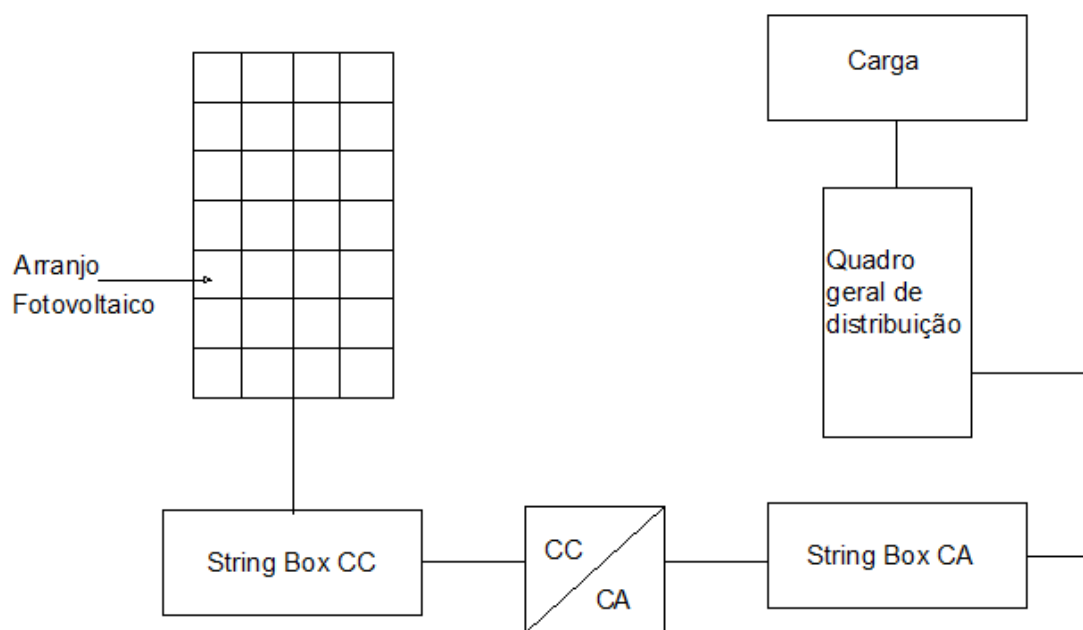
Utiliza-se a proteção de surto (DPS) no *string box* CC e no *string box* CA, porém o DPS que está localizado do lado CC é específico para sistema solar, enquanto que o DPS do lado CA é o de uso comum. As descargas atmosféricas são responsáveis por danificar diversos equipamentos, portanto a função dos DPS é proteger contra os possíveis surtos de tensão. Para garantir o perfeito funcionamento e proteção devemos garantir o devido aterramento do dispositivo DPS, caso o aterramento não esteja bem feito não garantirá a devida proteção ao sistema.

O disjuntor CA utilizado no sistema tem o intuito de proteger a saída do inversor contra surtos de corrente, detectando a passagem de corrente maior que o especificado ele interrompe o circuito automaticamente.

Outro componente importante do sistema *on-grid* é o cabeamento, na saída do painel fotovoltaico até a entrada do inversor utiliza-se um cabeamento especial conhecido como

cabo solar. Este cabo possui duas camadas isolantes evitando o superaquecimento e a degradação pelos fatores ambientais, além disso, o cabo solar é estanhado evitando assim a oxidação.

Figura 11: Proteção do sistema *on-grid*



Fonte: Produção do próprio autor.

3.2 CONFIGURAÇÃO DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

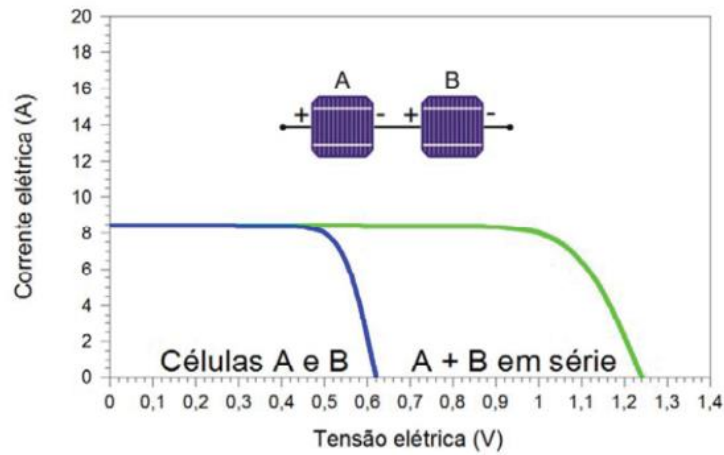
Os módulos fotovoltaicos podem adotar a configuração somente série, somente paralelo ou a configuração com a junção de módulos em série e paralelo.

3.2.1 Configuração em série.

A configuração em série tem como característica a soma das tensões de cada módulo e corrente constante, como consequência com o aumento dos módulos fotovoltaicos a corrente continua constante, portanto o diâmetro do cabo não se altera.

A Figura 12 mostra o comportamento da curva de corrente e tensão para a configuração de dois módulos fotovoltaicos em série

Figura 12: Curva característica I xV conjunto de dois módulos em série



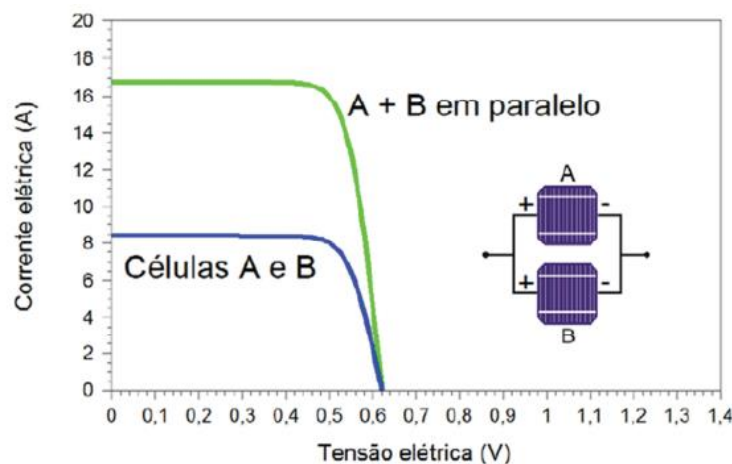
Fonte: Goetze (2017).

3.2.2 Configuração em paralelo.

A configuração em paralelo tem como característica a soma das correntes de cada módulo e tensão constante, como consequência com o aumento dos módulos fotovoltaicos a corrente continua aumenta, portanto o diâmetro do cabo irá aumentar.

A Figura 13 mostra o comportamento da curva de corrente e tensão para a configuração de dois módulos fotovoltaicos em paralelo.

Figura 13: Curva característica I xV conjunto de dois módulos em paralelo



Fonte: Goetze (2017).

3.2.3 Configuração em série e em paralelo.

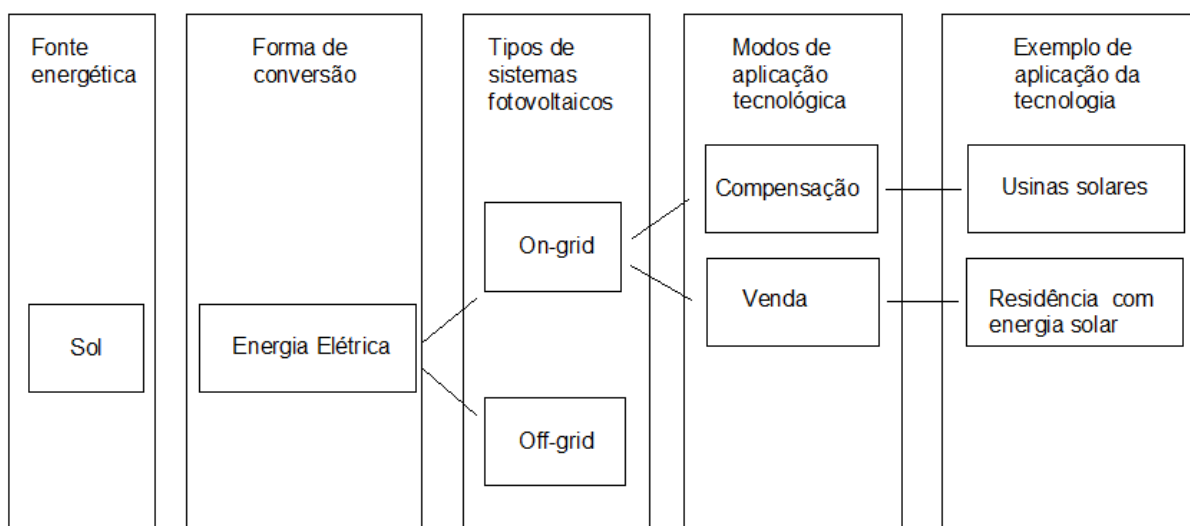
No caso dos módulos fotovoltaicos com associação em série e paralelo, temos que a tensão e corrente são somadas.

4 ANÁLISE DO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE

4.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DISTRIBUIDOS: OFF-GRID, ON-GRID E SISTEMAS CENTRALIZADO

Os sistemas fotovoltaicos são benéficos, além de reduzir o valor da conta de energia da propriedade onde o sistema está implantado o sistema também valoriza o empreendimento, porém os benefícios com os avanços desta tecnologia abrangem toda a sociedade aumentando o número de vagas de empregos no setor e reduz a necessidade de gerar energia elétrica através de fontes poluentes e fontes de valor elevado na geração de energia como as usinas termoeletricas.

Figura 14: Tipos de sistemas fotovoltaicos



Fonte: Produção do próprio autor.

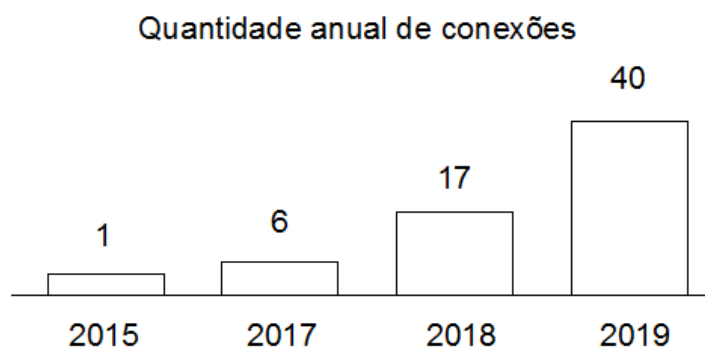
4.1.1 Energia fotovoltaica distribuída

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA, 2011), temos que a geração distribuída é definida quando a geração de energia ocorre próximo à unidade consumidora ou no local de consumo, não sendo considerado o tamanho das fontes geradoras e o tipo utilizado, podendo ser fontes fósseis, eólicas ou fotovoltaicas.

Existem dois tipos de operações relacionados à geração distribuída a *off-grid* e *on-grid*. Onde os sistemas *off-grid* são implementados com o uso de banco de baterias e o *on-grid* é conectado à rede de distribuição elétrica.

Visando entender o crescimento do setor fotovoltaico no Brasil, primeiramente será apresentado o cenário da geração distribuída na cidade de Guaratinguetá. O número total de unidades de geração distribuída é de 64 unidades, sendo que o número de unidades que recebem créditos é de 73 unidades totalizando uma potência instalada de 621,67 KW.

Figura 15: Geração distribuída na cidade de Guaratinguetá instalada por ano



Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

Este número de conexões aborda 3 modalidades de geração: autoconsumo remoto, geração compartilhada e geração na própria unidade consumidora.

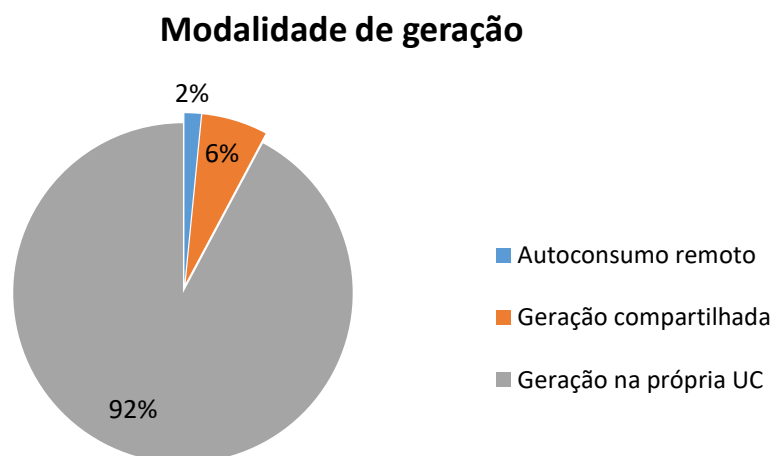
Autoconsumo remoto é uma das modalidades de geração distribuída criada pela ANEEL, onde permite ao consumidor instalar o sistema gerador em um local diferente do local de consumo. Um consumidor que, por exemplo, possui uma casa em Guaratinguetá e uma casa de praia dentro da mesma unidade de concessão de energia e cuja propriedade esteja com a mesma titulação poderá construir um sistema de geração fotovoltaica na residência localizada na cidade de Guaratinguetá e utilizar o excedente na casa localizada no litoral.

Geração compartilhada possibilita dois ou mais consumidores compartilhar a energia gerada por um sistema, para viabilizar o compartilhamento todos os participantes devem estar dentro da área de cobertura da distribuidora de energia.

E a geração na própria unidade consumidora é o processo que possibilita ao consumidor instalar um sistema gerador de energia através de fontes renováveis.

Na cidade de Guaratinguetá temos as três modalidades de geração de energia distribuída adotando ao percentual apresentado na Figura 16. Constata-se 1 unidade de autoconsumo, 4 de geração compartilhada e 59 de geração na própria unidade consumidora.

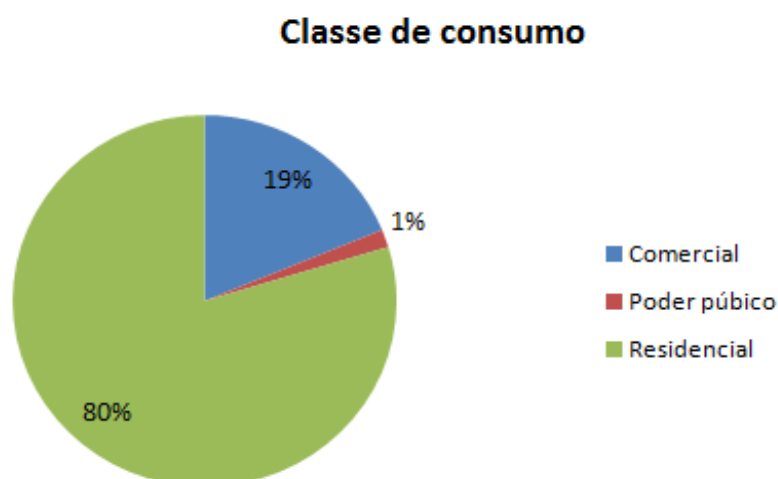
Figura 16: Modalidade de geração na cidade de Guaratinguetá



Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

Dentro do conceito de classe de consumo temos: 12 empreendimentos de classe comercial, 1 no poder público e 51 residenciais na cidade de Guaratinguetá. Observa-se que seguindo a tendência nacional a classe residencial é predominante.

Figura 17: Classe de consumo na cidade de Guaratinguetá

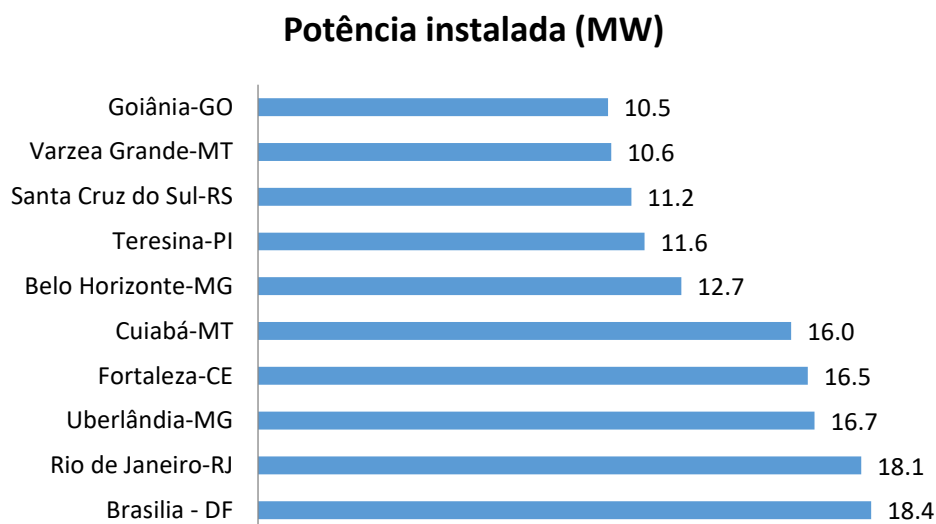


Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

A cidade de Guaratinguetá apresenta 621,67 KW de potência instalada, Brasília é a cidade que lidera o *ranking* municipal de potência instalada de geração distribuída apresentando 18.400KW instalados, portanto Guaratinguetá apresenta 3,38% de potência em

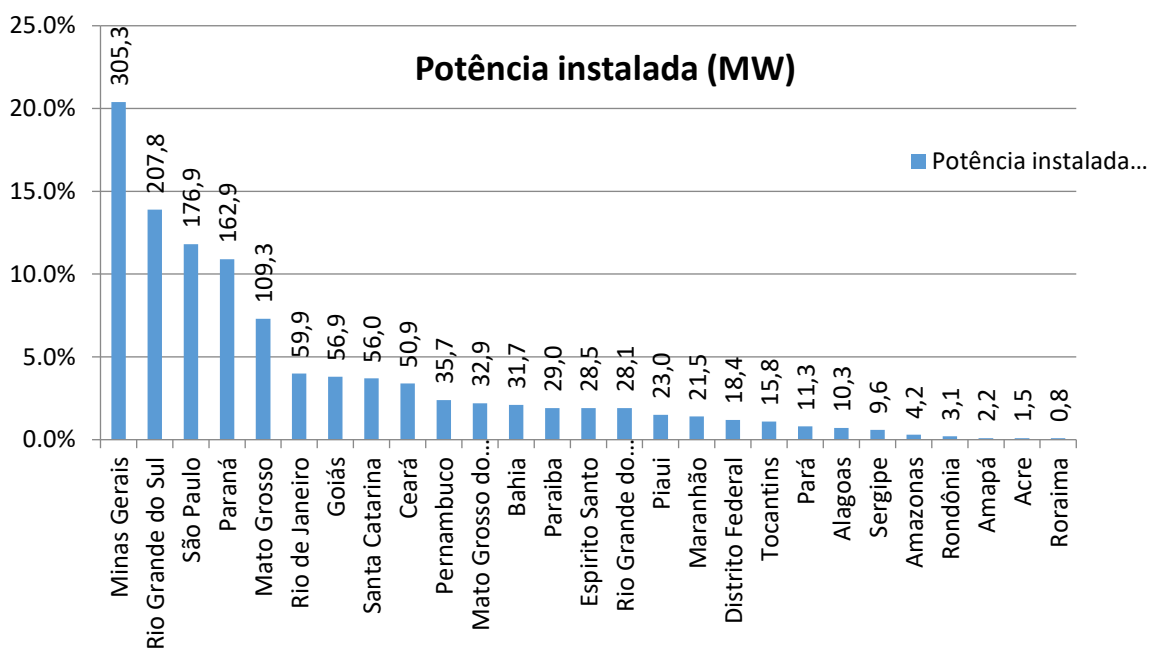
relação a cidade que lidera o ranking. A Figura 18 apresenta as 10 cidades que possui maior potência distribuída instalada.

Figura 18: As 10 cidades com maior potência distribuída instalada (MW)



Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

A cidade de Goiânia localizada no estado de Goiás é a cidade com maior potência distribuída instalada, porem Goiás é o sétimo estado em capacidade potência distribuída instalada ficando atrás de: Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Paraná, Mato Grosso e Rio de Janeiro como podemos ver na Figura 19 onde apresenta o *ranking* das potências por estado.

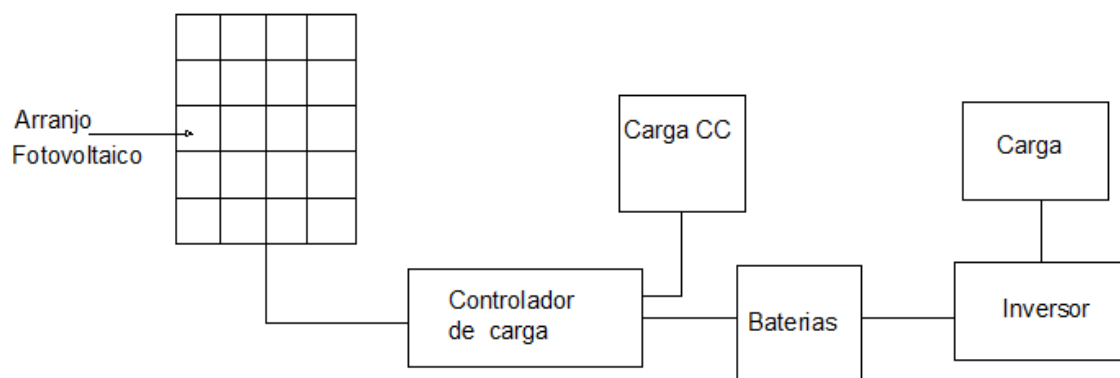
Figura 19: *Ranking* das potências distribuída instalada por estado (MW) %

Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

Realizando uma análise da potência instalada por estado temos que o estado de Mato Grosso obteve o maior crescimento, este estado cresceu 612% nos primeiros 9 meses de 2019 com relação ao mesmo período de 2018. Paraná apresenta o segundo maior crescimento de potência instalada crescendo 402% neste mesmo período. Minas Gerais destaca-se apresentando o maior número de sistemas conectados à rede com 22.473 conexões, sendo 68% residenciais e apenas 0,8% de minigeração. Em seguida, estão os estados do Rio Grande do Sul e São Paulo.

4.1.2 Sistemas *off-grid*

O sistema *off-grid* são sistemas que na sua configuração necessitam usar um banco de baterias acoplado ao sistema para armazenamento de energia, não existindo ligação direta com a concessionária de energia local ou cooperativas energéticas.

Figura 20: Configuração do sistema *off-grid*

Fonte: Adaptado de Bluesol (2019).

O sistema é composto por módulos solares, controlador de carga este componente é responsável pelo gerenciamento da energia das baterias, inversor responsável pela alimentação dos equipamentos que funcionam em 110V e 220V, conectores e cabo para as conexões e o banco de bateria podendo ser formado por uma ou mais baterias.

A Tabela 5 apresenta as principais vantagens e desvantagens deste tipo de sistema.

Tabela 5: Vantagens e Desvantagens do sistema *off-grid*

Vantagens	Desvantagens
Acesso a energia elétrica onde a concessionária de energia não chega.	As baterias utilizadas na configuração do sistema eleva o custo do projeto.
Não gera fatura de energia elétrica.	Baixa vida útil das baterias variando de 4 a 5 anos.

Fonte: Adaptado de Maia (2018); Bortoloto (2017).

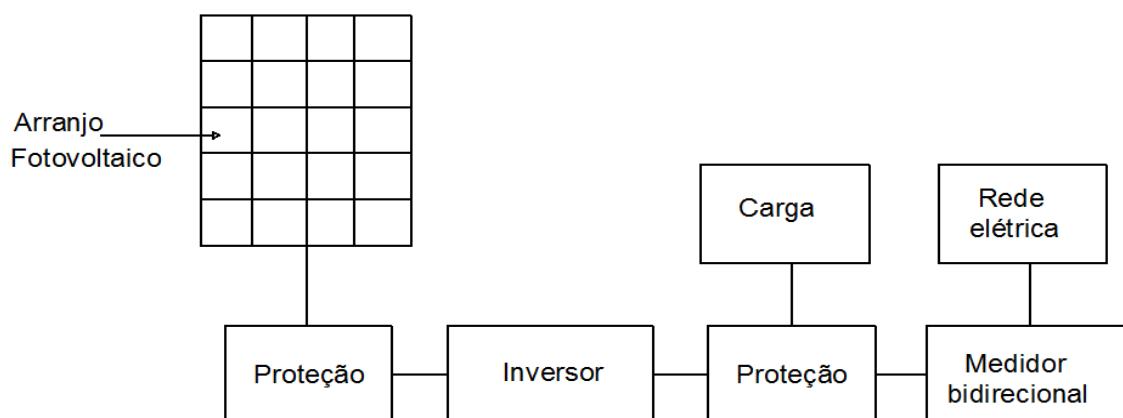
4.1.3 Sistemas *on-grid*

O sistema *on-grid* é um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, portando sua implementação é realizada em locais atendidos pela concessionária de energia local, diferentemente dos sistemas *off-grid*.

Para a conexão do sistema *on-grid* é necessário, normalmente, os seguintes itens: painel solar, inversor, cabos, haste de aterramento, quadro de comando, disjuntores, DPS, medidor bidirecional.

A Figura 21 representa uma estrutura geral do sistema fotovoltaico com ligação à rede de distribuição, ou seja, sistema *on-grid*.

Figura 21: Estrutura Principal de um sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*)



Fonte: Adaptado de Portal Energia (2004).

A operação do sistema fotovoltaico começa capturando a radiação solar através dos vários módulos fotovoltaicos. Então a corrente contínua será produzida até que o inversor, o inversor converterá a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), após esta etapa será enviada ao circuito residencial ou comercial, dependendo da aplicação.

Entre as funções do inversor está a conversão de corrente contínua em corrente alternada e este componente também é responsável pelo controle de corrente injetado na rede, devendo atender os requisitos de operação da concessionária local (VILLALVA; GAZOLI, 2012)

Analisando o local onde o sistema é empregado, pode ser um estabelecimento residencial ou comercial, a energia gerada pelo sistema será destinada ao seu consumo. Se houver excedente, passará por um relógio bidirecional localizado no padrão de entrada. Será através do relógio bidirecional que ocorre a medição e verificação da quantidade de energia injetada na rede de distribuição elétrica. Um inconveniente encontrado ao adotar o sistema é que o sistema de compensação de energia cobre a própria energia e também paga pelo uso da rede de transmissão e distribuição responsável pelo transporte de energia.

Em relação ao pagamento à concessionária referente a implantação do sistema *on-grid* temos que os custos relacionados à implantação do sistema atinge os demais consumidores vinculados à mesma área da concessão de energia, portanto consumidores que não possuem o sistema de compensação de energia irá pagar por um serviço que não será utilizado. O fenômeno identificado cria um subsídio cruzado que liga consumidores usando geração distribuída e consumidores que não usam.

Outro fator está relacionado às regiões brasileiras, de modo que os consumidores localizados em grandes setores solares acabam tendo valores cobrados mais altos do que os consumidores localizados em regiões com baixa abrangência no aproveitamento solar.

De acordo com os dados referentes ao número de unidades com geração distribuída o Brasil possui atualmente aproximadamente 77 milhões de consumidores de energia elétrica destes apenas 0,01% possui painéis fotovoltaicos (NASCIMENTO, 2017). Temos que a geração distribuída no país ainda é muito pequena em relação ao total de consumidores, portanto os impactos financeiros são desprezíveis para os consumidores e distribuidoras, mas com a tendência de crescimento no setor de geração distribuída a perspectiva é gerar impactos significativos (NASCIMENTO, 2017). Visando o cenário de crescimento e considerando a vigência de tal subsídio uma alternativa é dividir uniformemente entre todos os consumidores do país os custos gerados com a utilização das redes de transmissão e não apenas sobre os consumidores que estão localizados nas regiões de maior uso na geração de energia utilizando a geração distribuída

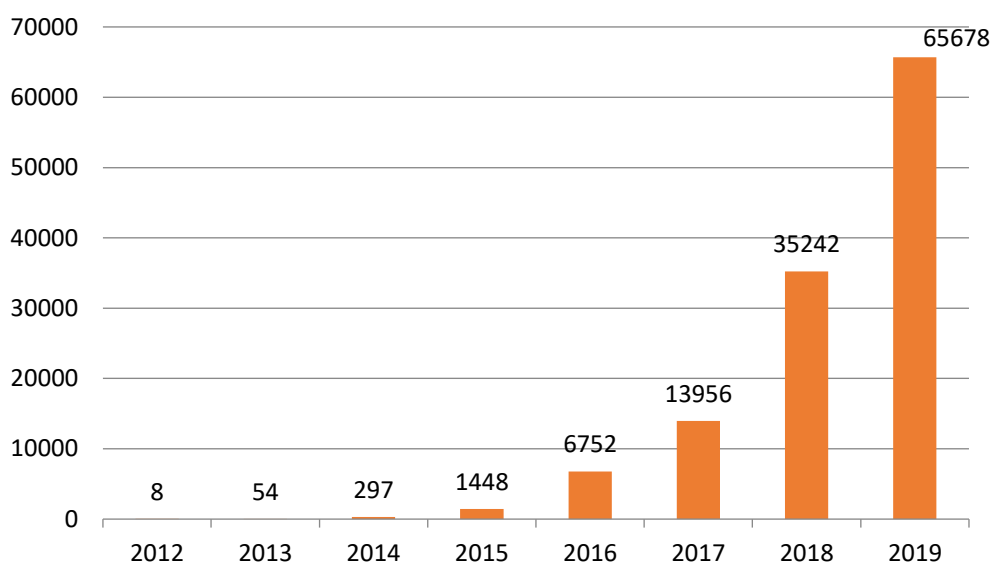
A Tabela 6 apresenta as principais vantagens e desvantagens deste tipo de sistema:

Tabela 6: Vantagens e Desvantagens do sistema *on-grid*

Vantagens	Desvantagens
Geração de energia com possibilidade de acumular crédito para ser usado posteriormente ou em outra propriedade vinculado ao mesmo CPF da unidade geradora de energia.	Critérios para validação dos créditos: mesma unidade consumidora e cadastro no mesmo CPF ou CNPJ
Viabilidade econômica em relação ao sistema (off-grid)	Para haver excedente a demanda deve ser menor que o consumo.
Os crédito gerados podem ser utilizados em até 5(cinco anos) pelo consumidor.	O sistema ainda é considerado de alto valor de implantação devido aos atrasos das regulamentações e carência de incentivos, políticas públicas dentre outros.

Fonte: Adaptado de ANEEL (2018); Bortoloto (2017).

Figura 22: Número de instalações fotovoltaicas conectadas à rede por ano.



Fonte: Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

O número de instalações fotovoltaicas conectadas à rede nos 9 primeiros meses de 2019 cresceram 86% com relação ao mesmo período de 2018.

Além dos sistemas distribuídos existe outro tipo de configuração que são os sistemas centralizados. Este tipo de sistema nada mais é que usinas fotovoltaicas que podem chegar a potências da ordem de MWp, havendo a necessidade da implantação de um transformador para elevar a tensão gerada até o nível de distribuição (VILLALVA: GAZOLI, 2012)

4.1.4 Sistemas centralizados

Um grande sistema solar pode ser chamado de usina solar ou parque solar, esse tipo de configuração é projetado para produzir e vender energia elétrica. Portanto, as usinas solares diferem dos sistemas residenciais porque a energia fornecida é de alta tensão devido à necessidade de distribuição e não ao autoconsumo.

5 REGULAMENTAÇÕES E INCENTIVOS DO SETOR DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.

5.1 REGULAMENTAÇÕES E TARIFAÇÕES

5.1.1 Resolução normativa nº482 da ANEEL

A Resolução normativa nº482 da ANEEL (Agencia Nacional de Energia Elétrica) implantada em 17 de abril de 2012, estabelece a possibilidade do próprio consumidor gerar sua energia elétrica para consumo.

Esta Resolução também diferenciou o conceito de Microgeração distribuída, Minigeração Distribuída e Sistema de Compensação, onde a microgeração é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW utilizando energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, sendo instalado na rede distribuição através de instalações de unidades consumidoras. E a minigeração é a central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100kW e inferior a 1MW utilizando energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, sendo instalado na rede distribuição através de instalações de unidades consumidoras (ANEEL,2012).

Porem, o grande marco da Resolução normativa nº482 para o sistema de geração de energia conectado à rede é o Sistema de Compensação, sendo o primeiro ato regulatório do Brasil relacionado à compensação através de energia gerada por painéis fotovoltaicos .

A compensação de energia é um sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora (microgeração ou minigeração) é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que apresente o mesmo CPF ou CNPJ junto ao Ministério da Fazenda (ANEEL, 2012).

Ainda de acordo com a Resolução Normativa nº482 os créditos referente ao sistema de compensação de energia elétrica expirará no prazo de 36(trinta e seis) meses após a data do faturamento e terá prazo de aprovação junto à concessionária de 82 dias (ANEEL, 2012).

5.1.2 Resolução Normativa nº687 da ANEEL.

A Resolução normativa nº482 de 2012 foi de extrema importância para o sistema de energia distribuída no Brasil, no entanto esta resolução apresentava muita burocracia. Então, no final de 2015 a ANEEL aprovou a revisão da Resolução normativa 482 de 2012, visando facilitar as pessoas e as empresas a aderirem seu próprio sistema de geração de energia elétrica. Essa nova Resolução é conhecida como Resolução 687 da ANEEL.

A Resolução Normativa nº687 de 24 de Novembro de 2015, ajustou as potências limites, tornando a microgeração com potência instalada menor ou igual a 75kW e a minigeração com potência instalada superior a 75kW e inferior a 3MW para fonte hídrica e 5MW para as demais fontes de energia (ANEEL,2015).

Alem do ajuste das potências ocorreu o aumento do prazo para utilização dos créditos de 36(trinta e seis) meses para 60(sessenta) meses e diminuição do prazo de aprovação junto a concessionária de energia de 82(oitenta e dois) dias para 34(trinta e quatro) dias (ANEEL,2015).

Estas mudanças foram positivas e favoreceu novas oportunidades de negocio atraindo novos consumidores. A grande mudança da resolução 687 foi reduzir a burocracia da central geradora com a concessionária da região de implantação do projeto.

A Resolução nº 687, de 2015, também possibilitou a geração distribuída em estabelecimentos contendo várias unidades consumidoras, por exemplo, os condomínios. A energia gerada pode ser repartida em percentuais definidos pelos próprios consumidores (ANEEL,2015).

A mudança apresentada na regulamentação da ANEEL gerou um novo conceito a “geração compartilhada”, possibilitando a união de interessados em consórcios ou em cooperativas, instalando micro ou minigeração distribuída assim, a energia gerada é utilizada na redução das faturas dos consorciados ou cooperados (NASCIMENTO, 2017).

5.1.3 Resolução Normativa nº786 da ANNEEL.

Na Resolução Normativa nº786 de 17 de Outubro de 2017 alterou o limite de potência da microgeração estabelecendo potência instalada superior a 75kW e inferior a 5MW para todas as fontes de energia(ANEEL,2017).

5.1.4 Geração distribuída nos órgãos públicos.

Em 2015, a Portaria do Ministério de Minas e Energia (MME) nº 538, de 15 de dezembro de 2015, criou o Programa de Geração Distribuída – ProGD. Este programa incentiva a geração distribuída a partir de fontes renováveis e cogeração em edifícios públicos e privados (residenciais, comerciais e industriais) (MME,2017).

Em 11 de Novembro de 2016 foi instalado o sistema fotovoltaico no edifício sede do Ministério de Minas de Energia (MME) situado em Brasília, esse foi o primeiro sistema instalado em órgão publico federal, e de acordo com o Ministério de Minas de Energia (MME) este teve um investimento de cerca de R\$ 500 mil e proporcionará uma economia de aproximadamente R\$ 70 mil ao ano em energia elétrica

5.1.5 Imposto sobre Circulação e Serviços (ICMS).

Um fator de grande relevância relacionado a geração distribuída é a cobrança de Imposto sobre Circulação e Serviços (ICMS) relacionada a energia injetado na rede.

Em 17 de Maio de 2018 através do Convênio ICMS nº42/2018 os estados do Amazonas, Paraná e Santa Catarina aderiram à isenção sobre a tarifação de ICMS com esta medida todos os estados brasileiros estão isentos do imposto (BLUESOL, 2018).

Na prática, se um consumidor estiver em um estado onde o ICMS é de 12%, a cada 1kwh injetado na rede pelo sistema fotovoltaico será retornado 0,88kwh de crédito.

A isenção no imposto ICMS é relacionada à energia excedente que será injetada na rede de distribuição, quando o consumidor utilizar o crédito o valor do KWh será cobrado com ICMS, portanto verifica-se que a energia injetada na rede vale menos do que a energia consumida.

5.1.6 PIS/PASEP e COFINS

A contribuição referente ao PIS/Pasep e ao Financiamento da Seguridade Social (COFINS) são tributos federais com impactos expressivos sobre a tarifa de energia elétrica. Em 06 de Outubro de 2015 a Lei Federal nº 13.169 a cobrança foi estipulado com base no consumo liquido, ou seja, isentou a tarifação sobre a energia excedente produzida pelo sistema fotovoltaico. Porem, esta isenção concedida não inclui os condomínios (contendo

múltiplas unidades consumidoras) e consorcio ou cooperativas (geração compartilhada) contemplados na resolução nº687 de 2015.

5.2 FINANCIAMENTOS

5.2.1 Financiamentos

Nos últimos anos tivemos um declínio nos custos relacionado na aquisição dos sistemas de geração fotovoltaica, mas mesmo com as melhorias atualmente o principal empecilho para adotar o sistema de geração solar fotovoltaica *on-grid* nas residências e comércios de pequeno porte é o custo elevado para implantação do sistema de geração.

Algumas linhas de créditos são oferecidas para geração distribuída, as mais difundidas são: Construcard (Caixa Econômica Federal), Finem (BNDES), CDC Eficiência Energética (Santander) e Consorcio Sustentável (Sicredi) (BLUESOL,2018)..

O BNDES oferece ótimas oportunidades de financiamento, porem atende os sistemas de grande porte, não apresenta financiamento atrativo para sistemas implantados por pessoa física.

Visando facilitar a implantação do sistema fotovoltaico está em tramite o Projeto de Lei do Senado (PLS) nº371, de 2015 de autoria do Senador Ciro Nogueira, com o intuito de autorizar o uso do Fundo de Garantia de Tempo de Serviço (FGTS) na implantação de sistemas que utilizam fontes renováveis de energia voltado à residências. Porem, atualmente esse recurso encontra-se em trânsito..

Outra medida de incentivo ocorreu nas cidades de Palmas e Belo Horizonte apresentaram descontos no IPTU para imóveis sustentáveis, impulsionando o uso e implantação de sistemas *on-grid* nas residências.

Verifica-se que existem iniciativas geradas pelo governo brasileiro, porem essas iniciativas não são suficientes para atingir as metas internacionais.

Figura 23: Cronograma das regulamentações.



Fonte: Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

A Figura 23 representa o desenvolvimento ao longo dos anos das principais Resoluções Normativas e evidência e as incertezas regulatórias que serão implantadas com as possíveis mudanças na compensação de energia.

Dentro do cenário do sistema conectado à rede, outro fator importante para ser abordado são as particularidades para implantação do sistema junto a concessionário. Na região de Guaratinguetá temos a concessionária Bandeirante, onde o Padrão técnico PT.DT.PDN.03.14 apresenta as etapas para a conexão de microgeradores ao sistema de distribuição em baixa tensão(grupo B).

Tabela 7 – Resumo das etapas de acesso.

Etapa	Ação	Responsável	Prazo
1 - Realização da solicitação de acesso	a)- Formalização e encaminhamento de toda a documentação contendo os dados e informações pertinentes e estudos realizados.	Acessante	
	b)- A distribuidora irá receber a solicitação de acesso.	Distribuidora	
	c)- Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada, a solicitação de acesso deve ser acompanhada da cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes.	Acessante	
	A solicitação de acesso perde o efeito se o acessante não regularizar eventuais pendências nas informações encaminhadas à acessada no prazo de 120 (sessenta) dias.		
2 - Parecer de acesso	a)- Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	Distribuidora	i)- Sem necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 15 (quinze) dias após a ação 1(b) ou 1(c).
			ii)- Com necessidade de execução de obras de melhoria ou reforço no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 1(b) ou 1(c).
3- Implantação da conexão	a)- Solicitação de vistoria.	Acessante	Até 120 (cento e vinte) dias após a ação 2(a)
	b)- Realização de vistoria.	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a ação 3(a)
	c)- Entrega para acessante do Relatório de Vistoria se houver pendências.	Distribuidora	Até 5 (cinco) dias após a ação 3(b)
	a)- Adequação das condicionantes do Relatório de Vistoria.	Acessante	Definido pelo acessante.
4 - Aprovação do ponto de conexão	b)- Aprovação do ponto de conexão, adequação do sistema de medição e início do sistema de compensação de energia, liberando para sua efetiva conexão	Distribuidora	Até 7 (sete) dias após a ação 3(b), quando não forem encontradas pendências.
5 - Relacionamento Operacional	(a) Celebração do Relacionamento Operacional.	Acessante e Distribuidora	Relacionamento operacional até a ação 2(a).

Fonte: Bandeirantes (2019).

6 DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO (*Payback*).

6.1 FUNDAMENTOS PARA DIMENSIONAMENTO DE PROJETO

6.1.1 Recurso Solar.

Nesta etapa o intuito é conhecer a proporção de incidência de radiação que incidem sobre os módulos fotovoltaicos, essa informação é específica para a localização de projeto. Utiliza-se de forma geral os valores médios mensais ao longo do dia.

Um estudo de caso será realizado na cidade de Guaratinguetá, portanto coleta-se as seguintes especificações sobre o local: Latitude(°):-22.8164, Longitude(°): -45.1925, Altitude(m): 537, Fuso Horário: -3.

A Tabela 8 apresenta a incidência de radiação ao longo do ano.

Tabela 8: Radiação no plano horizontal e Radiação com inclinação de 23°

Mês	Plano Horizontal (Kwh/m ² .dia)	Inclinação (23°) (Kwh/m ² .dia)
1	5,56	5,03
2	5,79	5,52
3	4,91	5,05
4	4,48	5,08
5	3,68	4,54
6	3,41	4,43
7	3,55	4,50
8	4,51	5,35
9	4,67	4,97
10	5,15	5,02
11	5,24	4,81
12	5,28	4,83
Média	4,68	4,93

Fonte: CRESESB (2018).

A inclinação dos módulos fotovoltaicos deve estar em um ângulo próximo à latitude do local de implantação do sistema e para garantir o melhor aproveitamento os módulos devem estar ao Norte. Com esta informação pode-se calcular as Horas de Sol Pleno (HSP) utilizando a equação (4).

$$HSP = \frac{4,93Kwh.}{\left(\frac{1kw}{m^2}\right)} = 4,9 h. dia$$

Equação (4)

A interpretação da variável HSP apresentada na equação (4) retrata que haverá 4,9 horas de sol pleno ao longo do dia com irradiância de 1000W/m².

6.1.2 Dimensionamento da quantidade de módulos fotovoltaicos.

Em seguida realiza-se o dimensionamento para uma residência com as variáveis de consumo apresentado abaixo:

Figura 24: Conta de energia elétrica da residência em estudo.

GRUPO/ SUBGRUPO: B - B1 CLASSE/ SUBCLASSE: RESIDENCIAL		Consumo do Mês / kWh	Data de Vencimento
TP FORNECIMENTO: BIFÁSICO		596	08/04/2019
MODALIDADE TARIFÁRIA: CONVENCIONAL TENSÃO NOMINAL: 220 / 127 V			
ROTEIRO DE LEITURA: B15GT02M00169 MEDIDOR: 13932230			
Local de Consumo			
Endereço Elétrico		Atendimento EDP	Conta do Mês
[REDACTED]		0800 721 0123	Março/2019
CNPJ/CPF/CI: [REDACTED] Insc Estadual:		SEGUNDA-VIA Sem Fins Fiscais	
RUA ALBERTO BARBETA 461			
12513-070 PEDREGULHO / GUARATINGUETA - SP			

Fonte: Adequação EDP (2019).

A residência é do grupo B, ou seja, baixa tensão, localizada na Rua: Alberto Barbeto nº461 Pedregulho, Guaratinguetá. Conforme apresentado na Tabela 9, o consumo médio ao longo do ano é de 531,75 Kwh mês.

Tabela 9: Conta de energia elétrica da residência em estudo de caso

Mês	Consumo (Kwh mês)
1	325
2	420
3	550
4	596
5	600
6	650
7	548
8	800
9	320
10	710
11	542
12	320
Média	531,75

Fonte: Produção do próprio autor.

Para este projeto adota-se o módulo fotovoltaico CS6K-P Células Monocristalino com as especificações apresentadas na Tabela 10:

Tabela 10: Especificações módulo fotovoltaico **CS6K-P** Células Monocristalino

Datasheet CS6K-P	
Potência elétrica máxima (Pmax)	295W
Tensão de circuito aberto (Voc)	38,6V
Corrente de curto-circuito (Isc)	9,81A
Tensão de máxima potência (Vmp)	31,8V
Corrente de máxima potência (Imp)	9,28A
Eficiência do Módulo	18,02%
Temperatura de Operação	-40°C/ +85°C

Fonte: ECORI (2019).

Posteriormente dimensiona-se o número de painéis necessário à necessidade de consumo da residência em estudo, para isso calcula-se a geração fornecida pelo módulo escolhido no local de implantação diário e posteriormente o valor mensal apresentado nas equações (4) e (5).

$$\begin{aligned} \text{Geração módulo} &= HSP * P_{\text{máx}} = 4,9 * 295 \\ &= 1,45 \text{ KWh. dia} \end{aligned} \quad \text{Equação (4)}$$

$$\begin{aligned} \text{Geração módulo} &= 1,45 \text{ KWh. dia} * 30 \\ &= 43,50 \text{ KWh. mês} \end{aligned} \quad \text{Equação (5)}$$

$$\text{Painéis} = \frac{\text{Consumo médio}}{\text{Geração módulo}} = \frac{531,75 \text{ KWh mês}}{43,50 \text{ KWh. mês}} = 12,22 \quad \text{Equação (6)}$$

Após estes cálculos, conclui-se que será necessário utilizar 13 painéis de 295W implantados na inclinação da latitude, portanto na inclinação de 23° ao Norte, sendo necessário a certificação do INMETRO.

6.1.3 Dimensionamento do Inversor.

Em seguida, desenvolve-se o dimensionamento da potência do inversor de frequência para isto será calculado as Horas de Funcionamento do Inversor através (HFI) através da Equação (7) e o calculo da Geração de Energia Solar (GES) através da Equação (8):

$$\begin{aligned} HFI &= \text{dias mês} * \text{horas dia} \\ HFI &= 30 * 4,9 = 147 \text{ horas mês} \end{aligned} \quad \text{Equação (7)}$$

$$\begin{aligned} GES &= \text{energia consumida mês/horas mês} \\ GES &= 531,75 \text{ kwh} / 147 \text{ h} = 3,62 \text{ kW} \end{aligned} \quad \text{Equação (8)}$$

Uma das premissas adotadas no dimensionamento para garantir o perfeito funcionamento do inversor é garantir que GES seja menor que a conversão CC-CA(este valor é especificado como Potência nominal de saída no datasheet do inversor) , portanto:

$$GES < \text{Potência nominal de saída}$$

Logo, $3,62 < 4,0$, portanto está dentro da condição de funcionamento.

Para este projeto precisamos de um inversor com potência de saída CA acima de 3620W, por isso adota-se o modelo do inversor UNO-DM-4.0-TL-PLUS –B da ABB com Potência de Saída CA nominal de 4000W.

Com o intuito de conhecer o rendimento apresentado por este inversor, divide-se a Potência de saída pela Potência CC, estes dados estão apresentados nas especificações do inversor, para este caso o rendimento apresentado é de 94,12%.

Com auxílio do software disponibilizado pela ABB verifica-se que o sistema está de acordo com as especificações.

Para implantação do sistema analisa-se o consumo de energia existe na residência e a geração com a implantação dos sistemas *on-grid*.

Tabela 11: Produção e Consumo de energia em kWh

Mês	Produção (kWh)	Consumo (kWh)	Saldo (kWh)
1	591,5	325	+266,5
2	591,5	420	+171,5
3	591,5	550	+41,5
4	591,5	596	-4,5
5	591,5	600	-8,5
6	591,5	650	-58,5
7	591,5	548	+43,5
8	591,5	800	-208,5
9	591,5	320	-271,5
10	591,5	710	-118,5
11	591,5	542	+49,5
12	591,5	320	+271,5
Média	591,5	531,75	+59,75

Fonte: CRESESB (2019).

Considerando o perfil de consumo para este cliente e adotando a configuração apresentada para o sistema *on-grid* ao longo do ano, o cliente disponibilizara de 59,75kWh como excedente ao longo de 1 ano.

O custo estimado dos componentes e mão de obra está apresentado na Tabela 11.

Tabela 12: Orçamento Sistema *On-grid*

Item	Quantidade	Unidade	Especificações	Custo Unitário	Custo Total
01	13	un	Painel solar CS6K-P Células Monocristalino	R\$ 724,07	R\$ 9.412,91
02	01	un	Inversor UNO-DM-4.0-TL-PLUS –B da ABB	R\$ 7638,12	R\$ 7.638,12
03	Cabo	metros	Cabo	R\$ 800,00	R\$ 800,00
04	01	un	String Box CC	R\$ 900,00	R\$ 900,00
05	01	un	String Box CA	R\$ 500,00	R\$ 500,00
06	01	un	Suporte para 13 placas	R\$ 2000,00	R\$ 2.000,00
07	-----	-----	Mão de Obra	R\$ 20,000	R\$ 20.000,00
Total	-----	-----	-----	-----	R\$ 41.251,03

Fonte: Produção do próprio autor.

6.1.4 Tempo de amortização do investimento.

Para desenvolver o dimensionamento da potência do inversor de frequência devem-se calcular as Horas de Funcionamento do Inversor através (HFI) através da Equação 7 e o calculo da Geração de Energia Solar (GES) através da Equação 8:

O valor do Kwh tem constante variação devido a bandeira e oscilação das taxas, para este projeto iremos adotar o valor aproximado do kWh=0,80:

A Equação 9 representa o Custo Mensal Médio de Energia Elétrica (CMME), para este calculo multiplica-se o consumo médio anual em kWh pelo valor aproximado do valor do kWh.

$$CMME = 531,75 * 1,17 = \text{R\$ } 622,15 \text{ KWh} \quad \text{Equação (9)}$$

Portanto, o custo mensal médio de energia elétrica é de R\$622,12 reais.

Através desta informação calcula-se o *payback* conhecido também como tempo de retorno do investimento (TRI) através da Equação (10), representado através da divisão do valor do investimento inicial do sistema on-grid pelo custo mensal médio de energia elétrica.

$$TRI = \frac{41251,03}{622,15} = 66,3 \text{ meses} \quad \text{Equação (10)}$$

Portanto, verifica-se que o investimento inicial é pago após 5 anos e 10 meses para o caso onde o cliente tem disponível o valor do capital inicial.

6.1.5 Tempo de amortização com financiamento.

De modo geral, a maioria das pessoas que adota este tipo de empreendimento visa realizar um financiamento para implantação do sistema fotovoltaico. O Bradesco oferece linhas de crédito atrativo para implantação de empreendimento solar com taxas de juros a partir de 0,99% ao mês e possibilidade de parcelamento de até 36 meses para pessoa física.

Será adotada taxa de juros de 2,5% ao mês em um total de parcelas. O valor total de financiamento será calculado com o uso da Equação (11).

$$q = \frac{[1 - (1 + j)^{-n}]}{j} * m \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

q: Valor do financiamento (R\$)

n: Número total de meses (mês)

j: Taxa de juros (adimensional)

m: Valor das parcelas (R\$)

Portanto, o valor das parcelas será:

$$41251,03 = \frac{[1 - (1 + 0,025)^{-36}]}{0,025} * m \quad \text{Equação (12)}$$

m= R\$ 1751,17

O valor total do financiamento referente a 36 meses será o montante de R\$ 63042,12.

O tempo de amortização do investimento será calculado utilizando a Equação (13)

$$Ta = \frac{\frac{Vi}{Ve}}{12} \quad \text{Equação (13)}$$

Onde:

Ta: Tempo em anos

Vi: Valor total do investimento do sistema fotovoltaico.

Ve: Valor da fatura elétrica descontada do valor de disponibilidade mínima.

O valor da disponibilidade mínima de energia da EDP Bandeirantes é de R\$ 27,44.

O tempo de retorno do investimento será de:

$$Ta = \frac{\frac{63042,12}{594,71}}{12} = 8,8 \text{ anos} \quad \text{Equação (14)}$$

Portanto, o tempo de retorno do investimento será de 8 anos e 9 meses.

7 CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica é tendência no setor de geração de energia, vários países inclusive países em desenvolvimento, como por exemplo, a China, vem adotando esta tecnologia devido ao menor impacto ambiental em comparação com outras formas de geração de energia elétrica. Verifica-se que nos países onde o setor é difundido existe uma série de incentivos com o intuito de diminuir os impostos, preocupação em embasar a legislação visando diminuir a burocracia de aquisição e aumento das medidas que facilitam o investimento inicial do sistema fotovoltaico.

No Brasil foi notória a disseminação do setor fotovoltaico conectado a rede a partir da Resolução Normativa nº482 de 2012, porém ainda é pequeno em comparação com o cenário mundial. De acordo com o projeto desenvolvido verifica-se que o Brasil apresenta ótimo índice de radiação favorecendo a geração de energia através de células fotovoltaicas e também nota-se que o sistema *on-grid* é uma excelente forma de geração de energia não necessitando de armazenamento de energia. Nota-se também que uma residência com consumo médio de 531,75KWh apresenta investimento inicial é de R\$ 41251,03 e payback de 5 anos e 10 meses quando não há necessidade de financiamento do capital inicial e payback de 8 anos e 9 meses adotando taxa de 2,5% ano mês e 36 parcelas pelo sistema de crédito Bradesco tornando-se viável a implantação do sistema, pois é sabido que as placas tem vida útil em torno de 25 anos e o inversor 15 anos.

Portanto, podemos concluir que a implantação do sistema *on-grid* para uma residência de consumo médio de R\$ 531,75 ainda apresenta custos elevados para a implantação do sistema fotovoltaico, porém devido ao alto consumo de energia elétrica esta residência apresenta taxa de retorno acessível tornando-se viável o projeto de implantação.

REFERÊNCIAS

ABB – ASEA BROWN BOVERI. **Technical application papers:** photovoltaic plants. n.10. 2018. Acesso em: 01 out. 2018.

ABB – ASEA BROWN BOVERI. **Stringsizes:** 2019. Disponível em: <http://http://www.stringsizer.abb.com/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

ANEEL. **Banco de informações de geração (BIG):** matriz de energia elétrica. Brasília, 2019. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>. Acesso em: 12 abr. 2019.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 786/2017.** Brasília, 2017a. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017786.pdf>. Acesso em: 25 set. 2018.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Perguntas e respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012:** atualizado em 25/05/2017. 2017b. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/documents/656827/15234696/FAQ+-V3_20170524/ab9ec474-7dfd-c98c-6753-267852784d86. Acesso em: 07 out. 2018.

ANEEL. **Cadernos Temáticos ANEEL:** Micro e minigeração distribuída sistema de compensação de energia elétrica. 2. ed. Brasília: Editora, 2016b. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>. Acesso em: 22 set. 2018.

ANEEL. **Chamada Nº. 001/2016:** Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de P&D. Brasília, 2016a. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/programa-de-p-d/-/asset_publisher/ahiml6B12kVf/content/temas-para-investimentos-em-p-d/656831. Acesso em: 04 out. 2018.

ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687/2015.** Brasília, 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 22 set. 2018.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 482/2012.** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20482,%20de%202012%20-%20bip-junho-2012.pdf>. Acesso em: 23 set. 2018.

BLUESOL- Energia Solar. **Sistema fotovoltaico conectado à rede ou isolados? [Comparação].** 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/diferenca-sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-e-isolados/>. Acesso em: 21 abr. 2019.

BORTOLOTO, Valter A. et al. **Geração de energia solar on grid e off grid.** São Paulo: [s.n.], 2017. Disponível em: <http://www.fatecbt.edu.br/ocs/index.php/VIJTC/VIJTC/paper/viewFile/1069/1234>. Acesso em: 06 out. 2018.

CABRAL, I. S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. **Energia solar– análise comparativa entre Brasil e Alemanha**. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental – Salvador, 2013. Acessado em 12 nov. 2018.

CANADIAN SOLAR – **Canadian solar datasheet**. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com.br>. Acesso em: 09 jul. 2019.

CRESESB. **Base de dados de radiação solar incidente (irradiação solar)**. Atualizado em 25/01/2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 08 out. 2019.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2004. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf. Acesso em: 29 out. 2018.

EDP BRASIL – **Fornecimento de energia elétrica em tensão primária de distribuição**. Disponível em: <https://www.edp.com.br/CentralDocumentos/PT.DT.PDN.03.14.001.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2019.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanço Energético Nacional 2014**. Ministério de Minas e Energia, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt>. Acesso em: 12 abr. 2019.

GOETZE, F. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: estudo de caso**. Porto Alegre 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/169263/001049569.pdf?sequence=1> Acesso em: 10 out. 2018.

IEA -INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewable energy technologies: Solar energy perspectives**. Paris: OECD/IEA Publications, 2011. Disponível em: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf. Acesso 12 fev. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas Brasileiro de energia solar**. 2. ed. LABREN – Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia, 2017. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/atlas_2017/atlas_solar_2017_metadados.pdf. Acesso em: 23 maio 2019.

MAIA, R. S. **Energia Solar: o desenvolvimento de um novo mercado**. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2018. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10024980.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.

MATTOS, G. M. **Estudo de rendimento e temperatura de painéis fotovoltaicos com uso de técnica de concentração solar**. Monografia em Engenharia de Controle e Automação da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio e Janeiro – Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2016. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017182.pdf>. Acesso em: 23 maio 2018.

MMA. Ministério do Meio Ambiente .; **Convênio ICMS 6, de 5 de Abril de 2013.**; 2013. Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2013/CV006_13. Acesso em 15 mar. 2019.

MME- Ministério de Minas e **Boletim mensal de monitoramento do setor elétrico – dezembro de 2016.** Brasília: MME, 2017. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro+-+2018_VF+guilherme.pdf/7b6a3b80-0003-4c9f-a6a7-f55dfc55d39e. Acessado em 14 mar. 2019.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Projeto de assistência técnica no setor de energia.** 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/projeto-meta/apresentacao>. Acesso em: 13 mar. 2019.

NASCIMENTO, R. L. **Energia solar no Brasil:** situação e perspectivas. Estudo técnico: Consultoria Legislativa – Câmara dos Deputados, 2017.

PORTAL ENERGIA. **Guia técnico manual energia fotovoltaica.** 2004. Disponível em: http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf. Acesso em: 13 nov. 2018.

TAVARES, Carlos António Pereira. **Estudo comparativo de controladores Fuzzy aplicados a um sistema solar fotovoltaico.** 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Faculdade de Engenharia. Disponível em: http://www.pel.uerj.br/bancodissertacoes/Dissertacao_Carlos_Tavarez.pdf. Acesso em: 12 out. 2018.

VASCONCELLOS, L. E. M.; LIMBERGER, M. A. C. **Energia solar para aquecimento de água no Brasil:** contrição da Eletrobrás Procel e parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobras, 2012.

VIALLI, A. **O empurrão Chinês.** Revista Página 22, nº 92, São Paulo, 2015. Disponível em: https://pagina22.com.br/wp-content/uploads/2009/07/PDF_WEB_ED92.pdf. Acesso em: 25 set. 2019.

VILLALVA, M G; GAZOLI, J R. **Energia solar fotovoltaica:** conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2012.

ZILLES, R.; MACEDO, W. N.; GALHARDO, M. A. B.; OLIVEIRA, S. H. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** São Paulo: Oficina de Textos. v.1. 208 p. 2012.

ANEXO A – SIMULAÇÃO ABB



ABB Stringsizer™ - Relatório de Configuração

Localização	Temperatura (°C)	Amb	Célula	Método de Montagem
CONTINENTE South America	Mínimo	9°C	9°C	Montagem no telhado
PAÍS Brazil	Média	24°C	59°C	
LOCALIZAÇÃO São Paulo	Máximo	40°C	75°C	

Modelo do Inversor: UNO-DM-4.0-TL-PLUS-Q-B		
Potência AC Nominal [kW]/ Tensão AC Nominal [V]	4000 / 230	
Configuração do MPPT	MPPT EM PARALELO (Número de MPPT independentes.: 1)	
Número total de módulos PV	13	
Potência DC Instalada (STC) [kW]	3835	
Notas O inversor selecionado não tem fusíveis de proteção. Propõe-se em fornecer um gerador fotovoltaico com um grupo de três strings ou mais grupos de três strings em paralelo. Favor avaliar a inclusão de fusíveis de proteção de tamanho adequado		

Painel FV (Fabricante / Modelo) Canadian Solar / CS6K 295P	
Tecnologia	
Potência Nominal[W]	
Tensão de Circuito Aberto • Voc [V]	
Corrente de Curto Circuito • Isc [A]	
Tensão de Máxima Potência • Vmp [V]	
Corrente de Máxima Potência • Imp [A]	
Coefficiente de Temperatura • Voc [V/°C]	
Coefficiente de Temperatura • Isc [mA/°C]	

	MPPT1	MPPT2
Painel PV/String	13	n/a
Número de Strings em Paralelo	1	n/a
Número total de módulos FV	13	n/a
Notas	1	n/a
Potência DC Instalada (STC) [kW]	3.84	n/a
Potência Máxima/MPPT [kW]	4.25	n/a
PPV(INSTL,MPPT)/PPHPTMAX	90.2%	n/a
PPV(INSTL)/PACA	96.0%	n/a
PPV(INSTL)/PACHAN	96.0%	n/a
Máxima Tensão do Sistema de Painéis FV [Vdc]	1000	n/a
Máxima Tensão de Entrada do Inversor [Vdc]	600	n/a
Voc max @9°C [Vdc]	525.1	n/a
Voc min @75°C [Vdc]	429.0	n/a
Tensão de Ativação do Inversor (default) [Vdc]	200	n/a
Tensão de Ativação Recomendada do Inversor [Vdc]	Default (200)	n/a
Vmp max @9°C [Vdc]	432.6	n/a
Vmp typ @59°C [Vdc]	372.6	n/a
Vmp min @75°C [Vdc]	353.4	n/a
Faixa de Operação do MPPT* [Vdc]	140 - 580	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Gerador FV @75°C [Adc]	10.1	n/a
Corrente Máxima de Curto Circuito do Inversor/MPPT [Adc]	40	n/a
Corrente do MPP do gerador FV @75°C [Adc]	9.5	n/a
Corrente máxima na entrada do MPPT do Inversor[Adc]	32	n/a
Notas Explicativas	*) Faixa para o MPPT operar considerando a tensão de ativação predefinida; 1)Número de strings em paralelo compatíveis com número de entradas no inversor	

Termos e Condições de Uso: Ao usar essa ferramenta de projetos você concorda que as configurações estimadas dos strings serão usadas apenas com inversores ABB. ABB não garante exatidão na previsão e desempenho do seu sistema FV ou do inversor ou conformidades com códigos e normas em vigor na localização do seu projeto.

Todas as configurações devem ser verificadas por um engenheiro qualificado para o cumprimento dos parâmetros operacionais e normas em vigor no local de instalação. Ao usar essa ferramenta o usuário é responsável por sua utilização e a ABB LTDA. não se responsabiliza por quaisquer danos advindos de sua utilização.



ANEXO B - DATASHEET MÓDULO FOTOVOLTAICO





CS6K-285 | 290 | 295 | 300 | 305 P
HIGH EFFICIENCY POLY MODULE

Canadian Solar's modules use the latest innovative poly cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 17 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

*Black frame product can be provided upon request.

KEY FEATURES

-  Excellent module efficiency of up to: 18.63 %
-  IP68 junction box for long-term weather endurance
-  Heavy snow load up to 6000 Pa, wind load up to 4000 Pa *
-  High PTC rating of up to: 92.90 %

 **25 years** linear power output warranty

 **10 years** product warranty on materials and workmanship

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
 ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
 OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / CEC AU / INMETRO
 UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US)
 UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE
 IEC60068-2-68:SG5
 Take-e-way








* We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist, ammonia and sand blowing tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

CANADIAN SOLAR INC. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

*For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CANADIAN SOLAR INC.
 545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, www.canadiansolar.com, support@canadiansolar.com

ANEXO C – DATACHEET INVERSOR

PRODUCT FLYER FOR UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS ABB SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

UNO-DM-3.3/4.0/4.6/5.0-TL-PLUS
3.3 to 5.0 kW



Technical data and types

Type code	UNO-DM-3.3-TL-PLUS	UNO-DM-4.0-TL-PLUS	UNO-DM-4.6-TL-PLUS	UNO-DM-5.0-TL-PLUS
Input side				
Absolute maximum DC input voltage (V_{max})	600 V			
Start-up DC input voltage (V_{start})	200 V (adj. 120...350 V)			
Operating DC input voltage range ($V_{min}...V_{max}$)	0.7 x $V_{max}...580$ V (min 90 V)			
Rated DC input voltage (V_{in})	360 V			
Rated DC input power (P_{in})	3500 W	4250 W	4750 W	5150 W
Number of independent MPPT	2			
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{in,max}$)	2000 W	3000 W	3000 W	3500 W
DC input voltage range with parallel configuration of MPPT at P_{in}	170...530 V	130...530 V	150...530 V	145...530 V
DC power limitation with parallel configuration of MPPT	Linear derating from Max to Null [$530V \leq V_{in} \leq 580V$]			
DC power limitation for each MPPT with independent configuration of MPPT at P_{in} , max unbalance example	2000 W [200 Vs $V_{in} \leq 530$ V] the other channel: $P_{in} \sim 2000$ W [112 Vs $V_{in} \leq 530$ V]	3000 W [190 Vs $V_{in} \leq 530$ V] the other channel: $P_{in} \sim 3000$ W [90 Vs $V_{in} \leq 530$ V]	3000 W [190 Vs $V_{in} \leq 530$ V] the other channel: $P_{in} \sim 3000$ W [90 Vs $V_{in} \leq 530$ V]	3500 W [200 Vs $V_{in} \leq 530$ V] the other channel: $P_{in} \sim 3500$ W [90 Vs $V_{in} \leq 530$ V]
Maximum DC input current ($I_{in,max}$) / for each MPPT ($I_{in,max}$)	20.0 / 10.0	32.0 / 16.0 A	32.0 / 16.0 A	38.0 / 19.0 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	12.5	20.0	20.0	22.0
Number of DC input pairs for each MPPT	1			
DC connection type ⁴⁾	Quick Fit PV Connector			
Input protection				
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source			
Input over voltage protection for each MPPT-varistor	Yes			
Photovoltaic array isolation control	According to local standard			
DC switch rating for each MPPT (version with DC switch)	25 A / 600 V			
Output side				
AC grid connection type	Single-phase			
Rated AC power (P_{out} @ $\cos\phi=1$)	3300 W	4000 W	4600 W	5000 W
Maximum AC output power (P_{max} @ $\cos\phi=1$)	3300 W	4000 W ²⁾	4600 W	5000 W
Maximum apparent power (S_{max})	3300 VA	4000 VA ²⁾	4600 VA	5000 VA
Rated AC grid voltage (V_{out})	230 V			
AC voltage range ³⁾	180...264 V			
Maximum AC output current ($I_{out,max}$)	14.5 A	17.2 A	20.0 A	22.0 A
Contributory fault current	16.0 A	19.0 A	22.0 A	24.0 A
Rated output frequency (f_o) ⁴⁾	50/60 Hz			
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$) ⁴⁾	47...53/57...63 Hz			
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, adj. $\pm 0.1 - 1$ (over/under excited)			
Total current harmonic distortion	< 3.5			
AC connection type	Female connector from panel			
Output protection				
Anti-islanding protection	According to local standard			
Maximum external AC overcurrent protection	20.0 A	25.0 A	25.0 A	32.0 A
Output overvoltage protection - varistor	2 (L - N / L - PE)			

Fonte: ABB (2019).