

CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFACVEST
CURSO ENGENHARIA ELÉTRICA
SAMARA BATISTELLO

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
EM AVIÁRIOS NO RIO GRANDE DO SUL**

**LAGES
2019**

SAMARA BATISTELLO

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
EM AVIÁRIOS NO RIO GRANDE DO SUL**

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

Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá.

Coorientador: Prof. MSc. Nathielle Waldrigues Branco.

LAGES

2019

SAMARA BATISTELLO

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
EM AVIÁRIOS NO RIO GRANDE DO SUL**

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

Prof. Dra. Franciéli Lima de Sá

Coorientador: Prof. MSc. Nathielle Waldrigues
Branco.

LAGES, SC __/__/__. Nota _____

Franciéli Lima de Sá

SAMARA BATISTELLO

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

Samara Batistello
NOME DO ALUNO

Viabilidade de Implantação de Sistemas
Fotovoltaicos em Aviários no Rio Grande
do Sul
TÍTULO DO TRABALHO

BANCA EXAMINADORA:

Francieli Lima de Sá
Titulação e nome do Orientador (a)

Nathulle W. Branco.
Titulação e nome do Co-orientador (a).

MSc Silvio Moraes de Oliveira
Titulação e nome do Avaliador (a).

Francieli Lima de Sá
Coordenador (a) Prof. (a). Titulação e nome da Coordenador (a).

Lages, 10 de julho de 2019.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica utiliza o sol como fonte de energia, possui a capacidade de transformar a irradiação incidente na terra em eletricidade. A energia proveniente destas instalações pode ser utilizada em diversas atividades tanto para área rural ou urbana. Desta forma tende-se a tornar um investimento viável para o consumidor, pois uma instalação solar dentro das normas estabelecidas traz redução de custos, confiabilidade e segurança. Dentro da perspectiva, este trabalho apresenta o estudo da viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico em aviários no Rio Grande do Sul. O sistema foi escolhido com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica do produtor avícola. O intuito é divulgar a geração solar e as fontes renováveis de energia no meio rural. Dessa forma, pretende-se no trabalho dimensionar o tamanho de um sistema de geração fotovoltaica através do consumo médio de energia da propriedade base, além de verificar o custo para implementação do sistema e fazer uma projeção futura dos seus resultados financeiros, assim como analisar a viabilidade da instalação, através do conhecimento do público alvo e de utilização do sol como fonte de energia.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico. Energia Elétrica. Fontes renováveis. Energia solar. Geração de energia.

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy uses solar energy, has the ability to transform into a radiation incident on the earth in electricity. The assured energy has a system of facilities for the rural or urban area. In this way, they become a viable investment for the consumer, for a solar energy installation and cost reduction, safety and security. The present work presents the feasibility study of a photovoltaic system in aviaries in Rio Grande do Sul. The system was chosen with the objective of reducing the electricity consumption of the poultry producer. The aim is to promote solar generation and renewable energy sources in rural areas. In this way, it is intended to size the size of a photovoltaic generation system through the average energy consumption of the property base, as well as to verify the cost to implement the system and to make a future projection of the results of its banks, as well as analyze the feasibility of the installation, through the knowledge of the target public and the use of the sun as an energy source.

Keywords: Photovoltaic system. Electric power. Renewable sources. Solar energy. Power generation.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pois sem eles nada teria sido possível, concederam-me saúde e a oportunidade de estar presente nessa vida.

Aos meus pais que sempre me apoiaram em tudo e em todas as horas. Educaram-me e mostraram como deve ser a vida, respeitando as pessoas e aprendendo a viver de forma digna. Também a meus irmãos e sobrinhos que me incentivaram a seguir em frente e aos meus colegas e amigos, ressalto Ana Caroline O. T. Corso, Helloisa Farezin e Rayon Alves dos Santos que sempre estiveram presentes nesta caminhada.

À minha orientadora Francieli que se mostrou disposta em todos os momentos dividindo seus conhecimentos, a professor Nathielle que me auxiliou no decorrer da minha monografia, aos professores que ministraram as disciplinas ao longo de todo período destes 5 anos, repassando seu conhecimento.

À empresa Timber, que me concedeu a oportunidade de estagiar, possibilitando assim aplicar meus conhecimentos adquiridos no decorrer do curso de Engenharia Elétrica.

A todos o meu muito obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Potência instalada de Energia Solar Fotovoltaica.	20
Figura 2 - Atlas solar métrico do Brasil.....	21
Figura 3 - Crescimento dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.	22
Figura 4 - Potência solar fotovoltaica instalada (MW) por Unidade da Federação até fevereiro de 2018.	22
Figura 5 - Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul.	23
Figura 6 - Mapa de isolinhas para a radiação solar no Rio Grande do Sul no mês de novembro.	24
Figura 7 - Mapa de radiação solar global horizontal média anual diária.	25
Figura 8 - Número acumulado de micro e minigeração distribuída no Rio Grande do Sul.....	26
Figura 9 - Número de conexões de micro e minigeração distribuída nos municípios do Rio Grande do Sul.	26
Figura 10 - Sistemas isolados e conectados à rede e suas finalidades.	29
Figura 11 - Exemplo de sistema fotovoltaico autônomo	30
Figura 12 - Exemplo de sistema FV interligado a rede.	32
Figura 13 - Infográfico de funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede.	33
Figura 14 - Perfil da irradiância solar ao longo do dia.	34
Figura 15-Radiação solar diária média mensal extraterrestre, terrestre global e difusa no plano horizontal.	35
Figura 16 - Orientação azimutal correta do módulo solar, face voltada para o norte geográfico.	36
Figura 17 - Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico para captação de energia.....	37
Figura 18 - Ilustração de fixação de painéis solares sobre o telhado.....	39
Figura 19 - Ilustração de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede.	40
Figura 20 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.....	41
Figura 21 - Materiais semicondutores e junção P e N originando eletricidade.	42
Figura 22 - Representação de célula, módulo e arranjo fotovoltaico.	43
Figura 23 - Constituição de um módulo fotovoltaico.	43
Figura 24 - Caixa de junção.....	44
Figura 25 - Curva característica do sistema fotovoltaico.	45
Figura 26 - Exemplo de associação de módulos e curvas I-V.	45
Figura 27- Arranjo fotovoltaico com um fusível em casa fileira.....	46
Figura 28 - Módulo fotovoltaico: funcionando perfeitamente.....	47
Figura 29 - Módulo fotovoltaico com sombra em uma célula.....	48
Figura 30 - Módulo fotovoltaico com sombra em uma célula (com diodo bypass).	48
Figura 31 - Efeito causado pela variação de temperatura.	49
Figura 32 - Efeito causado pela variação do nível de radiação.....	49
Figura 33 - Acoplamento de inversores monofásicos e trifásicos à rede.....	51

Figura 34 - Inversor comutado pela rede.....	52
Figura 35 - Inversor autocontrolado por PWM.	52
Figura 36 - Situação de risco de um sistema fotovoltaico ilhado.	53
Figura 37 - Ilustração de um medidor bidirecional de energia trifásico.	54
Figura 38 - Esquema de ligação do medidor bidirecional trifásico.	55
Figura 39 - Ilustração String Box.	56
Figura 40 - Regiões do estado RS com predomínio de pecuaristas de base familiar no ano de 2004.	58
Figura 41 - Produção Brasileira de Frango de corte em milhões de toneladas.....	59
Figura 42 - Produção mundial de carne de frango em milhões de toneladas.....	59
Figura 43 - Abate de frangos de corte em porcentagem nos estados do Brasil.	60
Figura 44 - Ilustra instalação de um sistema solar em aviário.....	61
Figura 45 - Ilustração da posição geográfica da propriedade.	64
Figura 46 - Irradiação solar mensal na propriedade	65
Figura 47- Análise entre consumo real e geração de energia durante um ano.....	70
Figura 48 - Inversor sistema On Grid.	71
Figura 49 - Módulo Solar.	71
Figura 50 - Representação do fluxo de caixa.....	73
Figura 51- Valor do investimento x Payback.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores médios mensais, sazonais e anual para a radiação solar global nos municípios do estado do RS.....	27
Tabela 2 - Valores mínimos, máximos e médios para na base de tempo anual, sazonal e mensal para toda a área do Rio Grande do Sul.	28
Tabela 3 - Especificações técnicas de um inversor interativo comercial.....	50
Tabela 4 - Consumo de energia ao longo de um ano.....	62
Tabela 5 - Média consumo mensal e diário de energia elétrica.....	62
Tabela 6 - Escolha do ângulo de inclinação do módulo.	63
Tabela 7- Média mensal de irradiação na propriedade.	64
Tabela 8 - Dados econômicos durante o primeiro ano de instalação sistema fotovoltaico.	69
Tabela 9 - Orçamento do sistema.	73
Tabela 10 - Demonstrativo de fluxo de caixa.....	75
Tabela 11 - Análise de viabilidade.	76
Tabela 12 - Dados econômicos do valor investido ao longo de 25 anos.	77
Tabela 13 - Comparação entre rendimentos.	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivo geral e específico	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivo específico	15
1.2 Justificativa	15
1.3 Metodologia	16
1.4 Aplicação.....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Histórico da energia elétrica e fotovoltaica.....	18
2.2 Cenário da Energia Elétrica e Fotovoltaica.....	19
2.2.1 Sistemas fotovoltaicos no mundo	19
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos no Brasil.....	20
2.2.3 Sistema fotovoltaicos no Rio Grande do Sul.....	23
3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	29
3.1 Aplicações e sistemas fotovoltaicos.....	29
3.1.1 Sistemas isolados(autônomos)	29
3.1.2 Sistemas conectados à rede.....	31
3.2 Princípio de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede.....	32
3.2.1 Recomendação de instalação de painéis fotovoltaicos	34
3.2.1.1 Avaliação do recurso solar	34
3.2.1.2 Localização do painel fotovoltaico	35
3.2.1.3 Orientação do painel fotovoltaico	36
3.2.1.4 Inclinação do painel fotovoltaico	37
3.2.1.5 Levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica	38
3.2.2 Instalação dos componentes do Sistema fotovoltaico.....	38
3.3 Estrutura e funcionamento de componentes do sistema fotovoltaico	40
3.3.1 Célula fotovoltaica.....	40
3.3.2 Módulo e painel fotovoltaico.....	42

3.3.2.1 Estrutura do módulo fotovoltaico	43
3.3.2.2 Relação entre corrente e tensão módulo fotovoltaico	44
3.3.2.4 Sombreamento do módulo fotovoltaico	47
3.3.2.5 Considerações térmicas.....	48
3.3.3 Inversor de frequência	49
3.3.3.1 Inversor comutado pela rede	51
3.3.3.2 Inversor autocontrolado	52
3.3.3.3 Detecção de Ilhamento.....	53
3.3.4 Medidor bidirecional	54
3.3.5 Dispositivos de proteção	55
3.3.6 Manutenção sistema fotovoltaico	56
4 ESTUDO DE CASO.....	57
4.1 Agricultura familiar.....	57
4.2 Avicultura de corte	58
4.3 Viabilidade de um sistema fotovoltaico	60
4.3.1 Dados do local de implantação	61
4.3.2 Dimensionamento do sistema.....	65
4.3.3 Orçamento do sistema.....	70
4.3.4 Viabilidade econômica	73
4.4 Comparação Econômica.....	77
5 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	80
ANEXO A - CÁTALOGO MÓDULO SOLAR.....	86
ANEXO B - CÁTALOGO INVERSOR SOLAR	89

LISTA DE ABREVIATURAS

W	Watts
J	Joule
GW	Giga Watts
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
MW	Mega Watts
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MJ/M² DIA	Mega Joule por Metro Quadrado por Dia
CC	Corrente Continua
CA	Corrente Alternada
Voc	Tensão de Circuito Aberto
MOSFET	Instituto Nacional de Meteorologia
TBJ	Transistor Bipolar de Junção
IGBT	Transistor Bipolar de Porta Isolada
GTO	Tiristor Comutável pela Porta
PWM	Modulação por Largura de Pulso
A	Ampere
V	Volt
kWh	Kilo Watts Hora

1 INTRODUÇÃO

O sistema fotovoltaico é uma ferramenta estratégica voltada a produção de energia de forma limpa e eficiente utiliza uma fonte renovável. Segundo Villalva e Gazoli (2012) a terra recebe incidência solar na forma de luz e calor durante as épocas do ano, porém, apenas alguma parte desta energia é aproveitada.

A energia solar pode ser utilizada para a produção de eletricidade pelo efeito fotovoltaico através de sistemas que transforma a radiação solar emitida sobre as placas em eletricidade. Considera-se que, o sistema fotovoltaico é uma das fontes de energia que mais cresce em todo mundo em virtude da sua eficiência e viabilidade na implantação dos sistemas e da rentabilidade destinada ao investidos (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O sistema fotovoltaico é caracterizado por produzir energia tanto em locais sem acesso a rede de distribuição, onde é utilizado um sistema isolado, quanto em locais com acesso à energia elétrica onde é empregado o sistema conectado à rede que possibilita a redução de consumo de energia ou até mesmo é implementado para autoconsumo. Estes sistemas são considerados confiáveis e versáteis para a produção de energia (NEOSOLAR, 2019).

Segundo Frontin et al. (2017) a inclusão de energia solar na matriz energética brasileira como fonte renovável ainda tem muito a alavancar, onde empresas de energia e responsáveis discutem intensamente a diversificação da matriz energética atrelando a geração fotovoltaica a necessidade de produção de eletricidade.

De forma geral, a geração solar busca vincular a necessidade de produzir energia de forma limpa e sustentável sem danificar o meio ambiente. Considerando que, o mercado apresenta produtos que buscam satisfazer as necessidades dos clientes, busca-se estratégias para desenvolver sistemas aliados ao desenvolvimento tecnológico que possibilitam um alto desempenho, confiabilidade e uma boa relação de custo-benefício na produção de energia através do sol.

Neste trabalho, busca-se o estudo da viabilidade de implantação e instalação de painéis fotovoltaicos em aviários com o intuito de diminuir o consumo de energia proveniente da concessionária na produção de frangos de corte, onde se justifica em função do seu alto custo, ultrapassando até mesmo a mão de obra nas granjas.

A incidência de luminosidade e a demanda de energia na produção de frangos em granjas, faz com que o produtor busque atrelar a necessidade e o consumo eletricidade a

implantação de sistemas solares. Desta maneira, viabiliza-se a produção de frangos de alto padrão, pois o sistema torna-se confiável para o produtor. O diferencial deste novo sistema e a geração de energia contínua em dias ensolarados, desta maneira o produtor possui eletricidade em tempo integral. (SAGGIN; DA SILVA; STRADIOTTO, 2016).

1.1 Objetivo geral e específico

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar ao produtor rural através de estudos a viabilidade econômica da implantação dos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica para aviários no Rio Grande do Sul.

1.1.2 Objetivo específico

Dentre os objetivos específicos do trabalho podemos citar:

- Dimensionar o tamanho do sistema de geração de energia fotovoltaica através do consumo médio de energia da propriedade base;
- Verificar o custo para implementação do sistema nesta propriedade e a projeção dos seus resultados financeiros;
- Analisar a viabilidade da instalação, conhecendo o público alvo e utilizando o sol como fonte de energia.

1.2 Justificativa

Perante a crescente demanda de energia no país e no mundo fontes alternativas de geração de energia foram criadas, dentre elas está a geração de energia a partir do sol. Segundo Villalva e Gazoli (2012) os sistemas fotovoltaicos possuem a eficácia de captar continuamente a luz solar e transformá-la tensão elétrica.

Pode-se afirmar que, o grande crescimento da exploração desta nova fonte alternativa está relacionado a redução de custos na fatura de energia, pois um sistema operando em

condições ideais produz grande quantidade de eletricidade que pode ser utilizada internamente nas dependências do consumidor.

Desta forma, produtores rurais pretendem instalar estes sistemas afim de minimizar os gastos com energia, visto que o consumo de eletricidade está entre os grandes vilões na produção de frangos de corte, onde está em primeiro lugar nos custos para o produtor rural. O levantamento de uma solução para minimizar estes custos com energia é importante no momento atual, pois os avicultores de todo o Brasil se deparam com um mercado, tanto interno como externo, altamente competitivo, no qual por consequência torna-se fundamental a redução de gastos na produção (SAGGIN; DA SILVA; STRADIOTTO, 2016).

Segundo o site portal solar (2019), o sistema fotovoltaico é um sistema altamente confiável, possui vida útil estimada de 25 anos, este por sua vez pode ser utilizado em atividades que demandam período integral de abastecimento de energia. O mesmo pode ser empregado no setor avícola, onde a energia deve ser fornecida em tempo ininterrupto, pois ocorre a demanda diária de eletricidade, através de ventiladores, nebulizadores, iluminação e comedouros que são indispensáveis para a produção de um lote de frangos de qualidade. Desta forma, o produtor pode usufruir de um sistema altamente confiável que irá proporcionar energia durante o dia todo.

Dentre os inúmeros motivos que levaram ao estudo da energia solar, pode-se destacar a procura por um sistema que seja capaz de gerar eletricidade de forma limpa, utilizando o sol como fonte de energia. Pode-se destacar os sistemas fotovoltaicos como uma grande prospecção nesta área, pois os mesmos conseguem usufruir da irradiação solar incidente na terra e transformar em tensão elétrica, sem prejudicar o meio ambiente.

1.3 Metodologia

O presente trabalho tem como natureza qualitativa. Caracteriza-se com fins exploratórios, onde permite maior conhecimento acerca das energias renováveis fotovoltaicas. Seu embasamento principal é um estudo de caso, atrelado também em pesquisas bibliográficas. A pesquisa bibliográfica está baseada em artigos científicos, teses, dissertações e livros. O estudo de caso baseia-se em análises de faturas de energia do consumidor avícola, sendo observadas durante um ano o seu consumo, também são analisados a incidência de luminosidade no local durante um ano, considera-se o posicionamento do aviário perante o sol.

O trabalho de conclusão de curso estrutura-se em cinco capítulos, conforme foram inumerados a seguir:

No primeiro capítulo; apresenta-se a introdução aos sistemas fotovoltaicos, os objetivos gerais e específicos a justificativa e a metodologia empregados no trabalho.

No segundo capítulo; apresenta-se a história da energia elétrica e fotovoltaica, energia fotovoltaica no mundo, no Brasil, na região sul e no Rio Grande do Sul.

No terceiro capítulo; está destinado a geração, implementação e instalação dos sistemas fotovoltaicos.

No quarto capítulo; apresenta-se o estudo de caso, assim como as análises e resultados da pesquisa, o estudo da avicultura de corte no Brasil, agricultura familiar e viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos.

No quinto capítulo; serão expostas as considerações finais e a conclusão.

1.4 Aplicação

A alta competitividade no ramo de produção de suprimentos exige que as empresas estejam sempre preparadas para a crescente concorrência nos mercados aonde estão interligadas, uma das estratégias que estão sendo utilizadas é um sinônimo de evolução tanto na produção como na tecnologia aliada a produção de matéria prima, hoje a estratégia é investir em novas tecnologias, novos equipamentos, novos processos, sempre tendo uma visão sustentável de valor ao seu negócio.

Em virtude da grande concorrência de mercado e um forte procura por uma solução sustentável, busca-se a implantação de novas fontes geradoras de energia. A eficiência destinada a energia fotovoltaica e autopoder de redução de consumo de eletricidade, um dos maiores vilões na produção de matéria prima, tende a ser uma das soluções encontradas por estes produtores.

Desta forma, busca-se atrelar estes sistemas para uma maior eficiência na produção de frangos de corte na região norte do Rio Grande do Sul. Assim, visa-se sua aplicabilidade no meio rural, onde pode trazer ao produtor um investimento com retorno financeiro, pois, a instalação de um sistema fotovoltaico dentro dos padrões exigidos e com boa luminosidade no local de implantação tende a rapidamente a tornar-se um investimento que trará retornos futuros, proporcionando ao produtor a produção de matéria prima com menor custo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Histórico da energia elétrica e fotovoltaica

Ao longo da história a energia elétrica se tornou essencial para o desenvolvimento e aos poucos se transformou em uma valiosa mercadoria destinada a diferentes usos. Esta por sua vez se tornou o ícone da modernidade como símbolo de desenvolvimento para a população. A eletricidade é produzida e transportada visando como objetivo final os consumidores do mundo todo. O descobrimento da geração de eletricidade entre dos corpos teve início em 900 a.C, atribuída a Magnus, um pastor, onde ao andar por um campo de pedras teve seu cajado atraído pela magnitude das rochas. Em seguida, cerca de 600 a.C. o filósofo Thales de Mileto em suas experiências constatou que ao esfregar um pedaço de âmbar com pele de gato, percebeu que o âmbar tinha a capacidade de atrair objetos leves, como fragmentos de palhas e penas de aves (GUEDES, 2003).

O aumento gradativo de demanda de energia em todo o mundo fez com que fosse necessário o estudo da exploração e implementação de novas fontes de energia dentre estas foram estudadas e discutidas a geração de energia através de energia solar, proveniente da maior fonte de energia, o sol. Este estudo teve início em 1839 onde um cientista francês Alexandre-Edmond Becquerel em uma de suas experiências colocou duas placas de latão em um líquido condutor e repentinamente resplandeceu luz nas placas, assim ele constatou que naquele momento havia originado uma corrente elétrica (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

A partir deste momento, esta experiência ficou conhecida como efeito fotovoltaico, dando início a uma série de pesquisas em um processo lento para o desenvolvimento desta nova tecnologia. Um grande passo no desmembramento desta nova tecnologia foi dado em 1873, onde o cientista britânico Willoughby Smith a partir de suas experiências descobriu que o elemento selênio reagia à luz. Em 1880 que o pesquisador Charles Fritts desenvolveu a primeira célula solar de selênio, diante disso provou que não era necessário utilizar combustíveis para a produção de eletricidade. Finalmente, em 1954 foi dado um grande passo na evolução do estudo dos sistemas fotovoltaicos onde cientistas nos Laboratórios Bell investigaram a possibilidade e qualidade do silício e as suas características e o que era possível realizar com este material, pois o silício é o segundo elemento mais disponível na terra (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016).

A continuidade deste processo de descoberta e estudo de uma fonte geradora de energia se propagou em 1970 a 1990 onde ocorreu um grande crescimento com a criação das células fotovoltaicas que tinham pouca eficiência, porém tiveram grande desenvolvimento, onde inicialmente foram usadas em indústrias aeroespaciais, logo em seguida ganhou força para aplicações terrestres para geração de energia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.2 Cenário da Energia Elétrica e Fotovoltaica

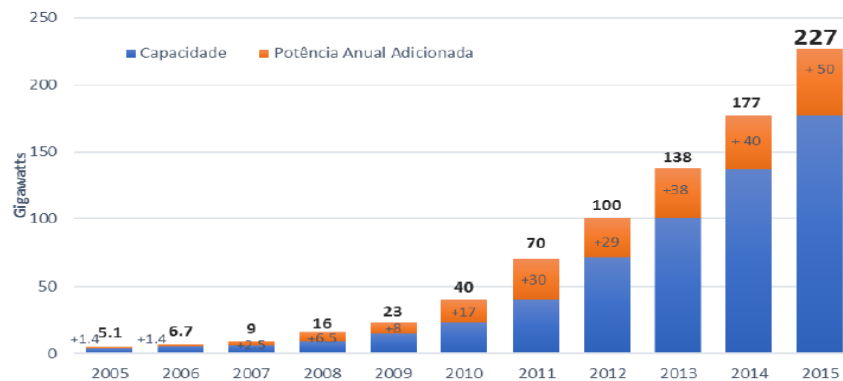
2.2.1 Sistemas fotovoltaicos no mundo

Atualmente a matriz energética mundial já reconhece as energias renováveis como fonte de energia limpa. O crescimento destas novas tecnologias renováveis está relacionado ao custo-benefício, o contínuo financiamento e as constantes políticas de incentivo (Kristin Seyboth et al., 2016).

A energia solar é uma fonte renovável que apresenta capacidade de prover energia necessária para satisfazer a demanda energética mundial (DUNLAP, 2015). A incidência de luminosidade aferida pelo sol perante a terra é aproximadamente de $1,8 \times 10^{17}$ W. Os raios solares são transmitidos através da atmosfera, resultando em uma insolação de $9,0 \times 10^{16}$ W na superfície terrestre. Baseado em análise de eficiência, considerando de 15% de um painel fotovoltaico, o potencial fornecido pelos módulos é de $1,3 \times 10^{16}$. Segundo Dunlap (2015) o consumo primário de energia mundial é cerca de $5,7 \times 10^{20}$ J, para um potencial consumido de $1,8 \times 10^{13}$ W, apenas 0,14% da energia solar disponível seria capaz de suprir a matriz energética mundial.

O crescimento de instalações provenientes de energia solar aumentou gradativamente pela crescente procura e pelas necessidades das economias de globais se tornarem mais limpas, entre os anos de 2005 a 2015, a potência adicionada (50GW) era dez vezes superior à toda a potência instalada há uma década (5.1GW), totalizando 227GW de instalados mundialmente (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2014), como mostra a Figura 1:

Figura 1 - Potência instalada de Energia Solar Fotovoltaica.



Fonte: (KRISTIAN SEYBOTH ET AL., 2016).

Pode-se afirmar que a energia solar tem um papel essencial na matriz energética de alguns países. Cerca de 22 países a nível mundial, incluindo alguns europeus, Austrália, Chile, Tailândia, Japão e Israel, já possuem potência instalada suficiente desta tecnologia que representa 1% dos seus consumos. No ano de 2015, a Europa contribuiu com 3.5% de energia solar instalada referente ao consumo total de eletricidade, já países como Itália e Alemanha, gerou-se cerca de 7,8% e 6,4% da eletricidade consumida (KRISTIAN SEYBOT ET AL, 2016).

O custo das células fotovoltaicas é hoje, um dos grandes empecilhos para a difusão dos sistemas fotovoltaicos em larga escala. Porém em 2015, estimasse que o custo de utilização e operação destes sistemas baixe 57% até 2025. Além disso, a tecnologia fotovoltaica está se tornando altamente competitiva devido considerando também fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais (PINHO; GALDINO, 2014).

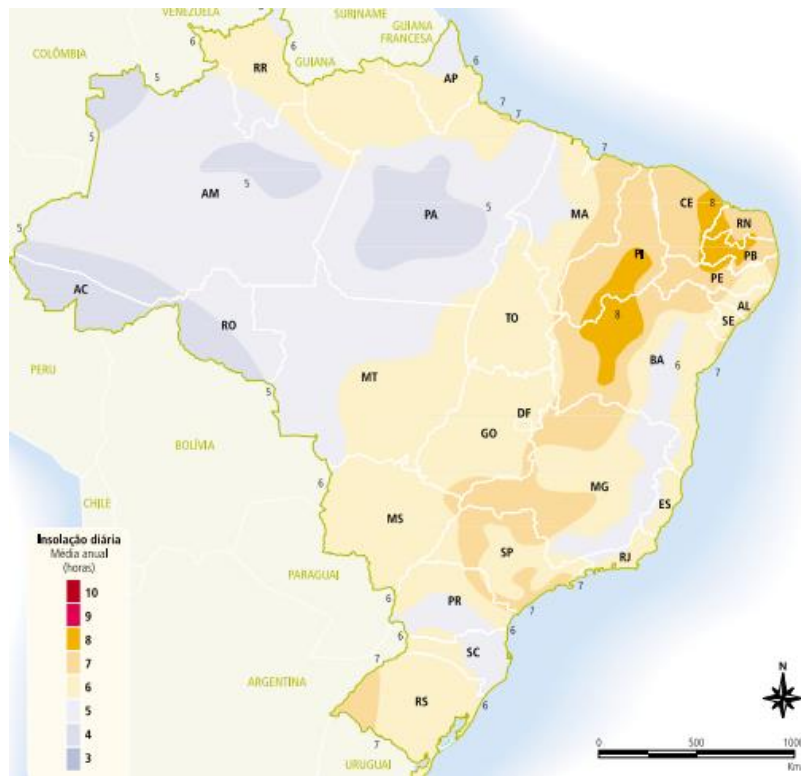
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos no Brasil

O território nacional brasileiro recebe anualmente grande quantidade de irradiação solar, quando comparado com outros países do mundo, o que facilita a implantação de sistemas fotovoltaicos no país. Porém um grande empecilho na produção em grande escala desta nova tecnologia fotovoltaica no Brasil está relacionado as fases de crescimento e avanços tecnológicos no Brasil (PINHO; GALDINO, 2014).

Em 2012 a energia solar brasileira está interligada a pequenos sistemas isolados e autônomos, lugares de difícil acesso a rede elétrica e redes de distribuição, desta forma utilizam esta fonte para produção de eletricidade (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Segundo o site da ANEEL, o Brasil hoje possui irradiação solar em grande quantidade quando comparada com outros países. O aproveitamento de um sistema fotovoltaico depende da insolação do local, onde será implementada a geração. O nosso país oscila em média entre 3 a 8 horas de insolação diária, onde as regiões Nordeste e Centro-Oeste são as que possuem o maior aproveitamento da luminosidade. Entretanto, as demais regiões possuem um menor aproveitamento, ainda assim possuem a insolação melhor que as de alguns países que usam largamente esta tecnologia solar como exemplo países europeus como Alemanha. Como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Atlas solar métrico do Brasil.

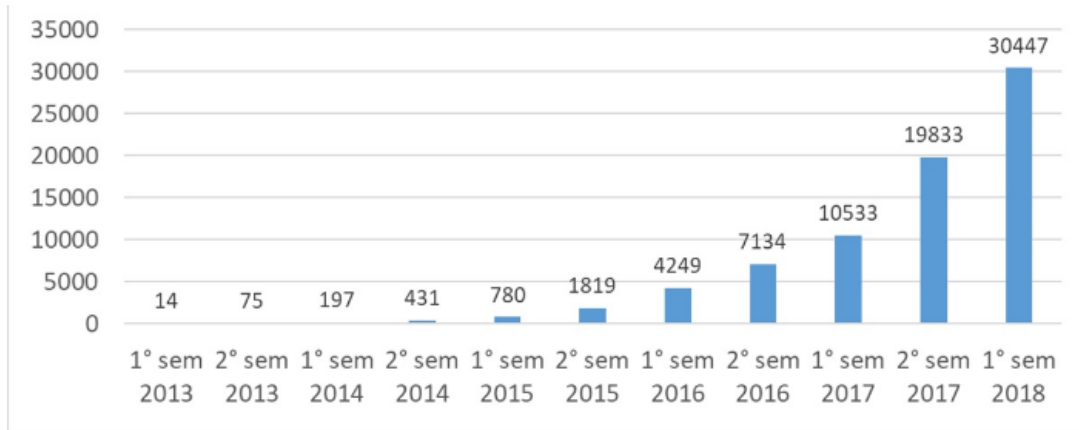


Fonte: (ANEEL,2018).

De acordo com o site blue sol o sistema fotovoltaico começou a se desenvolver no país a partir de 2012, onde cresceu significativamente devido aos incentivos do governo. Foram então criadas linhas de financiamento específicas para implantação do sistema. Este por sua vez permite ao consumidor e pagar pelo sistema a partir da economia de consumo de energia, a qual pode chegar a 95%. A inserção desta nova fonte de energia cresce a passos largos fechou o ano de 2018 com 48.613 sistemas instalados no Brasil, e possui o intuito de chegar em 2024 com

mais de 886.700 pontos instalados. A Figura 3 demonstra o crescimento dos sistemas fotovoltaicos até primeiro semestre de 2018.

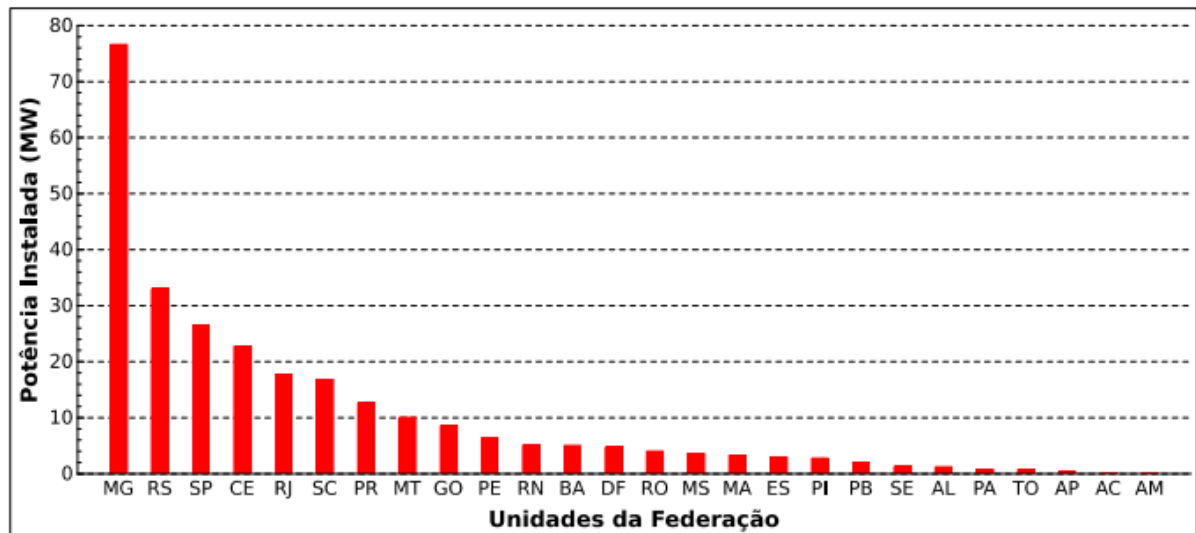
Figura 3 - Crescimento dos sistemas fotovoltaicos no Brasil.



Fonte:(SOLAR 2019).

Na Figura 4, pode-se verificar o crescimento em larga escala em cada respectivo estado, desta forma analisa-se qual estado está à frente desta nova tecnologia.

Figura 4 - Potência solar fotovoltaica instalada (MW) por Unidade da Federação até fevereiro de 2018.



Fonte:(ANEEL,2018).

Na Figura 4, pode-se perceber que o Brasil é grande promissor na utilização de energia fotovoltaica. Minas Gerais é o estado que mais emprega esta energia, possui aproximadamente

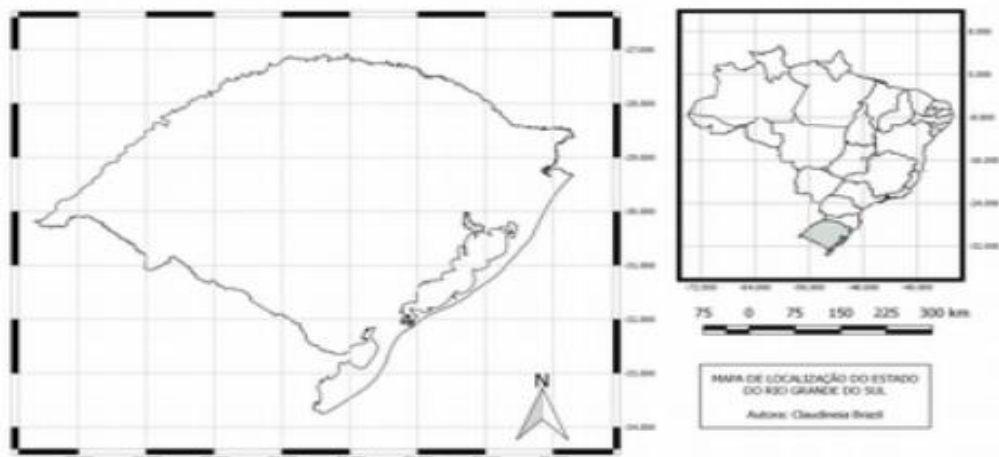
76MW de potência fotovoltaica instalada, em seguida vem o estado do Rio grande do Sul com aproximadamente 33 MW de potência instalada.

Com o gigantesco potencial de energia solar o Brasil, poderá tornar-se um dos principais empregadores de energia renováveis do mundo. Pois, existe muito espaço para o crescimento da energia renováveis no país. Os painéis instalados em condições climáticas favoráveis podem gerar eletricidade em qualquer espaço sendo eles telhados e fachadas de prédios, residências e até mesmo em propriedades rurais. Entretanto, apesar do grande potencial de utilização desta energia, a maioria ainda desconhece essa tecnologia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

2.2.3 Sistema fotovoltaicos no Rio Grande do Sul.

Segundo Haag; et al. (2018) o estado do Rio grande do Sul, possui extensão territorial de 281.737,888 km², onde é considerado o 9º maior estado do Brasil. Este por sua vez é designado é também o 5º maior estado em relação populacional, na qual possui 11,329 milhões de habitantes, conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Mapa de localização do Estado do Rio Grande do Sul.



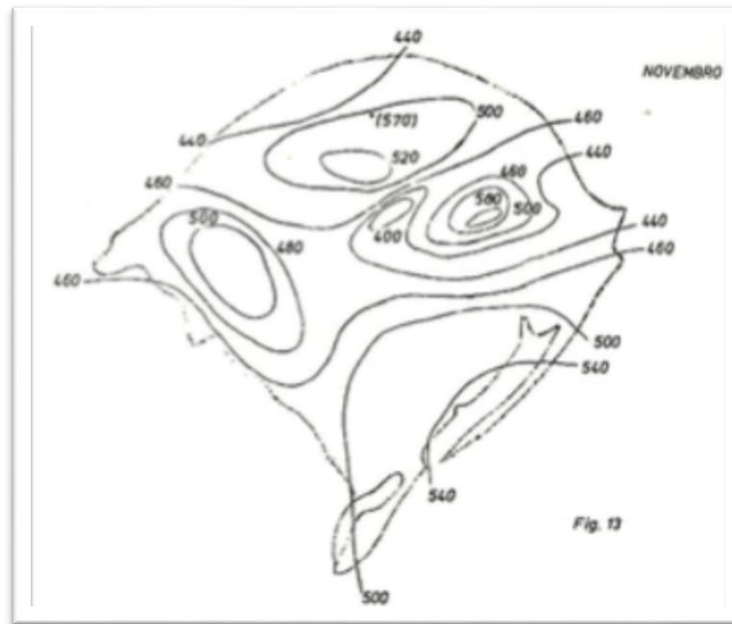
Fonte: (HAAG,2018).

Os primeiros estudos referentes energia solar no Rio Grande do Sul foram publicados por Kessler e Corbella em 1979. Nesta pesquisa foram apresentados mapas referentes a radiação solar diária em cada um dos meses sobre a superfície horizontal do Rio Grande do Sul, foram

utilizados dados meteorológicos do IPAGRO (antigo Instituto de Pesquisas Agronômicas, atualmente FEPAGRO).

Estes dados foram obtidos através de actinógrafos, os quais apresentam erros de ordem de 15% a 20% nas medições, apresentavam inúmeros períodos de falta de dados (Tiba, 2000). A Figura 6 mostra a média mensal de radiação diária do mês de novembro no estado do Rio Grande do sul.

Figura 6 - Mapa de isolinhas para a radiação solar no Rio Grande do Sul no mês de novembro.



Fonte: (KESSLER e CORBELLA, 1979).

Martinazzo (2004) desenvolveu pesquisas e partir de dados coletados elaborou mapas mensais e anuais solar métricos no Rio Grande do Sul, coletou dados em 24 estações pertencentes a FEPAGRO e INMET. Utilizou-se aparelhos actinógrafos e heliógrafos do tipo Campbell-Stokes que permitem saber informações sobre horas de brilho solar em um determinado tempo ou dia, ou seja, período onde o sol não estava encoberto. Assim, Figura 7 demonstra a radiação global média diária do Rio Grande do Sul.

Figura 7 - Mapa de radiação solar global horizontal média anual diária.

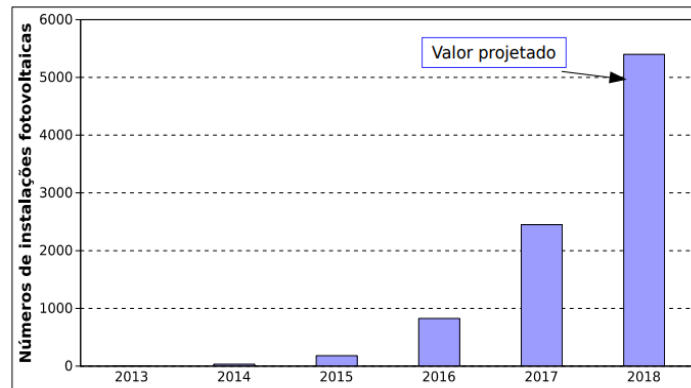


Fonte:(MARTINAZZO,2004).

O estado do Rio grande do Sul possui um alto desempenho quando comparado aos países que utilizam a energia solar em grande escala. Apresenta valores de insolação e radiação, da ordem de 6 a 7 horas diárias, totalizando a média 14 a 16 MJ/m²dia (TIBA et al., 2000).

Segundo site portal solar o Rio Grande do Sul possui o segundo lugar no ranking de potência solar instalada no Brasil. Está dividida entre sistemas de microgeração e minigeração solar segundo a última análise feita pela Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Estes sistemas estão inclusos em indústrias, casa e produtores rurais. O crescimento em larga escala de novas instalações foi de 428% entre 2013-2017. Através de projeções, pode-se perceber que o estado tende a alavancar ainda mais suas instalações no decorrer dos anos (HAAG; et al., 2018), como mostra a Figura 8.

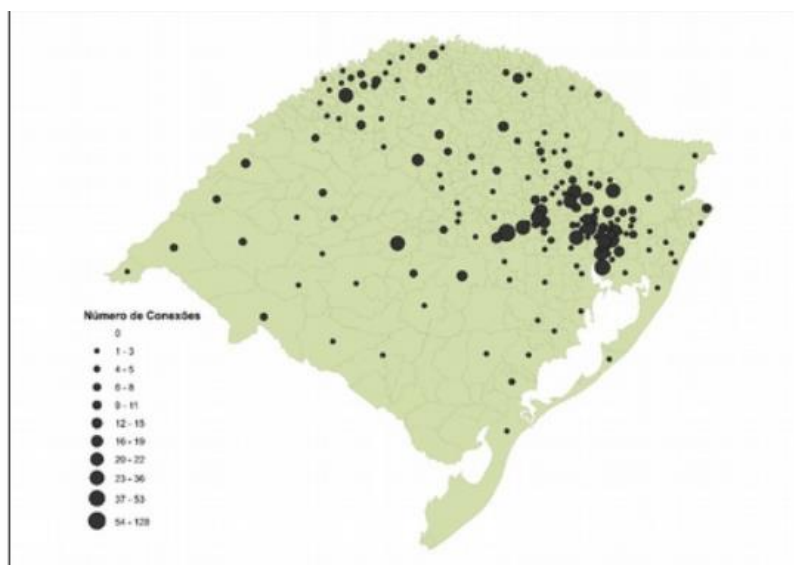
Figura 8 - Número acumulado de micro e minigeração distribuída no Rio Grande do Sul.



Fonte: (ANEEL,2018).

O estado apresenta instalações fotovoltaicas em diversas cidades, vê-se um maior aglomerado de instalações próximo da região metropolitana de Porto Alegre. Mas, quem se destaca é a cidade de Santa Cruz do Sul, pois possuía 219 unidade cadastradas até fevereiro de 2018. A capital gaúcha vem logo em seguida com 132 instalações registradas pelo banco de dados da ANNEL (HAAG; et al., 2018), como pode-se observar na Figura 9.

Figura 9 - Número de conexões de micro e minigeração distribuída nos municípios do Rio Grande do Sul.



Fonte: (ANEEL, 2018).

A Tabela 1, apresenta os valores médios mensais, sazonais e anual para radiação solar nos municípios do Rio Grande do Sul referente a 38 municípios durante um ano (HAAG;ET AL,2018).

Tabela 1 - Valores médios mensais, sazonais e anual para a radiação solar global nos municípios do estado do RS.

MUNICÍPIO	RADIÇÃO KWh/m ² /dia												SAZONAL			ANUAL	
	MENSAL												Out.	Inv.	Prim.		
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez					
Alegrete	7,011	6,165	5,561	4,41	3,145	2,576	2,021	3,513	4,405	5,734	6,057	7,32	6,041	4,372	2,97	5,692	4,922
Bagé	7,099	6,117	5,427	4,351	3,109	2,371	2,798	3,304	4,241	5,531	6,059	7,32	6,912	4,316	2,091	5,544	4,927
Bento Gonçalves	6,333	5,661	4,86	4,145	2,923	2,44	2,813	3,374	4,09	4,953	6,311	6,63	6,2	3,996	2,876	5,118	4,544
Caçapava do Sul	6,843	5,986	5,299	4,248	2,969	2,563	2,669	3,37	4,166	5,375	6,457	7,131	6,854	4,172	2,867	5,333	4,767
Camapuã	6,071	5,262	4,4	3,03	2,793	2,239	2,429	2,039	3,575	4,635	5,92	6,439	5,924	3,704	2,502	4,73	4,214
Canela	5,959	5,304	4,661	4,059	2,876	2,514	2,778	3,22	4,01	5,007	6,019	6,322	5,862	3,866	2,817	5,012	4,388
Canguçu	6,229	5,634	4,663	4,059	2,875	2,168	2,603	2,956	3,754	4,073	6,204	6,612	6,158	3,227	2,642	4,944	4,36
Cruz Alta	6,841	5,753	5,171	4,529	3,265	2,676	3,045	3,627	4,282	4,929	6,625	7,114	6,569	4,322	3,116	5,262	4,814
Dom Pedrito	7,199	6,029	5,547	4,266	1,044	2,62	2,878	3,506	4,599	5,002	7,07	7,424	6,887	4,206	3,001	5,824	5,042
Erechim	6,466	5,912	5,222	4,351	3,189	2,777	3,192	3,706	4,421	4,929	6,5	6,769	6,383	4,254	3,206	5,303	4,78
Frederico Westphalen	6,588	5,718	5,171	4,326	3,117	2,61	2,956	3,629	4,26	5,209	6,88	6,818	6,373	4,205	3,068	5,283	4,728
Jaguarão	6,823	5,71	4,99	3,82	2,68	2,244	2,402	2,851	3,862	5,082	6,88	6,917	6,49	3,83	2,499	5,108	4,5
Lagoa Vermelha	6,426	5,824	5,118	4,252	3,064	2,632	2,992	3,514	4,254	4,009	6,424	6,752	6,334	4,145	3,046	5,189	4,676
Mostardas	7,147	6,163	5,358	4,127	1,095	2,642	2,697	3,324	4,164	5,543	6,767	7,368	6,093	4,194	2,888	5,491	4,068
Palmeira das Missões	6,521	5,915	5,225	4,461	3,29	2,716	3,06	3,652	4,129	4,817	6,345	6,189	6,208	4,326	3,149	5,097	4,768
Passo Fundo	6,421	5,876	4,994	4,334	3,226	4,103	3,879	4,226	4,321	5,289	6,142	6,102	6,366	4,325	3,456	5,415	4,625
Porto Alegre	6,228	5,641	4,768	3,638	2,597	2,156	2,375	2,937	3,764	4,789	5,707	6,142	6,004	3,668	2,469	4,754	4,228
Quaraí	7,036	6,084	5,535	4,327	2,975	2,527	2,822	3,524	4,429	5,754	6,667	7,296	6,205	4,279	2,957	5,62	4,925
Rio Grande	6,572	5,528	4,95	3,878	2,771	2,106	2,4	3,025	3,968	5,108	6,376	6,895	6,33	3,865	2,577	5,144	4,378
Rio Pardo	6,503	5,008	4,928	3,985	2,919	2,333	2,529	3,054	3,87	4,052	6,19	6,836	6,382	3,951	2,619	4,97	4,489
Santa Maria	6,424	5,587	4,067	1,988	2,095	2,32	2,506	3,026	3,884	4,084	6,125	6,85	6,29	3,917	2,644	4,964	4,461
Santa Rosa	6,789	5,08	5,31	4,428	1,11	2,501	2,004	3,609	4,343	5,637	6,401	6,049	6,509	4,205	1,025	5,407	4,023
Santana do Livramento	6,895	5,871	5,11	3,907	2,823	2,271	2,278	3,266	4,136	5,471	6,468	6,627	6,464	3,947	2,762	5,358	4,633
Santiago	6,896	1,95	1,046	4,512	3,281	2,789	2,937	3,579	4,453	5,399	6,697	7,196	6,681	4,28	3,101	5,516	4,965
Santo Augusto	6,573	5,928	5,003	4,187	1,247	2,533	2,866	3,464	4,144	4,01	6,199	6,255	6,252	4,145	2,954	5,051	4,606
São Borja	7,037	6,042	5,508	4,483	3,33	2,706	3,003	3,727	4,635	5,643	6,718	7,182	6,751	4,441	3,145	5,672	5,007
São Gabriel	5,906	6,048	5,363	4,272	2,971	2,468	2,592	3,285	4,209	5,518	6,628	7,81	6,781	4,202	2,782	5,236	4,544
São José dos Ausentes	5,858	5,371	4,878	4,215	3,127	2,734	3,125	3,614	4,25	5,016	6,16	6,279	5,836	4,036	3,216	5,642	5,039
São Luiz Gonzaga	7,008	6,047	5,683	4,622	1,322	2,82	3,106	3,721	4,551	5,567	6,007	7,201	6,752	4,542	3,216	5,642	5,039
Soledade	6,45	5,754	5,124	4,221	2,959	2,608	2,847	3,471	4,274	5,457	6,957	6,945	6,384	4,101	2,975	5,562	4,769
Torres	6,221	5,572	4,749	4,139	3,148	2,532	2,777	3,306	4,049	4,979	6,118	6,469	6,087	4,012	2,872	5,049	4,501
Tramandai	6,652	5,888	5,066	4,088	3,015	2,408	2,577	3,21	3,845	5,288	6,382	6,845	6,462	4,053	2,732	5,171	4,606
Uruguaiana	7,191	6,266	5,569	4,456	3,194	2,494	3,002	3,594	4,164	5,602	6,099	7,196	6,004	4,406	3,03	5,555	5,006
Vacaria	6,026	5,565	4,911	3,537	3,071	2,596	2,966	3,543	4,025	5,06	5,962	6,3	5,964	3,84	3,035	5,016	4,396

Fonte: (HAAG; ET AL,2018).

Na Tabela 1, verifica-se a radiação mensal, sazonal e anual dos maiores municípios do estado do Rio Grande do Sul, onde o município que mais recebe incidência anual de radiação é o município Dom Pedrito aproximadamente 5,042 kWh/m²/dia. Em seguida vem os municípios São José dos Ausentes e São Luiz Gonzaga com aproximadamente 5,039 kWh/m²/dia, desta forma, pode-se afirmar que o estado do Rio grande do Sul possui uma grande incidência de radiação solar o todo ano (HAAG; ET AL,2018).

O Rio Grande do Sul possui uma rica fonte de energia fotovoltaica a ser explorada, desta forma pode-se tornar um grande produtor e promissor de utilização desta fonte inesgotável. Pois, possui valor médio igual a 4,67 kWh/m²/dia, com mínimo de 4,36 kWh/m²/dia e máximo de 5,01 kWh/m²/dia, considerando-o com um alto desempenho na geração solar (HAAG; ET AL,2018), como pode ser mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores mínimos, máximos e médios para na base de tempo anual, sazonal e mensal para toda a área do Rio Grande do Sul.

MAPAS		Radiação (KWh/m ³ /dia)		
		Minima	Maxima	Média
ANUAL		4,36	5,01	4,67
SAZONAL	Dez- Fev	5,93	6,83	6,44
	Mar- Mai	3,83	4,45	4,1
	Jun- Ago	2,54	3,16	2,87
	Set- Nov	4,93	5,63	5,26
MENSAL	Janeiro	5,99	7,11	6,64
	Fevereiro	5,46	6,15	5,82
	Março	4,8	5,5	5,12
	Abril	3,85	4,54	4,18
	Mai	2,59	3,33	3,01
	Junho	2,27	2,75	2,51
	Julho	2,43	3,07	2,76
	Agosto	2,93	3,71	3,34
	Setembro	3,77	4,54	4,14
	Outubro	4,84	5,65	5,18
	Novembro	6,05	6,78	6,44
	Dezembro	6,14	7,53	6,89

Fonte: (HAAG; ET AL,2018)

3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.1 Aplicações e sistemas fotovoltaicos

O Princípio de funcionamento de um sistema fotovoltaico é baseado em dois sistemas de geração, sistemas isolados (autonomos) e sistemas conectados a rede. Ambos funcionam de diferente maneira mas sempre visando a utilização e necessidade do consumidor final. Na Figura 10 podemos ver algumas finalidades destes dois sistemas.

Figura 10 - Sistemas isolados e conectados à rede e suas finalidades.



Fonte: (SANTOS, 2011).

3.1.1 Sistemas isolados(autônomos)

Segundo Alves (2016) estes sistemas são utilizados comumente em locais onde não possui sistema de distribuição via concessionária. Podem ser utilizados para fornecer eletricidade para locais onde o custo é elevado para a extensão da rede de distribuição, sendo utilizados também em zonas rurais, camping ou para qualquer outro lugar aonde energia elétrica não esteja disponível.

A aplicação de sistemas isolados pode ser encontrada em sinalização de estradas, iluminação pública, carregamento das baterias de veículos elétricos e até mesmo em alimentação de sistemas de telecomunicações. Estes sistemas possuem um abrangente campo de atuação desde de pequenos aparelhos eletrônicos portáteis até sistemas aeroespaciais (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

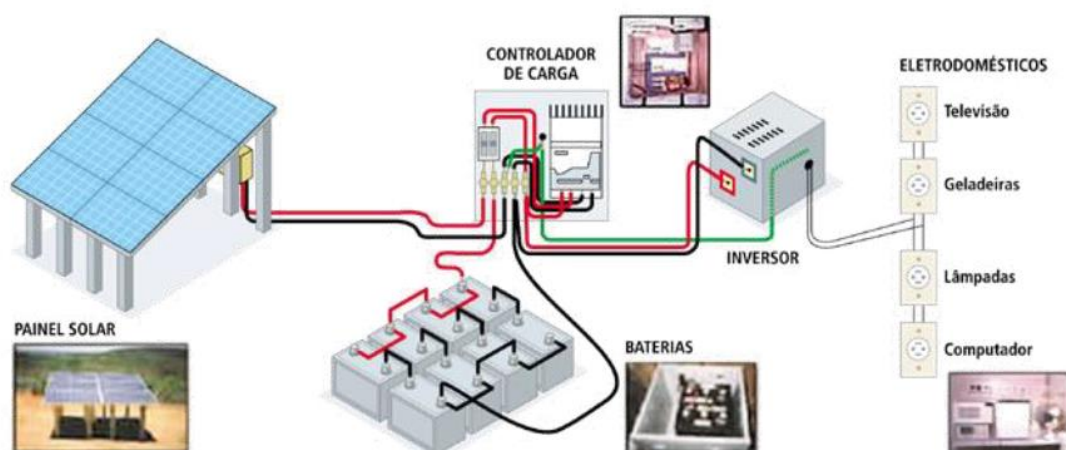
Sistemas autônomos normalmente estão associados a capacidade de armazenar energia elétrica produzida, para isso utilizam baterias. Produzem eletricidade durante as horas de sol e em dias ensolarados para isso utilizam um armazenador possibilitando acumular a energia gerada, esta energia somente será utilizada no momento da necessidade do consumo da mesma (ELETROJR, 2019).

São considerados elementos básicos do sistema fotovoltaico isolado:

- Módulos fotovoltaicos;
- Controlador de carga e descarga;
- Banco de baterias;
- Inversor off grid;
- Suportes, cabeamento e proteções;
- Cargas.

Na Figura 11 podemos ver todos estes elementos:

Figura 11 - Exemplo de sistema fotovoltaico autônomo



Fonte: (ANEEL,2019)

Este sistema funciona da seguinte maneira, a energia captada pelos módulos é do tipo CC é direcionada para o controlador de carga. Este possui a finalidade de garantir que o fluxo de potência gerado pelos painéis não ultrapasse a potência necessária para o carregamento das baterias. Após ocorrer o armazenamento das baterias a tensão ainda se encontra em corrente contínua desta forma percorre o caminho até o inversor de frequência que possui a capacidade de transformar a tensão CC para CA deixando-as compatíveis com a tensão, corrente e frequência das cargas a serem ligadas. O ciclo de carga e descarga da bateria que é empregada depende do clima e da radiação proveniente do dia, além do tempo de autonomia das baterias e da potência das cargas que estão sendo alimentadas (ALVES, 2016).

3.1.2 Sistemas conectados à rede

Pinho; Galdino, 2014 afirmam que os sistemas fotovoltaicos conectados à rede dispensam o uso de baterias, pois toda a eletricidade produzida pelos painéis pode ser consumida pelas cargas alimentadas, ou ser injetada diretamente na rede elétrica da concessionária. Estes sistemas apresentam-se como uma fonte complementar ao sistema elétrico o qual está conectado.

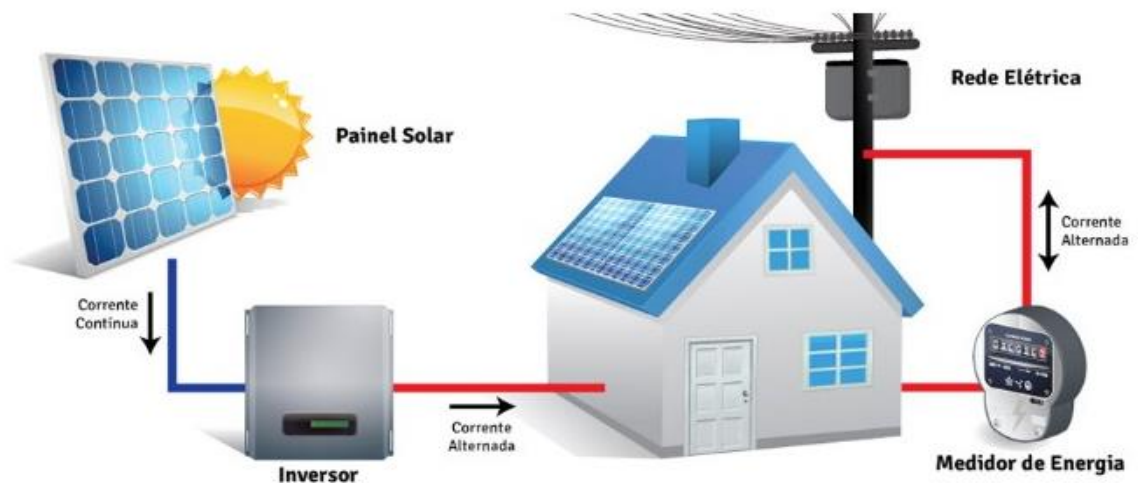
Sistemas interligados a rede são os mais comuns em instalações fotovoltaicas, onde são comumente utilizados em edificações, como fachadas e telhados ou até mesmo se sobressaem a estes. Diferentemente dos sistemas autônomos, o sistema conectado é aplicado em locais onde já possui redes elétricas. O intuito deste sistema é gerar eletricidade para consumo local desta maneira reduziria o consumo da rede pública (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

São considerados elementos básicos do sistema fotovoltaico conectado à rede:

- Módulos fotovoltaicos;
- Caixa de junção;
- Cabos AC-DC;
- Inversor *on-grid*;
- Suportes, cabeamento e proteções;
- Aparelho de medição;
- Cargas.

Na Figura 12 podemos ver um exemplo de sistema conectado à rede:

Figura 12 - Exemplo de sistema FV interligado a rede.



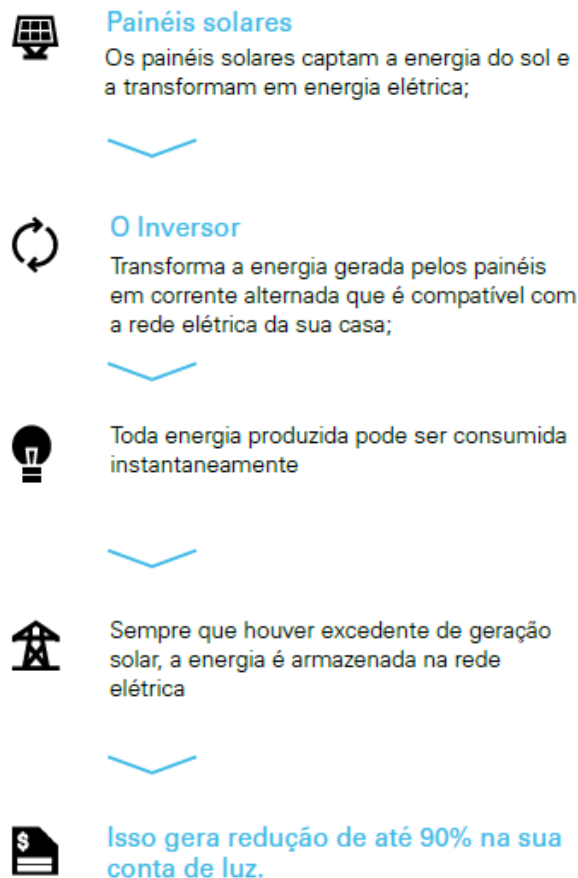
Fonte: (GRUPO KHRONOS, 2019).

Este sistema opera da seguinte maneira: a energia coletada pelos painéis fotovoltaicos em CC passa diretamente pelo inversor de frequência que possui a finalidade de converter a tensão de CC para CA, após ocorrer esta transformação a energia percorre as cargas e as alimenta, a energia produzida em excedente automaticamente é injetada na rede da concessionária onde será utilizada pelos consumidores conectados à rede de distribuição (ALVES, 2016).

3.2 Princípio de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede

Atualmente empresas e residências conseguem diminuir significativamente seus custos com energia elétrica. Elas utilizam o sol, uma fonte inesgotável de energia para geração de eletricidade (ANEEL, 2016). Na Figura 13 podemos entender melhor este processo:

Figura 13 - Infográfico de funcionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: (ANEEL, 2016).

O princípio de instalação de um sistema fotovoltaico dentro dos padrões requeridos e exige muita cautela e atenção para que sejam alcançados os objetivos desejados e consequentemente um bom funcionamento do sistema (ANEEL, 2016).

Primeiramente o sistema solar deve ser planejado de acordo com a necessidade do cliente, pois, sabe-se que o mesmo busca o dimensionamento correto que venha a suprir sua necessidade de demanda de energia. O sistema solar conectado à rede possui diversos componentes sendo eles: módulos fotovoltaicos, inversores de frequência, medidor bidirecional, *string box*, cabeamento e sistemas de proteções, todos estes componentes devem ser dimensionados corretamente (GEPEA, 2019).

Segundo Frontin, et al (2017) a instalação de um sistema conectado à rede provem de uma série de requisitos a serem seguidos. Inicialmente, necessita-se saber quanta energia deseja-se produzir. Para efetuar estes cálculos pode-se levar em conta o consumo local mensal de eletricidade, obtido através das faturas de energia, analisa-se também se o cliente deseja

suprir totalmente ou parcialmente a demanda de energia, assim como o espaço disponível para a instalação dos módulos fotovoltaicos, o recurso solar do local onde será instalado.

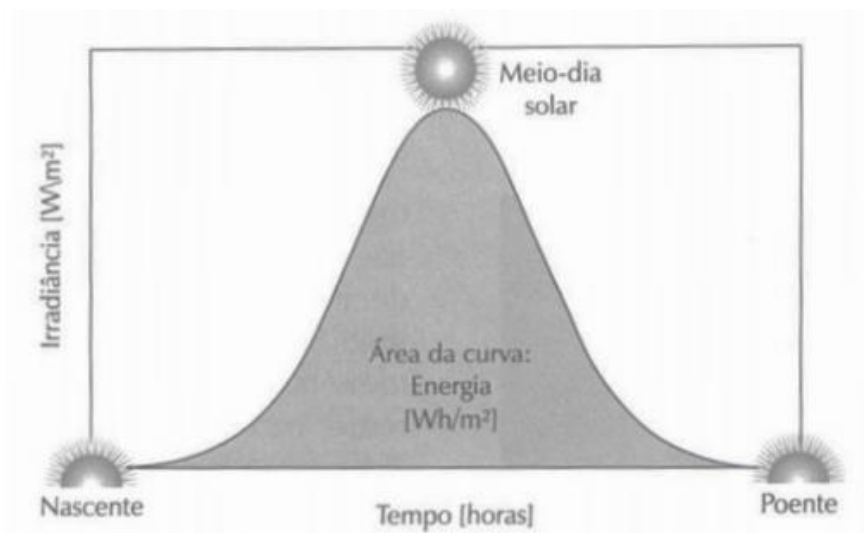
3.2.1 Recomendação de instalação de painéis fotovoltaicos

3.2.1.1 Avaliação do recurso solar

É de grande importância saber qual é a quantidade de radiação incidente no local de implantação do sistema solar, para isso são levadas em conta algumas especificações como localização geográfica, hora do dia, condições climáticas, altitude e outros fatores (PINHO; GALDINO, 2014).

A irradiação incidente sobre a terra é dada em W/m^2 (watts por metro quadrado), pode ser medida através de instrumento chamado pirômetro que captam a radiação solar através de um sensor que é instalado no seu interior. Atualmente a irradiação incidente sobre a terra é de $1000 W/m^2$ esta é adotada como padrão na indústria fotovoltaica para especificações dos painéis solares. Pode-se ver na Figura 14 a irradiância solar durante o dia (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 14 - Perfil da irradiância solar ao longo do dia.

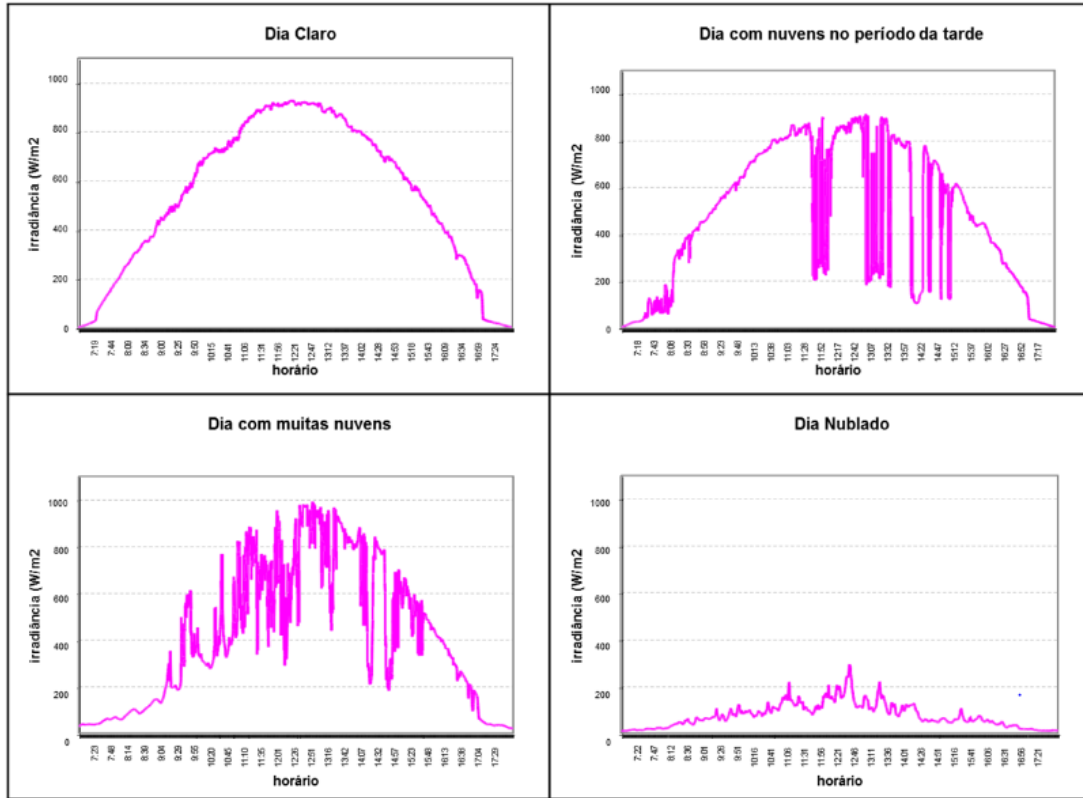


Fonte: (ALVES, 2017).

A incidência de irradiação solar não é constante ao decorrer dos dias deve-se levar em conta as condições climáticas, onde pode ocorrer oscilações na radiação recebida pela terra. A

Figura 15 demonstra a diferença entre a quantidade de irradiação em diferentes condições climáticas (BRASIL, 2019).

Figura 15-Radiação solar diária média mensal extraterrestre, terrestre global e difusa no plano horizontal.



Fonte: (BRASIL, 2019).

3.2.1.2 Localização do painel fotovoltaico

Pinho; Galdino (2014) afirmam que local onde realmente será instalado os painéis fotovoltaicos são determinantes para o bom desempenho do sistema. Alguns pontos devem ser levados em conta na hora da instalação, locais onde possuem superfícies reflexivas, elementos arquitetônicos e sombreamento podem comprometer a eficiência do sistema. O ângulo e a orientação solar também devem analisados, pois fazem com que o painel receba a maior incidência de irradiação.

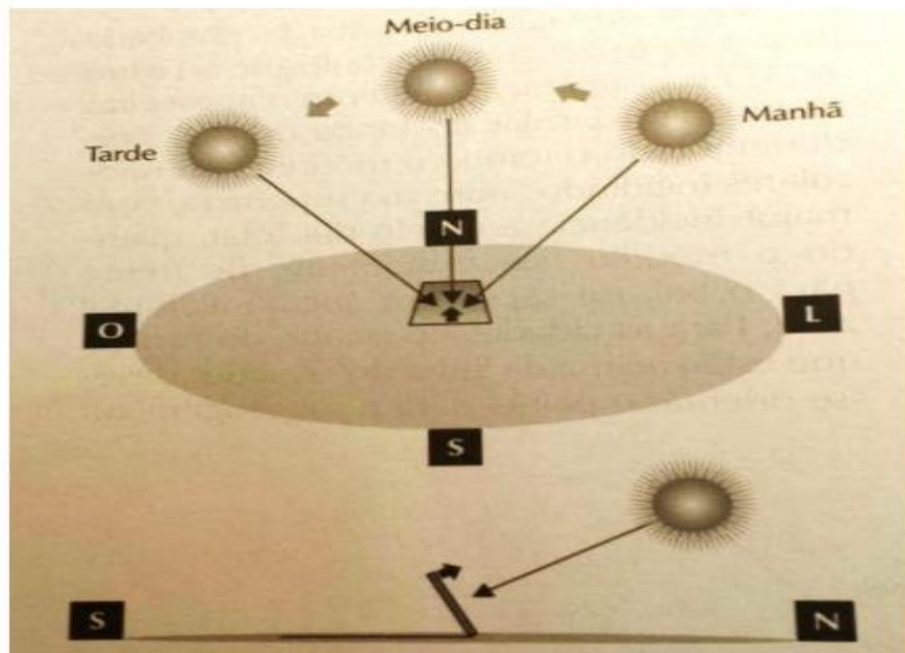
3.2.1.3 Orientação do painel fotovoltaico

O posicionamento do painel perante ao sol é uns dois principais pontos a serem analisados e avaliados pelo projetista. Sabe-se que para obter um bom funcionamento do sistema o painel fotovoltaico deve receber a maior incidência de radiação durante todo o período do dia.

Segundo Villalva; Gazoli (2014) os painéis devem absorver a maior quantidade de radiação global incidente sobre a terra, para isso é analisado o ângulo azimutal de orientação dos raios solares com relação ao norte geográfico. Isto é, se o observador está no hemisfério sul, quando olhar para o norte vera os raios solares em diferentes ângulos, pela manhã os raios se concentraram no lado direito e no período da tarde no lado esquerdo e pontualmente ao meio dia o ângulo azimutal será nulo, pois o sol está exatamente a sua frente.

A maneira mais adequada de instalação de um painel solar deve ser orientada para o norte geograficamente, esta orientação melhora o aproveitamento da luz diária, pois o painel recebe incidência de raios em toda a parte do dia. A maior irradiação ocorre durante o meio dia onde o ângulo azimutal é zero (ALVES, 2017). A Figura 16 ilustra esta situação.

Figura 16 - Orientação azimutal correta do módulo solar, face voltada para o norte geográfico.



Fonte:(ALVES, 2017).

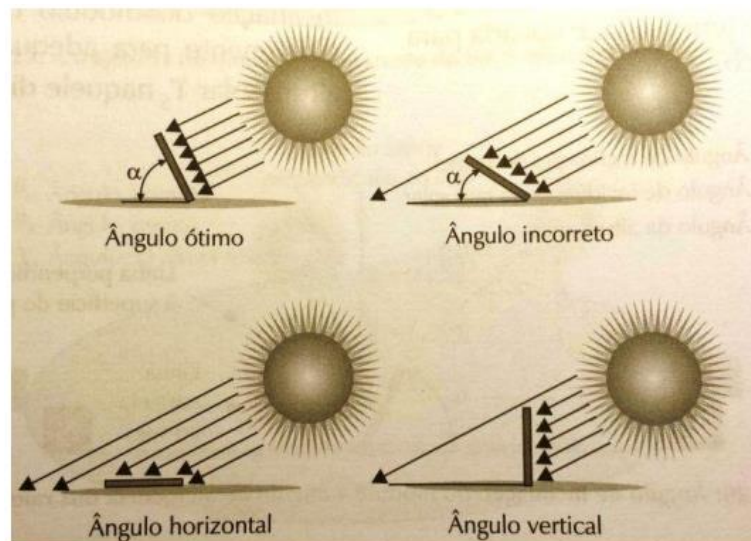
A quantidade de energia recebida pela terra também varia de acordo com o dia do ano, no verão a incidência de luminosidade aumenta, já no inverno a incidência diminui isso provem da duração dos dias. Além disso, a localização geográfica e as condições atmosféricas influenciam neste sistema, afetam a quantidade de energia recebida em cada região do planeta. Uma análise minuciosa do local de instalação é muito importante para o se obter o maior aproveitamento do potencial solar (VILLALVA; GAZOLI, 2014).

3.2.1.4 Inclinação do painel fotovoltaico

Vários fatores são analisados para melhor aproveitamento do sistema solar, o dimensionamento correto do ângulo de inclinação é um deles. Os parâmetros de localização, radiação e inclinação e orientação podem afetar o rendimento do sistema, para isso necessita-se coerência na análise concreta destes dados (RÜTHER, 2004).

O melhor aproveitamento de incidência de energia sobre os módulos solares está interligado ao dimensionamento correto do ângulo de inclinação. Este pode ser estimado perante análise da localização geográfica e dá latitude do local de implantação. Não é recomendado instalação de painéis com ângulo igual ou inferior a 10^0 para evitar o acumulo de sujeiras e poeira sobre as células. Pode ser visto na Figura 17 várias inclinações do módulo solar (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 17 - Efeito da inclinação do módulo fotovoltaico para captação de energia.



Fonte: (ALVES, 2017).

No primeiro caso a maior aproveitamento de energia, pois o módulo capta todos os raios incidentes, já no segundo caso o ângulo não está dimensionado corretamente promovendo perda na absorção dos raios solares. A posição horizontal permite maior captação de energia durante o verão e menor no inverno, pois no verão a altura do sol é maior. Consequentemente na posição vertical a maior absorção no inverno e menor no verão (ALVES, 2017).

3.2.1.5 Levantamento da demanda e do consumo de energia elétrica

Segundo Rütther (2004) o dimensionamento de demanda de energia do consumidor é essencial para ser determinar a quantidade de módulos que iram compor o painel, desta forma pode-se estimar qual é o modulo correto e a quantidade a ser utilizada na instalação.

O levantamento de dados para efetivar os cálculos é baseado na fatura de energia do cliente onde é observado a quantidade de energia consumida, desta maneira é necessário verificar quais são os equipamentos e qual a tensão utilizada ao longo do mês para que se consiga efetivar e dimensionar o tamanho correto do sistema fotovoltaico, também deve ser levado em conta o limite de investimento que o consumidor deseja realizar (PINHO; GALDINO, 2014).

3.2.2 Instalação dos componentes do Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é composto, pelos seguintes componentes: Placa solar, inversor de frequência, estrutura de fixação das placas solares, cabeamentos e conectores específicos e equipamentos de proteção. Para obtermos um bom funcionamento do sistema a instalação deve ser feita de maneira adequada seguindo os parâmetros e as normas de instalação. (VILLALVA; GAZOLI, 2014).

A instalação do sistema é baseada no consumo médio anual da residência ou empresa da qual deseja-se empregar o projeto. A partir disto efetuam-se cálculos para dimensionamento correto dos componentes que serão utilizados no processo. Com a escolha dos componentes começa o processo de instalação.

Primeiramente é designado o local aonde serão implantados as painéis solares, onde é analisado o telhado da casa ou empresa, visando sempre a instalação orientada para o norte, em seguida é acoplado ao telhado os suportes que darão fixação aos painéis solares, posteriormente

interliga-se os pontos de fixação com os painéis (SOLAR, 2019). Assim como ilustra a Figura 18.

Figura 18 - Ilustração de fixação de painéis solares sobre o telhado.

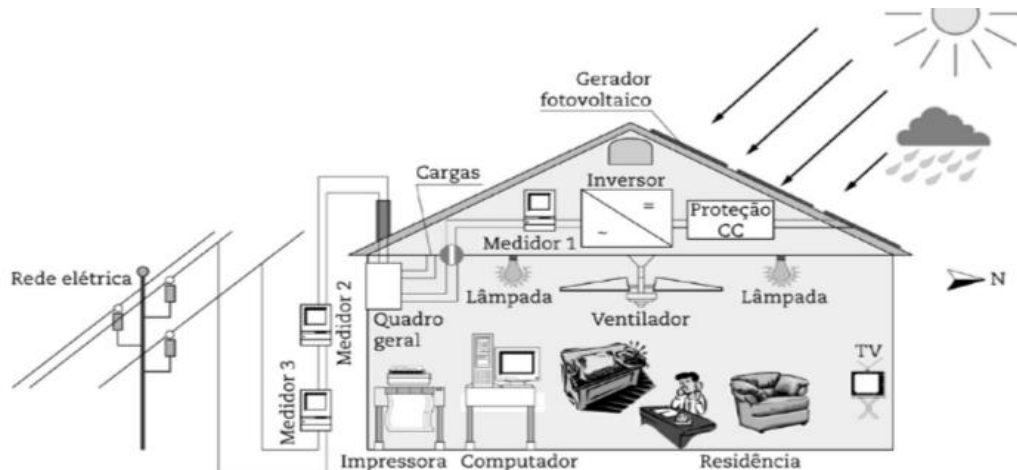


Fonte: (SOLAR, 2019).

Após é realizada a instalação do inversor de frequência, considerado o coração do sistema, pois é responsável por converter a tensão gerada em CC pelas placas solares em CA. Os inversores devem ser instalados próximos aos módulos fotovoltaicos e do quadro de distribuição, desta forma diminui a distância e as perdas do sistema e conseqüentemente minimiza os custos (RESENDE, 2019).

Por fim deve-se interligar o sistema a rede elétrica, esta ligação é feita através de um medidor de energia que pode ser bidirecional. Componente este que é responsável por medir a quantidade de energia recebida da concessionária e a energia solar injetada na rede. Possui a capacidade de mensurar a energia que flui nos dois sentidos (entrada e saída), (ANEEL, 2016). Na Figura 19 ilustra-se a instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede.

Figura 19 - Ilustração de instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: (ZILLES et al., 2012).

Na figura acima, pode-se ver um sistema fotovoltaico conectado à rede e seus principais componentes. As placas são responsáveis pela captação da irradiação solar que em seguida é transformada de CC em CA pelo conversor, a eletricidade chega ao quadro geral que é responsável por distribuir a energia elétrica às cargas provenientes da residência, o excedente de energia é direcionado ao medidor bidirecional que faz a contabilização da energia lançada e retirada da rede de distribuição (ZILLES et al., 2012).

3.3 Estrutura e funcionamento de componentes do sistema fotovoltaico

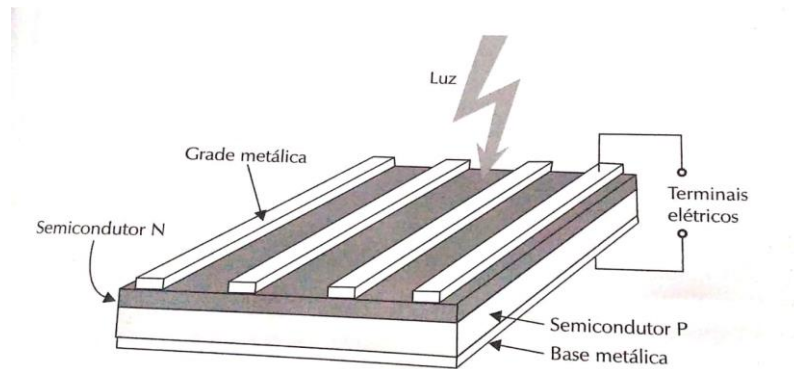
3.3.1 Célula fotovoltaica

A conversão de luz em eletricidade é caracterizada como efeito fotovoltaico, esta transformação é realizada através das células, unidade fundamental neste processo. As células são produzidas com material semicondutor, cerca de 95% delas são constituídas de um material muito abundante e barato, o silício (PINHO; GRANDINO, 2014).

A célula fotovoltaica é caracterizada por converter a luz solar incidente em eletricidade, ela é constituída de duas camadas de material semicondutor P e N, uma base metálica inferior e uma grade de coletores metálicos. Quando a luminosidade incide sobre a célula ocorre o processo de conversão, a grade e a base metálica são responsáveis por coletar a corrente que está sendo originada naquele momento, pois, nelas ficam acoplados os terminais elétricos. Já na parte superior da célula ficam os contatos elétricos que são fabricados de uma fina grade metálica impressa, esta parte também deve ser constituída de material translúcido para permitir

a infiltração dos raios solares. Pode-se observar na Figura 20 a ilustração de uma célula fotovoltaica (VILLALVA; GALDINO, 2014).

Figura 20 - Estrutura de uma célula fotovoltaica.



Fonte:

(VILLALVA;
GALDINO, 2014).

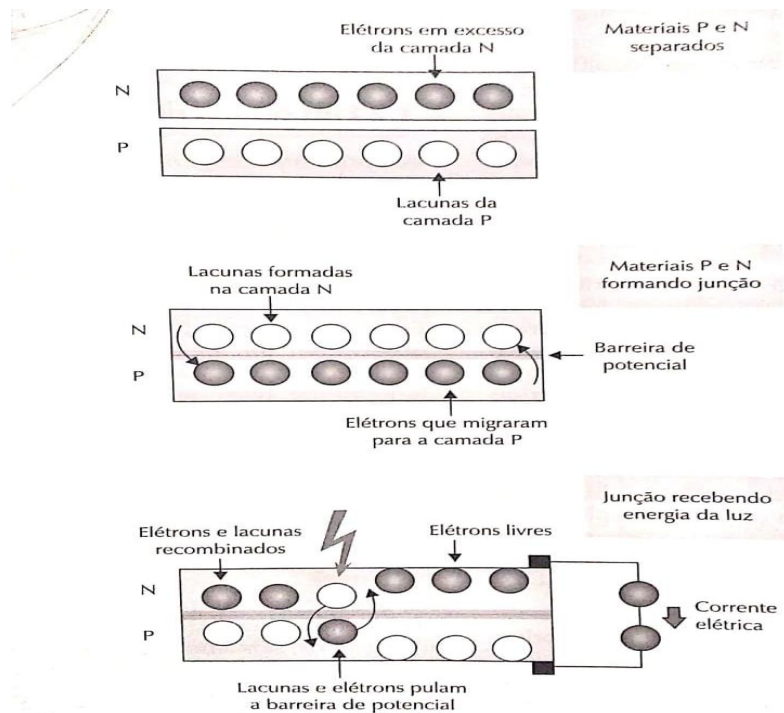
A célula é constituída de duas camadas de material semicondutor, camadas P e N que são responsáveis por originar a circulação de corrente pelo sistema. O material semicondutor rompe as ligações químicas aonde ocorre a liberação de elétrons que iram sucessivamente circular pelo sistema (ROGANI, 2013).

A circulação de eletricidade pelo sistema está totalmente ligada a quantidade de elétrons que os materiais possuem na sua camada de valência. Câmara (2011) afirma que o material semicondutor mais utilizado é o silício. Este possui quatro elétrons que se interligam aos elementos mais próximos. O elemento fósforo possui na sua camada de valência 5 elétrons de ligação. Se o material de silício for dopado com o elemento de fósforo automaticamente haverá um elétron em excesso que se desprendera facilmente do seu átomo de origem. Desta forma se ocorrer uma leve incidência de energia o elétron se desligara e irá se deslocar para a banda de condução. Desta forma o fosforo é considerado um doador de elétron e denomina-se dopante do tipo N (CÂMARA,2011).

Entretanto em elementos que possuem apenas 3 elétrons na última camada de valência, como o boro, quando é realizado a dopagem com o silício ocorre a falta de um elétron. Esta falta é chamada de lacuna. Desta forma como pouco uso de energia um átomo pode se deslocar de uma região vizinha e ocupar este local, fazendo com que ocorra o deslocamento desta lacuna. Deste modo o borro é considerado um dopante do tipo P (CÂMARA, 2011).

Quando uma placa solar recebe incidência de energia ocorre em seu interior o processo de transição dos elétrons, onde eles rompem a barreira de potencial e se deslocam para preencher as lacunas, este processo dá origem à eletricidade, ou seja, a energia solar. A Figura 21 ilustra este processo.

Figura 21 - Materiais semicondutores e junção P e N originando eletricidade.

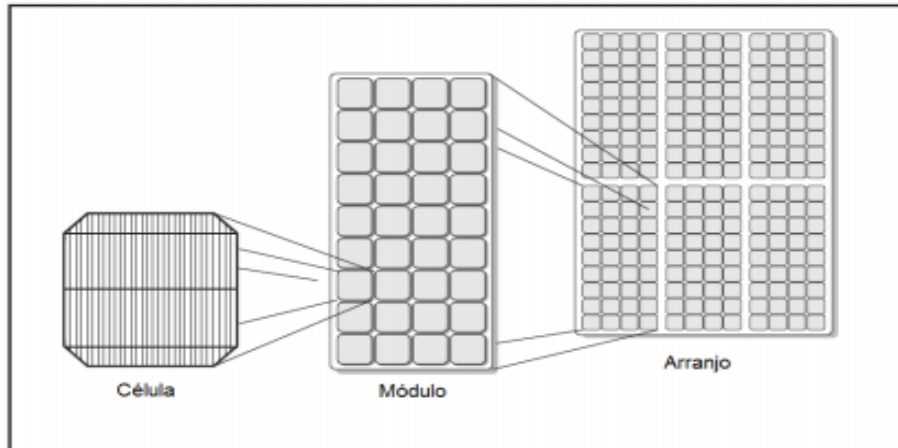


Fonte: (VILLALVA; GALDINO, 2014)

3.3.2 Módulo e painel fotovoltaico

O módulo é responsável por manter várias células solares encapsuladas em seu interior, o encapsulamento é de suma importância, pois sabe-se que os módulos ficam expostos a variações meteorológicas e a situações que possam vir degradar o sistema. Já os painéis ou arranjos são caracterizados por fazer a junção de um ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, de modo que formam apenas uma única estrutura. (BALFOUR; SHAW; NASH, 2016). A Figura 22 ilustra a constituição dos módulos e arranjo fotovoltaico.

Figura 22 - Representação de célula, módulo e arranjo fotovoltaico.

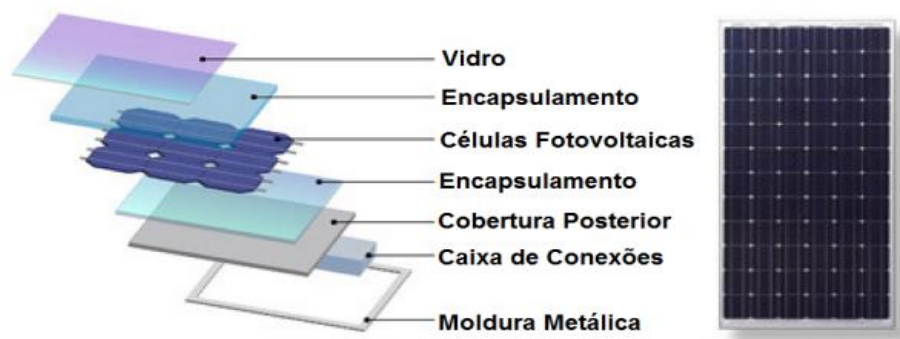


Fonte: (ROGANI, 2013).

3.3.2.1 Estrutura do módulo fotovoltaico

A estrutura do módulo é composta por associação de células fotovoltaicas em série. Estas células são conectadas em uma fina faixa condutora. Devem estar ligeiramente interligadas em seu interior para que formem um circuito e originem a corrente elétrica. Sobre as células existe um material de encapsulamento que as protege das intempéries do clima. A parte frontal do módulo é constituída de um vidro temperado e anti reflexível. Na parte superior posterior do módulo existe uma caixa de junção que é responsável por facilitar a conexão dos módulos com os outros equipamentos do sistema (SOLAR, 2019). Como ilustra a Figura 23 abaixo:

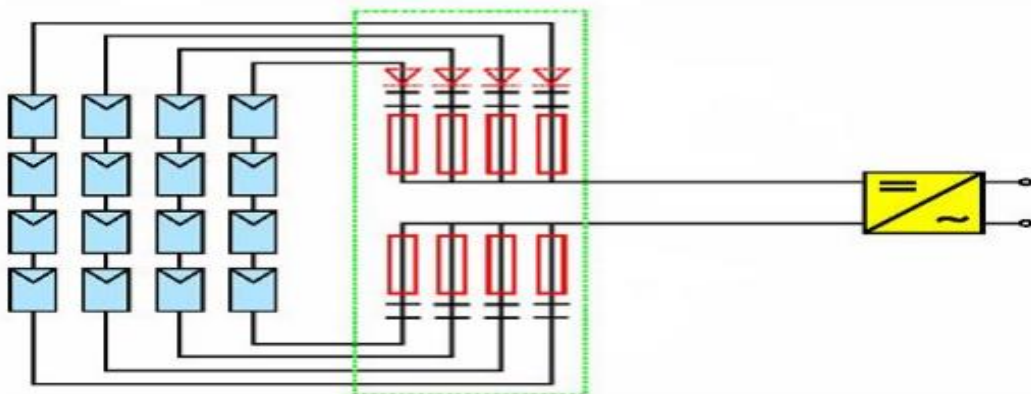
Figura 23 - Constituição de um módulo fotovoltaico.



Fonte: (ROGANI, 2013).

Na caixa de junções tem a função de proteger o sistema, nela estão acoplados terminais, fusíveis e diodos de bloqueio em cada fileira. Os diodos de bloqueio são utilizados em caso de sombreamento de uma fileira ou curto circuito, eles garantem o desacoplamento imediato em caso de eventuais problemas nos módulos de uma fileira, o restante funcionara normalmente. Já os fusíveis são utilizados para garantir a proteção de cabos e módulos contra sobrecorrentes e sobrecargas. Abaixo na Figura 24 podemos ver a ilustração de uma caixa de junção (ENERGIA, 2019).

Figura 24 - Caixa de junção.

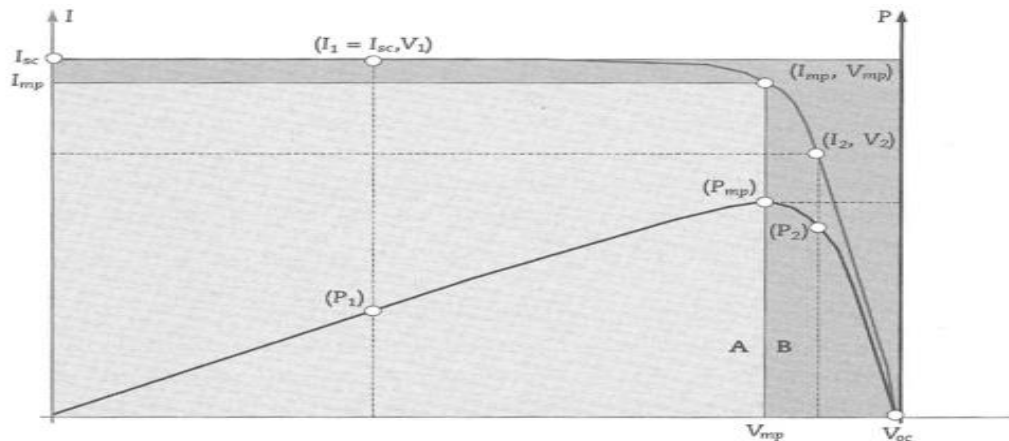


Fonte: (ENERGIA, 2019).

3.3.2.2 Relação entre corrente e tensão módulo fotovoltaico

A curva característica do sistema fotovoltaico é denominada “corrente x tensão” é dada a partir de valores da corrente de saída em função da tensão de saída do módulo fotovoltaico levando em consideração a temperatura e radiação provenientes do local de instalação. Para medir o valor de tensão de curto-circuito deve-se medir a tensão entre os pontos de saída do módulo. Entretanto para medir a corrente de curto-circuito os terminais do módulo são colocados em curto circuito. O ponto máximo potência ocorre quando a transferência máxima de potência do módulo para a carga é designada pelos pontos (I_{MP} , V_{MP}): corrente máxima de potência e tensão máxima de potência, (ROGANI, 2013). Como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Curva característica do sistema fotovoltaico.

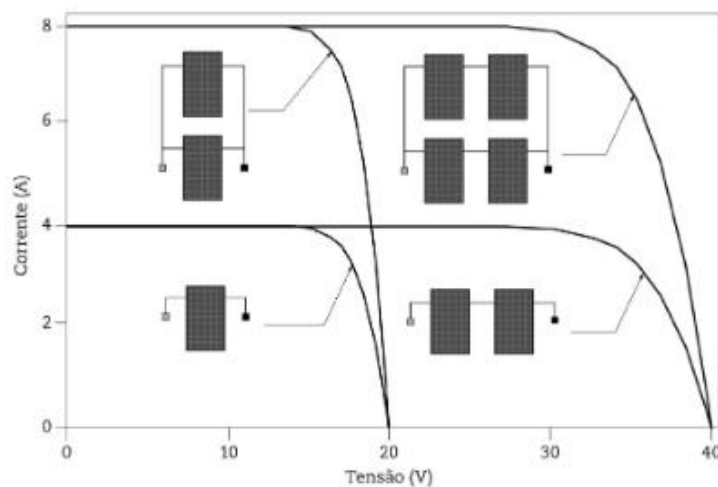


Fonte: (ROGANI, 2013).

Um sistema fotovoltaico é composto por diversos módulos, tem como principal função fornecer tensão necessária ao sistema, os módulos podem possuir tamanhos, tensões e correntes diferentes. Os geradores fotovoltaicos são delimitados partir da energia de operação dos equipamentos ou de acumulação. Desta forma utilizam um determinado número de módulos que podem ser associados em série ou paralelo com o intuito de alcançar a tensão de operação.

Deste modo, pode-se associar uma quantidade de módulos em série com o objetivo de alcançar a tensão necessária e sucessivamente associar módulos em paralelo para atingir o nível de corrente precisa. Entretanto, que a tensão e a corrente provenientes do gerador solar está totalmente interligada a intensidade de luz solar, (ZILLES, 2012). Abaixo na Figura 26 pode-se observar a curva característica I-V de acordo com o tipo de associação.

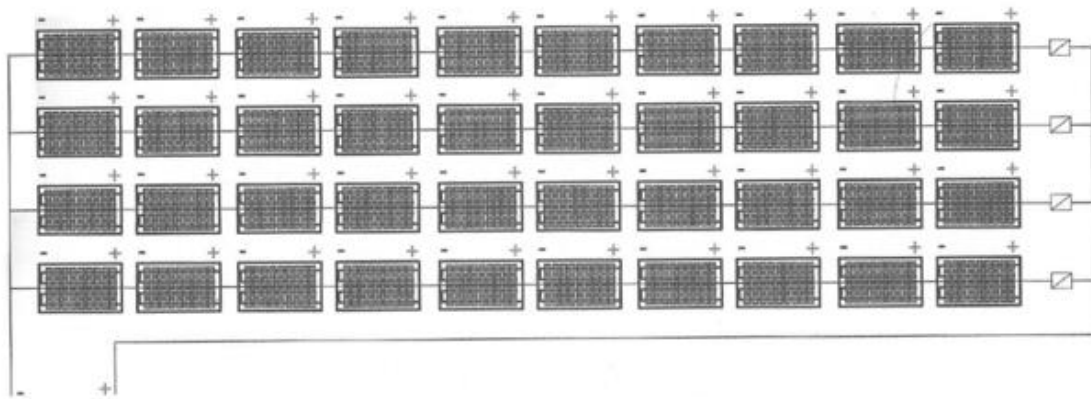
Figura 26 - Exemplo de associação de módulos e curvas I-V.



Fonte: (ZILLES, 2012).

Desta forma o sistema pode ter quantas associações em série e paralelo foram necessárias. Para que ocorra a proteção do sistema são colocados em cada fileira de módulos em série um fusível, desta forma o mesmo protege contra correntes reversas que podem ser originadas da variação de tensão de saída de cada subgrupo (ROGANI, 2013). Como mostra a Figura 27 a seguir:

Figura 27- Arranjo fotovoltaico com um fusível em casa fileira.



Fonte: (ROGANI, 2013).

Fatores que afetam as características elétricas dos módulos:

3.3.2.3 Módulos fotovoltaicos não idênticos

Alguns fatores podem interferir no bom funcionamento do sistema, a junção de módulos não idênticos pode ocasionar perdas a na produção de eletricidade. Muitas vezes correm falhas e defeitos na fabricação dos painéis, isso acontece quando ocorre a junção de células não idênticas (ROGANI, 2013).

A tensão V_{oc} de cada módulo deve ser medida individualmente na saída de cada fileira, caso a tensão de saída não atinja o valor esperado ou apresente alguma divergência os módulos devem ser desconectados do sistema e analisados, é realizado neste caso então a medição individual de V_{oc} de cada um dos módulos, caso ocorra problema em algum dos geradores fotovoltaicos ele deve ser desconectado do sistema. Em seguida deve-se reconectar os módulos ao fim do trabalho, assim evita-se mau contato e certificar-se que o sistema funcionara corretamente (PINHO; GALDINO, 2014).

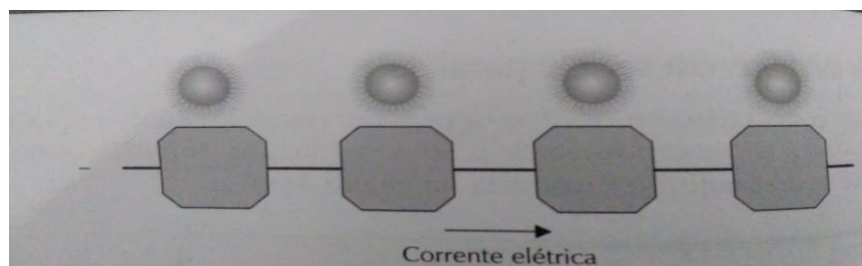
3.3.2.4 Sombreamento do módulo fotovoltaico

O módulo quando sujeito a sombreamento ocasionado por algum obstáculo deixa de produzir energia, mesmo se apenas uma ou mais células estiver recebendo menos quantidade de luz. Sabe-se que a intensidade da corrente elétrica está diretamente interligada com a radiação incidente sobre o painel. Desta forma se não houver radiação sobre uma das células consequentemente a corrente que percorre o sistema torna-se muito pequena (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A falta de radiação sobre uma das células restringe a corrente que circula pelo painel solar. Para um bom funcionamento de uma conexão em série todas as células devem estar uniformemente com a mesma incidência solar, caso isso não aconteça e a corrente diminua em uma das células todo o sistema é comprometido, consequentemente ocorre a diminuição da geração de energia (ELETROJR, 2019).

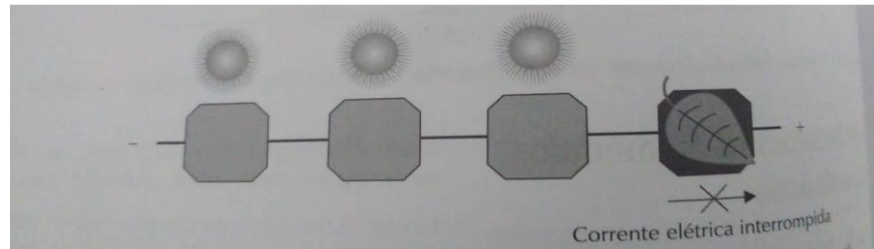
Para entendermos melhor esta situação será colocadas três condições que incorporam este problema, na Figura 28, pode-se perceber que está ocorrendo o funcionamento adequado do sistema, nenhuma das células está sombreada, desta forma o fluxo de corrente percorre perfeitamente no painel. Posteriormente na Figura 29 pode-se notar que uma das células está sombreada prejudicando a circulação de corrente no sistema, limitando a produção de energia. Já na Figura 30 observa-se que o sistema está com uma célula encoberta, porém está utilizando uma estratégia para minimizar este problema. Nesta situação é utilizado um diodo bypass em paralelo com a célula, pois mesmo que a célula esteja escurecida o fluxo de corrente passará pelo diodo minimizando este problema e melhorando a produção de energia do módulo, (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 28 - Módulo fotovoltaico: funcionando perfeitamente.



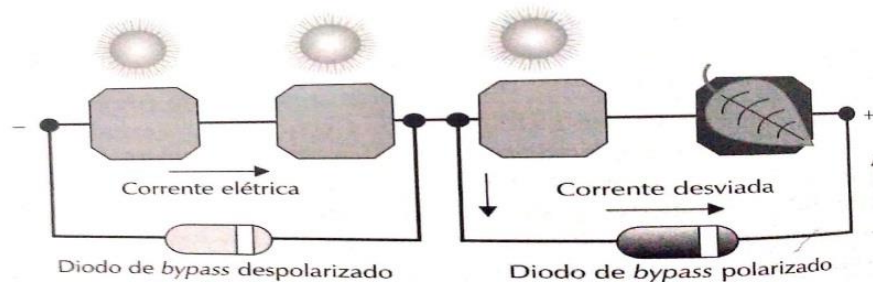
Fonte: (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 29 - Módulo fotovoltaico com sombra em uma célula.



Fonte:(VILLALVA; GAZOLI, 2012).

Figura 30 - Módulo fotovoltaico com sombra em uma célula (com diodo bypass).



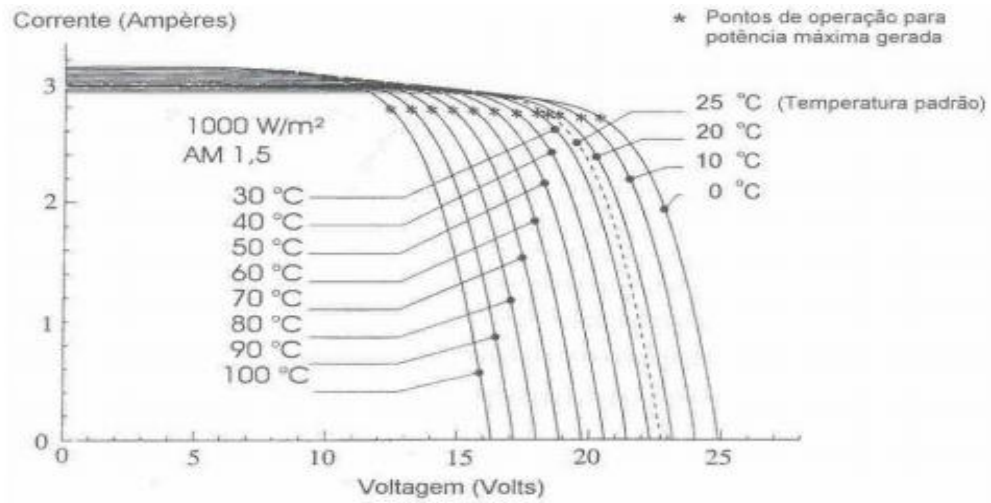
Fonte:(VILLALVA; GAZOLI, 2012).

3.3.2.5 Considerações térmicas

O módulo solar é normalmente constituído de células que são fabricadas com materiais semicondutores, o mais utilizado é o silício, que ao ser exposto a alta temperatura perdem sua eficiência. Quando o painel é utilizado fora do padrão STC (condições normais de ensaio) ele está submetido a condições que venham a alterar o seu funcionamento. A temperatura ideal das células dentro dos padrões exigidos é de 25 graus e irradiação 1000 Watts m^2 e um espectro de luz definido com uma massa de ar $AM=1,5$, (SOLAR, 2019).

A variação da temperatura e irradiação influenciam na produção de eletricidade. Ao contrário do que muitos pensam a célula operando em altas temperaturas ocasiona perda no sistema. A célula ao ser submetida a alta irradiação superaquece desta forma ocorre a queda na produção de eletricidade, diminuindo a eficiência do sistema. Na Figura 31 a influência da temperatura na geração de eletricidade (COSTA, 2010).

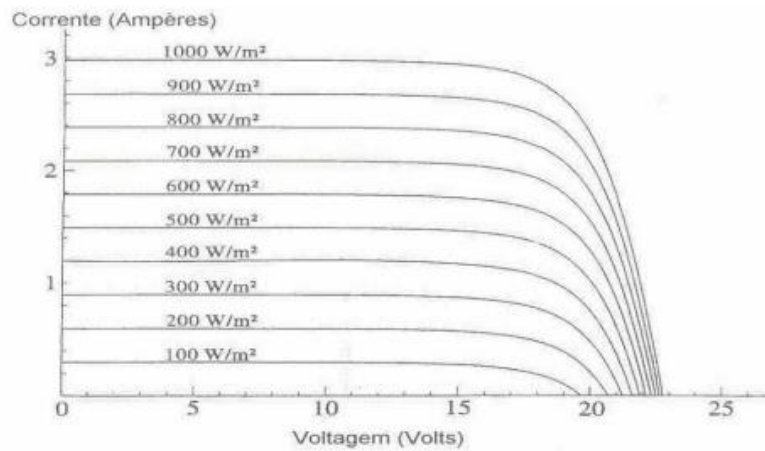
Figura 31 - Efeito causado pela variação de temperatura.



Fonte: (COSTA, 2010)

Na Figura 32, pode-se analisar a influência da irradiação na produção de energia elétrica.

Figura 32 - Efeito causado pela variação do nível de radiação.



Fonte: (COSTA, 2010).

3.3.3 Inversor de frequência

O componente eletrônico inversor de frequência possui a capacidade de converter a corrente elétrica contínua (CC) em corrente alternada (CA) na geração fotovoltaica. Ele funciona fazendo a adaptação de energia para o sistema. Sua estrutura baseia-se em uma caixa metálica com alguns botões, porém, em seu interior ficam acoplados diversos dispositivos que realizam o processo de inversão energética. Este dispositivo exige muita cautela na sua

operação, pois é responsável por 19% do investimento total do sistema fotovoltaico, (VOLT, 2019)

Os inversores tem função de converter a potência CC fornecida pelo painel fotovoltaico em potência. CA que é utilizada pelas cargas e o excedente é lançado na rede. Este tem como finalidade realizar o ponto máximo de tensão que é fornecida pelo painel fotovoltaico, ou seja, deve ser dimensionado para a maior potência que pode ser fornecida em algum momento pelo gerador fotovoltaico (ROGANI, 2013).

Outro ponto importante no dimensionamento do inversor é analisar a tensão de circuito aberto fornecida pelo módulo, esta tensão não deve ultrapassar a faixa de tensão de entrada do inversor o que ocorre quando a temperatura ambiente é mais baixa, da mesma forma que a tensão máxima de potência do gerador não deve ficar abaixo da tensão de entrada em temperaturas altas, (ROGANI, 2013), na Tabela 3 abaixo pode-se observar algumas especificações do inversor comercial do fabricante SMA.

Tabela 3 - Especificações técnicas de um inversor interativo comercial.

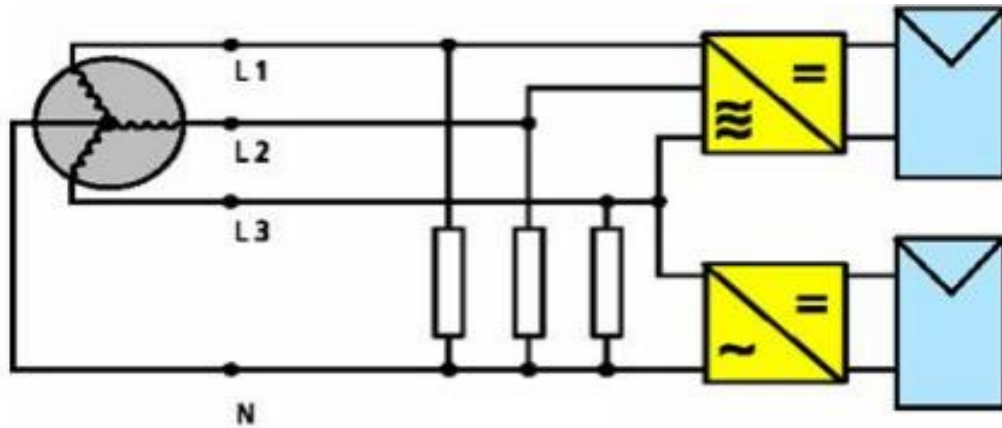
Dados	SMA Sunny Boy 3000
Potência nominal CC de entrada	3200 W
Corrente de entrada máxima (CC)	15 A
Tensão máxima de entrada (CC)	750 V
Faixa de tensão MPPT	175 V – 500 V
Potência CA de saída	3000 W
Corrente máxima de saída	16 A
Eficiência máxima	97 %

FONTE: (ROGANI, 2013).

Os inversores de frequência conectados à rede são denominados *grid-tie*. O que o diferencia dos inversores utilizados em sistemas autônomos é a ligação que eles possuem com a rede de distribuição, pois eles devem operar no mesmo nível de tensão e frequência da rede. Possuem também a capacidade de manter a segurança do sistema, pois, garantem que a eletricidade não volte para rede quando ocorrer possíveis desligamentos e falhas na rede elétrica da concessionária, (ANNEL, 2019).

Segundo Goetze (2017) existem dois tipos de inversores os monofásicos e trifásicos, o trifásico é composto de tiristores que é comumente utilizado em altas potencias, o inversor monofásico também pode ser aplicado de forma equilibrada nas fases da rede elétrica. Figura 33 ilustra os dois inversores trifásico e monofásico conectados à rede.

Figura 33 - Acoplamento de inversores monofásicos e trifásicos à rede.



Fonte: (COSTA, 2010).

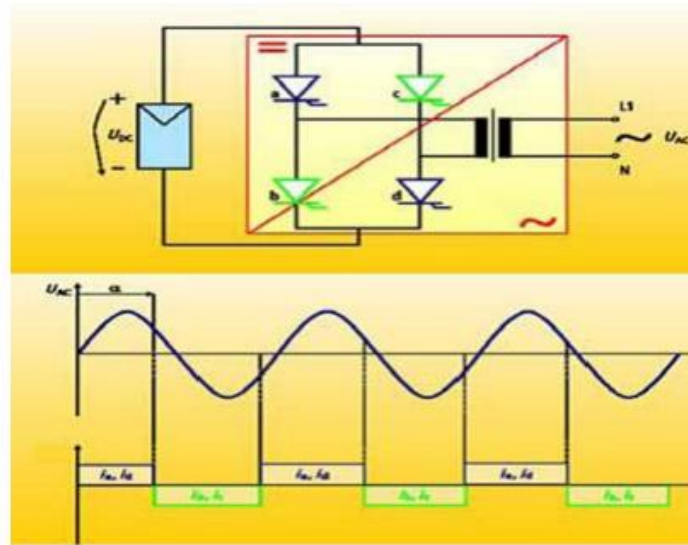
Os inversores *grid-tie* podem ser classificados em dois modelos: comutados pela rede e autocontrolado.

3.3.3.1 Inversor comutado pela rede

O modelo de inversor comutado pela rede é constituído basicamente de pontes de tiristores. Onde operam sincronizados com a rede, como os tiristores não podem se auto desligar quando ocorre queda de energia ou interrupção no fornecimento o inversor automaticamente se desliga e utiliza a frequência e tensão da rede para chavear os tiristores, ou seja os inversores comutados pela rede não funcionam de forma autônoma, (COSTA, 2010).

Este tipo de inversor também é chamado de inversor de onda quadrada, pois durante seu funcionamento origina pulsos de onda quadrada, a diferença entre a onda senoidal da rede elétrica e a onda quadrada gerada provocam distorções harmônicas na tensão de saída, além de elevar o consumo de potência reativa. Para minimizar a produção de harmônicas são utilizados filtros, também é utilizado um transformador para isolar a rede. Este transformador comumente é utilizado em altas potencias, já em sistemas com potencias até 5kw existe pouca utilização destes inversores, (GOETZE, 2017). A Figura 34 ilustra um inversor comutado pela rede.

Figura 34 - Inversor comutado pela rede.

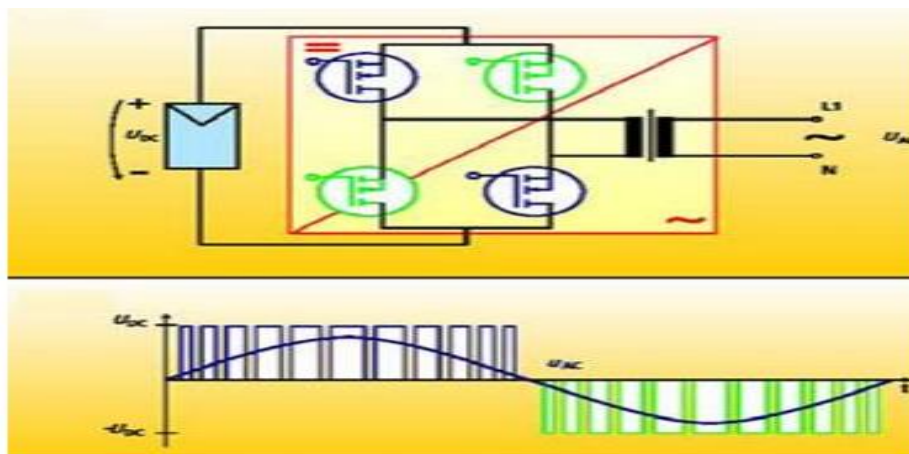


Fonte: (COSTA, 2010).

3.3.3.2 Inversor autocontrolado

O inversor autocontrolado também possui o formato de ponte. Ao ser conectado à rede tende acompanhar a frequência e tensão, mas para que isso ocorra é conectado ao sistema componentes eletrônicos, assim como semicondutores MOSFET, TBJ, IGBT e GTO. Estes dispositivos através da modulação por largura de pulso (PWM) tendem a reproduzir a onda senoidal de maneira satisfatória. Conforme é ilustrado na Figura 35, (COSTA, 2010).

Figura 35 - Inversor autocontrolado por PWM.



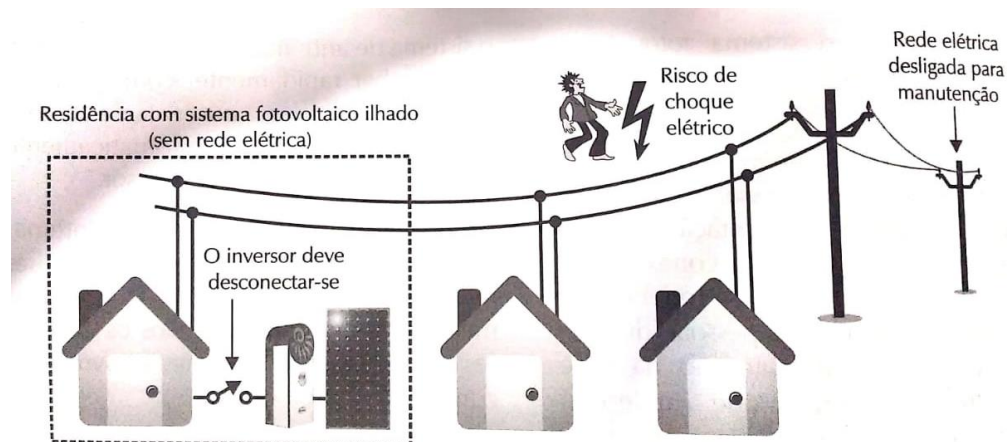
Fonte: (COSTA, 2010).

A partir da modulação (PWM) os componentes são chaveados na frequência de 10-100 kHz onde tendem acompanhar o formato da onda senoidal, através de pulsos com duração e espaçamentos semelhantes. Para que se consiga obter um sinal elétrico compatível a rede é utilizada um filtro passa-baixa. A frequência de chaveamento destes dispositivos é alta se origina interferências, como solução se faz necessário o uso de circuitos de proteção e blindagem do equipamento. Ao serem conectados, os inversores devem ser sincronizados com potência e a frequência da rede, desta maneira gerando pulsos de chaveamento compatíveis. Nos sistemas fotovoltaicos são utilizadas três configurações de inversores. Sendo elas inversores integrados, inversores de cadeia de módulos e inversores centrais, sempre visando eficiência na produção de eletricidade, (GOETZE, 2017).

3.3.3.3 Detecção de Ilhamento

Em sistemas fotovoltaicos conectados à rede o recurso de ilhamento é essencial e obrigatório, a utilização correta deste dispositivo garante a proteção das pessoas e dos equipamentos. O sistema atua quando ocorre a deserregização da rede da concessionária, automaticamente o inversor deverá desconectar, nesta situação a instalação elétrica encontra-se ilhada, este mecanismo protege e garante a segurança das pessoas durante a intervenção e manutenção da rede, (VILLALVA, 2015). Na Figura 36, pode-se ver um sistema ilhado que apresenta uma situação de risco, esta pode ocorrer em casos onde o inversor não se desconectou da rede.

Figura 36 - Situação de risco de um sistema fotovoltaico ilhado.



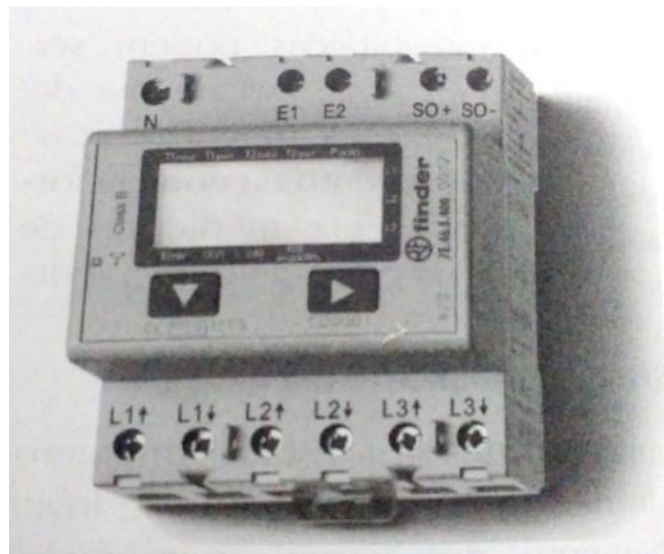
Fonte: (VILLALVA, 2015).

3.3.4 Medidor bidirecional

Este componente tem a função de contabilizar a eletricidade injetada e retirada da rede. Quando a irradiação percorre as placas solares automaticamente começa o processo de produção de energia, em seguida a eletricidade chega ao quadro geral de distribuição alimenta as cargas existentes na residência, o excedente é lançado na rede de distribuição (ELETROJR, 2019).

O medidor bidirecional tem papel fundamental nesta função, pois, é responsável por contabilizar a energia fornecida para a distribuidora e a energia que é retirada da mesma, isso ocorre quando a produção de energia solar é insuficiente para suprir a demanda. Desta forma ele atua como um balançador de energia gerada pelos painéis e energia retirada da distribuidora, (ELETROJR, 2019). Na Figura 37 ilustra um medidor bidirecional trifásico da família Finder Série 7E.46.

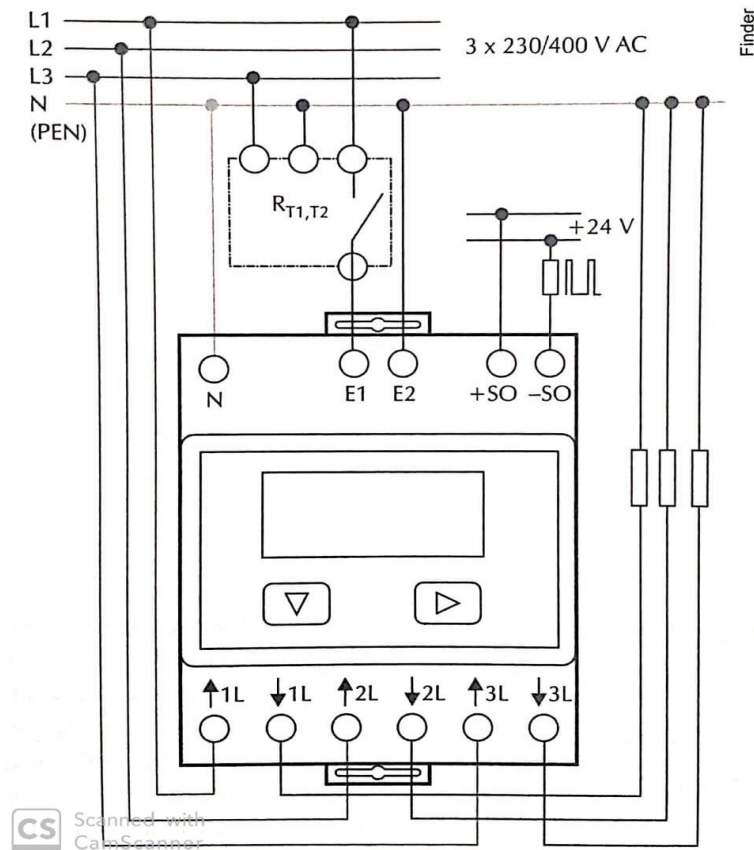
Figura 37 - Ilustração de um medidor bidirecional de energia trifásico.



Fonte: (VILLALVA, 2015).

O medidor de energia bidirecional são produtos de fácil instalação, podem ser instalados entre o ponto de conexão da rede elétrica da concessionária e o disjuntor de entrada do quadro de proteção CA. A Figura 38 ilustra o esquema de ligação do medidor de energia trifásico Finder Série 7E.46.

Figura 38 - Esquema de ligação do medidor bidirecional trifásico.

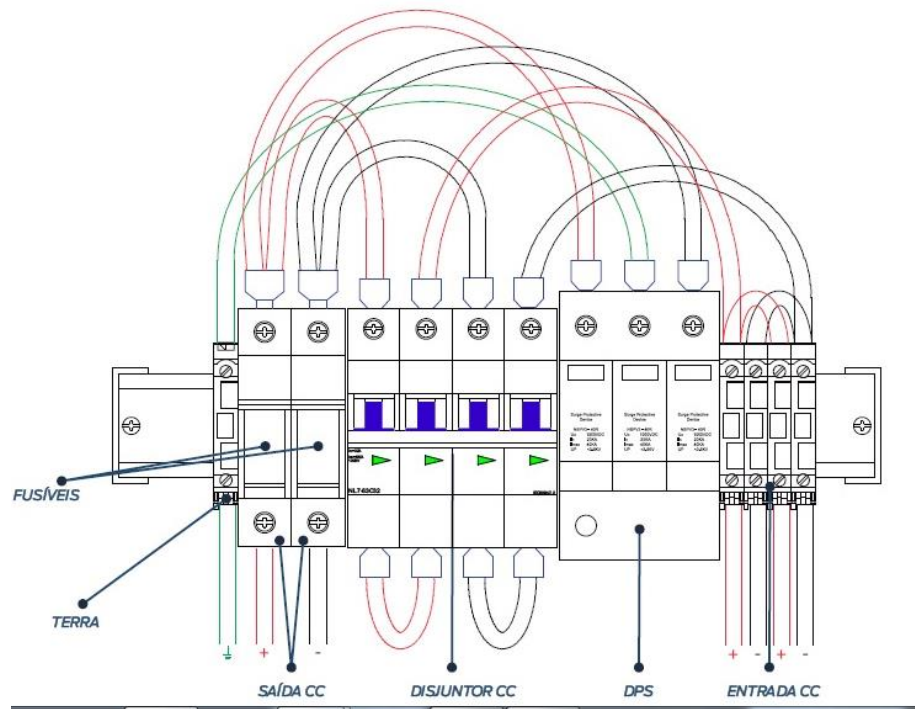


Fonte: (VILLALVA, 2015).

3.3.5 Dispositivos de proteção

O sistema fotovoltaico conta com alguns dispositivos de proteção que atuam evitando danos e riscos de acidentes, dentre estes pode-se destacar a *string box* uma caixa que contém em seu interior alguns componentes de segurança. Nela são instalados fusíveis que protegem os cabos de excesso de corrente, diodos de bloqueio que protegem de possíveis falhas ocasionadas por sombreamento, dispositivos de proteção contra surtos que ocorrem tanto do lado CC ou do lado CA, interruptor DC que permite o desligamento do painel. Desta forma isola e protege o sistema contra eventualidades. Na Figura 39 é ilustrado a imagem da caixa de conexão (ELETROJR, 2019).

Figura 39 - Ilustração String Box.



Fonte: (SOLAR, 2019).

A caixa deve ser conectada ao inversor e ao quadro de proteção da rede elétrica. Deve ser instalada próxima ao inversor, pois ela é essencial na proteção do sistema fotovoltaico, visto que realiza o seccionamento do sistema sob carga e permite também o isolamento elétrico em caso de manutenções, ou seja, é um dispositivo que provem a segurança tanto do sistema quanto ao do operador, (ANNEL, 2019).

3.3.6 Manutenção sistema fotovoltaico

Apesar do sistema possuir componentes de alta durabilidade, assim como os painéis fotovoltaicos que possuem vida útil estimada de 25 a 30 anos, ele necessita de manutenções para que seja garantido a eficiência continua dos equipamentos, (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

A manutenção do sistema baseia-se na limpeza periódica dos painéis, desta forma é retirado a sujeira assim como galhos, folhas, poeira e outros dejetos que venham a reduzir eficiência do sistema, visto que estas impurezas podem ocasionar a redução de até 25 % .Desta forma se faz necessário a inspeção do sistema mensalmente, assim, pode-se reduzir problemas futuros provenientes do funcionamento inadequado, (VOLT, 2019).

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Agricultura familiar

A agricultura familiar vem crescendo no decorrer dos tempos, ela se caracteriza por ser administrada em âmbito familiar, tem como seu principal gestor um integrante da família. As principais atividades exercidas são: agropecuárias e agrícolas que normalmente são realizadas em espaço rural. A produção proveniente da agricultura familiar é a principal atividade econômica de alguns estados brasileiros. A produção de produtos agrícolas intensifica a geração de empregos em diversas áreas, fortalecendo o desenvolvimento econômico sustentável do Brasil (SOARES; MELO; CHAVES, 2009).

Agricultura familiar é “Aquela em que a família, ao mesmo tempo em que é proprietária dos meios de produção, assume o trabalho no estabelecimento produtivo. É importante insistir que esse caráter familiar não é um mero detalhe superficial e descritivo, ou seja, o fato de uma estrutura produtiva associar família-produção-trabalho tem consequências fundamentais para a forma como ela age econômica e socialmente. No entanto, assim definida, essa categoria é necessariamente genérica, pois a combinação entre propriedade e trabalho assume, no tempo e espaço, uma grande diversidade de formas sociais” (WANDERLEY, 1999, p.23).

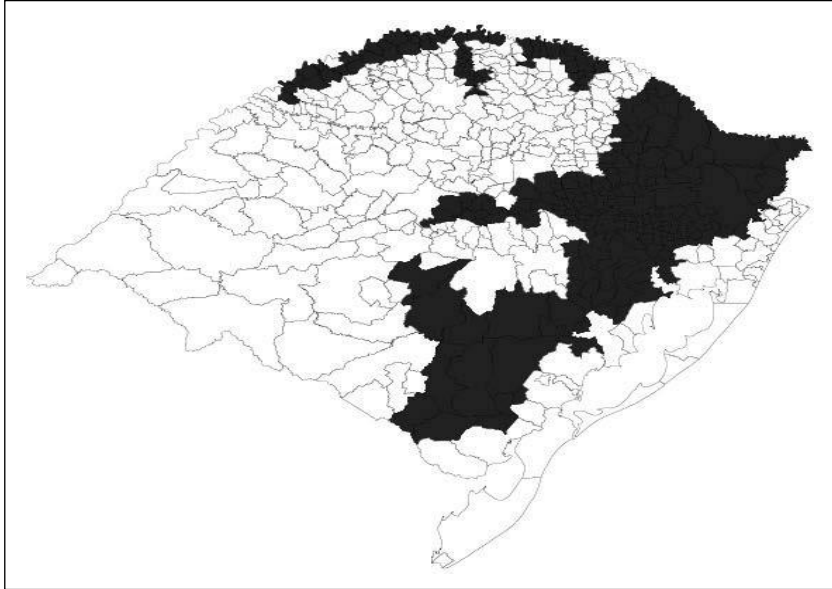
Segundo Vinciguera (2014), em 1996 foi criado o programa PRONAF – Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar que tem como finalidade fortalecer a agricultura familiar através de linhas de crédito. O intuito deste programa é propiciar o crescimento da capacidade produtiva e geração de empregos, desta forma provem melhoria da qualidade de vida dos agricultores.

A agricultura familiar no Rio grande do sul teve início em 1824 com a colonização do estado, se deu através da ocupação dos seu interior, os alemães se intensificarem na produção agrícola de milho e de suínos, já os italianos se dedicaram a produção de uvas e vinhos na região da serra.(BRUM,1985).

Segundo Waquil et al. (2016), grande parte dos produtores rurais no Rio Grande do sul destinam suas atividades a pecuária onde se destacam na produção avícola e bovina. Alguns produtores ainda utilizam as formas de trabalho aos moldes tradicionais e dependem dos recursos naturais. Por outro lado, o avanço tecnológico tende a facilitar e aprimorar a produção de matéria prima, fornecendo tecnologias de alto padrão e linhas de financiamentos para aquisição de máquinas e instrumentos tecnológicos que auxiliem no trabalho, com intuito de alavancar a produção familiar. Entretanto a produção depende da quantidade de insumos utilizados, pois a relação entre custos dos insumos e preços dos produtos produzidos, são

determinantes para manter o pecuarista em plena atividade rural. No estado do Rio Grande do sul destaca-se a atividade pecuária que pode ser analisada na Figura 40.

Figura 40 - Regiões do estado RS com predomínio de pecuaristas de base familiar no ano de 2004.



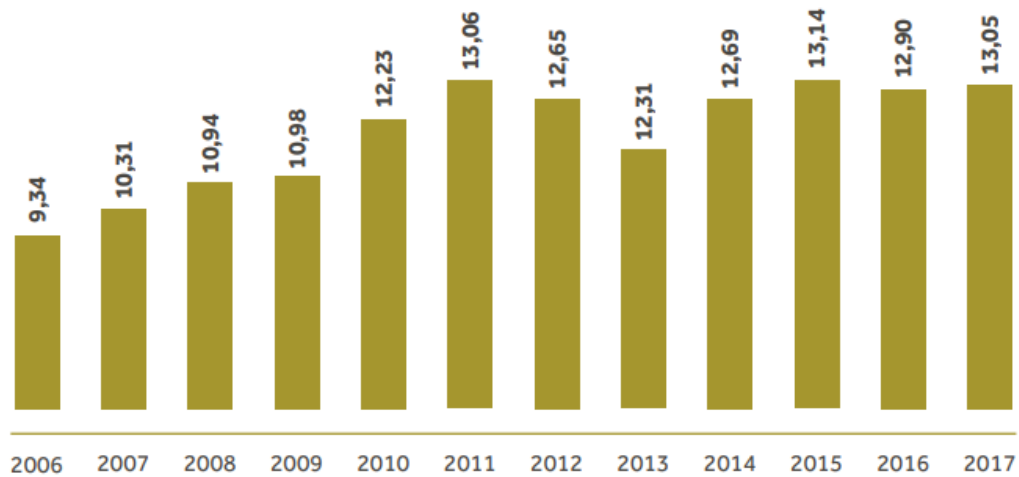
Fonte:(ANDREATTA,2009).

4.2 Avicultura de corte

O manejo de frangos de corte no Brasil teve início com a chegada dos portugueses ao país. O primeiro empreendimento avícola foi realizado por criadores, registrado no estado do Rio de Janeiro, em 1895 e foi chamado de basse-cour, onde eram realizados estudos sobre as linhagens e raças puras. A partir disso, deu-se o desenvolvimento da avicultura, onde o país sofreu grandes evoluções. A avicultura está totalmente interligada a novos empreendimentos, pois atualmente utiliza equipamentos tecnológicos com intuito de aumentar a produção. (Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA, 2016).

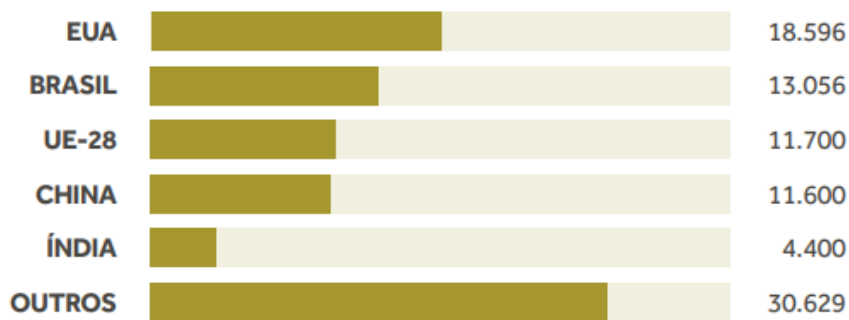
Segundo ABPA (2018) o Brasil caracteriza a avicultura como uma importante atividade no meio rural, pois no ano de 2017, onde atingiu 13,05 milhões de toneladas de carne de frango produzidas, que pode ser visto na Figura 41, onde 33,1% desta produção é destinada a exportações. O país está entre os maiores produtores e exportadores de carne de frango ficando atrás apenas do Estados unidos o que ilustra a Figura 42.

Figura 41 - Produção Brasileira de Frango de corte em milhões de toneladas.



Fonte: (ABPA,2018)

Figura 42 - Produção mundial de carne de frango em milhões de toneladas.



Fonte: (ABPA, 2018).

ABPA (2018) afirma que o Brasil possui 17 estados brasileiros produtores avícolas, onde o estado do Paraná é responsável por 34,32% da produção brasileira, em seguida vem os estados de Santa Catarina e Rio Grande do sul com 16,21% e 13,82%, o que é demonstrado na Figura 43.

O sistema avícola é destinado a produção e manejo de frangos de corte. Os frangos são fornecidos ao produtor com 1 dia de idade, a partir desta etapa começa o processo de produção e manejo do lote ao completar 40 dias de idade os frangos são entregues aos fornecedores. Neste intervalo de tempo são realizados vários processos que utilizam e demandam a tecnologia para se obter produção de qualidade. Os aviários utilizam sistema automáticos de nebulização, ventilação, comedouros e controladores de ambientes.

Figura 43 - Abate de frangos de corte em porcentagem nos estados do Brasil.



Fonte: (ABPA,2018).

Para um bom desenvolvimento das aves o conforto animal é de suma importância. Os animais devem se manter em temperatura agradável e constante sem sofrer estresse térmico. Nos primeiros dias de vida o ideal é manter a temperatura entre 31°C, medida que vão crescendo a temperatura, por sua vez, deve se manter entre 23°C a 25°C, mas para que isso ocorra são necessários nos primeiros dias de vida máquinas de aquecimento e ventilação para que não exceda a umidade de 65% e 70%, já nos últimos dias na granja necessitam de mecanismo de refrigeração e ventilação, isso posto, ressalta-se que a energia elétrica é de suma importância para o produtor avícola (MARANGONI, 2019).

A vantagem do sistema fotovoltaico para os produtores avícolas é referente ao produtor conseguir utilizar os créditos de energia. Na produção avícola ocorre um grande consumo de energia noturna, sabe-se que sistema gerador produz apenas energia durante o dia onde o excedente é lançado na rede da concessionária, desta forma a propriedade necessita retirar da rede energia durante a noite quando o gasto energético costuma ser maior, desta forma faz a compensação dos créditos.

4.3 Viabilidade de um sistema fotovoltaico

A propriedade analisada a fins de estudo referente a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico foi a propriedade situada no norte do estado do Rio grande do Sul,

localizada no Município de Vanini. Nesta encontrasse um aviário que possui a produção baseada em agricultura familiar. A propriedade dispõe capacidade de alojamento para 19.000 aves, o estudo primeiramente baseou-se na análise da fatura de energia referente a um ano, onde constatou-se o consumo médio de 370 kWh. Para atender a demanda de energia da propriedade foram efetivados cálculos e estudos, onde levou-se em consideração o consumo médio mensal da propriedade a irradiação no local e posicionamento do aviário perante ao sol. Na Figura 44 ilustra-se a instalação de um sistema fotovoltaico na área avícola.

Figura 44 - Ilustra instalação de um sistema solar em aviário.



Fonte: (SOLAR, 2019).

4.3.1 Dados do local de implantação

O estudo de caso foi efetivado em uma propriedade avícola no norte do estado do Rio Grande do Sul, está possui classificação B2 rural- trifásica, a concessionária responsável pelo abastecimento de energia no local é Rio grande de energia (RGE). Para análise e dimensionamento de um sistema fotovoltaico, deve-se analisar o consumo de energia no expresso na fatura. A Tabela 4 representa os dados referentes ao consumo de energia nos perspectivos meses ao longo de um ano, onde obteve-se a média de consumo igual a 370 kWh.

Tabela 4 - Consumo de energia ao longo de um ano.

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	400
Fevereiro	398
Março	366
Abril	367
Maio	350
Junho	300
Julho	310
Agosto	388
Setembro	367
Outubro	398
Novembro	402
Dezembro	394
Média	370

Fonte: (DADOS PESQUISA, 2019).

A partir da análise da Tabela 4 pode-se afirmar que, o consumo médio anual local foi de 370kWh. Os cálculos efetivados para encontrar a média mensal levou em conta o consumo anual de 370 kWh menos o custo de disponibilidade para um sistema trifásico que é de 100kW. Desta maneira considerou-se um mês equivalente a 30 dias, assim o consumo médio diário ficou estimado em 9kWh.

A Tabela 5 representa o consumo médio anual, mensal e diário.

Tabela 5 - Média consumo mensal e diário de energia elétrica.

Valor Médio	Consumo (kWh)
Média anual	370
Custo disponibilidade	100
Média mensal	270
Média diária	9

Fonte:(DADOS PESQUISA, 2019).

Os módulos devem ser instalados no teto do aviário em telhas de cerâmica, a área disponível para implantação é de 120 m². Para determinar o local de instalação deve ser levado em conta o ângulo vertical de inclinação dos módulos.

Segundo Grandella (2015) gerador fotovoltaico deve possuir um ângulo de inclinação que absorva a maior índice de irradiação possível, desta forma proporciona o maior aproveitamento de energia solar que incide perpendicularmente no módulo. Para maior eficiência do sistema recomenda-se instalações com ângulos de inclinação inferior a 10 graus voltado para o norte, assim, evita-se acúmulo de poeira e favorece a limpeza pela ação da água das chuvas. Com intuito de maior aproveitamento da energia captada o ângulo de inclinação dos módulos deve levar em consideração a latitude do local, como mostra na Tabela 6.

Tabela 6 - Escolha do ângulo de inclinação do módulo.

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

Fonte:(GRANDELLA,2015).

Para obter os dados de latitude e longitude do local foi utilizado o site *Google Maps*. O aviário no município de Vanini no Rio Grande do Sul, encontra-se a latitude de -28.4628919 e longitude de -51.8743521. Como ilustra a Figura 45. Através da latitude e longitude do local consegue-se analisar a incidência de irradiação, através do programa SunDanta do Cresesb que está disponível de forma gratuita site (www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&). A Tabela 7 demonstra a média de irradiação solar anual correspondente a 4,47 kWh/m².dia, isto é, a irradiação média a pleno sol incidente no local durante o dia, levando em consideração a uma intensidade 1 kW/m².

Figura 45 - Ilustração da posição geográfica da propriedade.



Fonte: (GOOGLE MAPS, 2019).

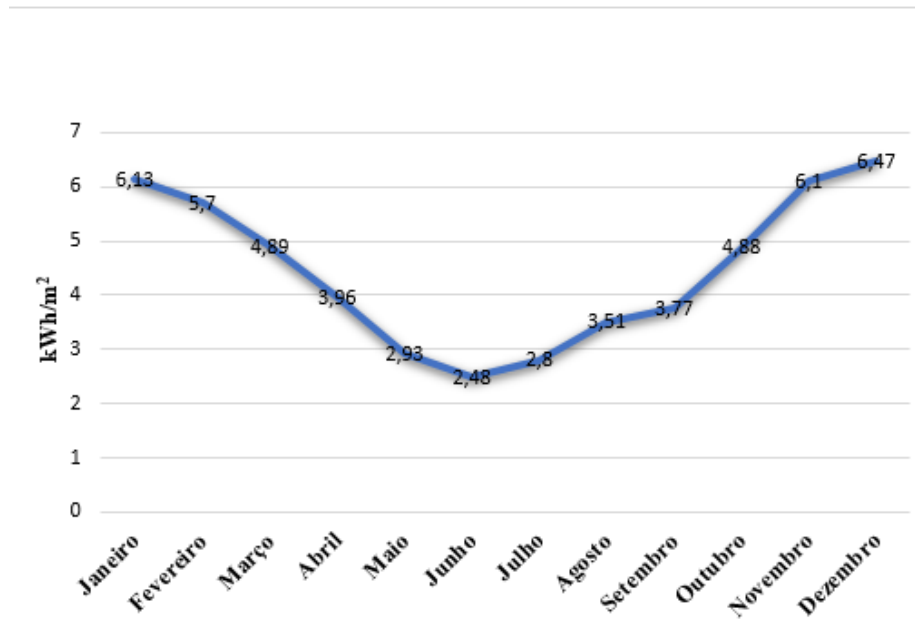
Tabela 7- Média mensal de irradiação na propriedade.

Mês	HPS (h/dia)
Janeiro	6,13
Fevereiro	5,7
Março	4,89
Abril	3,96
Maio	2,93
Junho	2,48
Julho	2,8
Agosto	3,51
Setembro	3,77
Outubro	4,88
Novembro	6,1
Dezembro	6,47
Média	4,47

Fonte: (CRESESB SUNDATA, 2019).

O Figura 46 demonstra a irradiação solar mensal no local de implantação do sistema fotovoltaico.

Figura 46 - Irradiação solar mensal na propriedade



Fonte: (CRESESB SUNDATA, 2019).

4.3.2 Dimensionamento do sistema

Aneel (2019) lançou normativas para melhor compreender a instalação dentro dos padrões adequados e exigidos, segundo a normativa nº 687/2015 a instalação proveniente de uma microgeração deve atender alguns critérios, assim como, a potência proveniente da geração fica definida a partir da potência fornecida pela concessionária local, definido nos termos do inciso LX, art. 2º da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010.

O artigo art. 3º inciso IX da normativa Resolução Normativa ANEEL no 414, de 9 de setembro de 2010 que relata as instalações provenientes da classificação B2- Rural, estas tendem a seguir alguns parâmetros estabelecidos: o titular da unidade consumidora deve possuir registro de produtor rural expedido por órgão público ou outro documento hábil que comprove o exercício da atividade agropecuária.

Perante a Normativa 414/2010 artigo 2º inciso LX: Potência disponibilizada: potência que o sistema elétrico da distribuidora deve dispor para atender aos equipamentos elétricos da

unidade consumidora, segundo os critérios estabelecidos nesta Resolução e configurada com base nos seguintes parâmetros:

- Unidade consumidora do grupo B: a resultante da multiplicação da capacidade nominal de condução de corrente elétrica do dispositivo de proteção geral da unidade consumidora pela tensão nominal, observado o fator específico referente ao número de fases, expressa em quilovolt-ampère (kVA).

Desta maneira, sabe-se que tensão fornecida a propriedade pela concessionária Rio Grande de Energia (RGE) é 220/127 V e a corrente do disjuntor principal 40 A. A tensão utilizada para alimentar as cargas existentes na propriedade é 220V, desta maneira, pode-se dizer que a potência máxima que pode ser instalada é 8.8 kW (220Vx40A).

A determinação da potência nominal, ou seja, a potência que o sistema necessita para suprir a demanda das cargas elétricas provenientes da propriedade é uma das primeiras etapas no dimensionamento do sistema. É dada a partir da equação 1 (FOTAIC, 2017).

$$P_{instalada} = \frac{E}{HPS \times n} \quad (1)$$

onde:

$P_{instalada}$ - Potência nominal do sistema calculado;

E - Consumo médio diário (kWh/dia);

HSP - Horas de Sol Pleno (h/dia);

n - Rendimento (considerando todas as perdas);

Aplicando os dados na equação 1, onde $E = 9,0$ kWh, $HSP = 4,47$ h/dia e $n = 80$ %, consegue-se obter o valor de $P_{instalada} = 2,5$ kWp. Nestas condições, pode-se adicionar a potência nominal calculada um aumento significativo de 10% em casos em que o proprietário aumente o consumo de energia. Desta forma, obtém-se a $P_{instalada}$ aproximadamente de 2.75 kWp.

Posterior ao dimensionamento da potência nominal da propriedade, deve-se calcular a quantidade de módulos que irão compor o sistema gerador. Para estes cálculos foi escolhido o módulo do fabricante Astronergy, modelo CHSM6612P-340 (Anexo 2), com eficiência de aproximadamente 17.6%. De acordo com Foltaic (2017) a formula usada para calcular o número de módulos é dada a partir da equação 2.

$$N_{\text{módulos}} = \frac{P_{\text{instalada}}}{P_{\text{módulos}}} \quad (2)$$

onde:

$N_{\text{módulos}}$ - Número de módulos;

$P_{\text{instalada}}$ - Potência nominal do sistema calculado;

$P_{\text{módulos}}$ - Potência de cada módulo;

A partir dos dados $P_{\text{instalada}}=2.75\text{kWp}$ e $P_{\text{módulos}}=340\text{W}$, calcula-se o número de módulos que irão compor o sistema fotovoltaico, obtidos a partir da equação 2 a quantidade de 8 módulos. A potência nominal do sistema é determinada a partir da multiplicação do número de módulos pela sua potência, assim sendo 3.0 kWp.

De acordo com Grandella (2015) o inversor deve ser dimensionado para uma potência igual ou superior a potência de pico do conjunto de módulos, para isso considerou-se a variação de 20% da potência nominal instalada. Sendo a potência nominal instalada igual a 3 kW o inversor pode assumir a potência mínima admissível de 2.448kW e a potência máxima 3.672 kW. Em vista disso, adotou-se o inversor do fabricante Fronius (Anexo B) com potência de 3.5 kW e eficiência de 98%.

Segundo Grandella (2015), após definido o inversor a ser utilizado, deve-se levar em conta a tensão de circuito aberto da *string*, ou seja, a quantidade máxima de módulos que podem ser conectados em série, esta, não deve ultrapassar a tensão máxima permitida na entrada do inversor. Pois, em casos de sobretensão na entrada do inversor pode danificar o componente irreversivelmente. De acordo com Siqueira (2015) a quantidade máxima de módulos que podem ser conectados em série pode ser definida pela Equação 3.

$$N_{\text{série}} = \frac{V_{\text{in}}}{V_{\text{oc_módulo}}} \quad (3)$$

onde:

$N_{\text{série}}$ - Quantidade máxima de módulos que podem ser conectados em série;

V_{in} - Tensão máxima do inversor;

$V_{\text{oc_módulo}}$ - Tensão total de circuito aberto do módulo.

Após, analisar os dados pertinentes no Anexo A correspondentes aos módulos, pode-se verificar que a tensão de circuito aberto do módulo equivale a 46.16 V. Pelo Anexo B o inversor possui a tensão máxima de 1000 V. Desta forma, aplicando os valores na equação 3, obtém-se a quantidade máxima de 22 módulos conectados em série.

Diante da especificação do número módulos que podem ser conectados em série, deve-se calcular o número máximo de arranjos que podem ser acoplados em paralelo. Grandella (2015) afirma que, quando os módulos são submetidos a ligação paralela ocorre a divisão de corrente entre os módulos conectados em série. Em vista disso, pode-se formar um sistema com módulos conectados em série e paralelo, com intuito de alcançar o ponto máximo de potência (MPPT), ou seja, o garantir que os módulos operem em seu ponto máximo de potência. O número máximo de módulos que podem ser interligados em paralelo é definido pela equação 4, (SIQUEIRA,2015).

$$N_{paralelo} = \frac{I_{inv}}{I_{sc_módulo}} \quad (4)$$

onde:

$N_{paralelo}$ - Quantidade máxima de arranjos que podem ser conectados em paralelo;

I_{inv} - Capacidade de corrente do inversor;

$I_{sc_módulo}$ - Corrente de curto-circuito do módulo.

A partir, do anexo A, pode-se verificar que a corrente de curto-circuito do módulo é 9,62 A e capacidade máxima de corrente do inversor, visto no anexo B, é de 15.2A. Aplicando os valores na equação 4, obtém-se $N_{paralelo} = 1$ arranjo. Assim, sendo um único arranjo contendo 8 módulos com potência de 340 W instalados em série. A corrente máxima de cada módulo corresponde a 9.11 A, entretanto a tensão máxima de cada módulo é de 34.10V. Enfim, o sistema gerador vai possuir 8 módulos conectados em série cada um possui a tensão de 34.10 V, assim a tensão proveniente do sistema é dada perante a soma da tensão dos 8 módulos, sendo a ligação em série a corrente do sistema é estabelecida pela corrente máxima de cada módulo (9.16 A), a tensão do sistema fica estimada em 272.8 V.

Isso posto, deve-se analisar se o valor encontrado de tensão do sistema é compatível ao inversor, a faixa na qual varia o range do inversor (200 - 800 V), desta forma pode-se afirmar a tensão proveniente do sistema é compatível ao inversor.

Segundo Grandella (2015) consegue-se obter a geração mensal através da equação 5.

$$G_{mensal} = P_{instalada} \times HSP \times Ec \times N_{dias} \quad (5)$$

onde:

$P_{instalada}$ - Potência total do sistema;

HPS - Horas de sol Pico;

Ec - Eficiências Globais do Conjunto (%);

N_{dias} - Número de dias por mês;

G_{mensal} - Geração mensal de energia

Considerando um mês equivalente a 30 dias, sabe-se que a $P_{instalada}$ = 3,0 kWp e a eficiência destinada ao sistema é de 80%. A partir de cada HPS mensal obtidos na Tabela 7 atribuído a equação 5, consegue-se calcular a geração mensal proveniente do sistema durante um ano.

Diante dos dados calculados pela equação 5, construí-se uma Tabela 8 na qual demonstra a energia gerada mensalmente, o valor do crédito de energia elétrica, o consumo de energia na fatura, o consumo real, valor do débito de energia e a diferença calculada entre uma fatura de energia que possui o sistema fotovoltaico e uma fatura que não possui o sistema fotovoltaico. Para efetuar os cálculos levou-se em consideração a tarifa média estipulada pela concessionária Rio Grande de Energia para consumidor B2 -rural, estimada em 0,55 kWh.

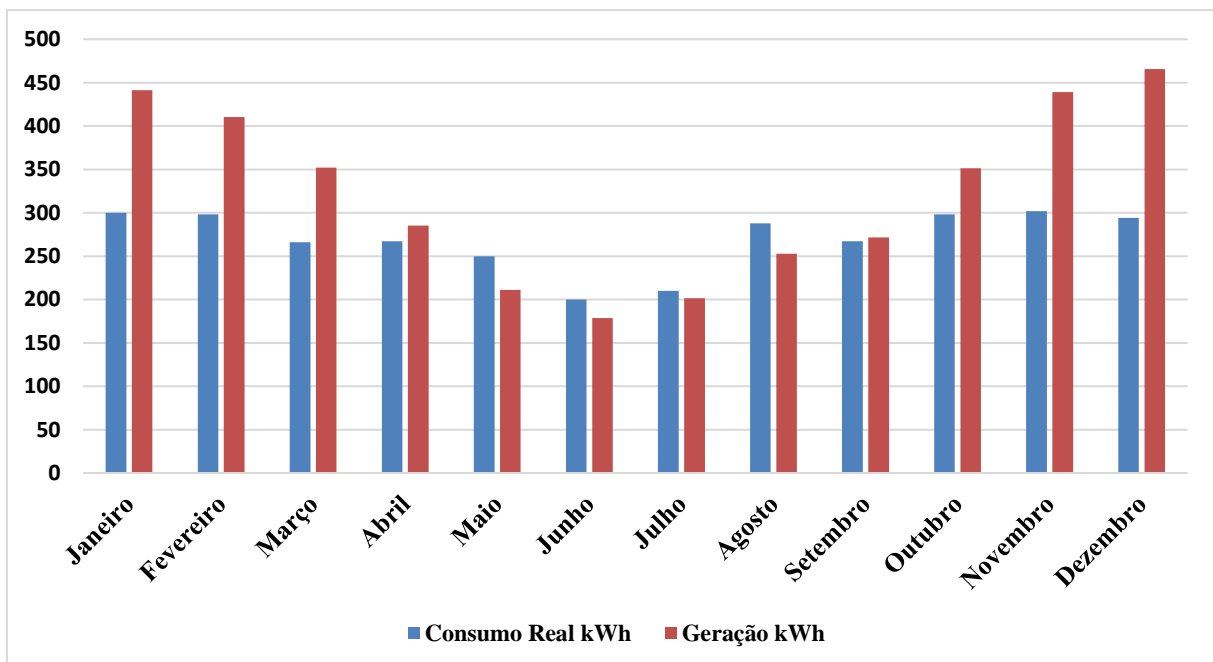
Tabela 8 - Dados econômicos durante o primeiro ano de instalação sistema fotovoltaico.

Mês	Consumo Fatura kWh	Custo Disponibilidade kWh	Consumo Real kWh	Geração kWh	Débito kWh	Crédito kWh	Fatura sem SFRC (R\$)	Fatura com SFRC (R\$)	Diferença (R\$)
Janeiro	400	100	300	441,4		141,4	220,00	55,00	165,00
Fevereiro	398	100	298	410,4		112,4	218,90	55,00	163,90
Março	366	100	266	352,1		86,1	201,30	55,00	146,30
Abril	367	100	267	285,1		18,1	201,85	55,00	146,85
Mai	350	100	250	211,0	39,0	-	192,50	76,47	116,03
Junho	300	100	200	178,6	21,4	-	165,00	66,79	98,21
Julho	310	100	210	201,6	8,4	-	170,50	59,62	110,88
Agosto	388	100	288	252,7	35,3	-	213,40	74,40	139,00
Setembro	367	100	267	271,4		4,4	201,85	55,00	146,85
Outubro	398	100	298	351,4		53,4	218,90	55,00	163,90
Novembro	402	100	302	439,2		137,2	221,10	55,00	166,10
Dezembro	394	100	294	465,8		171,8	216,70	55,00	161,70
TOTAL	4440	-	3240	3860,6	104,2	724,8	2442,0	717,3	1724,7

Fonte: (AUTOR,2019).

A partir da tabela 8, pode-se analisar a economia do sistema fotovoltaico durante um ano, originando uma diferença significativa na fatura. No primeiro ano o consumidor pagaria sem o sistema um montante de 2442 reais, já com o sistema instalado ele pagará um total de 171,30 reais, gerando uma economia anual de 1724,7 reais. Vale apenas ressaltar que; perante a demanda da propriedade, caracterizada por possuir classificação é trifásica, o consumidor é obrigado a pagar uma taxa de disponibilidade de 100kW mesmo sem utilizar a energia. Isso ocorre na maioria dos meses, onde o consumidor pagará apenas a taxa de disponibilidade, com exceção dos meses de maio, junho, julho e agosto. Na Figura 47 podemos analisar o consumo de energia e a energia gerada pelo sistema durante um ano.

Figura 47- Análise entre consumo real e geração de energia durante um ano.



Fonte: (AUTOR,2019)

4.3.3 Orçamento do sistema

O custo de implementação de um sistema fotovoltaico é determinado a partir do tamanho e da complexidade da instalação. No dimensionamento do sistema foi estipulado os principais componentes que iriam compor o orçamento, inversor e módulos. Na Figura 48 ilustra o inversor escolhido.

Figura 48 - Inversor sistema On Grid.



Fonte: (FRONIUS, 2019).

Já na Figura 49 ilustra o módulo escolhido para o dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Figura 49 - Módulo Solar.



Fonte: (ASTRONERGY, 2019)

Além do dimensionamento dos principais componentes do sistema, deve-se levar em conta as delimitações da espessura dos cabos e da proteção do sistema. A escolha dos condutores foi baseada na norma NR10. Para o cabo ligado ao módulo o fabricante exige que a seção mínima do condutor seja de 4 mm^2 , desta maneira a seção mínima e comprimento é:

- 18 m de cabo solar de 4 mm^2 preto;
- 18 m de cabo solar de 4 mm^2 vermelho;
- 20 m de cabo CA de 4 mm^2 vermelho;
- 20 m de cabo CA de 4 mm^2 preto;
- 35 m de cabo de $2,5 \text{ mm}^2$ para proteção (verde).

Os componentes responsáveis pela proteção do sistema foram utilizados a *string box* do fabricante EcoSolys, que possui em seu interior todo o sistema de proteção para eventuais problemas que venham a interromper ou prejudicar a geração de energia. É composta de:

- Suporta duas entradas e uma saída
- Um par de porta fusíveis com dois fusíveis de 15 A;
- Chave Seccionadora em Corrente contínua;
- DPS com capacidade: 1000V / 40kA;

Para proteção CC, ou seja, proteção após o inversor, utilizou-se um disjuntor, com as seguintes especificações:

- 1 Disjuntor DIN bifásico 20 A;
- 1 DPS 65 kA Schneider.

Além disso, a propriedade possui sua cobertura de telhas de cerâmica, desta forma considera-se a fixação específica para cerâmica.

Na Tabela 9 está detalhado cada componente e seu respectivo valor, desta forma compondo o orçamento do sistema, estipulado no valor de 19.852,81 reais.

Tabela 9 - Orçamento do sistema.

Inversor Fronius Primo 3500 W	1	R\$ 7.175,00
Painel astrenergy 340 W	8	R\$ 7.128,00
String Box Ecosolys	1	R\$ 752,00
DPS 65kA	1	R\$ 133,00
Disjuntor 20 A	1	R\$ 16,91
Cabo Solar	36m	R\$ 140,40
Cabo CA	40m	R\$ 28,00
Cabo de proteção	35m	R\$ 24,50
Estrutura fixação em cerâmica	1	R\$ 1.250,00
Transformador 220/127	1	R\$ 205,00
Mão de obra e custos extras	-	R\$ 3.000,00
Custo Total		R\$ 19.852,81

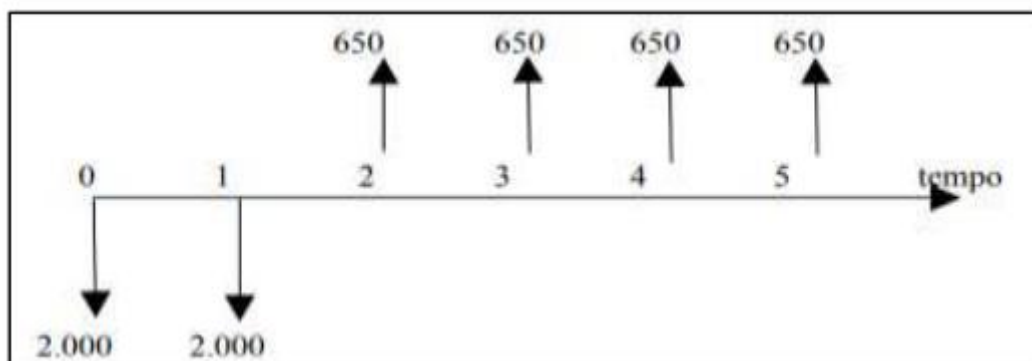
Fonte: (AUTOR,2019).

4.3.4 Viabilidade econômica

Dado o orçamento do projeto, calcula-se a viabilidade econômica a partir do investimento inicial, para isso deve-se levar em conta alguns critérios econômicos: Fluxo de caixa, valor presente líquido, taxa interna de retorno, *payback* descontado.

Fluxo de caixa: O fluxo de caixa nada mais é do que a relação entre as entradas e as saídas financeiras, ou seja, indica a origem de todo o dinheiro que entrou no caixa, bem como a saída deste dinheiro em um determinado tempo. A Figura 50 representa esta situação onde as flechas indicadas para cima representam o retorno do investimento e as flechas para baixo representam o investimento inicial ao longo do tempo.

Figura 50-Representação do fluxo de caixa.



Fonte:(SANTOS,2019).

Valor presente líquido: A expressão VPL mais conhecido como método do valor atual, é a expressão que determina o valor presente de pagamentos futuros descontado a taxa de juros (BOTEON;RIBEIRO,2017).

$$VPL = -FC_0 + \sum_{K=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (6)$$

onde:

FC_k: Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

FC₀: Investimento inicial;

k = (1; n): Períodos do horizonte de planejamento;

i: Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Segundo Ross; Westerfield; Jaff (2007) para análise do valor de VPL considera-se que, se o valor obtido através da Equação 6 for igual ou maior que zero é viável a execução do projeto, pois pagará o valor do investimento inicial, caso este valor for menor que zero o projeto torna-se inviável.

Taxa interna de retorno: Esta taxa relaciona o valor investido com o valor resgatado ao fim do investimento, ou seja, a taxa necessária para trazer o valor final do investimento para o valor presente e este seja igual ao valor investido, conforme a equação 7 (SANTOS, 2009).

$$0 = -FC_0 + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (7)$$

onde:

FC_k: Fluxos de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;

FC₀: Investimento inicial;

K = (1; n): Períodos do horizonte de planejamento.

Deste modo, deve-se comparar o valor obtido da TIR com a TMA para verificar o desempenho do projeto, caso a TIR seja a maior que a TMA – significa que o projeto é economicamente atrativo, caso seja menor significa dizer que o investimento não é economicamente atrativo (GITMAN, 2007).

Santos (2019) afirma que, a taxa de atratividade mínima de juros (TMA) que o investidor espera obter é de 10% do valor do investimento, portanto qualquer TIR que esteja superior a este valor, torna o investimento viável e atrativo.

Payback descontado: É relação entre o tempo necessário para as entradas de caixa do projeto de igualarem ao valor investido, ou seja, o tempo que leva para recuperar o valor do investimento inicial. Quando maior for o tempo de *payback*, maior será o tempo necessário para obter o retorno do capital investido (GITMAN,2017).

A partir dos dados obtidos através do dimensionamento do sistema e orçamento gerado levando em conta os critérios econômicos, desenvolve-se a Tabela 10 demonstra o fluxo de caixa ao longo de 25 anos de vida útil do sistema, que é obtido através do consumo médio e tarifa mensal considerando um aumento significativo de 6% ao ano.

Tabela 10 - Demonstrativo de fluxo de caixa.

Ano	Tarifa R\$	Consumo Médio kWh/mês	Fatura Mensal R\$	Compensação Energetica Anual R\$	Fluxo de Caixa Acumulado R\$
0					-R\$ 19.852,81
1	0,55	370	203,50	R\$ 2.442,00	-R\$ 17.410,81
2	0,58	370	215,71	R\$ 2.588,52	-R\$ 14.822,29
3	0,62	370	228,65	R\$ 2.743,83	-R\$ 12.078,46
4	0,66	370	242,37	R\$ 2.908,46	-R\$ 9.170,00
5	0,69	370	256,91	R\$ 3.082,97	-R\$ 6.087,03
6	0,74	370	272,33	R\$ 3.267,95	-R\$ 2.819,08
7	0,78	370	288,67	R\$ 3.464,02	R\$ 644,94
8	0,83	370	305,99	R\$ 3.671,87	R\$ 4.316,81
9	0,88	370	324,35	R\$ 3.892,18	R\$ 8.208,98
10	0,93	370	343,81	R\$ 4.125,71	R\$ 12.334,69
11	0,98	370	364,44	R\$ 4.373,25	R\$ 16.707,94
12	1,04	370	386,30	R\$ 4.635,65	R\$ 21.343,59
13	1,11	370	409,48	R\$ 4.913,78	R\$ 26.257,37
14	1,17	370	434,05	R\$ 5.208,61	R\$ 31.465,98
15	1,24	370	460,09	R\$ 5.521,13	R\$ 36.987,11
16	1,32	370	487,70	R\$ 5.852,40	R\$ 42.839,50
17	1,40	370	516,96	R\$ 6.203,54	R\$ 49.043,04
18	1,48	370	547,98	R\$ 6.575,75	R\$ 55.618,79
19	1,57	370	580,86	R\$ 6.970,30	R\$ 62.589,09
20	1,66	370	615,71	R\$ 7.388,51	R\$ 69.977,60
21	1,76	370	652,65	R\$ 7.831,82	R\$ 77.809,43
22	1,87	370	691,81	R\$ 8.301,73	R\$ 86.111,16
23	1,98	370	733,32	R\$ 8.799,84	R\$ 94.911,00
24	2,10	370	777,32	R\$ 9.327,83	R\$ 104.238,83
25	2,23	370	823,96	R\$ 9.887,50	R\$ 114.126,33

Fonte:(AUTOR,2019).

Com base nessas considerações realizou-se o cálculo de VPL e da TIR, conforme Tabela 11.

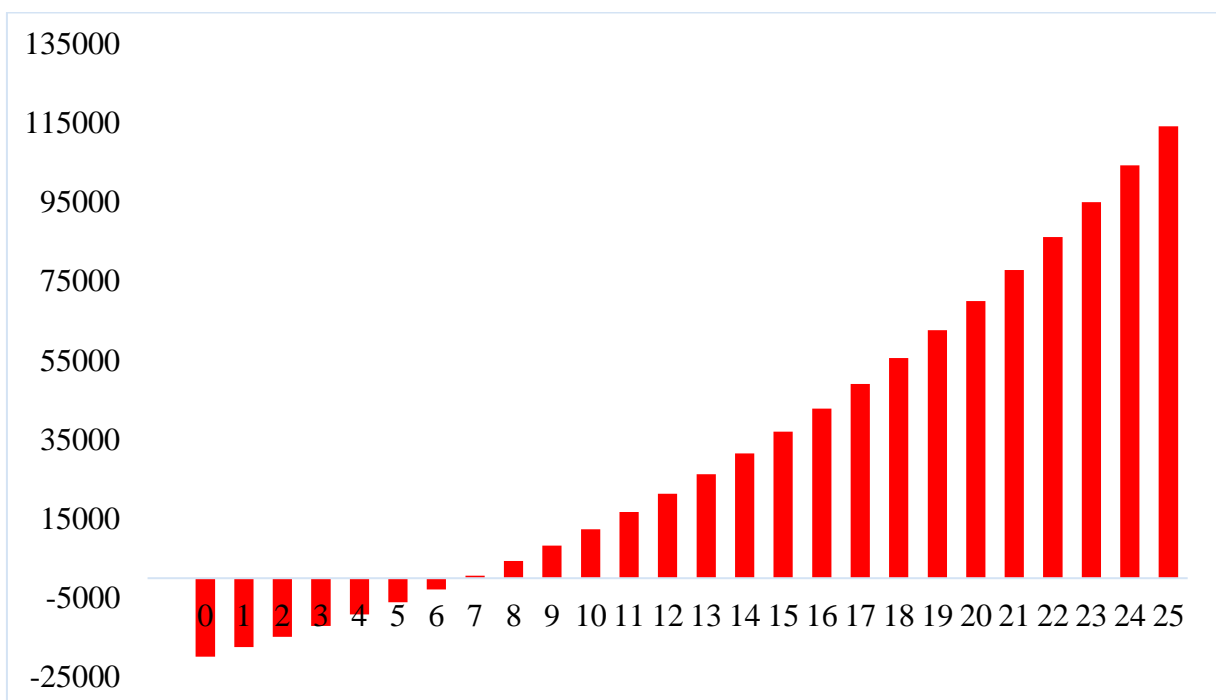
Tabela 11 - Análise de viabilidade.

Análise de Viabilidade	
Investimento Inicial	R\$ 19.852,81
Consumo Atual	R\$ 2.442,00
Reajuste Médio	6%
TMA	10%
VPL	R\$ 81.819,00
TIR	16%

Fonte:(AUTOR,2019).

Dessa forma, tem-se que a instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia em aviários em propriedade com produção pequena é viável para o período de 25 anos, apresentando um VPL de R\$ 81.819,00 e uma TIR de 16% ao ano, apresentando um *payback* de 6 anos e 8 meses. A Figura 51, demonstra o tempo de retorno do investimento, ou seja, *payback*.

Figura 51- Valor do investimento x Payback.



Fonte:(AUTOR,2019).

4.4 Comparação Econômica

Nesta etapa foi realizado a comparação entre o valor investido no sistema fotovoltaico com o valor aplicado em um banco privado.

A comparação foi realizada baseada no valor que o produtor terá com a implementação do sistema solar, o total de R\$19.852,19. A partir dos dados do investimento, realizou-se a simulação do valor inicial em um banco privado, mais especificadamente em uma poupança previdenciária com o juro anual de 6% ao longo de 25 anos. A Tabela 12 demonstra a perspectiva do valor investido.

Tabela 12 - Dados econômicos do valor investido ao longo de 25 anos.

Ano	Valor investido R\$	Taxa Anual	Saldo Anual R\$	Rendimento do Saldo em poupança R\$
1	19852,81	6,00%	21043,98	1191,17
2	0,00	6,00%	22306,62	1262,64
3	0,00	6,00%	23645,01	1338,40
4	0,00	6,00%	25063,72	1418,70
5	0,00	6,00%	26567,54	1503,82
6	0,00	6,00%	28161,59	1594,05
7	0,00	6,00%	29851,29	1689,70
8	0,00	6,00%	31642,36	1791,08
9	0,00	6,00%	33540,90	1898,54
10	0,00	6,00%	35553,36	2012,45
11	0,00	6,00%	37686,56	2133,20
12	0,00	6,00%	39947,75	2261,19
13	0,00	6,00%	42344,62	2396,87
14	0,00	6,00%	44885,30	2540,68
15	0,00	6,00%	47578,41	2693,12
16	0,00	6,00%	50433,12	2854,70
17	0,00	6,00%	53459,11	3025,99
18	0,00	6,00%	56666,65	3207,55
19	0,00	6,00%	60066,65	3400,00
20	0,00	6,00%	63670,65	3604,00
21	0,00	6,00%	67490,89	3820,24
22	0,00	6,00%	71540,34	4049,45
23	0,00	6,00%	75832,76	4292,42
24	0,00	6,00%	80382,73	4549,97
25	0,00	6,00%	85205,69	4822,96
Total	-	-	-	R\$ 65.352,88

Fonte: (AUTOR, 2019).

Diante da Tabela 10 onde está demonstrado o fluxo de caixa correspondente ao investimento realizado no sistema solar, sabe-se que o tempo de retorno do investimento foi de 6 anos e 8 meses, a partir de então, começa-se a contabilizar o rendimento correspondente ao investimento do sistema fotovoltaico,

O valor de rendimento do sistema ficou estimado em 114.126,33 reais, entretanto considera-se 10% de gastos com manutenções, além da taxa de disponibilidade de 100 kW que independente do proprietário possuir ou não o sistema ele deverá pagar, desta forma, o rendimento do sistema ficou estabelecido montante 82.797,61 reais. Já na Tabela 12 demonstra o valor investido em uma poupança que gera um rendimento de aproximadamente 65.352,88. Isso posto, pode-se afirmar que o investimento em um sistema solar é altamente rentável, além de moderno e sustentável. Tabela 13 demonstra a relação entre o rendimento obtido através do dinheiro investido no sistema solar em relação ao rendimento do dinheiro investido na poupança.

Tabela 13 - Comparação entre rendimentos.

Investimento na poupança	R\$ 65.352,88
Investimento no sistema fotovoltaicos	R\$ 82.797,61
Diferença entre os investimentos	R\$ 17.444,73

Fonte:(AUTOR,2019)

5 CONCLUSÃO

Analisar a viabilidade de qualquer investimento é base estratégica para todo empreendimento que busca o sucesso. O estudo de implantação de novas fontes de energia renovável traz esclarecimentos sobre a viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico em propriedades avícolas, com objetivo de analisar o retorno econômico-financeiro para o produtor rural.

A instalação de um sistema de geração de energia através do sol em aviários tende a ser uma estratégia utilizada para alguns produtores rurais, desta forma podem se manter no mercado competitivo, conseguindo produzir matéria prima com menor custo. O sistema fotovoltaico dimensionado para geração de eletricidade em aviários no Rio Grande do Sul é altamente rentável, pois, proporciona economia ao produtor ao longo da vida útil do sistema, além de apresentar contribuição ambiental advinda do uso de fonte de energia limpa e renovável.

Essa constatação corrobora os resultados apontados por Van Campen, Guidi e Best (2000), de que a utilização de painéis fotovoltaicos para geração de energia em atividades rurais contribui com o desenvolvimento rural sustentável.

Após o dimensionamento do sistema de geração solar para a propriedade avícola de pequeno porte, localizada na cidade de Vanini, foi efetuado cálculo da viabilidade financeira por meio dos cálculos de VPL e TIR. Os dados obtidos demonstraram que existe viabilidade para a instalação dos sistemas fotovoltaicos na propriedade, onde o *payback*, ou seja, o tempo de retorno do dinheiro investido ficou estimado 6 anos e oito meses, além disso foi obtido um rendimento do sistema 82.797,61 reais onde comparado ao valor do rendimento bancário apresentou uma diferença significativa de R\$ 17.444,73. Isso posto, pode-se afirmar que a instalação de um sistema dentro dos padrões exigidos com alta tecnologia é uma alternativa que proporciona grande retorno ao produtor, pois consegue diminuir drasticamente os gastos com energia na propriedade.

Por fim, com as crescentes demandas pelo consumo de energia e com as frequentes limitações produtivas dessa força motriz da economia, certamente aparecerão inúmeras oportunidades para aprofundamento dessa pesquisa; principalmente diante do constante surgimento de alternativas energéticas cada vez mais eficientes e baratas, com intuito de proporcionar a dissiminação dessas práticas de implementação de sistemas de geração renovável.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 20 maio de 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 414, de 7 setembro de 2010**. Disponível em: <www.aneel.gov.br/ren-414>. Acesso em: 20 maio de 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de Engenharia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Energia Solar**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_solar/3_3_2.htm>. Acesso em: 16 abr. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Energia Solar e-book**. 2016. Disponível em: <https://www.enelx.com.br/wp-content/uploads/2016/11/enel_ebook_energiasolar_NOVEMBRO2016.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

ALVES, Alceu Ferreira. **Energia Solar Fotovoltaica**. São Paulo: Slides, 2017. Color.

ALVES, Dennys Lopes. **Geração Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. Rio Grande do Norte: [S.n.], 2016.

ANDREATTA, T. **Bovinicultura de corte no Rio Grande do Sul**: um estudo a partir do perfil dos pecuaristas e organização dos estabelecimentos agrícolas. 2009. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Rural). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, 2009.

Associação Brasileira de proteína animal [ABPA]. (2016). **História da Avicultura no Brasil**. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura>>. Acesso em: 08 de maio de 2019.
Associação Brasileira de proteína animal [ABPA]. (2018). **Relatório Anual 2018**. Disponível: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em: 09 maio 2019.

ASTRONERGY. **Módulo Solar**. Disponível em: <http://www.astronergy.com/attch/product/STAVE%20II_CHSM6612P_40mm%20frame_201801.pdf>. Acesso em: 24 maio 2019.

BALFOUR, John; SHAW, Michael; NASH, Nicole Bremer. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BLUESOL. **Energia solar no Brasil Panorama**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-no-brasil-panorama/>. Acesso 14 de março de 2019.

BRASIL, Solar. **Conceitos de Energia Solar Fotovoltaica**: como a radiação solar varia ao longo do dia. Disponível em: <<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/129-conceitos-de-energia-solar-fotovoltaica-como-a-radiacao-solar-varia-ao-longo-do-dia>>.

Acesso em: 25 mar. 2019.

BRUM, A. **Modernização da agricultura** — trigo e soja. Ijuí; Fidene/UNIJUÍ, 1985.

BOTEON, Margarete; RIBEIRO, Renato. **Análise financeira: fluxo de caixa, valor presente, TIR e financiamento agrícola (PARTE I)**. 2017. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2737325/mod_resource/content/4/FINANCEIRO.PDF>. Acesso em: 15 de maio 2019.

CÂMARA, C. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Universidade Federal de Lavras, UFLA, MG, 2011).

CRESESBSUNDATA. **Irradiação Solar**. 2019. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 20 maio 2019.

COSTA, Higor José Serafim da. **Avaliação do fator de dimensionamento do inversor em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. 86 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

DUNLAP, R.A. **Sustainable energy**. Halifax: Dalhousie University, 2015.

ELETROJR. **Energia Solar**. Disponível em: <<https://www.eletrorjr.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Eletrorjr-Ebook-Energia-Solar.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

ENERGIA SOLAR. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf)>. Acessado em 07 de março de 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA]. (2016). **Workshop Embrapa Suínos e Aves**. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=eventos&cod_arquivo=119>. Acesso em 15 jul. 2016.

ENERGIA, Portal. **Energia Fotovoltaica**: manual sobre tecnologia, projeto e instalação. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/guia-tecnico-manual-energia-fotovoltaica.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

FOTAIC, Energia Solar. **Manual de energia solar**. 1 ed. Fortaleza, 2017.

FRONIUS. **Inversor solar**. Disponível em: <<https://www.fronius.com/pt-br/brasil/energia-solar/produtos/residencial/inversor/fronius-primo/fronius-primo-3-0-1>>. Acesso em: 24 maio 2019.

FRONTIN, Sergio de Oliveira et al. **Usina Fotovoltaica Jaíba Solar**: Planejamento e Engenharia. Brasília: Teixeira Gráfica e Editora Ltda, 2017.

GEPEA. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. Disponível em <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf>. Acesso em: 01 maio 2019.

GOETZE, Felipe. **Projeto de microgeração fotovoltaica residencial: Estudo de caso**. 2017. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR – GTES. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Ediouro Gráfica e Editora S.A., 2004.

GRUPOKHRONOS. **Energia solar**. Disponível em: <<https://grupokhronos.com.br/solucoes-khronos-em-energia-solar/>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

GUEDES, M. (2003). **O Fenômeno Elétrico: Algumas Ideias e Experiências durante o Século XVIII**. [Versão eletrônica]. Acessado em 08 de novembro de 2018, em <http://paginas.fe.up.pt/histel/FenomEl.pdf>.

GITMAN, L. J. **Princípios de administração financeira**. 10 edição, São Paulo: Harbra. 2007.

GOOGLEMAPS. **Localização Geográfica**. 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-28.4628919,-51.8743521,228m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 20 maio 2019.

HAAG, Rafael et al (Org.). **Atlas Solar do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UERGS, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Solar Photovoltaic Energy: Technology Roadmap**. 2014.

KESSLER, M. C. e CORBELLA, O. D. **Mapas da radiação solar diária total média mensal sobre superfície horizontal para o Rio Grande do Sul para os 12 meses do ano**. Atlas do 2º Congresso Latino-Americano de Energia Solar. v. 1. pp. 61-80. João Pessoa – Paraíba -BR 1979.

Kristin Seyboth, Sverrisson, F., Appavou, F., Brown, A., Epp, B., Leidreiter, A., Sovacool, B. **Renewables 2016 Global Status Report**. 2016.

MARTINAZZO, C. A., “**Modelos de Estimativa de Radiação Solar para Elaboração de Mapas Solarimétricos**”. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil 2004.

MAUAD, Frederico Fábio; FERREIRA, Luciana da Costa; TRINDADE, Tatiana Costa Guimarães. **Energia Renovável no Brasil: Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. São Carlos: EESC/USP, 2017.

MARANGONI. **Avicultura Energia solar para granjas: como e porque investir?** 2019. Disponível em: <<https://confortoanimal.marangoni.com.br/energia-solar-para-granjas-como-e-porque-investir/>>. Acesso em: 09 maio 2019.

MENDONÇA, Maria do Carmo Nunes Ferraz. **A História da Eletricidade no Século XVIII e o Ensino da Física**. 2007. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Departamento de Física, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2007.

NEOSOLAR. **Vem pro sol energia solar**. Disponível: <https://www.neosolar.com.br/vem-pro-sol-energia-solar>. Acessado em 30 de março de 2019.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio (Org.). **Manual da Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel- Cresesb, 2014. 530 p.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/rio-grande-do-sul-e-o-2o-no-ranking-nacional-em-microgeracao-de-energia-solar.html>. Acesso em 18 de março de 2019.

RESENDE, Carlos. **O que é o inversor e como ele funciona**. Disponível em: <http://shareenergy.com.br/o-que-e-o-inversor-e-como-ele-funciona/>. Acesso em: 17 mar. 2019.

ROGANI, Bruno Cornélio. **Modelagem de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede e Análise do Desempenho sob Condições de Sombreamento e Variações de Temperatura**. 2013. 127 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com ênfase em Eletrônica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

RONILSON DI SOUZA. **Os sistemas de Energia Solar Fotovoltaica**. Ribeirão Preto: Luiz Rafael Passari, 2004. Disponível em: www.bluesol.com.br. Acesso em: 26 set. 2018.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J. F. **Administração financeira: corporate finance**. 2 ed. São Paulo: Atlas S.A., 2007.

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

SAGGIN, Ana Claudia; DA SILVA, Alexandre Adílio Luiz; STRADIOTTO, Adriano. **Viabilidade Econômico-financeira de um sistema fotovoltaico para geração de energia elétrica para avicultura de corte na região oeste do Paraná**. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE NEGÓCIOS, 2016, Universidade Estadual Oeste do Paraná. Artigo Científico Completo [...]. [S. l.: s. n.], 2016.

SANTOS, Filipe Fernandes dos. **Utilização de Energia Fotovoltaica para a Eficiência Energética de uma Moradia**. 2011. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://filipefs.weebly.com/tecnologia-fv.html>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SANTOS, Ieda Maria Antunes dos. **Análise de investimentos**. 2009. Disponível em: Acesso em: 26 de maio de 2019.

SANTOS, Silvio Coelho dos; REIS, Maria José. **Memória do Setor Elétrico na Região Sul**. Florianópolis: UFSC, 2002. 240 p.

SETORENERGÉTICO. **Energia solar**. Disponível em: <http://www.setorenergetico.com.br/agenda-eventos/plataforma-disponibiliza-cursos-online-sobre-comercializacao-de-energia-eletrica/25395/>. Acesso em 31 de setembro de 2018.

SETORENERGETICO. **Geração de energia**. Disponível em: <http://www.setorenergetico.com.br/energia/geracao-de-energia-solar-e-alternativa-economica-e-sustentavel-para-pequenos-produtores-rurais/25466/>. Acesso em 10 de outubro de 2018.

SIQUEIRA, Lucas Matias de. **Estudo do dimensionamento e da viabilidade econômica de microgerador solar fotovoltaico conectado à rede elétrica**. 2015. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2015. Disponível em: <http://www.ufjf.br/labsolar/files/2011/05/Estudo-do-Dimensionamento-e-da-Viabilidade-Econ%C3%B4mica-de-Microgerador-Solar-Fotovoltaico.pdf>. Acesso em: 22 Maio de 2018.

SOARES, Ivanilza Formiga; MELO, Alana Candeia de; CHAVES, Alan Dél Carlos Gomes. **A Agricultura Familiar: Uma alternativa para o desenvolvimento sustentável no município de Condado – PB**. Mossoró: S.n., 2009.

SOLAR, Fusão. **AVIÁRIO | AMÉLIA OLEINIK BELTRAME**. 2019. Disponível em: <https://fusaosolar.com.br/obras/agronegocio/aviario-amelia-oleinik-beltrame>. Acesso em: 09 maio 2019.

SOLAR, Minha Casa. **String box**. Disponível em: <https://www.minhacasasolar.com.br/produto/string-box-cc-01-ou-02-strings-01-saida-01-ou-02-entrada-ecosolys-%E2%80%93-ecostring-79179>. Acesso em: 28 maio 2019.

SOLAR, Portal. **Como Instalar Energia Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-instalar-energia-solar.html>. Acesso em: 02 mar. 2019.

SOLAR, Portal. **Como Funciona o Painel Solar Fotovoltaico**: Placas fotovoltaicas. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SOLAR, Portal. **Tudo sobre a Eficiência do Painel Solar**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>. Acesso em: 02 maio 2019.

SÓRIA, Ayres Francisco da Silva; FILIPINI, Fábio Antônio. **Eficiência Energética**. Curitiba, Pr: Base Editorial, 2010. 272 p.

STUDIO EQUINÓCIO. **Produtor de frangos**. Disponível em: <https://studioequinocio.com.br/produtor-de-frangos-instala-energia-solar-em-aviario-para-economia-de-energia/>. Acesso em 20 de outubro de 2018.

TERA SOLAR. **Energia solar no Brasil**. Disponível:<http://www.terasolar.com.br/veja-quantos-brasileiros-geram-energia-solar/>. Acessado em 15 de abril de 2019.

Tiba, C. e Fraidenraich, N., 2000. “**Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Terrestres**”, Ed. Universitária da UFPE, Recife.

VAN CAMPEN, B., GUIDI, D., & BEST, G. (2000). **Energia solar fotovoltaica para la agricultura y desarrollo rural sostenibles** - Documento de Trabajo sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales. FAO: Roma.

VILLALVA, Marcelo Grandella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015. 224 p.

VILLALVA, Marcelo Grandella; GAZOLI, Jonas Rafael. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica Ltda, 2012.

VINCIGUERA, Ana Paula. **Agricultura Familiar – Uma Análise do Pequeno Produtor Rural no Município de Assis S/P**. 2014. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis, Assis, 2014. Disponível em: <<https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1111390463.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017.

VOLT, Solar. **Inversor solar**. Disponível em: <<https://www.solarvoltenergia.com.br/blog/inversor-solar/>>. Acesso em: 02 maio 2019.

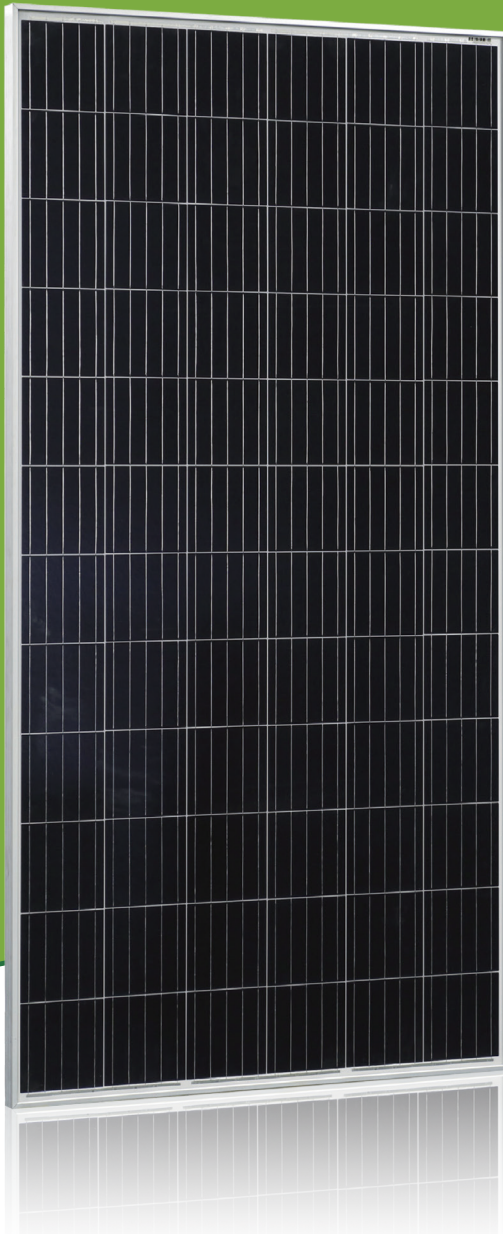
WANDERLEY, Maria de Nazareth Baudel. **Raízes Históricas do Campesinato Brasileiro**. In: TEDESCO, João Carlos (org.). Agricultura Familiar Realidades e Perspectivas. 2 a. ed. Passo Fundo: EDIUPF, 1999. Cap. 1, p. 21-55.

WAQUIL, Paulo Dabdab et al (Org.). **Pecuária familiar no Rio Grande do Sul: história, diversidade social e dinâmicas de desenvolvimento**. Porto Alegre: Ufrgs, 2016.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. São Paulo: Oficina De textos, 2012.

ANEXO A - CÁLOGO MÓDULO SOLAR

For Global Market



STAVE™ II

330W~345W

5BB-Polycrystalline PV Module

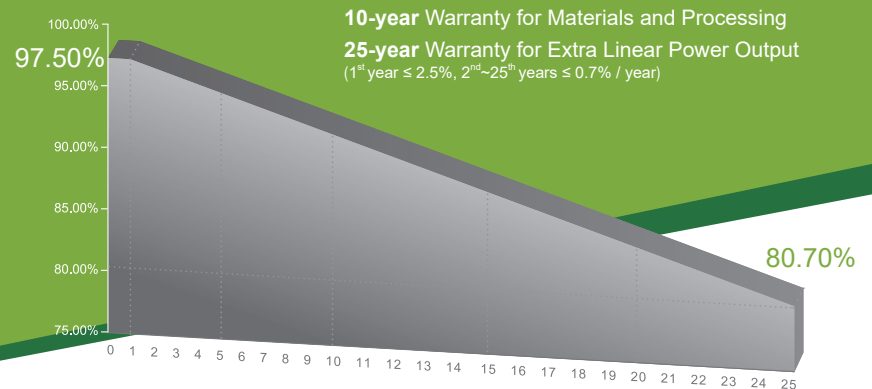
CHSM6612P Series

CHSM6612P/HV Series

CHSM6612P max system voltage 1000V standard

CHSM6612P/HV max system voltage 1500V standard

Tier 1 Bloomberg	No.1 PHOTON	MunichRe Insured	DNV GL 2017 TOP Performance
----------------------------	-----------------------	---------------------	--



COMPREHENSIVE CERTIFICATES



First solar company which passed the TUV Nord IEC/TS 62941 certification audit.

KEY FEATURES

- +5W OUTPUT POSITIVE TOLERANCE**
Guaranteed 0~+5W positive tolerance ensures power output reliability.
- INNOVATIONAL 5-BUSBAR CELLS**
Reduces the cell series resistance and internal stress, decreases the risk of micro-crack and improves the module output.
- INNOVATIVE PERC CELL TECHNOLOGY**
Excellent cell efficiency and output.
- EXCELLENT MECHANICAL LOAD CAPABILITY**
Certified to withstand: snow load (6000 Pa) and wind load (3600 Pa).
- HIGHER RELIABILITY AND DURABILITY**
Effectively deals with harsh environments, such as sand, salt mist and ammonia resistance.
- PASSED HAIL TEST**
Certified to hail resistance: ice ball size (d=45mm) and ice ball velocity (v=30.7m/s).
- PID RESISTANCE**
Excellent PID resistance at 96 hours (@85°C /85%) test, and also can be improved to meet higher standards for the particularly harsh environment.

ELECTRICAL SPECIFICATIONS

STC rated output (P_{mpp})*	330 Wp	335 Wp	340 Wp	345 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at STC	37.15 V	37.26 V	37.33 V	37.38 V
Rated current (I_{mpp}) at STC	8.89 A	9.00 A	9.11 A	9.23 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	45.86 V	45.98 V	46.16 V	46.37 V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	9.52 A	9.57 A	9.62 A	9.67 A
Module efficiency	17.1%	17.3%	17.6%	17.8%
Rated output (P_{mpp}) at NOCT	230.4 Wp	233.9 Wp	237.4 Wp	240.9 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at NOCT	33.92 V	34.01 V	34.10 V	34.15 V
Rated current (I_{mpp}) at NOCT	6.79 A	6.88 A	6.96 A	7.05 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NOCT	42.08 V	42.19 V	42.36 V	42.55 V
Short circuit current (I_{sc}) at NOCT	7.37 A	7.40 A	7.44 A	7.48 A
Temperature coefficient (P_{mpp})	- 0.408%/°C			
Temperature coefficient (I_{sc})	+0.050%/°C			
Temperature coefficient (V_{oc})	- 0.311%/°C			
Normal operating cell temperature (NOCT)	46±2°C			
Maximum system voltage (IEC/UL)	1000V _{DC} or 1500V _{DC}			
Number of diodes	3			
Junction box IP rating	IP 67			
Maximum series fuse rating	15 A			

* Measurement tolerance +/- 3%

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m², Ambient Temperature 20°C, AM=1.5, Wind Speed 1m/s

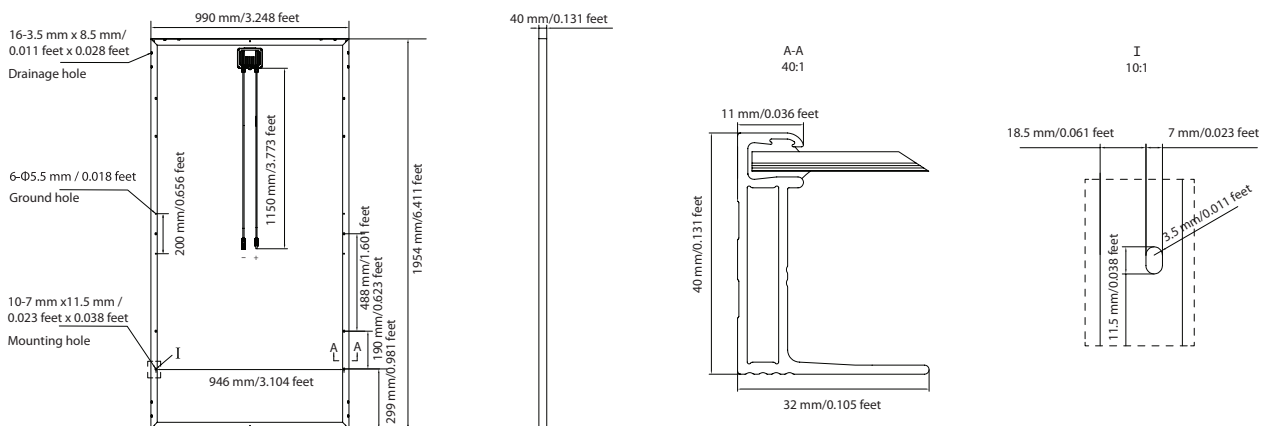
MECHANICAL SPECIFICATIONS

Outer dimensions (L x W x H)	1954 x 990 x 40 mm 76.93 x 38.98 x 1.57 in
Frame technology	Aluminum, silver anodized
Module composition	Glass / EVA / Backsheet (white)
Front glass thickness	3.2 mm / 0.13 in
① Cable length (IEC/UL)	1150 mm / 45.28 in
Cable diameter (IEC/UL)	4 mm ² / 12 AWG
② Maximum mechanical test load	6000 Pa
Fire performance (IEC/UL)	Class C (IEC) or Type 1 (UL)
Connector type (IEC/UL)	MC4 compatible

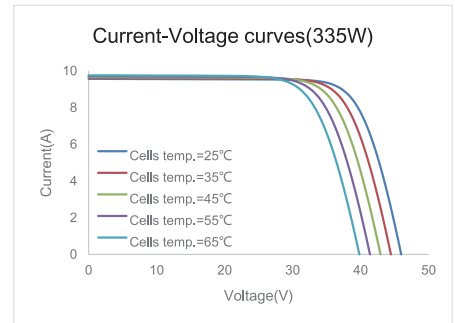
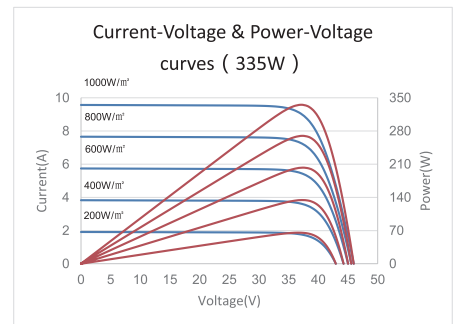
① Option: 900(+)/600(-) mm for defined projects in advance.

② Refer to Astronergy crystalline installation manual or contact technical department.
Maximum Mechanical Test Load=1.5×Maximum Mechanical Design Load.

MODULE DIMENSION DETAILS



CURVE



PACKING SPECIFICATIONS

① Weight (module only)	21.8 kg / 48.06 lbs
② Packing unit	27 pcs / box
Weight of packing unit (for 40'HQ container)	646 kg / 1424 lbs
Number of modules per 40'HQ container	648 pcs

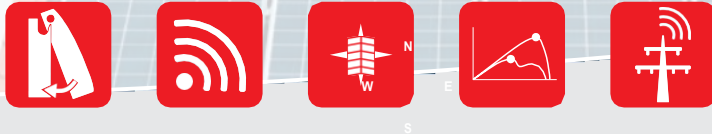
① Tolerance +/- 1.0kg

② Subject to sales contract

ANEXO B - CÁTALOGO INVERSOR SOLAR

Fronius Primo

/ The communicative inverter for optimised energy management.



/ SnapINverter Technology

/ Integrated data communication

/ SuperFlex Design

/ Dynamic Peak Manager

/ Smart Grid Ready

/ The Fronius Primo in power categories from 3.0 to 8.2 kW perfectly completes the new SnapINverter generation. This single-phase, transformerless device is the ideal inverter for private households. Its innovative SuperFlex Design provides maximum flexibility in system design, while the SnapINverter mounting system makes installation and maintenance easier than ever before. The communication package included as standard, with WLAN, energy management, several interfaces and much more besides, makes the Fronius Primo a communicative inverter for owner-occupiers.

TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO (3.0-1, 3.5-1, 3.6-1, 4.0-1, 4.6-1)

INPUT DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Max. input current ($I_{dc \max 1} / I_{dc \max 2}$)			12.0 A / 12.0 A		
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂)			18.0 A / 18.0 A		
Min. input voltage ($U_{dc \min}$)			80 V		
Feed-in start voltage ($U_{dc \text{ start}}$)			80 V		
Nominal input voltage ($U_{dc,r}$)			710 V		
Max. input voltage ($U_{dc \max}$)			1,000 V		
MPP voltage range ($U_{mpp \min} - U_{mpp \max}$)		200 - 800 V		210 - 800 V	240 - 800 V
Number of MPP trackers			2		
Number of DC connections			2 + 2		

OUTPUT DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	3,000 W	3,500 W	3,680 W	4,000 W	4,600 W
Max. output power	3,000 VA	3,500 VA	3,680 VA	4,000 VA	4,600 VA
AC output current ($I_{ac \text{ nom}}$)	13.0 A	15.2 A	16.0 A	17.4 A	20.0 A
Grid connection (voltage range)			1 ~ NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frequency (frequency range)			50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Total harmonic distortion			< 5 %		
Power factor ($\cos \varphi_{ac,r}$)			0.85 - 1 ind. / cap.		

TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO (3.0-1, 3.5-1, 3.6-1, 4.0-1, 4.6-1)

GENERAL DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm				
Weight	21.5 kg				
Degree of protection	IP 65				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC) ¹⁾	2 / 3				
Night time consumption	< 1 W				
Inverter design	Transformerless				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	-40 - +55 °C				
Permitted humidity	0 - 100 %				
Max. altitude	4,000 m				
DC connection technology	2x DC+1, 2x DC+2 and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²				
AC connection technology	3-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²				
Certificates and compliance with standards	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21				

EFFICIENCY	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Max. efficiency	97.9 %	98.0 %	98.0 %	98.0 %	98.0 %
European efficiency (η_{EU})	96.1 %	96.8 %	96.8 %	97.0 %	97.0 %
η at 5 % $P_{ac,r}$ ²⁾	80.8 / 82.5 / 82.5 %	80.8 / 82.5 / 82.5 %	80.8 / 82.5 / 82.5 %	80.8 / 82.5 / 82.5 %	80.8 / 82.5 / 82.5 %
η at 10 % $P_{ac,r}$ ²⁾	84.1 / 86.5 / 86.1 %	86.3 / 93.6 / 91.8 %	86.3 / 93.6 / 91.8 %	86.6 / 93.9 / 92.2 %	88.9 / 94.4 / 92.9 %
η at 20 % $P_{ac,r}$ ²⁾	90.3 / 95.5 / 94.8 %	91.6 / 96.2 / 95.2 %	91.6 / 96.2 / 95.2 %	92.2 / 96.7 / 95.6 %	93.0 / 97.0 / 95.9 %
η at 25 % $P_{ac,r}$ ²⁾	91.8 / 96.4 / 95.1 %	92.7 / 96.9 / 95.8 %	92.7 / 96.9 / 95.8 %	93.2 / 97.2 / 96.1 %	93.9 / 97.2 / 96.6 %
η at 30 % $P_{ac,r}$ ²⁾	92.7 / 96.9 / 96.0 %	93.5 / 97.2 / 96.3 %	93.5 / 97.2 / 96.3 %	94.0 / 97.2 / 96.8 %	94.5 / 97.3 / 96.9 %
η at 50 % $P_{ac,r}$ ²⁾	94.5 / 97.4 / 97.0 %	95.0 / 97.7 / 97.3 %	95.0 / 97.7 / 97.3 %	95.2 / 97.8 / 97.4 %	95.6 / 97.9 / 97.6 %
η at 75 % $P_{ac,r}$ ²⁾	95.4 / 97.9 / 97.7 %	95.6 / 97.8 / 97.8 %	95.6 / 97.8 / 97.8 %	95.8 / 97.9 / 97.8 %	96.0 / 97.9 / 97.8 %
η bei 100 % $P_{ac,r}$ ²⁾	95.7 / 97.9 / 97.8 %	95.8 / 98.0 / 97.8 %	95.8 / 98.0 / 97.8 %	95.9 / 98.0 / 97.9 %	96.2 / 97.9 / 98.0 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %				

PROTECTIVE DEVICES	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
DC insulation measurement	Yes				
Overload behaviour	Operating point shift. Power limitation				
DC disconnecter	Yes				

INTERFACES	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver				
USB (A socket) ³⁾	Datalogging, inverter update via USB flash drive				
2x RS422 (RJ45 socket) ³⁾	Fronius Solar Net				
Signalling output ³⁾	Energy management (potential-free relay output)				
Datalogger and Webserver	Included				
External input ³⁾	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection				
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection				

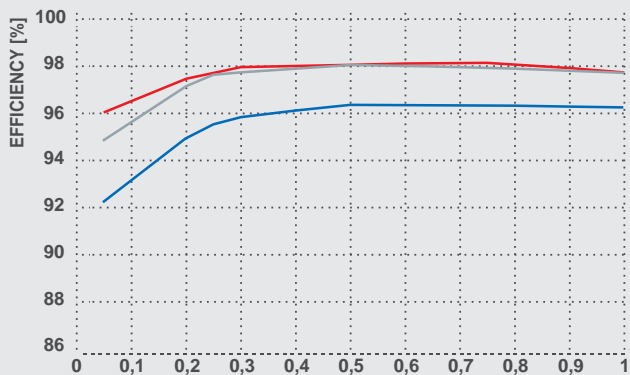
¹⁾ According to IEC 62109-1.

²⁾ And at $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$

³⁾ Also available in the light version.

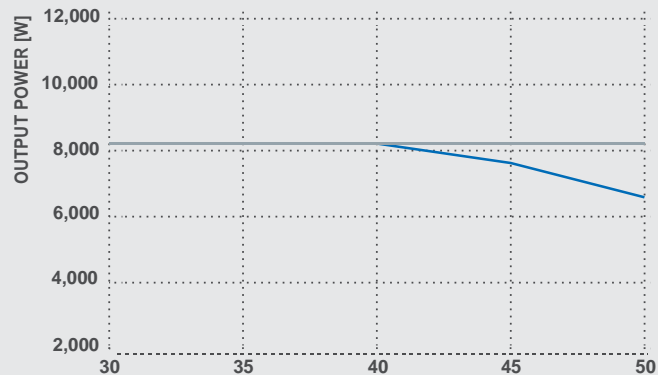
Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.

FRONIUS PRIMO 8.2-1 EFFICIENCY CURVE



STANDARDISED OUTPUT POWER P_{Ac} / P_{AcR} ■ 270 V_{dc} ■ 710 V_{dc} ■ 800 V_{dc}

FRONIUS PRIMO 8.2-1 TEMPERATURE DERATING



AMBIENT TEMPERATURE [°C] ■ 270 V_{dc} ■ 710 V_{dc} ■ 800 V_{dc}

TECHNICAL DATA FRONIUS PRIMO (5.0-1, 5.0-1 AUS, 6.0-1, 8.2-1)

INPUT DATA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 5.0-1 AUS	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Max. input current ($I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$)	12.0 A / 12.0 A		18.0 A / 18.0 A	
Max. array short circuit current (MPP ₁ /MPP ₂)	18.0 A / 18.0 A		27.0 A / 27.0 A	
Min. input voltage ($U_{dc\ min}$)			80 V	
Feed-in start voltage ($U_{dc\ start}$)			80 V	
Nominal input voltage ($U_{dc,r}$)			710 V	
Max. input voltage ($U_{dc\ max}$)			1,000 V	
MPP voltage range ($U_{mpp\ min} - U_{mpp\ max}$)		240 - 800 V		270 - 800 V
Number of MPP trackers		2		
Number of DC connections		2 + 2		

OUTPUT DATA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 5.0-1 AUS	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
AC nominal output ($P_{ac,r}$)	5,000 W	4,600 W	6,000 W	8,200 W
Max. output power	5,000 VA	5,000 VA	6,000 VA	8,200 VA
AC output current ($I_{ac\ nom}$)	21.7 A	21.7 A	26.1 A	35.7 A
Grid connection (voltage range)		1 ~ NPE 220 V / 230 V (180 V - 270 V)		
Frequency (frequency range)		50 Hz / 60 Hz (45 - 65 Hz)		
Total harmonic distortion		< 5 %		
Power factor ($\cos\ \varphi_{ac,r}$)		0.85 - 1 ind. / cap.		

GENERAL DATA	PRIMO 5.0-1	PRIMO 5.0-1 AUS	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Dimensions (height x width x depth)		645 x 431 x 204 mm		
Weight		21.5 kg		
Degree of protection		IP 65		
Protection class		1		
Overvoltage category (DC / AC) ¹⁾		2 / 3		
Night time consumption		< 1 W		
Inverter design		Transformerless		
Cooling		Regulated air cooling		
Installation		Indoor and outdoor installation		
Ambient temperature range		-40 - +55 °C		
Permitted humidity		0 - 100 %		
Max. altitude		4,000 m		
DC connection technology		2x DC+1, 2x DC+2 and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm ²		
AC connection technology		3-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm ²		
Certificates and compliance with standards		DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21		

¹⁾ According to IEC 62109-1. Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at www.fronius.com.

EFFICIENCY	PRIMO 5.0-1	PRIMO 5.0-1 AUS	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
Max. efficiency	98.0 %	98.0 %	98.0 %	98.1 %
European efficiency (η_{EU})	97.1 %	97.1 %	97.3 %	97.5 %
η at 5 % $P_{ac,r}^{(1)}$	80.8 / 82.5 / 82.5 %	80.8 / 82.5 / 82.5 %	84.6 / 86.5 / 86.0 %	85.5 / 89.6 / 88.5 %
η at 10 % $P_{ac,r}^{(1)}$	89.6 / 94.8 / 93.1 %	89.6 / 94.8 / 93.1 %	90.5 / 95.5 / 94.6 %	92.2 / 96.0 / 94.8 %
η at 20 % $P_{ac,r}^{(1)}$	93.4 / 97.2 / 96.2 %	93.4 / 97.2 / 96.2 %	94.0 / 97.2 / 96.8 %	94.9 / 97.4 / 97.2 %
η at 25 % $P_{ac,r}^{(1)}$	94.1 / 97.3 / 96.8 %	94.1 / 97.3 / 96.8 %	94.7 / 97.4 / 97.0 %	95.5 / 97.7 / 97.6 %
η at 30 % $P_{ac,r}^{(1)}$	94.7 / 97.4 / 97.0 %	94.7 / 97.4 / 97.0 %	95.1 / 97.6 / 97.3 %	95.8 / 97.9 / 97.7 %
η at 50 % $P_{ac,r}^{(1)}$	95.8 / 97.9 / 97.7 %	95.8 / 97.9 / 97.7 %	96.0 / 97.9 / 97.8 %	96.3 / 98.0 / 98.0 %
η at 75 % $P_{ac,r}^{(1)}$	96.1 / 98.0 / 97.9 %	96.1 / 98.0 / 97.9 %	96.2 / 98.0 / 98.0 %	96.3 / 98.1 / 97.9 %
η at 100 % $P_{ac,r}^{(1)}$	96.2 / 97.9 / 97.9 %	96.2 / 97.9 / 97.9 %	96.2 / 98.0 / 97.9 %	96.2 / 97.7 / 97.7 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %			

PROTECTIVE DEVICES	PRIMO 5.0-1	PRIMO 5.0-1 AUS	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
DC insulation measurement	Yes			
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation			
DC disconnecter	Yes			

INTERFACES	PRIMO 5.0-1	PRIMO 5.0-1 AUS	PRIMO 6.0-1	PRIMO 8.2-1
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)			
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver			
USB (A socket) ²⁾	Datalogging, inverter update via USB flash drive			
2x RS422 (RJ45 socket) ²⁾	Fronius Solar Net			
Signalling output ²⁾	Energy management (potential-free relay output)			
Datalogger and Webserver	Included			
External input ²⁾	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection			
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection			

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS OF POSSIBILITY.

/ Whether welding technology, photovoltaics or battery charging technology – our goal is clearly defined: to be the innovation leader. With around 3,300 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our record of over 900 granted patents is testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Just as we've always done. The responsible use of our resources forms the basis of our corporate policy.

Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at www.fronius.com

v05 May 2015 EN

