



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DANIEL DIÓGENES HOLANDA DE SOUZA

**ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS
CONECTADOS À REDE EM UMA FAZENDA DE PRODUÇÃO DE CAMARÃO EM
ALTO SANTO/CE.**

RUSSAS

2022

DANIEL DIÓGENES HOLANDA DE SOUZA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS
CONECTADOS À REDE EM UMA FAZENDA DE PRODUÇÃO DE CAMARÃO EM
ALTO SANTO/CE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica do Campus Russas
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Camilo Augusto
Santos Costa.

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237a Souza, Daniel de.
Análise da viabilidade técnica de painéis solares fotovoltaicos conectados à rede em uma fazenda de produção de camarão em Alto Santo/ CE. / Daniel de Souza. – 2022.
64 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Mecânica, Russas, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Daniel Diógenes Holanda de Souza.

1. Sistemas fotovoltaicos. 2. Energia Solar. 3. Fontes renováveis. 4. Carcinicultura. I. Título.

CDD 620.1

DANIEL DIÓGENES HOLANDA DE SOUZA

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS
CONECTADOS À REDE EM UMA FAZENDA DE PRODUÇÃO DE CAMARÃO EM
ALTO SANTO/CE

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Mecânica do Campus Russas
da Universidade Federal do Ceará, como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Camilo Augusto Santos Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cândido Jorge de Sousa Lobo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Sílvia Teles Viana
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha mãe, Márcia.

Aos meus irmãos, Douglas e Daniele.

À Sociedade Esportiva Palmeiras.

RESUMO

Em decorrência da crescente demanda por geração de energia elétrica limpa, obtida através de fontes renováveis, cuja finalidade tem por princípio a redução dos efeitos do aquecimento global e diminuição dos custos de produção, a geração solar, através de painéis fotovoltaicos, vem se tornando cada vez mais atraente. Quando comparado com os anos noventa, a tecnologia dos painéis fotovoltaicos, bem como os sistemas de controle, tiveram um crescimento tecnológico significativo. Os custos de instalação e geração, caíram para valores menores de 50%, quando comparados com o início da difusão em grande escala dessa aplicação, que aconteceu no começo do novo milênio. Além disso, a inclusão de parceiros comerciais da China, Dinamarca, Alemanha, dentre outros, aumentou a competitividade, baixando o preço de mercado, e deixando de ser um produto que antes exclusivamente vinha de importações dos EUA. Neste trabalho foi avaliada a viabilidade técnica e econômica da implantação e utilização de um sistema de microgeração a base de energia solar, produzida por painéis solares e um sistema de controle, como inversores de frequência e demais equipamento de eletrônica de potência, sendo este sistema ligado a rede de distribuição da concessionária local (ongrid). A aplicação final dessa microgeração solar será para abastecer uma fazenda de criação de camarão, carcinicultura, no município de Alto Santo, localizada no Vale do Jaguaribe, Foram analisadas as tecnologias, dados de irradiação solar e a possibilidade da instalação dos módulos fotovoltaicos sobre toda a cobertura da área e, conseqüentemente, a porcentagem de energia economizada com a utilização do sistema e sua análise econômica.

Palavras-chave: sistemas fotovoltaicos; energia solar; fontes renováveis; carcinicultura.

ABSTRACT

As a result of the growing demand for clean electricity generation, obtained from renewable sources, whose purpose is to reduce the effects of global warming and decrease production costs, solar generation, through photovoltaic panels, has become more and more attractive. When compared to the 1990s, photovoltaic panel technology, as well as control systems, has seen significant technological growth. The installation and generation costs have fallen to less than 50% compared with the start of the mass diffusion of this application at the beginning of the new millennium. Besides this, the inclusion of commercial partners such as China, Denmark, Germany, among others, has increased competitiveness, lowering the market price, and ceasing to be a product that before came exclusively from US imports. In this work the technical and economic viability of the implementation and use of a microgeneration system based on solar energy, produced by solar panels and a control system, such as frequency inverters and other power electronics equipment, was evaluated, with this system connected to the distribution network of the local utility (on-grid). The final application of this solar microgeneration will be to supply a shrimp farm, *carcinicultura*, in the city of Alto Santo, located in the Jaguaribe Valley. The technologies, solar irradiation data, and the possibility of installing photovoltaic modules on the entire roof of the area and, consequently, the percentage of energy saved with the use of the system and its economic viability were analyzed.

Keywords: photovoltaic systems; solar energy; renewable sources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Oferta interna de energia elétrica por fonte, em 2020	15
Figura 2	Comparação da geração energética por fontes renováveis ou não renováveis no Brasil e no mundo.....	16
Figura 3	Evolução da fonte solar fotovoltaica no Brasil	17
Figura 4	Luz solar através da atmosfera até a superfície terrestre	19
Figura 5	Total diário da irradiação global	20
Figura 6	Geração de corrente em uma célula fotovoltaica.....	22
Figura 7	Diferença de uma célula de silício monocristalino e uma célula de silício policristalino.....	23
Figura 8	Medidor bidirecional de um sistema fotovoltaico.....	24
Figura 9	Fator de capacidade de diferentes fontes.....	26
Figura 10	Vista superior da fazenda de cultivo de carcinicultura.....	29
Figura 11	Área disponibilizada para alocação dos módulos	30
Figura 12	Dimensões do MFV	30
Figura 13	Declinação magnética para o local	32
Figura 14	Distância entre o ponto de referência e a fazenda	33
Figura 15	Interface de Localização e Recurso Solar (SAM)	43
Figura 16	Interface SAM para a escolha do MFV	44
Figura 17	Interface do SAM para inserção de dados do IFV	44
Figura 18	Interface de definição de posicionamento e arranjo do SFCR	45
Figura 19	Inversor SMA Sunny Tripower STP-25000TL-30	46
Figura 20	Inversor SUNNY BOY SB2.5 VL-40	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Fator de espaçamento x latitude	31
Gráfico 2:	Irradiação solar no plano inclinado ($5,401^\circ$; $38,349^\circ$)	34
Gráfico 3	Temperaturas máximas/mínimas - Jaguaribe	37
Gráfico 4	Resultados para a produção elétrica	51
Gráfico 5	Produção de energia AC horária	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Produtividade anual de SFCR brasileiros	27
Tabela 2	Irradiação solar diária média mensal	34
Tabela 3	Irradiação média diária	35
Tabela 4	Irradiação média mensal horária (novembro)	36
Tabela 5	Consumo elétrico mensal	38
Tabela 6	Características do MFV	39
Tabela 7	Características do IFV	41
Tabela 8	Geração Elétrica Mensal - Pousada	47
Tabela 9	Irradiação Média Mensal - Pousada.....	49
Tabela 10	Dimensões do SFCR	50
Tabela 11	Geração elétrica CA e CC	52
Tabela 12	Índices de Mérito Anual do SFCR (SAM)	53
Tabela 13	Produtividade mensal	54
Tabela 14	Fator de Capacidade	54
Tabela 15	Desempenho global	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanco Energético Nacional
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
MW	Megawatts
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
PW	Peta Watts
kWh	kilo Watt - hora
m ²	Metros quadrados
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à rede elétrica
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
CEP	Código de Endereçamento Postal
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
CRESESB	Centro de Referência para as Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
GFV	Geração Fotovoltaica
ENEL	Entidade Nacional de Eletricidade
MFV	Módulo Fotovoltaico
IFV	Inversor Fotovoltaico
NOCT	Nominal Operating Cell Temperature
STC	Standard Testing Conditions
SAM	SYSTEM ADVISOR MODEL

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problemáticas	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Objetivos	17
<i>1.3.1 Objetivo Geral</i>	17
<i>1.3.2 Objetivos Específicos</i>	17
1.4 Organização do Trabalho	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Energia Solar	19
<i>2.1.1 Radiação Solar no Brasil</i>	20
2.2 Sistemas Fotovoltaicos	21
<i>2.2.1 Principais tipos de Células Fotovoltaicas</i>	22
<i>2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados em redes elétricas</i>	23
<i>2.2.3 Inversor</i>	24
2.3 Índices de mérito utilizados na avaliação de um SFCR	25
<i>2.3.1 Fator de Capacidade (Cf)</i>	26
<i>2.3.2 Produtividade Anual de um SFCR (YF)</i>	26
<i>2.3.3 Desempenho Global (Performance Ratio)</i>	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 O projeto	28
3.2 Análise da viabilidade técnica	28
<i>3.2.1 Localização do Imóvel</i>	28
<i>3.2.1 Localização e posicionamento dos módulos fotovoltaicos</i>	29
<i>3.2.3 Estudo da Radiação Local</i>	33
3.3 Dimensionamento do SFCR	37
<i>3.3.1 Levantamento do consumo energético</i>	37
<i>3.3.2 Estimativa da Energia Gerada pelo Módulo Fotovoltaico (MFV)</i>	39
<i>3.3.3 Número de MFV</i>	40
<i>3.3.4 Dimensionamento do Inversor (IFV)</i>	40
<i>3.3.5 Arranjo Fotovoltaico</i>	41
3.4 Software Simulação do SFCR	42
3.5 Método de Análise de Desempenho	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	50

4.1 Resultado do Dimensionamento	50
4.2 Simulação do SFCR	51
4.3 Comparação de índices de mérito.....	53
5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS	57
Anexo A.....	61
Anexo B.....	63

1 INTRODUÇÃO

Desde a Segunda Revolução Industrial, na metade final do Século XIX, quando as demais economias globais vigentes da época começaram a utilizar em grande escala combustíveis fósseis como fontes de energia, em decorrência do aumento do consumo energético, tanto pelo crescimento populacional e maior urbanização, quanto por equipamentos e máquinas movidas por motores elétricos, mais potentes, as quais demandam mais energia, a comunidade científica tem percebido alterações climáticas e mudanças ambientais em ecossistemas importantes, em consequência do aumento da produção de CO₂, principal responsável pelo aumento do efeito estufa.

O Brasil, atualmente, conta com uma base hidráulica de geração de energia, com cerca de 65,2% da energia elétrica gerada por usinas hidrelétricas (BEN, 2021). Um detalhe importante é que houve um aumento considerável da procura por outras fontes energéticas, renováveis, como a Eólica, principalmente na região litorânea, e a Solar, principalmente na Região Nordeste.

Nos últimos anos. Produtores rurais, empresas e residências começaram a produzir sua própria energia, aderindo aos sistemas de mini e microgeração solar fotovoltaica como fonte renovável e limpa visando reduzir custos e garantir autonomia energética, com retorno de investimento garantido, entre cinco e sete anos. Sendo que o consumo tem custo praticamente zero, durante 18 a 25 anos, após o período do retorno de investimento (ABSOLAR, 2018). Isto dito, surge um cenário bastante propício para se estudar a viabilidade de implantação de sistemas fotovoltaicos com o fito de reduzir os custos das contas de energia elétrica em domicílios e indústrias.

1.1 Problemáticas

Tanto em domicílios, quanto em indústrias, uma das principais questões no que se refere a despesa é o consumo de energia elétrica, devido ao uso praticamente integral de iluminação, aparelhos elétricos, equipamentos, etc. Uma alternativa para reduzir a fatura de energia é por meio de um sistema fotovoltaico, pois a carga no sistema elétrico seria menor, e consequentemente, a conta viria

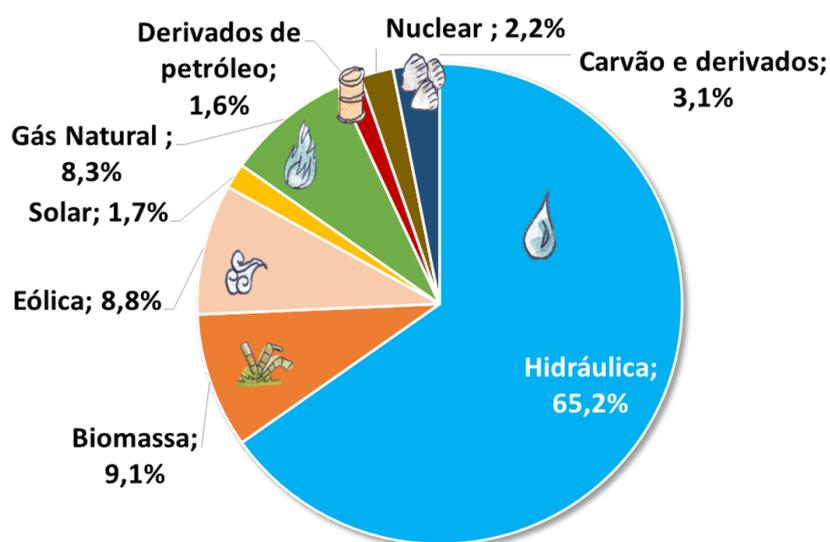
mais baixa.

O custo de implantação de sistemas fotovoltaicos no Brasil ainda é a principal barreira para a utilização desse tipo de geração de energia. Apesar disso, na última década os valores diminuíram consideravelmente, e paralelo a isso, mais domicílios e indústrias passaram a instalar geradores. Existem também outros fatores desfavoráveis, como o desconhecimento da tecnologia por parte da população, e a carência de estudos acadêmicos e profissionais que trazem análises do retorno financeiro e dos benefícios para a sociedade e para o Meio Ambiente.

1.2 Justificativa

Há vários motivos importantes para a implantação de sistemas fotovoltaicos, o principal deles é a geração limpa, sem liberar gases, materiais ou outras substâncias que poluem o meio ambiente, de energia elétrica. No caso do Brasil, a geração de energia elétrica tem uma matriz predominantemente renovável. Em dados de 2020, mais de 80% da oferta interna de eletricidade foi proveniente de fontes renováveis (BEN, 2021). A figura 1 mostra a divisão dessa oferta por fonte no país:

Figura 1 - Oferta interna de Energia Elétrica por Fonte, em 2020.

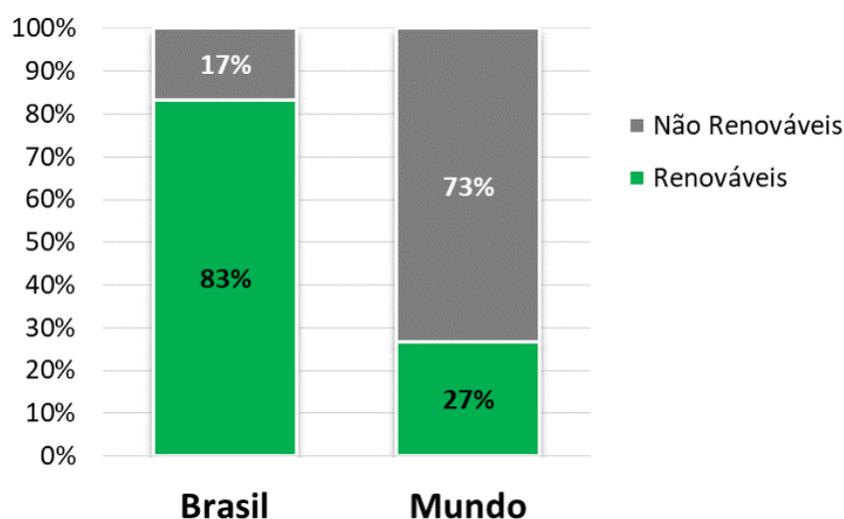


Fonte: BEN, 2021.

Ao comparar com a maioria dos outros países, onde a produção de

energia elétrica é, em grande porcentagem, originária de combustíveis fósseis, emissores de poluentes, a matriz elétrica brasileira é baseada em fontes renováveis, o que é ótimo para o Brasil, pois além de possuírem menores custos de operação, as usinas geradoras emitem bem menos gases de efeito estufa. A figura 2 ilustra isso:

Figura 2 - Comparação da geração energética por fontes renováveis ou não renováveis no Brasil e no Mundo.

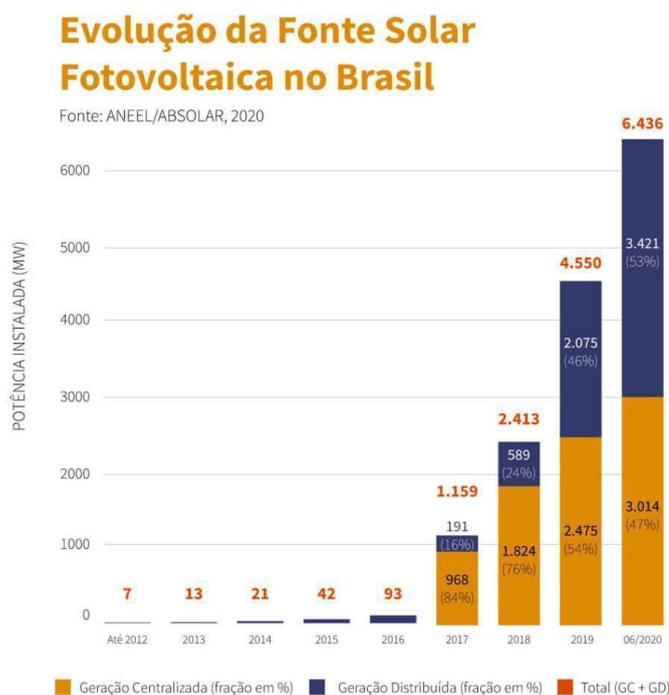


Fonte: BEN, 2020.

O Brasil tem evoluído na última década, quanto ao uso de usinas fotovoltaicas. A primeira Usina Solar foi instalada em 2011, no município de Tauá (sertão do Ceará). No ano de 2012, foi criada a Resolução 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual contribuiu para o avanço dos sistemas de geração distribuída local, além de apresentar um sistema de compensação de créditos aos consumidores. E de acordo com o Ministério de Minas e Energia, em 2014 ocorreu a primeira contratação de energia solar de geração pública centralizada. No ano seguinte, o Governo Federal realizou mais dois leilões, com o objetivo de expandir a indústria solar no Brasil. Saltando para 2020, o número de imóveis com painéis solares chegou a 30 mil, espalhados por todo o país. O Estado de Minas Gerais detém a maior capacidade fotovoltaica instalada, com 671,5 MW. Logo depois vem o Rio Grande do Sul, com 446,9 MW, e São Paulo, que conta com 440,1 MW, enquanto a matriz energética solar brasileira contém mais de 173.279

MW. A expectativa é que, até o ano de 2024, o território brasileiro conte com cerca de 887 mil sistemas de energia solar instalados. A figura 3 expõe, em gráfico, a evolução destacada anteriormente.

Figura 3 - Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2020.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma pesquisa acadêmica sobre sistemas fotovoltaicos conectados em redes elétricas; dimensionar e simular um SFCR para uma fazenda de produção de camarão em cultivo escavado localizada em Alto Santo-CE, visando diminuir os custos com energia elétrica convencional.

1.3.2 Objetivos Específicos

Desenvolver um estudo sobre sistemas fotovoltaicos;

Fazer um levantamento em uma fazenda de produção de camarão sobre a quantidade de energia elétrica consumida;

Pesquisar dados de irradiação solar no local onde será instalado o sistema fotovoltaico;

Analisar e dimensionar o sistema fotovoltaico adequado ao consumo de energia, a depender da carga instalada;

Realizar uma simulação do SFCR em ferramenta computacional;

Analisar os resultados de geração elétrica do sistema com base em índices de mérito e comparar com outro SFCR instalado em uma Pousada na região próxima (município vizinho).

1.4 Organização do Trabalho

A seguir será apresentado a ordem na qual o trabalho foi elaborado.

No Capítulo 1 foi apresentado a Introdução e Objetivos, fundamentando o estudo que foi realizado

No Capítulo 2 foi realizada a revisão na literatura dos principais trabalhos relevantes ao tema.

No capítulo 3 foi descrito os materiais e métodos bases para o dimensionamento de um SFCR para a fazenda de Carcinicultura em Alto Santo – CE, para a simulação do mesmo com auxílio de ferramenta computacional e para a comparação dos índices de mérito com outro SFCR localizado em uma Pousada em Jaguaribara – CE.

No capítulo 4 foi exposto e discutido os resultados do dimensionamento, da simulação computacional e da análise dos índices de mérito.

No capítulo 5 foi realizada a conclusão levantada pelo autor do trabalho acerca do estudo realizado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

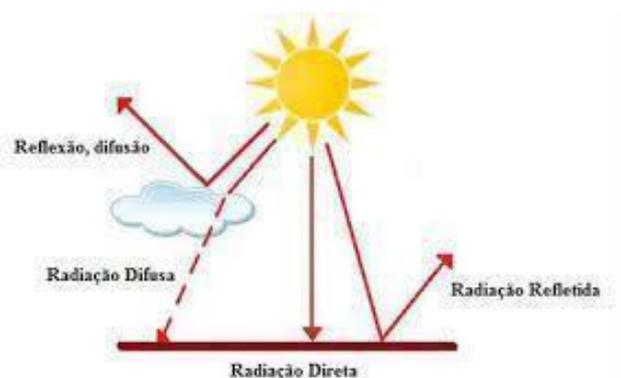
A seguir serão apresentados os principais trabalhos utilizados na revisão bibliográfica a fim de definir o estado da arte e obter um embasamento teórico para os modelos que foram propostos, bem como para as soluções obtidas. A revisão é dividida em duas partes, sendo a primeira relativa a uma revisão dos conceitos de energia solar e radiação e o segundo relativa aos trabalhos mais atuais na literatura.

2.1 Energia Solar

Energia Solar é qualquer tipo de energia produzida proveniente dos raios solares, gerados a partir da união de dois núcleos de átomos, a chamada fusão nuclear. No caso do Sol, os átomos de Hidrogênio (H) e Hélio (He) estão em estado de plasma, e quando ocorre a fusão nuclear, as partículas de hidrogênio se fundem, sob altíssimas pressão e temperatura (cerca de 15 milhões de graus Celsius), e liberam energia, os raios solares.

O Planeta Terra recebe, diariamente, em torno de 174 petawatts (PW) de Energia Solar, por meio da radiação. Entretanto, 30% disso é refletido para o espaço, ou seja, 122 PW são absorvidos por dia. Para dimensionar, 1PW equivale a 10^{15} W. Outro ponto importante, é que devido a grande distância, somente uma pequena porção da radiação atinge a superfície da Terra, na grandeza de 1018 kWh/ano (HINRICHS, 2003). A figura 4 expõe o caminho percorrido pela luz proveniente do Sol da atmosfera terrestre até a superfície.

Figura 4 - Luz Solar através da Atmosfera até a superfície terrestre.

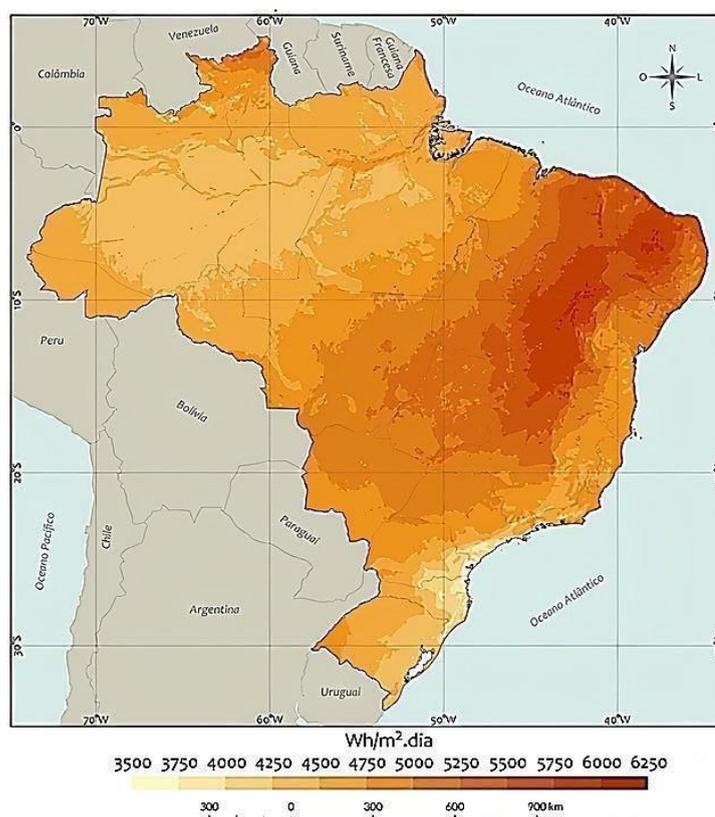


Fonte: Bianchine (2013) – Adaptado

2.1.1 Radiação Solar no Brasil

O Brasil é privilegiado em receber radiação solar, pois está entre os índices mais altos do mundo, e esta radiação atinge praticamente todo o território nacional, conforme pode ser observado na Figura 5. O valor máximo de densidade de radiação solar está no norte do estado da Bahia, com 6,5 kWh/m² por dia, enquanto a mais baixa é de Santa Catarina, com 4,25 kWh/m² por dia (PEREIRA et al., 2006). Curiosamente, qualquer valor de irradiação solar no território brasileiro, mesmo os menores, são maiores que os valores de grande parte dos países da União Europeia, porém, nesses países há projetos fortemente apoiados pelos respectivos governos para aproveitamento deste recurso energético.

Figura 5 - Total diário da irradiação global.



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar.

É possível perceber que os índices mais elevados de irradiação solar ocorrem em grande parte do Nordeste Brasileiro, sendo esta região a principal do país em questão de viabilidade desta tecnologia de geração. Uma estratégia de

aproveitamento da geração solar permite antever um possível aumento da renda nas regiões mais pobres do país, como a própria Região Nordeste, promovendo uma economia socialmente justa e menos vulnerável aos efeitos do clima, reduzindo a histórica diferença inter-regional, de inclusão social, econômica e energética.

A região Nordeste apresenta a menor variabilidade interanual de incidência de raios solares, com valores entre 5,39 e 5,59 kWh/m², e metade das suas médias anuais estão contidas no intervalo 5,43 e 5,50 kWh/m² (ATLAS BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR). Isso indica estabilidade na produção de energia solar ao longo do ano. Somente a região Nordeste do Brasil supera os países ibéricos, como a Espanha, em termos de irradiação solar média mensal, com a característica de possuir uma variabilidade mensal bem inferior.

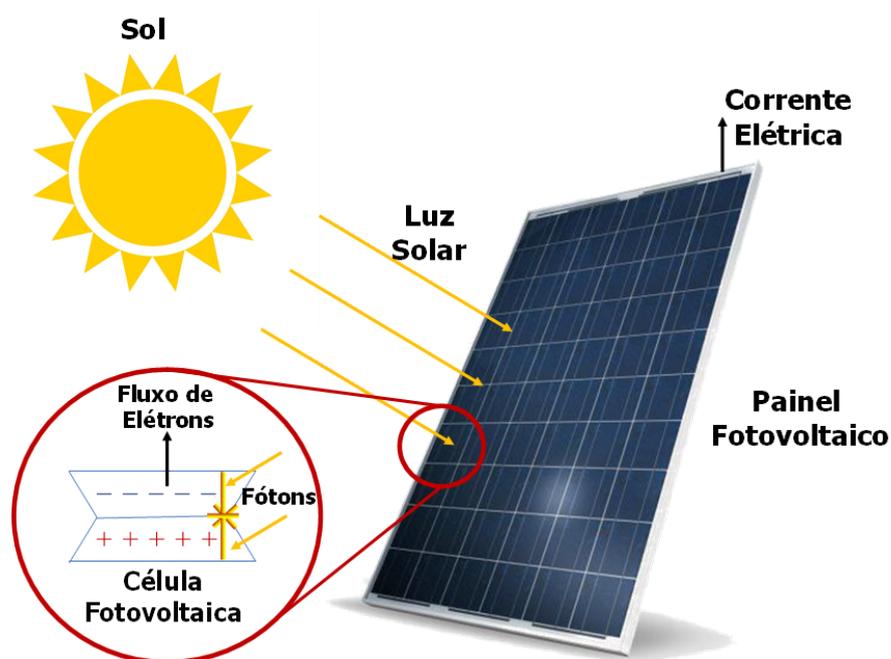
2.2 Sistemas Fotovoltaicos

Há mais de uma forma de converter luz e calor emitidos pelo Sol em energia, portanto, há diferentes tipos de energia solar. Tais diferenças estão relacionadas às tecnologias e à finalidade. A que este estudo se dedica a compreender é a energia solar fotovoltaica, a qual é capaz de transformar a energia do Sol em eletricidade, com o uso de placas fotovoltaicas. Para gerar energia elétrica, células feitas por materiais semicondutores sofrem o efeito fotovoltaico no momento em que são expostas à luz solar. Portanto, esta célula é o elemento básico da conversão de energia solar em energia elétrica com diferentes características. Os materiais semicondutores mais utilizados para fabricação de células fotovoltaicas são o Silício (Si), o Germânio (Ge), o Telureto de Cádmio (CdTe), entre outros compostos com ligação ao Disseleneto de Cobre e Índio (RÜTHER, 2004).

O funcionamento de uma célula fotovoltaica é por BOYLE (2004): um fóton com quantizado é “retido” pela célula, encontrando o átomo de silício. Neste momento, um de seus elétrons sai, deixando um interstício no local que havia uma ligação. O elétron, já deslocado para a parte de condução, migra para a camada de Silício (tipo N) e depois para um coletor na superfície frontal da célula. Dessa forma, é gerada corrente elétrica no circuito externo. Em seguida, o elétron circula até o coletor na superfície traseira da célula, e reaparece na outra camada de Silício (tipo P), e ele pode recombinar-se com outras lacunas. Caso um fóton com quantidade de energia maior chegue nas partes de condução e atinja um átomo de Silício,

novamente é originada uma lacuna e o excesso de energia é convertido em calor. Se houver um fóton com quantidade de energia menor, ele irá passar diretamente pela célula e não vai gerar energia ao longo do caminho. Além disso, alguns fótons serão refletidos da superfície frontal da célula, e outros serão impedidos de penetrar no cristal, devido a área ocupada pelo coletor de corrente presente na área frontal da célula. A figura 6 (CBIE) demonstra a geração de corrente em uma célula fotovoltaica.

Figura 6 - Geração de corrente em uma célula fotovoltaica.



Fonte: CBIE

2.2.1 Principais tipos de Células Fotovoltaicas

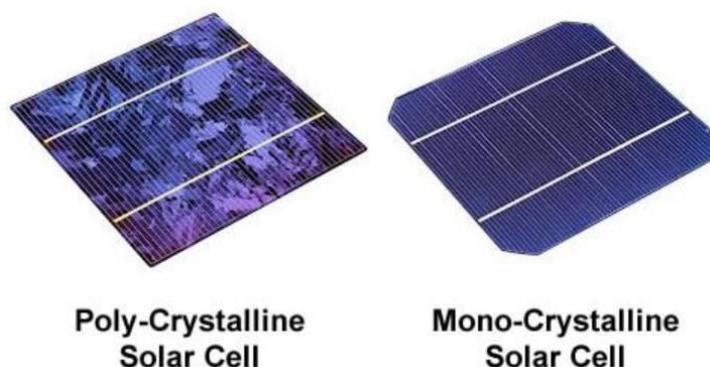
As células fotovoltaicas são diversas, entretanto, duas são objetos de estudo desta pesquisa: a célula de silício monocristalino e a célula de silício policristalino. A de silício monocristalino é a mais antiga e a mais eficiente, dentre as tecnologias comercialmente viáveis, tendo uma eficiência média atual de 15% a 22%. Elas são feitas a partir de um único cristal de silício puro, seccionado de forma a se tornar lâminas de silício individuais, as quais são, finalmente, transformadas em células fotovoltaicas. Uma vantagem dos painéis solares de silício monocristalino é a

sua vida útil: maior que 30 anos e, geralmente, garantia de 25 anos. Entretanto, esses painéis são mais caros, o que pode ser prejudicial financeiramente para quem deseja instalá-los (PORTAL SOLAR).

Da década de 1980 para cá, foram introduzidos os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são conhecidos como poli silício ou silício multicristalino. Neste tipo de painel solar, os cristais de silício são fundidos em um bloco, de tal forma que, quando o bloco é cortado, é possível observar a formação múltipla de cristais. Os painéis solares de silício multicristalino têm eficiência média de 14% a 20%(PORTAL SOLAR). Uma vantagem sua é a tendência a serem mais baratos que os painéis solares monocristalinos, mantendo a mesma vida útil e a mesma garantia. Porém, sua eficiência é ligeiramente menor, devido a menor pureza do polisilício, ou seja, precisa-se de uma área maior de painéis policristalinos para gerar a mesma quantidade de W/m^2 que o painel monocristalino.

A figura 7 mostra as diferenças estruturais de uma célula fotovoltaica de silício monocristalino e uma célula fotovoltaica de silício policristalino.

Figura 7 - Diferença de uma célula de silício monocristalino e uma célula de silício policristalino.



Fonte: Canal Solar.

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectados em redes elétricas

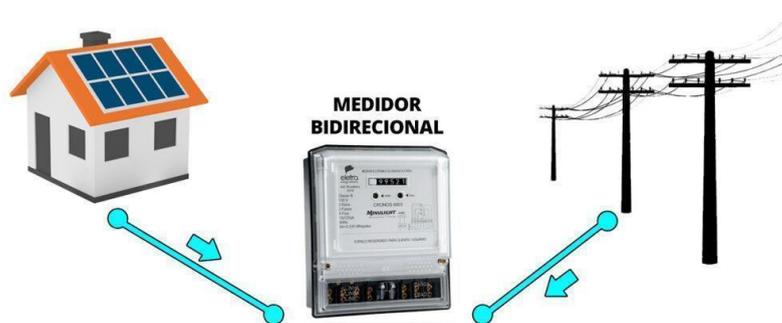
Um sistema fotovoltaico conectado a uma rede elétrica (SFCR) é composto por um painel de módulos fotovoltaicos, os quais convertem a energia solar em energia elétrica em corrente contínua, além de um inversor, que converte esta corrente contínua em corrente alternada, sempre compatibilizando a tensão e a frequência com a rede. Este sistema dispensa o uso de baterias, pois a potência

gerada é consumida diretamente pelas cargas locais, enquanto o excedente é absorvido pela rede. A rede, sim, atua como bateria, disponibilizando a geração para outros consumidores e reduzindo a geração das fontes convencionais de energia, como as hidrelétricas e termelétricas, no caso do Brasil. Porém, se o gerador solar produzir menos energia do que é demandado pelos consumidores, o déficit é suprido pela rede elétrica da concessionária.

2.2.3 Inversor

Para o bom funcionamento do SFCR e para não degradar o sistema elétrico conectado ao gerador fotovoltaico, é utilizado um inversor. O trabalho utiliza o sistema de medição de duas direções, com registros independentes, ou seja, a energia consumida e a energia injetada na rede de distribuição são registradas separadamente pelo medidor, como é ilustrado na Figura 8. A cada instante, apenas o registro em um sentido será realizado, dependendo da diferença instantânea entre a demanda e a potência gerada. (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 8 - Medidor bidirecional de um sistema fotovoltaico.



Fonte: Solar Inove.

Para Urbanetz (2010), o inversor é o equipamento responsável pela conversão da energia de corrente contínua (CC) em energia de corrente alternada (CA). Desempenha um papel crucial em qualquer sistema de energia solar, sendo considerado o cérebro do projeto. Dependendo do tipo de sistema fotovoltaico, o qual pode ser isolado ou conectado à rede elétrica, podem ser especificados

diferentes tipos de inversores para utilização. Em sistemas isolados, o inversor recebe a energia em CC e produz em sua saída uma onda senoidal independente, sem referência externa de tensão. Já os conectados à rede elétrica, a energia em CA de saída é ligada em paralelo com a rede elétrica pública. Assim, é necessário que as duas tensões estejam em fase e que as características sejam similares para possibilitar o paralelismo dos seus geradores. Este tipo de inversor utiliza a rede elétrica como referência de fase, e caso essa referência seja perdida, o equipamento deve ser desligado automaticamente, para evitar o “ilhamento”, que ocorre quando parte da rede é desconectada, mas continua energizada por um ou mais geradores distribuídos conectados a ela, formando um subsistema isolado. O “ilhamento” é preocupante, pois afeta a segurança da rede oferecendo risco de acidentes a pessoas e de danos a equipamentos. Segundo RÜTHER (2004), para os inversores, a vida útil não acompanha a dos módulos fotovoltaicos, além da operação geralmente não demonstrar falhas de 10 até 12 anos de uso, após esse tempo, manutenções serão necessárias. É recomendado também que o local de instalação do material seja ventilado e limpo, a fim de dissipar o calor da conversão de energia em CA.

2.3 Índices de mérito utilizados na avaliação de um SFCR

Índices de Mérito são fórmulas algébricas que quantificam e aperfeiçoam aspectos de desempenho de um SF combinando parâmetros de materiais ou equipamentos. Geralmente são expressas sendo uma relação entre duas características e/ou propriedades analisadas (FUSANO, 2013).

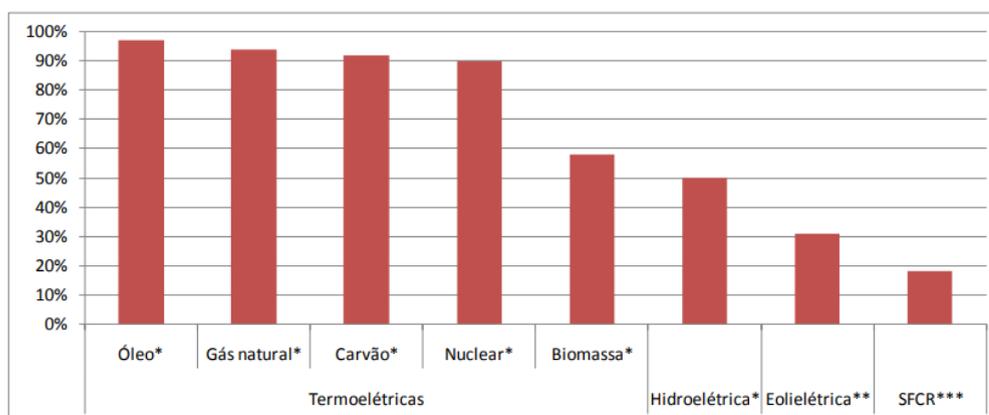
Pode-se comparar diversos SF através de alguns indicadores de produtividade, considerando diferentes localidades e diferentes configurações. Esses índices permitem verificar se um SF está aproveitando o máximo do recurso solar disponível para produzir energia elétrica ou se são necessários ajustes para otimizá-lo. (BENEDITO, 2009).

Segundo Benedito 2009, entre os parâmetros de performance, três podem ser utilizados para análise sobre aproveitamento da radiação solar, produção de energia e efeitos das perdas do sistema. Os quais são, respectivamente,: fator de capacidade (Cf), produtividade anual (Yf ou Final Yield) e desempenho global (PR ou Performance Ratio).

2.3.1 Fator de Capacidade (Cf)

O fator de capacidade pode ser entendido como uma relação entre a energia produzida pelo SF em um dado período de tempo e a energia gerada caso operasse com sua potência máxima em 100% do tempo do intervalo considerado. É expresso porcentagem, sendo os SFCR instalados no Brasil estando num intervalo entre 13% a 18%, de acordo com a disponibilidade do recurso solar da localidade. (BENEDITO, 2009)

Figura 9 – Fator de Capacidade de diferentes fontes.



Fonte: Almeida(2012).

Sistemas fotovoltaicos possuem fatores de capacidade baixos em comparação com as demais fontes de geração de energia. Isso se dá devido ao caráter intermitente do recurso solar pelo movimento planetário em relação ao sol e às modificações climáticas (FUSANO 2013). Conforme o figura 9, os SFCR possuem fator de capacidade inferior, principalmente as fontes não-renováveis.

2.3.2 Produtividade Anual de um SFCR (Y_F)

Segundo Benedito 2009, esse índice corresponde uma relação entre a energia gerada, em kWh, e a potência instalada no GFV, em kWp. Dessa forma, Y_F expressa em número de horas o tempo que o SFCR alcançaria a energia gerada operando em sua potência nominal continuamente.

A equação da produtividade demonstra uma vantagem na utilização da

potência nominal do GFV em vez da potência nominal CA, ou até parâmetros de condição STC (condições padrão ou de teste). Essa vantagem está na análise de desempenho entre SFCR com diferentes eficiências de conversão CC/CA ou diferentes arranjos fotovoltaicos que acabam influenciando na temperatura de operação da célula (Zilles; et al, 2012)

A tabela 1 expõe alguns valores de produtividade anual de SFCR instalados no Brasil.

Tabela 1 – Produtividade Anual de SFCR brasileiros.

Instalação	Yield [kWh/kWp]
UFSC – Prédio de engenharia mecânica 2,0kWp	1259
UFSC – Centro de Cultura e Eventos 10,24kWp	1365
UFRGS – Laboratório de Energia Solar 4,8kWp	1205
USP – Laboratório de sistemas fotovoltaicos 0,750kWp	1429
IEE-USP – Prédio da Administração 12,3kWp	1090
IEE-USP – Estacionamento 3,0kWp	883
UFPA – GEDAE 1,58kWp	1296
Tractebel – Florianópolis	1200
Fundição Estrela – São Bernardo do Campo - SP 14,7kWp	910
Motor-Z – São Bernardo do Campo - 2,5kWp	1080

Fonte: FUSANO (2013).

2.3.3 Desempenho Global (Performance Ratio)

O Desempenho global é definido com um parâmetro constantemente aplicado em sistemas fotovoltaicos, de maneira geral. Também conhecido com rendimento global (performance ratio – PR) este índice considera todas as perdas em um SFCR.(Zilles; et al, 2012).

Este índice de mérito tem muita utilidade, visto que considera as perdas envolvidas em todo o processo de conversão da energia solar em energia elétrica. Logo, relaciona a energia em CA produzida com a energia disponível do plano dos MFV (MARION, ADELSTEIN, et al., 2005).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 O projeto

O projeto de um sistema fotovoltaico envolve a orientação dos módulos, disponibilidade de área, disponibilidade do recurso solar, demanda a ser atendida e diversos outros fatores. A adequação do gerador fotovoltaico à demanda exigida é desenvolvida através do projeto, ajustando a radiação cujo é submetido às células fotovoltaicas a necessidade de produção de energia requisitada. (PINHO, GALDINO, 2014, p. 298)

O empreendimento envolve dois tipos de máquinas que são responsáveis pela maior parte do consumo que são os aeradores, utilizados para manter o nível de oxigênio adequado, e motores-bombas de d'água para encher os viveiros após a “despesca”, processo de secar os tanques para retirar do camarão.

3.2 Análise da viabilidade técnica

3.2.1 Localização do Imóvel

A Fazenda de Carcinicultura situa-se no interior da cidade de Alto Santo/CE, cujo CEP é 62970-000, na Estrada das Bananas, com saída para a Rodovia Santos Dumont – BR 116. A figura 10 apresenta a vista superior da Fazenda. Foi utilizada a ferramenta Google Earth para verificação exata das coordenadas geográficas do local, sendo a Latitude 5° 24 '41.20 `` S e Longitude 38° 20' 3.80" O.

Figura 10: Vista superior da Fazenda de Cultivo de Carcinicultura.



Fonte: Autoria Própria, com auxílio do Google Earth 2022.

O local constitui um perímetro de 2355 m (dois mil, trezentos e cinquenta e cinco metros) e uma área de cerca de 160732 m² (cento e sessenta mil e setecentos e trinta e dois metros quadrados), com 12 (doze) viveiros (tanques escavados).

3.2.1 Localização e posicionamento dos módulos fotovoltaicos

Foi determinada uma área para o posicionamento do sistema fotovoltaico, sendo ambos em superfície plana, o que não influencia na inclinação e não possuem obstáculos de sombreamento, como em quase todo o terreno. A área disponibilizada foi um perímetro de 163 m (cento e sessenta e três metros), a área de 1610 m² (mil, seiscentos e dez metros quadrados), como mostra a Figura 11.

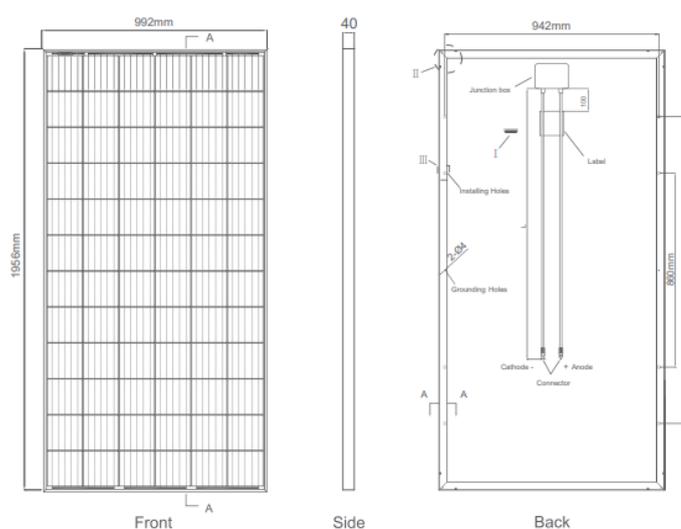
Figura 11: Área disponibilizada para alocação dos módulos.



Fonte: Autoria Própria, com auxílio do Google Earth 2022

O módulo fotovoltaico escolhido foi o Eagle JKM330PP-72, da fabricante chinesa Jinko Solar, cujo tem a potência nominal de 330Wp. Cada painel tem 72 células policristalinas e a área do módulo é de 1,940 m² (0,994 de largura x 1,956 de comprimento), conforme mostra a figura 12.

Figura 12: Dimensões do MFV



Fonte: Jinko Solar.

Sendo o local aberto, não há obstáculos que causem sombreamento nos

módulos, a não ser a sombra gerada pelos próprios módulos. Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 364) a equação 1 apresentada a seguir, constitui um método para verificar a distância mínima entre o painel solar e um obstáculo, principalmente nos períodos de maior irradiância (9hrs às 15hrs), de modo a não gerar sombra.

$$d = Fe(h_{ob} - h_i) \quad (1)$$

onde:

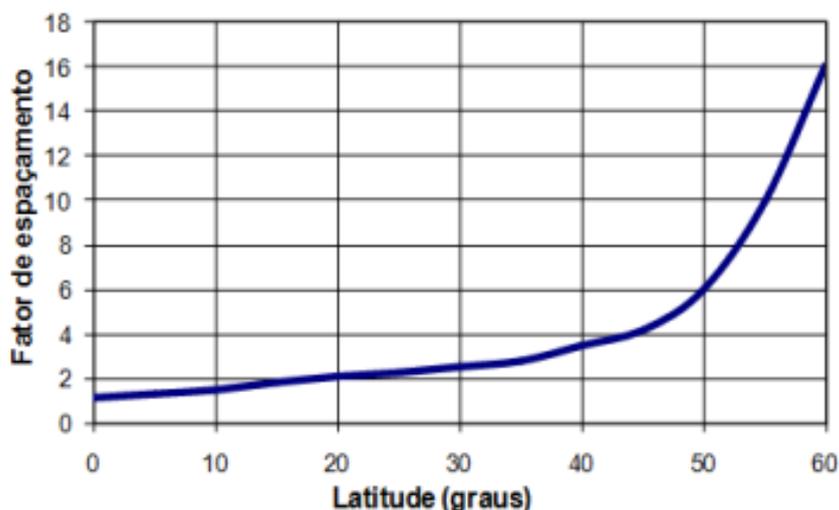
d: distância mínima a ser mantida entre o gerador fotovoltaico e o obstáculo (m);

Fe: fator de espaçamento obtido pela curva da Gráfico 1;

h_{ob} : altura do obstáculo (m);

h_i : altura de instalação do gerador fotovoltaico (m).

Gráfico 1: Espaçamento x Latitude



Fonte: Pinho et al. (2008) apud Pinho e Galdino (2014).

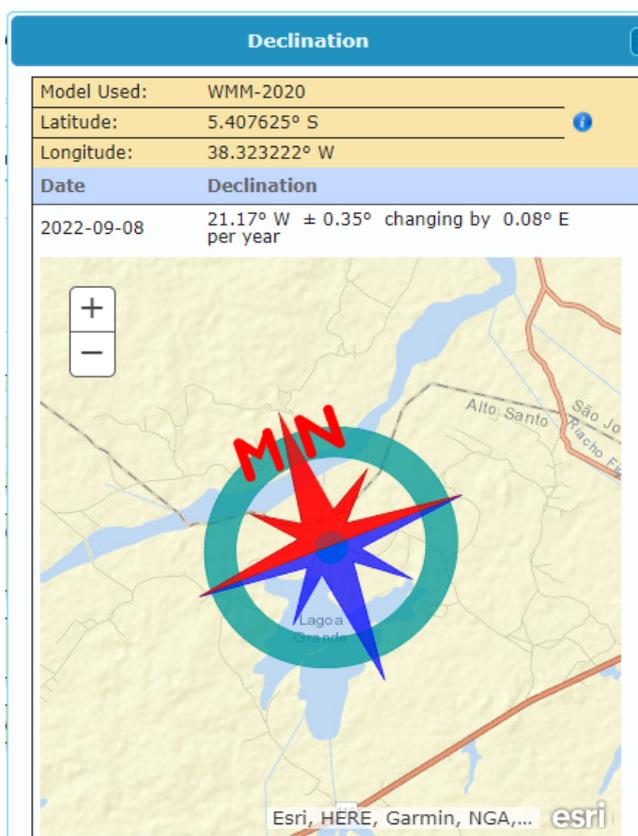
Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 367), a inclinação dos painéis em locais de latitude superior a 10° deverá ser igual ao valor da latitude para contribuir com a captação de energia solar. Já para as regiões entre as latitudes +10° e -10°, recomenda-se uma inclinação de 10 graus para favorecer a auto limpeza dos módulos pela ação da água da chuva, logo a inclinação dos módulos será de 10°.

Para a latitude de 10°, relativa à localização geográfica da fazenda, considerou-se um fator de espaçamento de 1,8. O único obstáculo considerado será

a altura correspondente do módulo que corresponde a $\text{sen}(10^\circ) \times \text{comprimento do módulo} = 0,992 \times \text{sen}(10^\circ) = 0,17 \text{ cm}$. Sendo a altura de instalação do painel igual a 0, temos uma distância entre módulos de 31 cm.

Os módulos devem sempre estar orientados em direção à linha do Equador, ou seja, para sistemas localizados no hemisfério sul, como o caso em estudo, a orientação deve estar ao norte. Porém, devido a influências magnéticas em bússolas, há uma diferença entre o norte indicado e o norte verdadeiro, logo deve-se fazer a correção do referencial magnético. O site da NOAA, [National Oceanic and Atmospheric Administration](https://www.noaa.gov/) U.S. Department of Commerce, foi utilizado para obter os valores de declinação magnética de $21,17^\circ$ para o Oeste para a localização em estudo, conforme figura 13.

Figura 13: Declinação magnética para o local.



Fonte: NOAA 2022.

3.2.3 Estudo da Radiação Local

Figura 14: Distância entre o ponto de referência (CRESESB) e a fazenda.



Fonte: Autoria Própria, com auxílio do Google Earth 2022.

Os dados de radiação para o local foram obtidos através do site do CRESESB – Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito, o qual constitui um vasto material acerca da produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos e banco de dados sobre irradiação solar em todo o território nacional. Inserindo as coordenadas da Fazenda, $5^{\circ} 24' 41.20''$ S e $38^{\circ} 20' 3.80''$ O, no sistema, obtemos a radiação na localização mais próxima do local objeto de estudo. Assim, as coordenadas do ponto de referência são: $5,401^{\circ}$ S e $38,349^{\circ}$ O, a 2 km de distância da Fazenda, conforme a figura 14. Por meio dessas coordenadas, conseguimos o cálculo no plano inclinado e os valores de radiação em cada mês durante todo o ano, a Maior Média Anual e a inclinação dos módulos. Desta maneira, conforme a tabela 2, o valor da Maior Média Anual é de $5870 \text{ Wh/m}^2 \cdot \text{dia}$ (destacado em vermelho), e a inclinação é de 5° N (destaque em verde), praticamente rente ao solo. Essa baixa inclinação se deve à proximidade da região com a linha de equador, fazendo com que o sol cruze muito próximo à latitude 0° durante o dia. O gráfico 2 mostra a Inclinação Solar no Plano Inclinado para a mesma coordenada.

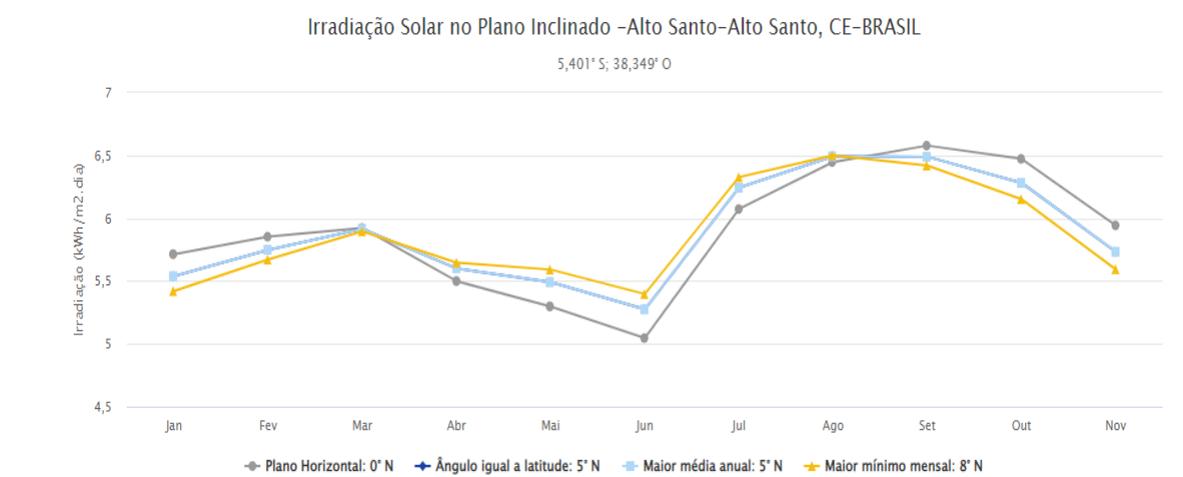
Tabela 2: Irradiação solar diária média mensal (5,401°; 38,349°)

Estação: Alto Santo
Município: Alto Santo , CE - BRASIL
Latitude: 5,401° S
Longitude: 38,349° O
Distância do ponto de ref. (5,411444° S; 38,334389° O):2,0 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,71	5,85	5,92	5,50	5,30	5,05	5,38	6,07	6,45	6,58	6,47	5,94	5,85	1,53
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	5° N	5,54	5,75	5,92	5,60	5,49	5,27	5,60	6,24	6,49	6,49	6,28	5,73	5,87	1,22
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	5° N	5,54	5,75	5,92	5,60	5,49	5,27	5,60	6,24	6,49	6,49	6,28	5,73	5,87	1,22
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	8° N	5,42	5,67	5,90	5,65	5,59	5,40	5,72	6,33	6,50	6,42	6,15	5,59	5,86	1,10

Fonte: CRESESB 2022.

Gráfico 2: Irradiação solar no Plano Inclinado (5,401°; 38,349°).



Fonte: CRESESB 2022.

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 300), o HSP (Horas de Sol Pleno) é uma grandeza que reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m² (1.000 W/m₂). Para obter o valor desta basta dividir o valor da irradiância solar anual média (Maior Média Anual) é de 5870 Wh/m².dia por (1.000 W/m₂), assim obtendo um valor de 5,87 h.

Para obter valores de Irradiância médias horárias foi utilizado o Software Radiasol, usando como coordenadas de referência (-5,4; -38,57), inclinação dos módulos de 10° e azimute 0°. Obtemos os dados de irradiação média mensal, conforme Tabela 3, e hora para o mês de maior valor de irradiação média mensal no plano inclinado, conforme Tabela 4.

O RADIASOL2 utiliza internamente modelos matemáticos disponíveis na literatura, desenvolvidos por outros autores ou por integrantes do Laboratório. No programa os cálculos são realizados através de rotinas que determinam o efeito da

inclinação da superfície receptora e da anisotropia da radiação solar em suas componentes direta e difusa. O usuário pode selecionar o modelo de distribuição da radiação e obterá na tela, imediatamente, um conjunto de dados adicionais na forma de tabelas ou gráficos. Curvas ou tabelas podem ser exportadas através da área de transferência do WINDOWS para outros aplicativos, onde poderão ser utilizadas para cálculos em projetos ou para apresentação de relatórios. (LabSol, 2015)

Tabela 3: Irradiação Média Diária (kWh/m²/dia)

Mês	Global	Direta	Difusa	Inclinada
1	5,55	3,13	2,73	5,86
2	5,49	6,06	2,66	5,27
3	5,5	7,66	2,45	4,64
4	5,01	9,37	2,26	3,73
5	5,34	10,47	1,86	3,27
6	4,97	11,93	1,69	2,81
7	5,47	12,97	1,57	3
8	6,13	15,07	1,73	3,85
9	6,11	18,21	2,05	4,69
10	6,61	21,23	2,3	5,92
11	6,43	25,92	2,55	6,54
12	6,04	28,86	2,71	6,49

Fonte: Radasol

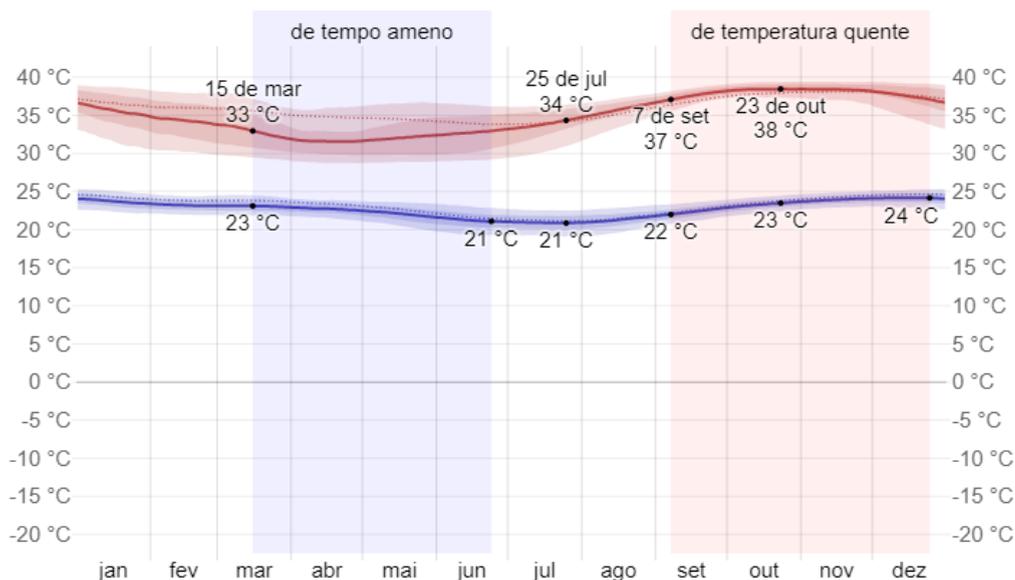
Tabela 4: Irradiação Média Mensal Horária - Novembro (kWh/m²/dia)

Mês	Hora	Global	Direta	Difusa	Inclinada
11	4	0	0	0	0
11	5	0	0	0	0
11	6	82	31	93	124
11	7	284	138	176	314
11	8	474	247	229	477
11	9	668	390	242	633
11	10	822	500	264	765
11	11	897	583	249	833
11	12	911	606	255	862
11	13	807	537	254	793
11	14	649	403	271	675
11	15	475	308	226	535
11	16	262	155	179	334
11	17	97	85	107	192
11	18	0	0	0	0
11	19	0	0	0	0
11	20	0	0	0	0
11	21	0	0	0	0

Fonte: Radasol

Foi utilizado o site Weather Spark para obter os valores das Temperaturas Mínimas e Máximas Anuais no município próximo da Fazenda, Jaguaribe, visto que não foi possível obter esses dados da cidade de Alto Santo, conforme gráfico 3.

Gráfico 3: Temperaturas Máximas/Mínimas - Jaguaribe



Fonte: Weather Spark

3.3 Dimensionamento do SFCR

O método utilizado para realizar o dimensionamento do SFCR foi o proposto por Villalva e Gazolli (2012). Neste método o dimensionamento é feito através da estimativa da potência nominal do Gerador Fotovoltaico, e uma adequação dos parâmetros elétricos do GFV ao Inversor (JUNIOR, 2019).

Os autores apresentam um procedimento para projeto e dimensionamento de SFV, válido quando se tem informação sobre a energia solar disponível diariamente no local da instalação. (JUNIOR, 2019)

O método é realizado de maneira analítica e manual, e suas etapas seguiram o modelo a seguir.

3.3.1 Levantamento do consumo energético

Para iniciar foi consultado faturas da concessionária de energia da Fazenda (ENEL), com o intuito de obter valores do gasto de energia na produção, para assim dimensionar um SFCR que supra a demanda requisitada.

Conforme a tabela 5, a fatura indica o consumo em kWh tanto do mês atual referência como também dos meses passado e a média dos últimos 13 meses. A fatura também indica o tipo de ligação, que no caso é trifásica, as empresas

concessionárias cobram 30 kWh a mais de consumo se a ligação for Monofásica, 50 kWh se Bifásica e 100 kWh para Trifásica, chamado de custo mínimo de disponibilidade conforme definição da ANEEL (2010). Ou seja, o consumo médio mensal real é o valor indicado menos o referido custo, de acordo com a Equação 2.

$$E_{C(m)} = C_{(m)} - C_{disp} \quad (2)$$

Sendo,

$E_{C(m)}$: Energia de compensação mensal, expressa em [kWh/mês];

$C_{(m)}$: Consumo médio mensal, [kWh/mês];

C_{disp} : Custo de disponibilidade do sistema elétrico, expresso em [kWh/mês].

Tabela 5: Consumo Elétrico Mensal - Fazenda

MÊS	kWh	Dias
MAI DE 21	15464	32
JUN DE 21	4194	30
JUL DE 21	6899	30
AGO DE 21	1637	32
SET DE 21	1637	30
OUT DE 21	4343	30
NOV DE 21	269	31
DEZ DE 21	269	30
JAN DE 22	1255	32
FEV DE 22	3982	28
MAR DE 22	4155	30
ABR DE 22	3825	31
MAI DE 22	3912	31
MÉDIA	3.994	30

Fonte: ENEL

Sendo o resultado obtido um valor mensal é necessário transformá-lo em um valor diário, logo basta dividir o valor obtido pelo número de dias no mês, 30 dias, conforme equação 3.

$$E_{C(d)} = \frac{E_{C(m)}}{30\text{dias}} \quad (3)$$

Sendo:

$E_{C(d)}$: Energia de compensação diária, expressa em [kWh/dia].

3.3.2 Estimativa da Energia Gerada pelo Módulo Fotovoltaico (MFV)

O MFV JINKO SOLAR, modelo Eagle 72P – JKM330PP-72, possui potência de 330 Wp. As especificações elétricas do MFV, conforme tabela 6, foram colhidas do datasheet do produto fornecido pelo próprio fabricante.

Tabela 6 – Características do MFV.

Potência Nominal	330Wp
Vmp - Tensão operação ideal	37,8V
Imp - Corrente de operação Ideal	8,74A
Voc - Tensão de circuito aberto	46,9V
Isc - Corrente de Curto-Circuito	9,14A
Eficiência do MFV (STC)	17,01%
Coeficiente de Temperatura (Voc)	-0.31%/°C
Irradiação em NOCT	800 W/m ²
Temperatura da célula (NOCT)	45±2°C
Temperatura do ar ambiente (NOCT)	20°
Potência Nominal	330Wp

Fonte: Folha de dados do fabricante

Para calcular a energia gerada por um módulo é utilizado a equação 4 a seguir (VILLALVA; GAZOLI, 2012):

$$E_{MFV(d)} = G_{(\beta,\alpha)} * A_{(MFV)} * \eta_{(MFV)} \quad (4)$$

Sendo:

$E_{MFV(d)}$: Energia gerada pelo módulo diariamente, considerando que o

MFV será instalado em orientação e inclinação ótimos, [Wh/dia];

$G_{(\beta,\alpha)}$: Irradiação solar média diária anual no plano do GFV, [Wh/m² · dia];

$A_{(MFV)}$: Área da superfície do MFV, [m²];

$\eta_{(MFV)}$: Eficiência do MFV.

O valor da irradiação solar média diária, e a eficiência do módulo são obtidos nas tabelas 3 e 6 respectivamente. o valor da área do módulo é de 1,940352 m².

3.3.3 Número de MFV

Sabendo-se o gasto energético diário e a produção diária de um módulo, obtemos o número de MFV necessários para suprir a demanda através da Equação 5 a seguir (VILLALVA; GAZOLI, 2012):

$$N_{MFV} = \frac{E_{C(d)}}{E_{MFV(d)}} \quad (5)$$

Sendo:

N_{MFV} : Número de módulos fotovoltaicos.

3.3.4 Dimensionamento do Inversor (IFV)

O dimensionamento do IFV deve ser feito através da adequação da tensão de circuito aberto da fileira. Nisso, é necessário ajustar a potência de todos MFV somados à Máxima Potência de entrada CC (Wdc) do IFV. Como dito anteriormente no tópico 2.2.3, a energia que “entra” no inversor é em corrente alternada. A potência do gerador fotovoltaico é dada pela Equação 6 (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

$$P_{GFV} = N_{MFV} * P_{MFV} \quad (6)$$

Sendo:

P_{MFV} : Potência nominal do MFV;

P_{GFV} : Potência do gerador fotovoltaico.

A Potência Máxima de entrada CC deve ser maior que o valor de P_{GFV} para correto dimensionamento do IFV. Os inversores Grid-Tie suportam até 20% a mais que sua potência nominal, operando normalmente. Logo, a potência de entrada multiplicada por 1,20 deverá ser considerada para o ajuste da relação com a Potência do Gerador Fotovoltaico. As Especificações elétricas do IFV escolhido estão na tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Características do IFV.

Potência máxima de saída CA	20000W
Potência máxima de entrada CC	20475.1W
Tensão máxima CC	1000V
Tensão mínima MPPT	380V
Tensão máxima MPPT	800V
Eficiência Máx. / Eficiência CEC	98.5% / 97.5%
Potência máxima de saída CA	20000W

Fonte: Folha de dados do fabricante.

3.3.5 Arranjo Fotovoltaico

Para definirmos o arranjo fotovoltaico ajustamos a Tensão de Circuito Aberto (Voc) do MFV a Tensão Máxima MPPT do IFV. Antes disso, é necessário avaliar a influência da temperatura de operação na célula, obtido pela equação 7 conforme Kalogirou (2014), visto que, quanto maior a temperatura de operação menor será a tensão de circuito aberto.

$$T_C = T_A + \frac{H_{(\beta)}}{H_{NOCT}} * (T_{C_{NOCT}} - T_{A_{NOCT}}) \quad (7)$$

Sendo:

T_C : Temperatura de operação da célula nas condições ambiente, [°C]; T_A :

Temperatura do ar ambiente, (máxima ou mínima), [°C];

$H_{(\beta)}$: Irradiância solar incidente no plano do GFV, [W/m²]; H_{NOCT} :

Irradiância solar padrão NOCT, [W/m²];

$T_{C_{NOCT}}$: Temperatura da célula em NOCT, pode ser obtida na folha de dados do MFV, [°C];

$T_{A_{NOCT}}$: Temperatura do ar ambiente na condição NOCT, [°C];

T_A : Temperatura do ar ambiente, (máxima ou mínima), [°C].

A temperatura do ar mínima, é de 21° de acordo com o gráfico 3. o valor de $H_{(\beta)}$ corresponde à irradiação média às 12 horas durante o mês de novembro, conforme tabela 4. A irradiação, Temperatura do ar ambiente e Temperatura da Célula na condição NOCT estão expostas na tabela 6. Segundo Mertens (2014), através da equação 8 obtém-se a tensão de circuito aberto corrigida pela temperatura T_c .

$$V_{T_c} = V_{oc} * \left(1 + \alpha\% * (T_c - T_{STC}) \right) \quad (8)$$

Sendo:

$V(T_c)$: Tensão elétrica do MFV corrigida em função da temperatura de operação mínima da célula, [V];

$\alpha\%$: Coeficiente de temperatura da tensão percentual, obtido na folha de dados do MFV, [%/°C];

$T_{C_{STC}}$: Temperatura de operação da célula em STC, [°C];

V_{oc} : Tensão de Circuito Aberto.

O coeficiente $\alpha\%$, $T_{C_{STC}}$ e V_{oc} são obtidos através da tabela 6

O número de MFV no subarranjo (string) é obtido adequando a Tensão máxima MPPT, obtido da tabela 7, pela Tensão $V(T_c)$.

3.4 Software de Simulação do SFCR

Existem diversas ferramentas computacionais para simulação e análise de SFCR's, entre eles foi escolhido o programa SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM), um modelo de software técnico-econômico gratuito que possibilita a modelagem de

diversos tipos de energia renováveis como sistemas fotovoltaicos, desde pequenos telhados residenciais até sistemas de grande escala; energia eólica, desde turbinas individuais até grandes parques eólicos; sistemas de ondas e marés de energia marinha e etc

O SAM possui um vasto banco de dados acerca de condições climáticas e de irradiação solar. A princípio foi inserido a coordenadas geográficas da Fazenda em na aba de Localização e Recurso Solar (figura 15), para obter tais dados. A resposta do SAM foi o ponto sob as coordenadas (-5.47; -38.46), o mais próximo da localidade da Fazenda a cerca de 15 km de distância, utilizando os dados de irradiação e clima para aquele local.

Figura 15 - Interface de Localização e Recurso Solar (SAM)

Name	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Station ID	Source
imperial_ca_32.835205_-115.572398_psmv3_60_tmy	32.85	-115.58	-8	-20	72911	NSRDB
phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy	33.45	-111.98	-7	358	78208	NSRDB
tucson_az_32.116521_-110.933042_psmv3_60_tmy	32.13	-110.94	-7	773	67345	NSRDB
alto_santo_-_ce_-5.50894_-38.2743_psm3-tmy_60_t...	-5.51	-38.26	-3	97	2000174	NSRDB
jaguaribara_-_ce_-5.45449_-38.4679_psm3-tmy_60_...	-5.47	-38.46	-3	82	1998927	NSRDB

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing valid weather files.

C:\Users\DANIEL DIÓGENES\SAM Downloaded Weather Files

Add/remove weather file folders...
Refresh library

Download Weather Files
The NSRDB is a database of thousands of weather files that you can download and add to your solar resource library: Download a default typical-year (TMY) file for most long-term cash flow analyses, or choose files to download for single-year or P50/P90 analyses. See Help for details.

One location Multiple locations Advanced download

-5.411444,-38.334389 Default TMY file Download and add to library...

[For locations not covered by the NSRDB, click here to go to the SAM website Weather Page for links to other data sources.](#)

Fonte: SAM 2021

Foi escolhida a opção de modelo não financeiro para o SFCR. O MFV utilizado foi escolhido do banco de dados do SAM através da opção CEC PERFORMANCE MODEL WITH MODULE DATABASE (figura 16), sendo o mesmo modelo especificado anteriormente na tabela 6.

Figura 16 - Interface SAM para a escolha do MFV

CEC Performance Model with Module Database ▾

Filter: Name ▾

Name	Manufacturer	Technology	Bifacial	STC	PTC	A _c	Length	Width	N _s	L _{sc_ref}	V _{oc_ref}	I _{mp_ref}	V _{mp_ref}
Jinko Solar Co. Ltd JKM330PP-72	Jinko Solar Co...	Multi-c-Si	0	330.372	302.8	1.835	1.924	0.954	72	9.14	46.9	8.74	37.8
Jinko Solar Co. Ltd JKM330PP-72H	Jinko Solar Co...	Multi-c-Si	0	330.372	302.4	1.9			144	9.14	46.9	8.74	37.8
Jinko Solar Co. Ltd JKM330PP-72H-V	Jinko Solar Co...	Multi-c-Si	0	330.372	302.8	1.9			144	9.14	46.9	8.74	37.8
Jinko Solar Co. Ltd JKM330PP-72-J4	Jinko Solar Co...	Multi-c-Si	0	330.372	302.8	1.835	1.924	0.954	72	9.14	46.9	8.74	37.8
Jinko Solar Co. Ltd JKM330PP-72-V	Jinko Solar Co...	Multi-c-Si	0	330.372	302.3	1.835	1.924	0.954	72	9.14	46.9	8.74	37.8
Jinko Solar Co. Ltd JKMS330M-60L-EP	Jinko Solar Co...	Mono-c-Si	0	330.226	304	1.59			60	10.31	41.3	9.77	33.8
Jinko Solar Co. Ltd JKMS330M-60L-EP-Q	Jinko Solar Co...	Mono-c-Si	0	330.226	306	1.59			60	10.61	41.3	9.77	33.8
Jinko Solar Co. Ltd JKMS330M-60L-MX3	Jinko Solar Co...	Mono-c-Si	0	330.226	304	1.59			60	10.31	41.3	9.77	33.8

Fonte: SAM 2021

A Escolha do Inversor Fotovoltaico, dimensionado a partir da quantidade de módulos no tópico 3.3, foi feita por pesquisa do modelo que mais se adequa ao SFCR proposto. Como o modelo escolhido não está presente no banco de dados do SAM, foi inserido os dados colhidos do datasheet fornecido pelo fabricante (Anexo B) na opção INVERTER DATASHEET na aba Inverter. O interface do local de inserção dos dados está exposto na figura 17.

Figura 17 - Interface do SAM para inserção de dados do IFV

Inverter Datasheet ▾

Power Ratings

Maximum AC output power Wac

Weighted efficiency

Manufacturer efficiency

Maximum DC input power Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges

Nominal AC voltage Vac

Minimum MPPT DC voltage Vdc

Maximum DC voltage Vdc

Nominal DC voltage Vdc

Maximum DC current Adc

Maximum MPPT DC voltage Vdc

Number of MPPT inputs

Losses

Power consumption during operation Wdc Suggested value

Power consumption at night Wac Suggested value

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the Losses page to adjust the system losses accordingly.

Copy Inverter Specifications from Current Library Selection

Click Copy Specifications to copy inverter data from the inverter currently selected for the Inverter CEC Database option.

Fonte: SAM 2021

A orientação dos módulos e os dados da estrutura do Arranjo Fotovoltaico foi definida na Aba System Design do SAM. De acordo com a figura 18, em Electrical

Configuration é inserido o número de MFV por string, e em Tracking & Orientation é indicado a orientação de azimute e a inclinação dos MFV. Os dados inseridos foram dimensionados no tópico 3.3.

Foram consideradas as condições padrão de perdas de energia e perdas por sombreamento do SAM.

Figura - 18 Interface de definição de posicionamento e arranjo do SFCR

	Subarray 1	Subarray 2
-Electrical Configuration-		
<input checked="" type="checkbox"/> Set subarrays for multiple MPPT	(always enabled)	<input checked="" type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	18	17
Strings in parallel in subarray	3	1
Number of modules in subarray	54	17
String Voc at reference conditions (V)	844.2	797.3
String Vmp at reference conditions (V)	680.4	642.6
-Tracking & Orientation-		
Inverter MPPT input for subarray	1	2
	<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input checked="" type="radio"/> Fixed <input type="radio"/> 1 Axis <input type="radio"/> 2 Axis <input type="radio"/> Azimuth Axis <input type="radio"/> Seasonal Tilt
	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude Tilt (deg) 10 Azimuth (deg) 0 Ground coverage ratio (GCR) 0.3	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude Tilt (deg) 10 Azimuth (deg) 0 Ground coverage ratio (GCR) 0.3

Fonte: SAM 2021

3.5 Método de Análise de Desempenho

Para avaliar o desempenho do SFCR proposto foram utilizados índices de mérito apresentados anteriormente no tópico 2.3. Foi realizado um levantamento de dados de produtividade de um SFCR localizado no município vizinho de Jaguaribara, para efeito de comparação ao SFCR em estudo, com base nos indicadores de desempenho. O empreendimento foi feito em uma Pousada chamada o Pereira localizada nas coordenadas (-5.460276°; -38.457357°).

O SFCR da Pousada possui um total de 108 MFV modelo OSDA - ODA 330-36-P, sendo divididas em dois IFV, um modelo SMA SUNNY BOY SB 2.5-1 VL-40, figura 20, de potência Ca de 2500 W e um SMA SUNNY TRIPOWER STP-25000TL-30, figura 19, de potência CA de 25000 W. Os dados da geração do SFCR, mostram um resultado médio mensal de 4657,5 kWh e um total de 37434 kWh, no intervalo observado, conforme a Tabela 8.

Figura 19: Inversor SMA SUNNY TRIPOWER STP-25000TL-30.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 20: Inversor SMA SUNNY BOY SB2.5 VL-40



Fonte: Autoria Própria

Tabela 8: Geração elétrica mensal - Pousada

Mês	Geração (kWh)
Janeiro	4832
Fevereiro	4753
Março	5046
Abril	4562
Mai	4540
Junho	4082
Julho	4272
Agosto	5347
TOTAL	37434

Fonte: Proprietário

O Fator de Capacidade pode ser definido pela Equação 9, e de forma explicativa pela equação 10 (FUSANO, 2013).

$$C_F = \frac{\int_0^T P(t)dt}{P_N \times T} \quad (9)$$

Sendo:

$P(t)$: representa a potência entregue pelo sistema no instante t , em kW;

P_N : representa a potência nominal do sistema, em kW;

T : representa o período de integração (geralmente um ano, 8.760 horas).

$$C_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência } FV * 24 * \text{dias}} \quad (10)$$

A Produtividade Anual (YF ou Final Yield) de um SFCR é expressa pela equação 11 (FUSANO, 2013).

$$Y_F = \frac{\int_0^{8.760} P(t)dt}{P_N} \quad (11)$$

Onde:

$P(t)$ representa a potência entregue pelo sistema no instante t , em kW;

P_N representa a potência nominal do sistema, em kWp; O período de

integração é de 8.760 horas por ano.

A produtividade anual também pode expressa de forma simplificada através da equação 12 (FUSANO, 2013):

$$Y_F = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV}} \quad (12)$$

Para a obtenção do fator de capacidade e produtividade anual foram utilizados os valores de geração energética. Para a Fazenda, a produção de energia elétrica em CA foi obtida através da simulação no software SAM (tabela 10) já no caso da Pousada, os dados de geração foram disponibilizados pelo proprietário (tabela 8).

A potência FV, observada nas equações 10 e 12, representa a potência nominal de todos os MFV do sistema somados, sendo o valor de 23 430 Wp para a Fazenda de Carcinicultura, e 35 640 Wp para a Pousada O Pereira.

O Desempenho Global pode ser definido através da equação 13 (FUSANO, 2013).

$$P_R = \frac{Y_F(h)}{\frac{H_t}{G_{ref}}} \quad (13)$$

Onde:

H_t : representa a irradiação no plano do arranjo, em kWh/m² ;

G_{ref} : representa a irradiância nas condições padrão, 1 kW/m² .

Para o desempenho global foi utilizado dados do SUNDATA do CRESESB para a irradiação no plano do arranjo, na coordenada mais próxima à Pousada (-5.460283°;-38.457374°), aproximadamente uns 4,6 km de distância do local, conforme tabela 9, e o para o SFCR da Fazenda esta propriedade está exposta na tabela 2.

Tabela 9: Irradiação média mensal - Pousada

Mês	Irradiação [kWh/m2.dia]
JANEIRO	5,61
FEVEREIRO	5,72
MARÇO	5,92
ABRIL	5,65
MAIO	5,56
JUNHO	5,31
JULHO	5,6
AGOSTO	6,22
SETEMBRO	6,36
OUTUBRO	6,37
NOVEMBRO	6,23
DEZEMBRO	5,77

Fonte: CRESESB

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultado do Dimensionamento

Utilizando o método exposto no tópico 3.3, juntamente com os dados expostos no tópico 3.2, obtemos as dimensões do SFCR proposto para a Fazenda de Carcinicultura, de acordo com a tabela 10.

Tabela 10 – Dimensões do SFCR.

Propriedade	Valor
$E_{C(m)}$	3894 kWh
$E_{C(d)}$	129,8 kWh
$E_{MFV(d)}$	1,8 kW
N_{MFV}	70,1 MFV
P_{GFV}	23430Wp
$T_{C_{min}}$	47,9°C
$V(T_{C_{min}})$	43,5V

Fonte: Autoria Própria

Como não é possível um número de módulos em decimais, foi arredondado para os inteiros 71 MFV.

Foi feita a escolha do modelo SUNNY TRIPOWER STP20000TL-US-10 da fabricante SMA América para o SFCR em estudo..

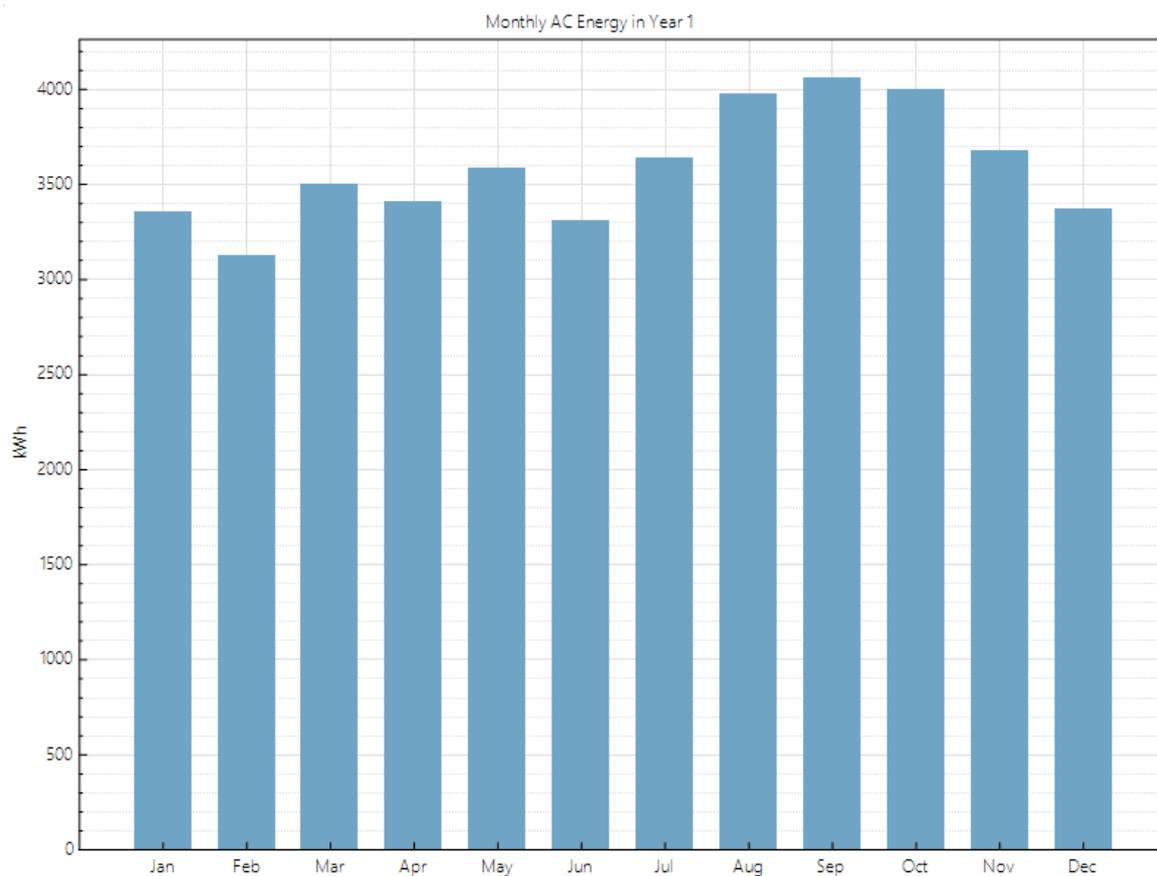
A potência de entrada de 20475,1W, o IFV suporta até 24570W, valor acima da potência gerada pelos módulos (P_{GFV}), devido o acréscimo de 20% sob o valor de sua potência

O arranjo fotovoltaico será de 18 MFV em série na string. Como, o IFV utilizado possui duas entradas MPPT, para a entrada 1 serão 3 strings em paralelo cada uma com 18 MFV em série cada e para a segunda entrada será uma string de 17 MFV em série. Totalizando os 71 módulos requeridos pelo sistema.

4.2 Simulação do SFCR

Obtemos os resultados para a produção elétrica, conforme gráfico 4 e tabela 11. Foram consideradas as condições padrões de perda do software.

Gráfico 4: Resultados para a produção elétrica.



Fonte: SAM 2021.

Tabela 11 – Geração elétrica CA e CC.

MÊS	AC Energy (kWh/mon)	DC Energy (kWh/mon)
JANEIRO	3355,88	3497,84
FEVEREIRO	3126,86	3257,85
MARÇO	3500,49	3646,95
ABRIL	3405,73	3545,69
MAIO	3581,14	3727,35
JUNHO	3305,92	3442,4
JULHO	3639,15	3787,26
AGOSTO	3974,83	4133,59
SETEMBRO	4060,28	4221,34
OUTUBRO	3999,21	4161,52
NOVEMBRO	3673,43	3824,2
DEZEMBRO	3366,77	3510,94
MÉDIA	3540,815	3687,15

Fonte: SAM 2021.

A produção energética média mensal de 3540,815 kWh representa um bom resultado em comparação ao consumo médio mensal de 3894 kWh da fazenda. Dessa forma, o SFVC em estudo apresenta uma forma positiva de abatimento nas faturas de energia.

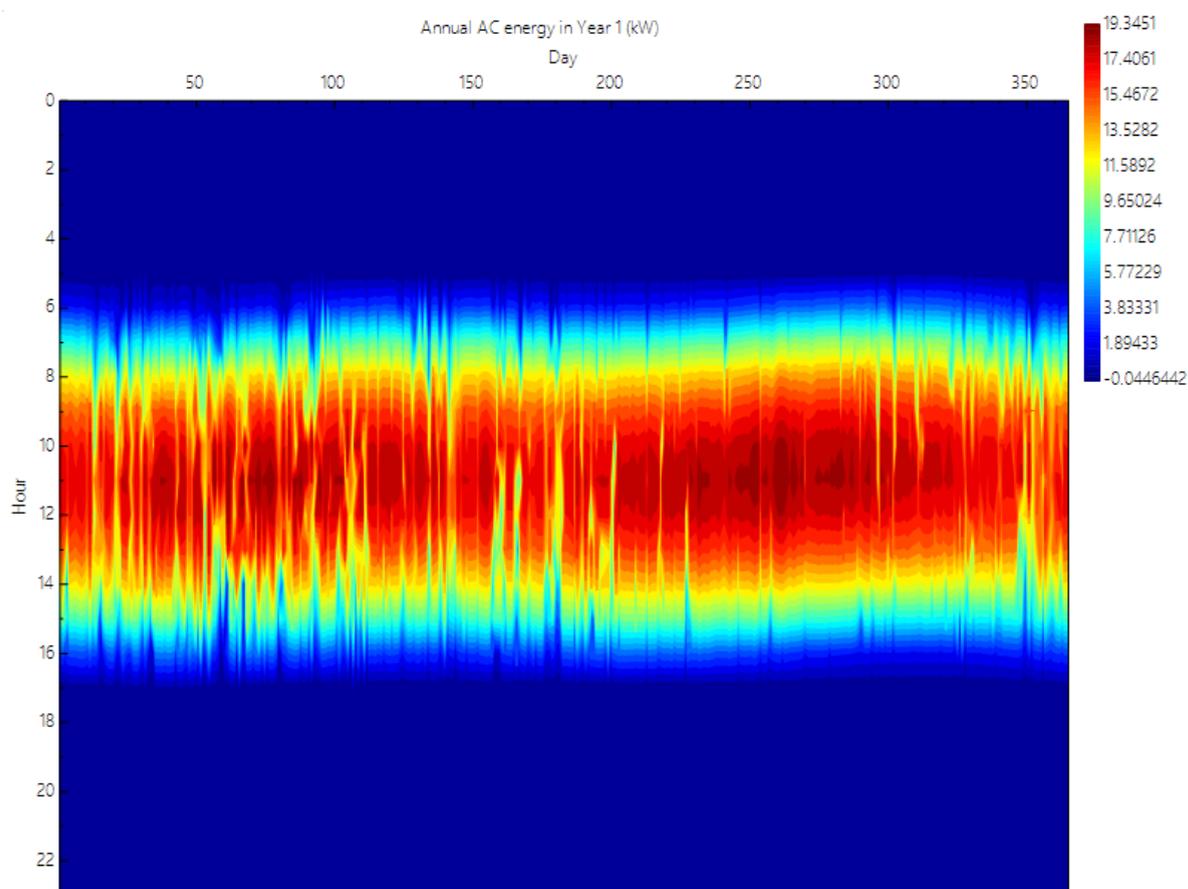
A produção de energia AC horária, demonstrado no gráfico 5, mostra a área central ao rubro as horas de maior produtividade, aproximadamente das 9 horas às 15 horas. A parte do azul mais escuro corresponde às horas de nenhuma irradiação, durante a noite, possui uma produtividade negativa devido ao gasto no funcionamento dos dispositivos. A tabela 12, expõe os valores dos índices de mérito do SFCR fator de capacidade, produtividade yield e desempenho global (Performance Ratio).

Tabela 12 – Índices de Mérito do SFCR.

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	42,990 kWh
DC capacity factor in Year 1	20.9%
Energy yield in Year 1	1,833 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.79

Fonte: SAM

Gráfico 5: Produção de energia AC horária.



Fonte: SAM 2021.

4.3 Comparação de índices de mérito

Os valores de Produtividade Yield e Fator de Capacidade estão expostos nas tabelas 13 e 14 respectivamente.

Tabela 13: Produtividade mensal

PRODUTIVIDADE MENSAL (Yield)		
Mês	Fazenda	Pousada
Janeiro	149,3	135,6
Fevereiro	139,0	133,4
Março	155,7	141,6
Abril	151,3	128,0
Maio	159,1	127,4
Junho	146,9	114,5
Julho	161,6	119,9
Agosto	176,4	150,0
Setembro	180,2	
Outubro	177,6	
Novembro	163,2	
Dezembro	149,8	

Fonte: Autoria Própria

Tabela 14: Fator de Capacidade

FATOR DE CAPACIDADE (Cf)		
Mês	Fazenda	Pousada
Janeiro	20,73%	18,83%
Fevereiro	19,31%	18,52%
Março	21,62%	19,66%
Abril	21,02%	17,78%
Maio	22,10%	17,69%
Junho	20,41%	15,91%
Julho	22,45%	16,65%
Agosto	24,50%	20,84%
Setembro	25,02%	
Outubro	24,67%	
Novembro	22,67%	
Dezembro	20,81%	

Fonte: Autoria Própria

Os valores de Desempenho Global estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15: Desempenho Global

DESEMPENHO GLOBAL (Pr)		
Mês	Fazenda	Pousada
Janeiro	89,8%	80,6%
Fevereiro	86,4%	83,3%
Março	87,6%	79,7%
Abril	90,1%	75,5%
Mai	96,6%	76,4%
Junho	92,9%	71,9%
Julho	96,2%	71,3%
Agosto	94,2%	80,4%
Setembro	92,5%	
Outubro	91,2%	
Novembro	86,6%	
Dezembro	87,2%	

Fonte: Autoria Própria

Os valores dos índices de mérito para a Fazenda são consideravelmente superiores aos valores normalmente encontrados em análises de SFCR em funcionamento, como o caso da Pousada e de outros SFCR instalados. Isso se dá pelo caráter teórico da simulação e sendo assim, considera o melhor dos cenários, com a menor perda de energia possível. Evidentemente, em uma eventual aplicabilidade real, esses valores teriam uma diminuição. Porém, é possível afirmar que os resultados demonstram uma eficiência do SFCR proposto para a Fazenda, visto que obteve-se resultado satisfatório em todos os três indicadores.

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A busca pelo insumo de energia elétrica, a água, no caso brasileiro, tem aumentado o preço das tarifas e faturas, e pressionado diuturnamente o mercado por novas tecnologias. A Energia Solar é uma fonte abundante e praticamente infinita, e sua geração de energia elétrica pelos sistemas fotovoltaicos é considerada um processo limpo e renovável. Esses sistemas vêm se tornando viáveis, inclusive do ponto de vista econômico, principalmente com o avanço tecnológico.

A instalação de geradores fotovoltaicos deve abater o consumo energético na área de produção de carcinicultura. Sob o ponto de vista da capacidade de produção de energia elétrica, a simulação do SFCR proposto na ferramenta computacional SAM foi capaz de mostrar resultados satisfatórios com o valor médio de geração se aproximando bastante do valor médio de consumo registrado.

A análise da produtividade e dos índices de mérito (Yield, Performance Ratio e Fator de Capacidade) mostrou que o SFCR sugerido para a Fazenda possui grande eficiência, em comparação com o instalado na Pousada, apresentando superioridade em todos os indicadores. O GFV instalado na Pousada tem um impacto considerável no abatimento das contas de energia no local e seus indicadores de desempenho estão adequados com outros GFV semelhantes. Dessa forma, foi averiguado que o desempenho do sistema fotovoltaico será satisfatório.

É necessário ressaltar o caráter teórico dos valores de indicadores de desempenho, sendo necessário a implantação para uma análise concreta do comportamento apresentado.

O presente trabalho orienta quem tiver interesse nesta fonte limpa e renovável, além de deixar como sugestão para trabalhos futuros uma análise de viabilidade econômica e o uso de rastreador para aumentar a produtividade do SFCR.

Para concluir, é necessário que as barreiras existentes, tanto tarifárias e econômicas, quanto de informação e estudo, sejam novamente avaliadas e possivelmente quebradas, para permitir que, aliado à redução dos custos dos equipamentos dos sistemas fotovoltaicos, o país consiga, enfim, usufruir do seu enorme potencial solar através dos SFCR.

REFERÊNCIAS

FUSANO, Renato Hideo. **Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR**. Curitiba, 2006.

ZAMPOLI, Anderson Wesley da Silva. **Análise da viabilidade técnica de painéis solares fotovoltaicos conectado à rede em uma indústria madeireira**. Curitiba, 2017.

BOYLE, G. **Renewable Energy, 2nd edition**. Oxford, UK: Oxford University Press & The Open University, 2004.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 24 ago. 2022.

DETRONIC ENERGIA. **A evolução da energia solar no Brasil**. Disponível em: <https://detroneenergia.com/a-evolucao-da-energia-solar-no-brasil/#:~:text=Diante%20desse%20cen%C3%A1rio%20promissor%2C%20o,instalada%3A%20671%2C5%20MW>. Acesso em: 27 ago. 2022.

SOL BRASIL ENERGIA. **Evolução da Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <https://www.solbrasilenergia.com.br/evolucao-da-energia-solar-no-brasil/>. Acesso em: 27 ago. 2022.

NEO SOLAR. **O que é Energia Solar: tudo sobre**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/energia-solar>. Acesso em: 28 ago. 2022.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 31 ago. 2022.

IEA. **Renewable electricity growth is accelerating faster than ever worldwide, supporting the emergence of the new global energy economy**. Disponível em: <https://www.iea.org/news/renewable-electricity-growth-is-accelerating-faster-than-ever-worldwide-supporting-the-emergence-of-the-new-global-energy-economy>. Acesso em: 28 set. 2022.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica na China**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-fotovoltaica-na-china>. Acesso em: 28 set. 2022.

CANAL SOLAR. **Filmes finos: uma alternativa ao silício cristalino**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/filmes-finos-cigs-uma-alternativa-ao-silicio-cristalino/>. Acesso em: 28 set. 2022.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **Sistema Fotovoltaico Isolado: você acha que sabe tudo?**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/>. Acesso em: 28 set. 2022.

BLUESOL ENERGIA SOLAR. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid)**. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>. Acesso em: 28 set. 2022.

NEO SOLAR. **Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e seus componentes**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 28 set. 2022.

PORTAL SOLAR. **Inversor Grid Tie**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/inversor-grid-tie.html>. Acesso em: 28 set. 2022

ENERGÊS A LINGUAGEM DA ENERGIA. **Guia do Inversor Solar**. Disponível em: <https://energes.com.br/inversor-solar/>. Acesso em: 28 set. 2022.

CRESESB. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 28 set. 2022.

CRESESB - ALTO SANTO. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_51791. Acesso em: 28 set. 2022.

NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION. **Magnetic Declination Estimated Value**. Disponível em: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml>. Acesso em: 28 set. 2022.

SOUZA, Ronilson di. **Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica: Livro Digital de Introdução aos Sistemas Solares**. Ribeirão Preto, 2006.

SILVA, P. H. T.; FLORIAN, F.; PESTANA, F. A. B **Estudo de Perdas em Sistemas Fotovoltaicos**. Araraquara, 2018.

VERA, L. H.; KRENZINGER, A. **Análise do Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos autônomos através de Índices de Mérito**.

HERINGER, Netalianne Michelle Fagundes. **Modelagem de Arranjo Fotovoltaico com Sombreamento Parcial para Referência de Emuladores Estáticos**. Brasil, 2016.

MELLO, Arthur Durigon. **Análise de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede a partir da determinação de índices de mérito**. Araranguá, 2016.

BICALHO, M. S.; ARAUJO, T. P.; CARDOSO, R. B. **Análise de Desempenho do Sistema Fotovoltaico conectados à rede da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira.**

JUNIOR, A. A.; DANTAS, O de L.; APOLONIO, R. **Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Aplicados a Edificações Residenciais e Comerciais: Urbanas e Rurais.** Cuiabá, 2018.

JUNIOR, Alcides Araújo. **Métodos para dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCR).** Cuiabá, 2019.

SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A. de; DALFIOR, V. A. O. **Energia Solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em Ipatinga-MG.**

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** Lavras, 2011.

Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª Ed. São José dos Campos, 2017.

Balanco Energético Nacional, 2021.

NASCIMENTO, Cássio Araújo do. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** Lavras, 2004.

ABNT NBR 10899, 2ª ed, 2013.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações, Sistemas Isolados e Conectados à Rede, 2ª ed.** São Paulo, 2012.

JUNIOR, Jair Urbanetz. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Redes de distribuição urbanas: sua influência na qualidade da Energia Elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade.** Florianópolis, 2010.

NEVES, Henrique Bortone. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR): um estudo de caso.** Belo Horizonte, 2015.

RUTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos.** Florianópolis, 2004.

ZILLES, Roberto *et al.* **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica.** São Paulo: OFICINA DE TEXTOS, 2012.

ALMEIDA, M. P. **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** USP. São Paulo, 2012.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da Geração Distribuída de eletricidade por meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os**

aspectos técnico, econômico e regulatório. 2009. 108 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo.

MARION, B. et al. **Performance parameters for grid-connected PV systems.** Golden - Colorado: Photovoltaic Specialists Conference, IEEE, 2005.

HINRICHS, Roger A. **Energia e meio ambiente.** 3º Edição. ed. [S. l.]: CENGAGE Learning, 2003.

ABSOLAR. **Potencial solar brasileiro poderia atender demanda de energia elétrica de 170 Brasis.** 29 maio 2018. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/potencial-solar-brasileiro-poderia-atender-demanda-de-energia-eletrica-de-170-brasis/>. Acesso em: 11 out. 2022.

WEATHER SPARK. **Climate and Average Weather Year Round in Jaguaribe Brazil.** *In: Climate and Average Weather Year Round in Jaguaribe Brazil.* [S. l.], 2016. Disponível em: <https://weatherspark.com/y/31108/Average-Weather-in-Jaguaribe-Brazil-Year-Round>. Acesso em: 23 ago. 2022.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: Processes and systems.** 2nd. ed. Oxford: Elsevier, v. 1, 2014. 815 p. ISBN - 13: 978-0-12-397270-5.

MERTENS, K. **Photovoltaics Fundamental, technology an practice.** Tradução de Gunther Roth. First Edition. ed. Munich: John Wiley & Sons Ltd, 2014. 297 p. ISBN ISBN 978-1-118-63416-5

Anexo A

Datasheet MFV - Eagle 72P - JKM330PP-72

www.jinkosolar.com

JinKO Solar
Building Your Trust in Solar

Eagle 72P

320-340 Watt

POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2015, ISO14001:2015, OHSAS18001 certified factory.

IEC61215, IEC61730, UL 1703 certified products.



(5BB)



KEY FEATURES



5 Busbar Solar Cell:

5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.



High Power Output:

Polycrystalline 72-cell module achieves a power output up to 340Wp.



PID RESISTANT:

Eagle modules pass PID test, limited power degradation by PID test is guaranteed for mass production.



Low-light Performance:

Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.



Severe Weather Resilience:

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).



Durability against extreme environmental conditions:

High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.



Temperature Coefficient:

Improved temperature coefficient decreases power loss during high temperatures.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

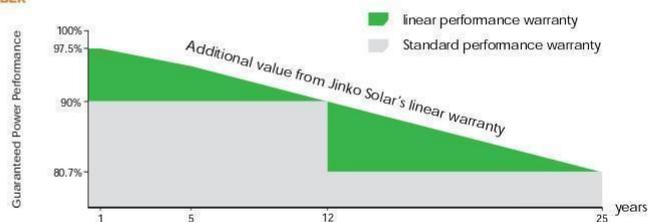
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty



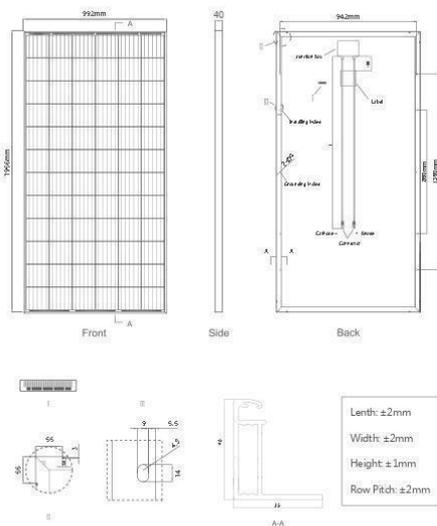
Nomenclature:

JKMxxxPP-60/72-V

Code	Cell	Code	Certification
null	Full	null	1000V
H	Half	V	1500V



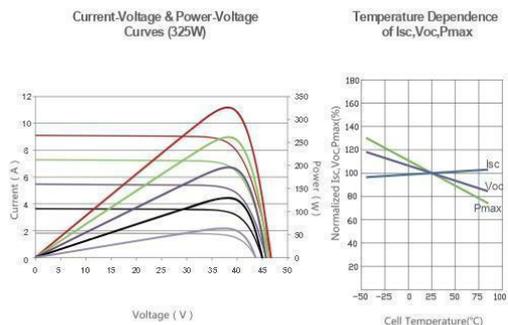
Engineering Drawings



Packaging Configuration

(Two pallets=One stack)
 27pcs/pallet, 54pcs/stack, 648 pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 157×157mm (6 inch)
No. of cells	72 (6×12)
Dimensions	1956×992×40mm (77.01×39.05×1.57 inch)
Weight	22.5 kg (49.6 lbs.)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1×4.0mm², Length: 1200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM320PP-72		JKM325PP-72		JKM330PP-72		JKM335PP-72		JKM340PP-72	
	JKM320PP-72-V	JKM320PP-72-V	JKM325PP-72-V	JKM325PP-72-V	JKM330PP-72-V	JKM330PP-72-V	JKM335PP-72-V	JKM335PP-72-V	JKM340PP-72-V	JKM340PP-72-V
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	320Wp	237Wp	325Wp	241Wp	330Wp	245Wp	335Wp	249Wp	340Wp	253Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V	38.0V	35.6V	38.2V	35.9V
Maximum Power Current (Imp)	8.56A	6.83A	8.66A	6.89A	8.74A	6.94A	8.82A	6.99A	8.91A	7.05A
Open-circuit Voltage (Voc)	46.4V	43.0V	46.7V	43.3V	46.9V	43.6V	47.2V	43.8V	47.5V	44.0V
Short-circuit Current (Isc)	9.05A	7.35A	9.10A	7.40A	9.14A	7.45A	9.18A	7.52A	9.22A	7.98A
Module Efficiency STC (%)	16.49%		16.75%		17.01%		17.26%		17.52%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.38%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

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

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. JKM320-340PP-(V)-72-A3.1-EN

Anexo B

Datasheet IFV - SUNNY TRIPOWER STP20000TL-US-10

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US /
20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US



STP 12000TL-US-10 / STP 15000TL-US-10 / STP 20000TL-US-10 / STP 24000TL-US-10 / STP 30000TL-US-10

RATED FOR
1000 V DC & 600 V DC
SYSTEMS



Design flexibility

- 1000 V DC or 600 V DC
- Two independent DC inputs
- 15° to 90° mounting angle range
- Detachable DC Connection Unit

System efficiency

- 98.0% CEC, 98.6% Peak
- 1000 V DC increases system efficiency
- OptiTrac Global Peak MPPT

Enhanced safety

- Integrated DC AFCI
- Floating system with all-pole sensitive ground fault protection
- Reverse polarity indicator in combination with Connection Unit

Future-proof

- Complete grid management feature set
- Integrated Speedwire, WebConnect, ModBus interface
- Bi-directional Ethernet communications
- Utility-interactive controls for active and reactive power

SUNNY TRIPOWER 12000TL-US / 15000TL-US / 20000TL-US / 24000TL-US / 30000TL-US

The ultimate solution for decentralized PV plants, now up to 30 kilowatts

The world's best-selling three-phase PV inverter, the SMA Sunny Tripower TL-US, is raising the bar for decentralized commercial PV systems. This three-phase, transformerless inverter is UL listed for up to 1000 V DC maximum system voltage and has a peak efficiency above 98 percent, while OptiTrac Global Peak minimizes the effects of shade for maximum energy production. The Sunny Tripower delivers a future-proof solution with full grid management functionality, cutting edge communications and advanced monitoring. The Sunny Tripower is also equipped with all-pole ground fault protection and integrated AFCI for a safe, reliable solution. It offers unmatched flexibility with a wide input voltage range and two independent MPP trackers. Suitable for both 600 V DC and 1,000 V DC applications, the Sunny Tripower allows for flexible design and a lower levelized cost of energy.

www.SMA-America.com

Technical data	Sunny Tripower 12000TL-US	Sunny Tripower 15000TL-US	Sunny Tripower 20000TL-US	Sunny Tripower 24000TL-US	Sunny Tripower 30000TL-US
Input (DC)					
Max. array power	18000 Wp STC	22500 Wp STC	30000 Wp STC	36000 Wp STC	45000 Wp STC
Max. DC voltage					*1000 V
Rated MPPT voltage range	300 V...800 V	300 V...800 V	380 V...800 V	450 V...800 V	500 V...800 V
MPPT operating voltage range	150 V...1000 V				
Min. DC voltage / start voltage	150 V / 188 V				
Number of MPPT tracker inputs	2				
Max. operating input current / per MPPT tracker	66 A / 33 A				
Max. short circuit current per MPPT / string input	53 A / 53 A				
Output (AC)					
AC nominal power	12000 W	15000 W	20000 W	24000 W	30000 W
Max. AC apparent power	12000 VA	15000 VA	20000 VA	24000 VA	30000 VA
Output phases / line connections					3 / 3-NPE
Nominal AC voltage	480 / 277 V WYE				480 / 277 V WYE, 480 V Delta
AC voltage range	244 V...305 V				
Rated AC grid frequency	60 Hz				
AC grid frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz...+5 Hz				
Max. output current	14.4 A	18 A	24 A	29 A	36.2 A
Power factor at rated power / adjustable displacement	1 / 0.0 leading...0.0 lagging				
Harmonics	< 3%				
Efficiency					
Max. efficiency / CEC efficiency	98.2% / 97.5%	98.2% / 97.5%	98.5% / 97.5%	98.5% / 98.0%	98.6% / 98.0%
Protection devices					
DC reverse polarity protection	●				
Ground fault monitoring / grid monitoring	●				
All-pole sensitive residual current monitoring unit	●				
DC AFCI compliant to UL 1699B	●				
AC short circuit protection	●				
Protection class / overvoltage category	I / IV				
General data					
Dimensions (W / H / D) in mm (in)	665 / 650 / 265 (26.2 / 25.6 / 10.4)				
Packing dimensions (W / H / D) in mm (in)	780 / 790 / 380 (30.7 / 31.1 / 15.0)				
Weight	55 kg (121 lbs)				
Packing weight	61 kg (134.5 lbs)				
Operating temperature range	-25°C...+60°C				
Noise emission (typical) / internal consumption at night	51 dB(A) / 1 W				
Topology	Transformerless				
Cooling concept / electronics protection rating	OptiCool / NEMA 3R				
Features					
Display / LED indicators (Status / Fault / Communication)	- / ●				
Interface: RS485 / Speedwire, WebConnect	○ / ●				
Data interface: SMA Modbus / SunSpec ModBus	● / ●				
Mounting angle range	15°...90°				
Warranty: 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○				
Certifications and approvals	UL 1741, UL 1741SA, CA Rule 21, UL 1998, UL 1699B, IEEE 1547, FCC Part 15 (Class A & B), CAN/CSA C22.2 107.1-1				
NOTE: US inverters ship with gray lids. Data at nominal conditions, August 2017. * Suitable for 600 V DC max. systems					
● Standard features ○ Optional features - Not available					
Type designation	STP 12000TL-US-10	STP 15000TL-US-10	STP 20000TL-US-10	STP 24000TL-US-10	STP 30000TL-US-10



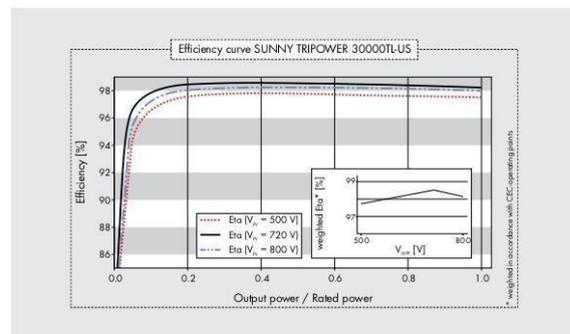
RS485 interface DM 485CB-US-10



Connection Unit CU 1000US-11



SMA Cluster Controller CICON-10



STP12000TL-US-10/11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26/27/28/29/30/31/32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44/45/46/47/48/49/50/51/52/53/54/55/56/57/58/59/60/61/62/63/64/65/66/67/68/69/70/71/72/73/74/75/76/77/78/79/80/81/82/83/84/85/86/87/88/89/90/91/92/93/94/95/96/97/98/99/100. SMA and Sunny Tripower are registered trademarks of SMA Solar Technology AG. Printed on FSC-certified paper. All products and services described as well as technical data are subject to change, even for reasons of country-specific deviations, at any time without notice. SMA assumes no liability for errors or omissions. For current information, see www.SMA.Solar.com.