

PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Lucas Targino de Lima

**Estudo de caso de projeto de sistema fotovoltaico off-grid aplicado em sistema
de transmissão RF de missão crítica na cidade de São Paulo**

São Paulo

Junho de 2023

LUCAS TARGINO DE LIMA

Estudo de caso de projeto de sistema fotovoltaico off-grid aplicado em sistema de transmissão RF de missão crítica na cidade de São Paulo

Monografia apresentada ao Programa de Educação Continuada da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como forma de avaliação do Curso de Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Energia Solar Fotovoltaica

Orientador: Professor Msc. Alvaro Nakano

São Paulo

Junho de 2023

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

GWp.....	Giga Watts pico
MWp.....	Mega Watts pico
Wh/m ²	Watts pico por metro quadrado
GWh/ano.....	Giga Watts hora por ano
ANEEL.....	Agência Nacional de Energia Elétrica
UPS.....	Uninterruptible Power Supply
GMG.....	Grupo Moto Gerador
RF.....	Rádio Frequência
GW.....	Giga Watts
ABSOLAR.....	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ONU.....	Organização das Nações Unidas
CRESESB.....	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
SIN.....	Sistema Interligado Nacional
CC.....	Corrente Contínua
CA.....	Corrente Alternada
MPPT.....	Maximum Power Point Tracking
PWM.....	Pulse Width Modulation
FF.....	Fator de Forma
STC.....	Standard Test Conditions
IEA.....	International Energy Agency

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo de sinal de transmissão RF	13
Figura 2 - Diagrama contendo componentes do sistema On-Grid	15
Figura 3 - Diagrama simplificado sistema fotovoltaico híbrido	16
Figura 4 - Diagrama sistema fotovoltaico off-grid.....	17
Figura 5 - Exemplo controlador de Carga	19
Figura 6 - Controlador de Carga MPPT	20
Figura 7 - Controlador de carga PWM.	22
Figura 8 - Construção painel fotovoltaico	24
Figura 9 - Célula Monocristalina	25
Figura 10 - Célula Policristalina.....	26
Figura 11 - Bateria Chumbo/Acido	30
Figura 12 - Bateria Ion-Lítio	31
Figura 13 - Exemplo de utilização Inversor	32
Figura 14 - Telhado a ser instalado sistema fotovoltaico e norte geométrico	35
Figura 15 - Telhados propostos ao sistema fotovoltaico.....	36
Figura 16 - Sala de missão crítica de transmissão de RF	36
Figura 17 - Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico	39
Figura 18 - Folha de dados do Módulo Fotovoltaico HiKu7 Mono PERC – CS7N	44
Figura 19 - Curva de Corrente x Tensão do Módulo CS7N – 650MS.....	45
Figura 20 - Informações mecânicas do Módulo Fotovoltaico HiKu7 Mono PERC – CS7N....	48
Figura 21 – Diagrama ligação módulos fotovoltaicos	54
Figura 22 – Diagrama sistema elétrico completo	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados comparativos entre células.....	27
Tabela 2 - Dados de Consumo Elétrico	37
Tabela 3 - Irradiação Solar Diária Média Mensal da Cidade de São Paulo.....	40
Tabela 4 - Dia médio do ano e de declinação solar média mensal.....	40
Tabela 5 - Valores de ângulo horário pôr do sol e insolação média mensal	41
Tabela 6 - Dados Perdas Elétricas.....	47
Tabela 7 - Valores Equipamentos do Projeto	60
Tabela 8 - Valor gasto em Energia Elétrica.....	61
Tabela 9 - Payback Descontado	62
Tabela 10 - TIR	63

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	8
2 - OBJETIVO GERAL	10
2.1 - Objetivos específicos	10
3 - METODOLOGIA	11
4 - REVISAO BIBLIOGRAFICA.....	13
4.1 - UPLINK TRANSMISSÃO	13
4.2 - SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	14
4.2.1 - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.....	14
4.2.2 - Sistema Fotovoltaico Híbrido	15
4.2.3 - Sistema Fotovoltaicos Isolado (<i>Off-Grid</i>).....	16
4.3 - COMPONENTES SISTEMA ISOLADO.....	18
4.3.1 - CONTROLADORES DE CARGA.....	18
4.3.1.1 - MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>)	19
4.3.1.2 - PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	21
4.3.2 - MODULO FOTOVOLTAICO	23
4.3.2.1 – Células de Silício Monocristalino	25
4.3.2.2 – Células de Silício Policristalino	25
4.3.2.3 – Eficiência - Comparação entre células	26
4.3.3 - BATERIA E TIPOS.....	28
4.3.3.1 - BATERIA CHUMBO/ACIDO ESTACIONARIA	29
4.3.3.2 - BATERIA ÍON-LÍTIO	30
4.3.4 - INVERSORES.....	31
4.3.4.1 - Inversor Auto Comutado	32
4.3.4.2 - Inversor Comutado.....	33
5 – ESTUDO DE CASO	34
5.1 – Levantamento de dados da localização	34
5.1.1 – Informações sobre o local	35
5.1.2 – Levantamento do consumo e demanda elétrica.....	36
5.2 – Dimensionamento sistema Fotovoltaico Isolado	38
5.2.1 – Dimensionamento da Central Fotovoltaica.....	39
5.2.1.1 – Determinação do módulo fotovoltaico	43
5.2.1.1 – Arranjo Fotovoltaico	49

5.2.2	– Dimensionamento do Inversor Off-Grid	54
5.2.2.1	– Fator de Dimensionamento de Inversor – FDI.....	55
5.2.3	- Dimensionamento do Banco de Baterias	57
6	– ANÁLISE E RESULTADOS.....	60
7	– CONCLUSÃO	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

A participação de sistemas fotovoltaicos para o fornecimento de energia ininterrupta para sistemas e ambientes de missão crítica é factível, sustentável e renovável. O Brasil por possuir uma das melhores condições de irradiação solar no mundo favorece para que a tecnologia fotovoltaica esteja em constante evolução. Segundo a ANEEL, a capacidade de geração de energia proveniente de energia solar, no início do ano de 2023 foi capaz de superar a geração de energia eólica atingindo 26GW em frente aos 25GW da eólica. Esta monografia, aborda o uso do sistema fotovoltaico off-grid, o qual opera de forma independente da rede elétrica, composto por painéis fotovoltaicos, baterias de Lítio-Íon para armazenamento de energia e controladores de carga para prover energia de forma limpa e sustentável para sala de transmissão Rádio Frequência (RF) de missão crítica, em complemento a outras fontes de energia convencionais. Tal ambiente crítico de transmissão necessita de energia ininterrupta, ao qual se refere a sala de transmissão de dados de áudio e vídeo dos canais esportivos de uma empresa líder internacional diversificada em entretenimento familiar e mídia (The Walt Disney Company no Brasil), o qual é responsável por fazer a transmissão do serviço de comunicação de dados de voz e vídeo do ambiente local para uma rede de transporte de longa distância (Satélites). Portanto, esta monografia tem como objetivo introduzir o uso de um sistema fotovoltaico off-grid para promover economia de energia e sustentabilidade, de forma integrada ao sistema que faz uso de fontes externas de energia provenientes da concessionária e sistema de *Uninterruptible Power Supply* (UPS) com energia *backup* de Grupo Motor Gerador (GMG) somente em casos de manutenções programadas. Este estudo de caso apresenta a capacidade de ser inserido como topologia de energia ininterrupta para sistemas críticos, o sistema *off-grid* e em complemento as demais fontes de energia. Esta monografia teve como base as referências e pesquisas teóricas, dados reais de consumo e backup e dimensionamento de sistema fotovoltaico *off-grid* para ambiente de missão crítica, apresentando análise de viabilidade econômica e estudos das limitações referentes a espaços físicos para instalação.

Palavras chave: energia solar fotovoltaica, missão crítica, off-grid, bateria Íon-Lítio.

ABSTRACT

The participation of photovoltaic systems in supplying uninterrupted energy to mission critical systems and environments is feasible, sustainable and renewable. Brazil has one of the best solar irradiation conditions in the world, which favors photovoltaic technology to be constantly evolving. According to ANEEL, the capacity to generate energy from solar energy, at the beginning of 2023, was able to surpass wind energy generation, reaching 26GW compared to 25GW from wind. This monograph addresses the use of an off-grid photovoltaic system, which operates independently from the electrical grid, composed of photovoltaic panels, Lithium-Ion batteries for energy storage and charge controllers to provide energy in a clean and sustainable way for mission-critical Radio Frequency (RF) transmission room, in addition to other conventional energy sources. Such a critical transmission environment requires uninterrupted power, which refers to the audio and video data transmission room of the sports channels of a diversified international leader in family entertainment and media (The Walt Disney Company in Brazil), which is responsible for transmitting the voice and video data communication service from the local environment to a long-distance transport network (Satellites). Therefore, this monograph aims to introduce the use of an off-grid photovoltaic system to promote energy savings and sustainability, integrated with the system that uses external energy sources from the utility and the Uninterruptible Power Supply (UPS) system. with backup power from the Motor Generator Group (GMG) only in cases of scheduled maintenance. This case study presents the ability to be inserted as an uninterruptible energy topology for critical systems, the off-grid system, and in addition to other energy sources. This monograph was based on references and theoretical research, real data on consumption and backup, and dimensioning of an off-grid photovoltaic system for a critical mission environment, presenting an analysis of economic viability and studies of the limitations related to physical spaces for installation.

Key words: photovoltaic solar energy, critical mission, off-grid, Lithium-Ion battery.

1 - INTRODUÇÃO

No panorama atual, tendo em vista o potencial do Brasil para a geração de energia solar, sendo privilegiado pela sua geolocalização, alta incidência de radiação solar ao longo do ano e clima tropical, a geração de energia fotovoltaica está em constante evolução e crescimento. Segundo Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), em 2021 foi alcançada a marca de 13 GW de capacidade instalada em todo o território brasileiro, estima-se que o crescimento dessa capacidade instalada de energia solar fotovoltaica, alcance até 2040 100 GW, um crescimento de quase 10 vezes em relação a 2021. Ainda, existem grandes desafios com relação ao armazenamento de energia proveniente de sistemas fotovoltaicos, devido ao seu alto custo e necessidade de infraestruturas.

Foi estudada a capacidade de se utilizar a energia fotovoltaica para ambientes de missão crítica de pequena e média escala, tornando uma parte do consumo sustentável, diminuição da demanda de energia, redução do gasto com energia elétrica junto a concessionária e principalmente redução de emissão de gases do efeito estufa. Com o crescimento da demanda por serviços em nuvem e ambientes conectados 24 horas por dia, 7 dias na semana e 365 dias por ano, faz-se necessário esse tipo implementação e estudo para contribuir com o objetivo de zero emissões de carbono junto à Organização das Nações Unidas (ONU).

Neste estudo de caso, foi abordado o uso do sistema fotovoltaico com baterias de Lítio-Íon, para um ambiente de missão crítica de transmissão RF (*Uplink*), o qual necessita de energia 24h ininterrupta. *Uplink* é o *link* estabelecido entre uma estação terrestre de transmissão de dados de áudio e vídeo com um satélite em órbita, esse satélite faz a conexão com outras estações terrestres em diversas localidades, transmitindo assim os dados recebidos, conhecido como *downlink receptor*.

Uma preocupação com o uso deste tipo de tecnologia para prover energia para um ambiente técnico crítico, segundo Paul Gillin¹ (2022), é a necessidade de incidência solar frequente, fato ao qual a região estudada dispõe de alta incidência de irradiação solar no plano horizontal de 4,45 kWh/m².dia. A escolha pelo sistema off-grid, se deu devido ao fato

¹ Paul Grillin: é um palestrante, escritor e jornalista de tecnologia que escreveu cinco livros e mais de 400 artigos, jornalista tecnológico há 25 anos.

de não haver necessidade de homologação junto a concessionária provedora atualmente de energia para o ambiente, uma vez que a empresa The Walt Disney Company no Brasil, não possui contrato de fornecimento de energia elétrica direto com a concessionária. Estações de transmissão de RF, sejam móveis ou fixas, necessitam de energia ininterrupta para manter o enlace entre os pontos emissores e receptores. Os transmissores terrestres, por se encontrarem nos pontos mais altos em relação ao nível do mar, se mostram como uma oportunidade de instalação de sistema fotovoltaico *off-grid*, onde o fornecimento de energia elétrica é de difícil acesso ou próximos do final da linha de transmissão, recebendo energia com perturbações e baixa qualidade. Emissoras de TV, possuem estações terrestres e móveis de transmissão RF e se mostram como opção para o uso e implementação do sistema *off-grid* com banco de baterias.

2 - OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo de viabilidade para inserção de sistema fotovoltaico *off-grid*, como fonte complementar de energia elétrica, em ambiente de missão crítica de transmissão de RF de uma empresa localizada na cidade de São Paulo. Resultando em economia de energia, segurança operacional, alta disponibilidade e sustentabilidade.

2.1 - Objetivos específicos

Projetar um sistema off-grid para uma sala de transmissão de rádio frequência, em ambiente localizado na cidade de São Paulo, realizando as seguintes atividades:

- Pesquisa de literaturas em complemento a conhecimento desenvolvido na área estudada;
- Determinação do local de instalação do arranjo fotovoltaico;
- Dimensionamento do sistema fotovoltaico off-grid, para atender demanda requerida pelo ambiente de transmissão de rádio frequência;
- Análise da viabilidade econômica da instalação off-grid em comparação com alimentação alternativa existente, através de rede elétrica convencional.

3 - METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta monografia, teve como base pesquisas literárias, experiência profissional, levantamento de dados reais, dimensionamento e projeto para sistema off-grid, diagrama unifilar das instalações elétricas, normas técnicas e análise de viabilidade econômica do sistema.

Este estudo de caso utilizou como base literária para o desenvolvimento do projeto o livro de “Duffie & Beckman”, junto com dados obtidos através do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito (CRESESB) com referência a região a ser estudada.

Levantamento de dados em campo para a compatibilização do espaço e ambiente para a instalação do sistema off-grid: área útil disponível no telhado, observação de sombreamentos no local durante horário pré-estabelecidos, sistema de aterramento e proteções de descargas atmosféricas.

Para a realização do dimensionamento do sistema off-grid, foi realizada a medição de carga elétrica da sala técnica em horários pré-estabelecidos durante 7 dias, dividido de 3 em 3 horas, utilizando Alicates Amperímetro Fluke 374. Em levantamento prévio foi obtido o consumo de 10kVA, de acordo com a demanda obtida em medições e tensões.

Para o projeto e dimensionamento, foi considerado o Fator de Potência 0,92 e Fator de Demanda igual a 1,0, por se tratar de uma área crítica com demanda sempre constante.

Elaboração de cálculos com base na literatura do livro “Duffie & Beckman” para os seguintes dados:

1. Latitude -23.54 graus
2. Longitude 46,68 graus
3. LO 45 graus
4. Nota: Cidade de São Paulo

Cálculo da radiação integrada diária média mensal sobre superfície inclinado de β , do banco de dados Sundata do CRESESB.

Dimensionamento com base no método de Horas de Sol Pleno (HSP)

Determinações referentes ao banco de baterias para o sistema off-grid, foram definidas após a determinação da capacidade de instalação do sistema fotovoltaico com base nas informações, dados calculados e obtidos: o ambiente crítico necessita de energia ininterrupta, sendo assim estudamos a viabilidade de um banco de bateria de Lítio-Íon, com autonomia para 36h, com esquema de ligação elétrica em paralelo, afim de se manter a segurança de alimentação elétrica.

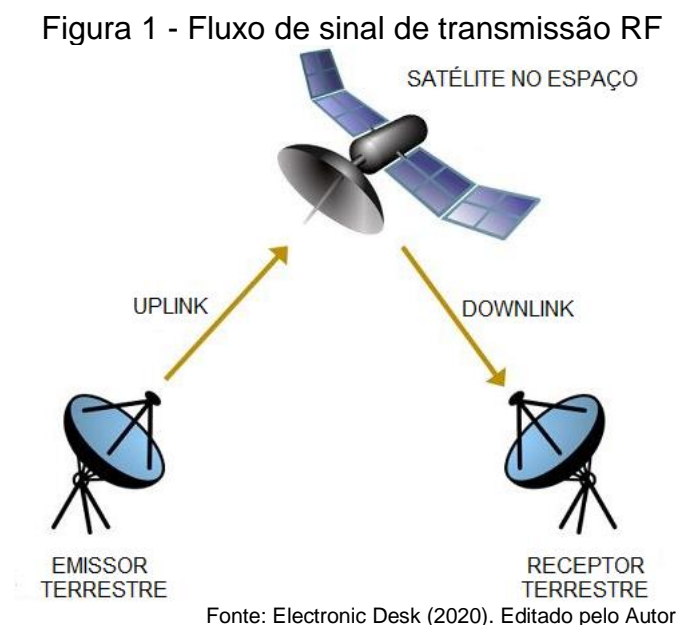
Concepção de esquema elétrico unifilar do projeto, com especificação de equipamentos pertinentes ao sistema seguindo suas especificações técnicas e normas, determinaremos a topologia do sistema com melhor segurança operacional com uma alimentação elétrica backup.

Por fim, será realizada a análise de viabilidade econômica do projeto por meio de 2 indicadores: *Payback* Descontado e TIR.

4 - REVISAO BIBLIOGRAFICA

4.1 - UPLINK TRANSMISSÃO

De acordo com Roshni (2020), *Uplink* é uma estação terrestre na qual é realizada a transmissão de dados através de ondas de radio frequência até um satélite de comunicação. Esse satélite atua como um receptor e retransmite os dados obtidos para outra estação terrestre, tornando assim a capacidade de comunicação ser em larga escala, distância e com baixa latência. As informações obtidas por uma estação de dados terrestre através de um satélite, são chamadas de *Downlink*. Por se tratarem de frequências diferentes, a frequência de *Uplink*, é maior que a de *Downlink*, não podendo ser a mesma pelo motivo de ocasionar interferência no sinal de *Uplink*, tornando assim o amplificador de sinal da base terrestre instável. A figura 1, mostra o fluxo de sinal entre as estações de *Uplink*, Satélite no espaço e *Downlink*.



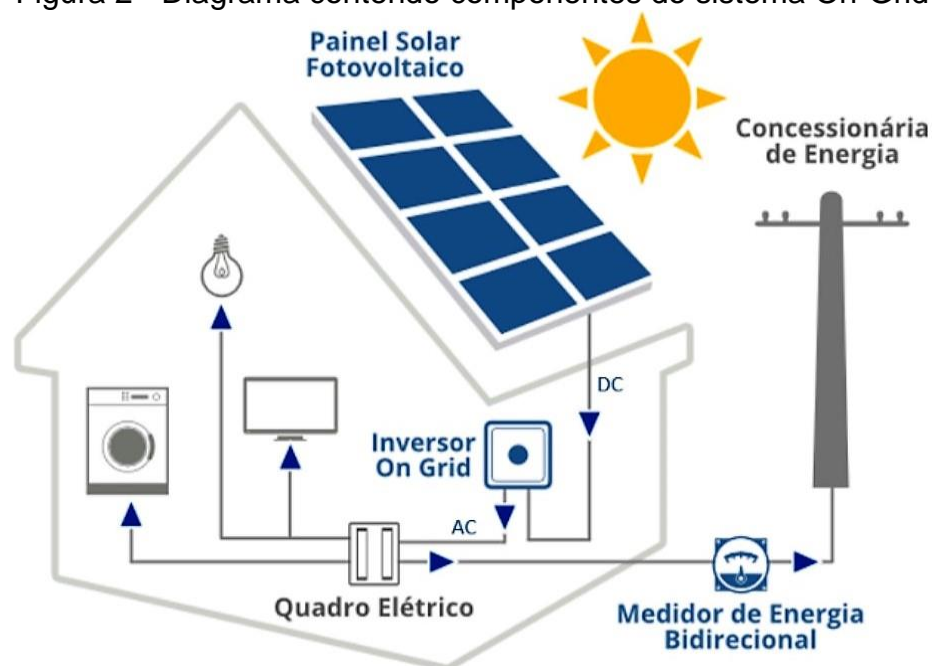
4.2 - SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Sistema fotovoltaico é uma tecnologia desenvolvida para transformar radiação solar em energia elétrica através de painéis fotovoltaicos. É um sistema composto por um ou mais painéis, possui tecnologia ambientalmente correta, gerando energia sem causar poluição ao meio ambiente e consequentemente emissões de gases do efeito estufa. O sistema fotovoltaico, também é utilizado para bombas, iluminação, transporte. A capacidade de transformação de energia, radiação solar em energia elétrica, desde que foi descoberto em 1954 por Gerald Pearson, Daryl Chaplin, e Calvin Fuller, se tornou uma solução para a redução de gases do efeito estufa ou de contribuição nos planos de proteção ao meio ambiente.

4.2.1 - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede

O Sistema *on-grid* é aquele no qual os painéis fotovoltaicos, através de uma unidade inversora, está conectada diretamente a rede elétrica da concessionária, permitindo que trabalhem em paralelo com a rede elétrica. Isso significa que a unidade consumidora necessita de um relógio bidirecional, pois esse sistema tem a capacidade de consumir energia da concessionária ou injetar energia excedente na malha de transmissão elétrica. No Brasil, a energia excedente injetada na rede é gerada créditos junto a concessionária, sendo descontado quando houver demanda superior a geração, esse crédito possui validade de 60 meses, conforme Lei nº 14.300 de 6 de janeiro de 2022, regulamentada pela ANEEL por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 1.059 / 2023. A figura 2, apresenta o fluxo e componentes utilizados em um sistema *On-Grid*.

Figura 2 - Diagrama contendo componentes do sistema On-Grid

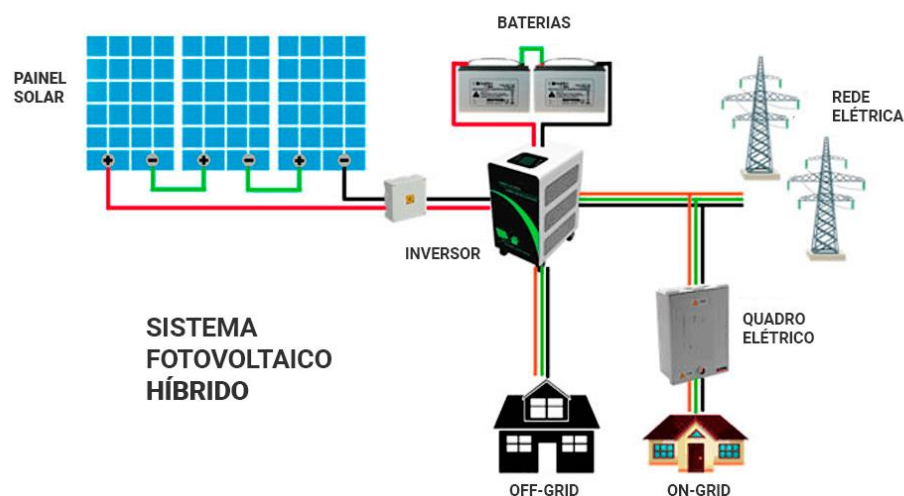


Fonte: jj.eng.br (2021)

4.2.2 - Sistema Fotovoltaico Híbrido

O sistema híbrido possui a capacidade de ter em seu funcionamento a geração e armazenamento de energia, fazendo uso da topologia do sistema *on-grid*, no qual a geração excedida é injetada na rede e através do uso de um banco de bateria para armazenamento de energia elétrica, essa configuração permite que em caso de *blackout* ou falta de energia repentina por parte do fornecimento da concessionária, a energia armazenada no banco de bateria seja utilizada para prover energia necessária, sem prejuízo das proteções contra anti-ilhamento. Devido à queda do custo para se obter um banco de bateria, sistemas que já estavam conectados à rede, podem se transformar em híbrido e assim terem maior redundância e economia, uma vez que pode fazer uso da bateria para suprir sua demanda no horário de ponta. O sistema híbrido também oferece a capacidade de carregar o banco de bateria através de energia da rede, no horário no qual a bandeira tarifária não possui acréscimos, geralmente entre meia-noite e seis horas da manhã. A figura 3, apresenta o diagrama simplificado exemplificando como os componentes são conectados e dispostos na topologia híbrida.

Figura 3 - Diagrama simplificado sistema fotovoltaico híbrido



Fonte: secpower (2022)

4.2.3 - Sistema Fotovoltaicos Isolado (*Off-Grid*)

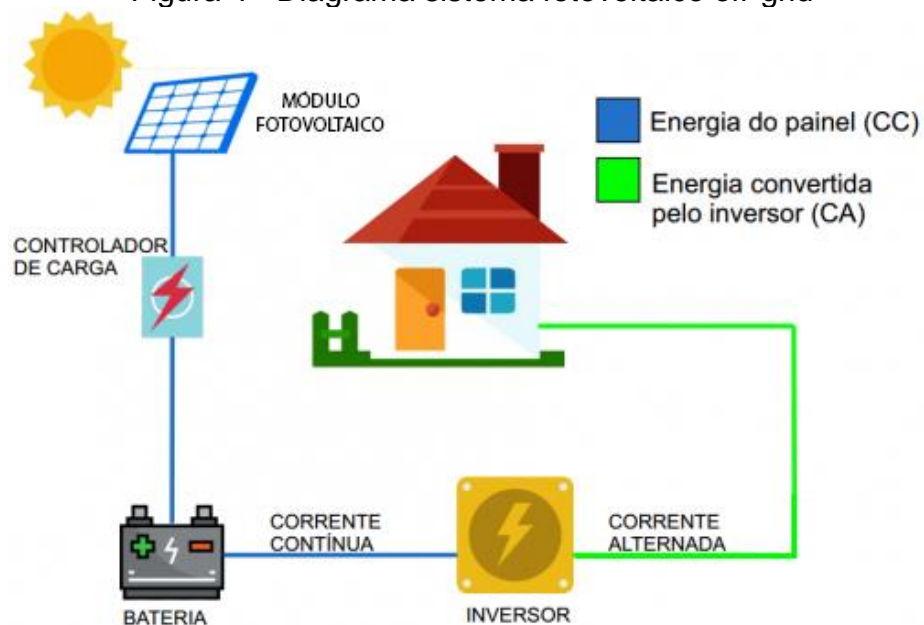
O sistema Isolado (*Off-Grid*), é o sistema no qual não possui ligação com a concessionária de energia elétrica, definido pelo Decreto nº 7.246/2010 é conhecido como um meio autônomo de produção de energia elétrica desconectado do Sistema Interligado Nacional (SIN), captando a energia solar para conversão em energia elétrica (LINS, 2018). É necessário em sua topologia o uso de banco de baterias, capaz de armazenar energia suficiente para a alimentação das cargas, quando não há produção por parte do sistema fotovoltaico ou devido à más condições meteorológicas quando há menor incidência de radiação solar. O sistema *off-grid* é comumente encontrado em locais de difícil acesso, onde o sistema elétrico tradicional não possui capacidade de infraestrutura e como forma de *backup*, possuindo aplicações em ambientes como eletrificação rural, radares, sistemas de telecomunicações entre outros (LINS, 2018).

O uso de baterias para armazenamento de energia faz-se necessário devido aos períodos nos quais não há geração de energia proveniente do gerador fotovoltaico. Assim a energia armazenada é utilizada em outros momentos para atender a demanda, as baterias utilizadas são do tipo eletroquímicas por apresentarem forma conveniente e eficiente. O banco de bateria por sofrer inúmeros ciclos de descarga e recarga, necessita

de atenção referente a sua vida útil, uma vez que devido a esses ciclos recorrentes há a diminuição lentamente e exponencial da sua capacidade de armazenamento original.

O sistema *off-grid* em relação aos demais, possui como benefício a não necessidade de ser interligado ao sistema nacional de distribuição elétrica, não havendo a necessidade de pagar impostos pela geração e utilização de energia, por ser desconectado do sistema nacional de distribuição elétrica, em caso de blackout o mesmo ainda possuirá energia proveniente do sistema fotovoltaico renovável durante o dia. A figura 4 apresenta os componentes necessários para o funcionamento do sistema fotovoltaico *off-grid*.

Figura 4 - Diagrama sistema fotovoltaico off-grid



Fonte: trxsolar (2021)

4.3 - COMPONENTES SISTEMA ISOLADO

Os componentes de um sistema fotovoltaico isolado (off-grid), no processo de geração de energia elétrica através de irradiação solar, necessita de uma abrangência de diversos tipos de tecnologias e equipamentos para se tornar capaz a geração de energia elétrica. Para se obter autonomia energética, somente o modulo fotovoltaico não é capaz de gerar essa condição, uma vez que o mesmo fornece energia de corrente contínua (CC), e usualmente é utilizado energia em corrente alternada (CA) pelo usuário final.

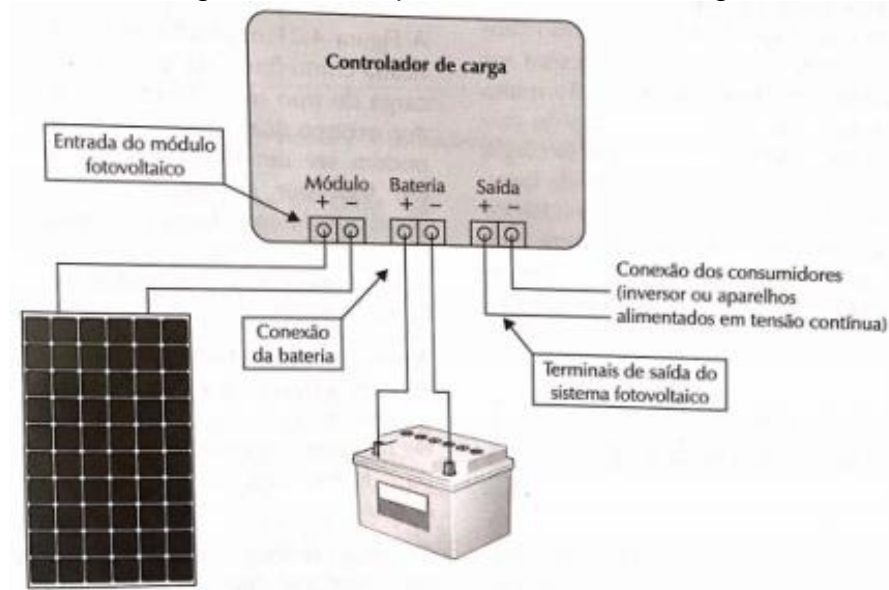
Segundo Filho (2020), é indispensável o uso de certos componentes em conjunto, atuando no processo de armazenamento, conversão e distribuição de energia produzida de forma autônoma, são eles: Placas Solares (modulo fotovoltaico), controladores de carga, baterias e inversores.

4.3.1 - CONTROLADORES DE CARGA

Um controlador de carga ou regulador, é um componente do sistema solar fotovoltaico que se encontra entre os painéis fotovoltaicos e o banco de bateria. Sua principal função é regular o carregamento do banco de bateria e garantir que todo o banco foi completamente carregado, através da energia proveniente do sistema fotovoltaico, o qual pode apresentar variações devido a temperatura, intensidade solar, sujeira, sombreamento entre outros fatores. O controlador por sua vez, garante que não há uma sobrecarga do banco de bateria, além de proteger contra sobre tensão, tal função garante ao banco de bateria performance e tempo de vida útil de acordo com dados do fabricante.

Outra função do controlador de carga é de prevenir que a bateria seja drenada totalmente. Para se manter a regulação das baterias, o controlador solicita energia das baterias em intervalos de tempos, mesmo que a geração seja autossuficiente, tal ação se dá para que a vida útil do banco não seja comprometida devido longos períodos de inatividade. Existem dois principais tipos de controladores de carga utilizados em sistemas fotovoltaicos: *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) e *Pulse Width Modulation* (PWM). A figura 5 mostra as conexões e terminais disponíveis em um controlador de carga.

Figura 5 - Exemplo controlador de Carga



VILLALVA, M. G. Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações. 2. ed. [S.l.]: Editora Érica, 2015.

4.3.1.1 - MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

O MPPT é um controlador com tecnologia superior ao PWM, permitindo que a energia gerada em excesso pelo sistema fotovoltaico não seja desperdiçada e sim convertida em mais energia para o banco de bateria, através da conversão do excesso de tensão fornecido pelo sistema em amperagem para o banco de bateria (OSARETIN; EDEKO, 2015). O controlador MPPT permite que o sistema fotovoltaico opere com seu ponto de potência máximo, onde a corrente e tensão são ideais.

Os controladores MPPT possuem um valor de mercado superior aos de PWM, porém o mesmo proporciona ao longo de sua utilidade devido a capacidade e eficiência de gerir mais energia do sistema fotovoltaico. Em caso de o banco de bateria estar próximo de ser descarregado, as baterias operam com tensão inferior ao usual, recebendo assim uma taxa de carga inferior, o MPPT se faz importante nessa situação, pois tem a capacidade de converter o excesso de tensão em amperagem para a bateria descarregada. Os pontos positivos e negativos do controlador MPPT são:

Positivos:

- Eficiência – converte tensão excedida em corrente;
- Alta performance em climas quentes e frio;
- Grandes e pequenas aplicações;
- Ideal para sistemas fotovoltaicos com tensão superior ao do banco de baterias;

Contra:

- Alto valor em comparação aos controladores PWM;

Exemplo de controlador de carga MPPT, conforme figura 6.

Figura 6 - Controlador de Carga MPPT



Fonte: neosolar editado (2023)

4.3.1.2 - PWM (*Pulse Width Modulation*)

O controlador PWM por se tratar de uma tecnologia antiga, é menos eficiente que o MPPT, sendo assim para haver o carregamento de um banco de bateria através de um carregador PWM o tempo será maior. Ao realizar o carregamento do banco de bateria, o controlador PWM regula a energia que flui, reduzindo assim lentamente a corrente que carrega as baterias. Uma vez que as baterias estão com carga máxima, ou seja, completamente carregadas, o controlador PWM mantém de forma contínua uma pequena quantidade de energia para as baterias se manterem carregadas.

Para se utilizar um controlador PWM, o banco de bateria e o sistema fotovoltaico devem operar com a mesma voltagem, sendo assim, grandes sistemas fotovoltaicos não são recomendados em utilizar o controlador PWM, pois somente aproveitam a energia gerada até o nível de tensão do banco de bateria, sendo que a energia extra é desperdiçada (OSARETIN; EDEKO, 2015). Os pontos positivos e negativos de um controlador PWM, são:

Positivos:

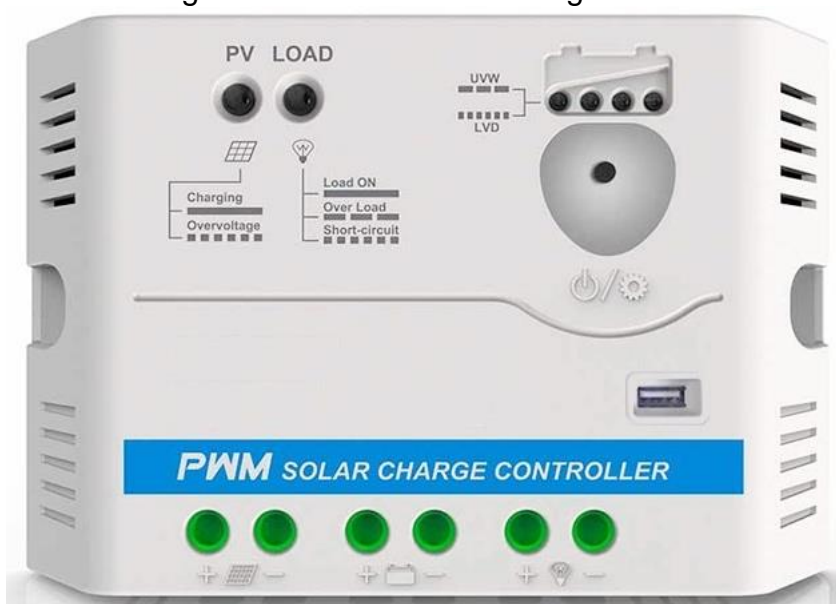
- Eficiente em clima quente e ensolarado;
- Acessível, mais barato que o MPPT;
- Funcionalidade para sistema pequeno;
- Reduz superaquecimento da bateria e minimiza o estresse na bateria;

Contras:

- Não projetado para sistemas fotovoltaicos com tensões variáveis;
- Ineficiente em relação ao excesso de energia produzido, o qual é desperdiçado e não reaproveitado;

A Figura 7 apresenta um controlador de carga PWM.

Figura 7 - Controlador de carga PWM.



Fonte: neosolar editado (2023)

4.3.2 - MODULO FOTOVOLTAICO

O modulo fotovoltaico é composto por um conglomerado de células fotovoltaicas encapsuladas e interligadas eletricamente, constituindo assim um modulo fotovoltaico contendo materiais semicondutores responsáveis pela realização do efeito fotovoltaico, convertendo energia solar em energia elétrica (LINS, 2018).

As células fotovoltaicas são utilizadas ligadas em série, contendo uma quantidade entre 60, 66 ou 72 células para a construção de um modulo ou 120, 132 e 144 células no modelo conhecido como Half-Cell. Essas células são formadas por diferentes tipos de material, sendo eles em silício cristalizado, monocristalino (mono-Si), policristalino (multi-Si), sendo que a diferença do tipo de material possui influencia na eficiência dos módulos na conversão de partículas luminosas (luz solar) em corrente contínua (CC). O modulo fotovoltaico, tem como principais propriedades as seguintes grandezas elétricas e eficiência utilizadas no momento de seu dimensionamento:

- Tensão do circuito aberto (V_{oc}): Esta é a tensão máxima que uma célula é capaz de produzir, é a tensão obtida entre os terminais da célula fotovoltaica, quando não há fluxo de corrente.
- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): É a corrente máxima que pode ser produzida, é obtida através da medição de tensão nos terminais da célula quando o mesmo é igual a zero.
- Tensão de máxima potência (V_{mp}): tensão associada ao ponto máximo de produção energia do painel fotovoltaico.
- Corrente de máxima potência (I_{mp}): corrente associada ao ponto máximo de produção energia do painel fotovoltaico.
- Potência Nominal (P_{mp}): conhecido como o valor máximo de potência que um modulo é capaz de fornecer em condições de teste padrão de fábrica. É o produto entre a tensão de máxima potência (V_{mp}) e a corrente de máxima potência (I_{mp}).
- Fator de forma (FF): é a razão entre a máxima potência da célula e o produto da corrente de curto circuito como a tensão de circuito aberto.
- Eficiência (η): é a relação entre potência gerada e a potência de energia solar incidente no modulo fotovoltaico.

A figura 8 apresenta como é construído um sistema fotovoltaico, desde as células fotovoltaicas, até o arranjo de painéis constituintes do sistema.

Figura 8 - Construção painel fotovoltaico



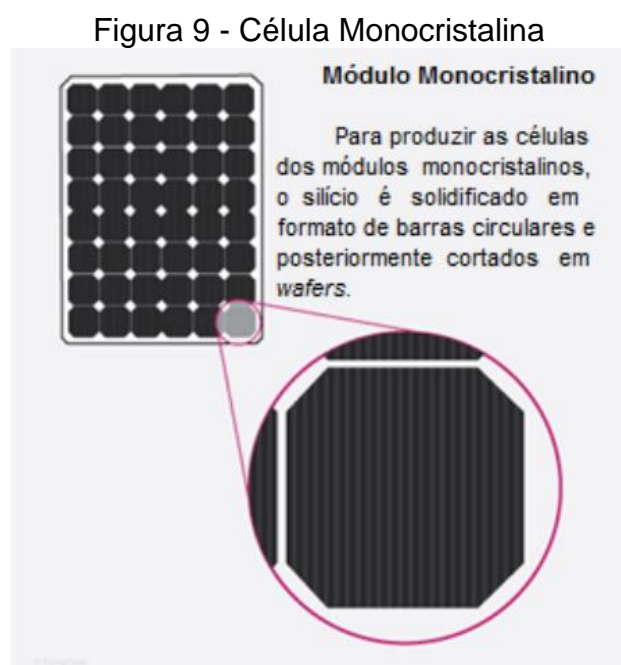
Fonte: portalsolar (2023)

Onde:

- 1 – Arranjo de painéis fotovoltaicos, podendo ser ligado em serie ou paralelo, captam a energia solar e transforma em energia elétrica de corrente contínua;
- 2 – Inversor responsável pela conversão de corrente contínua em corrente alternada, compatível com a rede elétrica local e equipamentos a serem alimentados;
- 3 – Quadro elétrico de distribuição e disjuntores de proteção;
- 4 – Carga a ser alimentada;
- 5 – Relógio medidor bidirecional, responsável por medir a energia excedente injetada na rede elétrica pela geração e consumo de energia;

4.3.2.1 – Células de Silício Monocristalino

As células monocristalinas constituem a construção do módulo fotovoltaico sendo do tipo mais eficiente possuindo seu rendimento elétrico entre 18% a 21%, pois são construídos a partir do cristal de silício puro, sendo a matéria prima bruta. Sua fabricação demanda energia em larga escala devido ao seu estado puro. O processo de fabricação utilizado é o método Czochralski, no qual o silício é fundido com pequenas quantidades de dopante, geralmente o boro que é do tipo P (REIS, 2019). A Figura 9 apresenta a célula monocristalina utilizada para compor um módulo monocristalino.



Fonte: eletronicadepotencia (2020)

4.3.2.2 – Células de Silício Policristalino

As células policristalinas possuem produção diferente da monocristalina, sendo derramado o silício em um molde de célula, essa ação fabril resulta em imperfeições na estrutura do cristal, ocasionando em um painel fotovoltaico de menor eficiência elétrica em torno de 15% a 18%, contudo em sua confecção a necessidade de energia e gastos com o processo são inferiores, resultando em um custo reduzido na sua produção (FILHO, 2020). A Figura 10 apresenta a célula policristalina utilizada para compor um módulo policristalino.

Figura 10 - Célula Policristalina



Fonte: eletronicadepotencia (2020)

4.3.2.3 – Eficiência - Comparação entre células

A eficiência da célula fotovoltaica é o valor percentual de energia elétrica gerada a partir da incidência de energia solar, a eficiência é obtida através de testes realizados em laboratório, com padrões e condições pré-estabelecidas, a fim de ser realizada comparação entre diferentes tipos e modelos. Os padrões utilizados em testes são conhecidos como *Standard Test Conditions* (STC) e são:

- Irradiância = 1000W/m^2 ;
- Temperatura = 25°C .
- Massa do ar = 1,5

Com o aperfeiçoamento nos processos de fabricação das células fotovoltaicas, a célula monocristalina apresenta um excelente custo benefício, uma vez que seu custo de produção vem caindo e apresentando maior eficiência. A Tabela 1, apresenta comparação entre dois tipos de células fotovoltaicas mais utilizadas.

Tabela 1 – Dados comparativos entre células

Tipos de Células	Vantagens	Desvantagens	Eficiência %
Monocristalino	Alta eficiência/desempenho	Custos mais altos	18-21
Policristalino	Baixo custo	Menor eficiência/desempenho	15-18

Fonte: Enel Green Power (2022). Adaptado

Tendo em vista os dados obtidos em efeito comparativo na Tabela 1, a célula de silício monocristalino apresenta um melhor desempenho na construção de módulos fotovoltaicos, visto que apresenta uma porcentagem de eficiência melhor em relação a célula de silício policristalino.

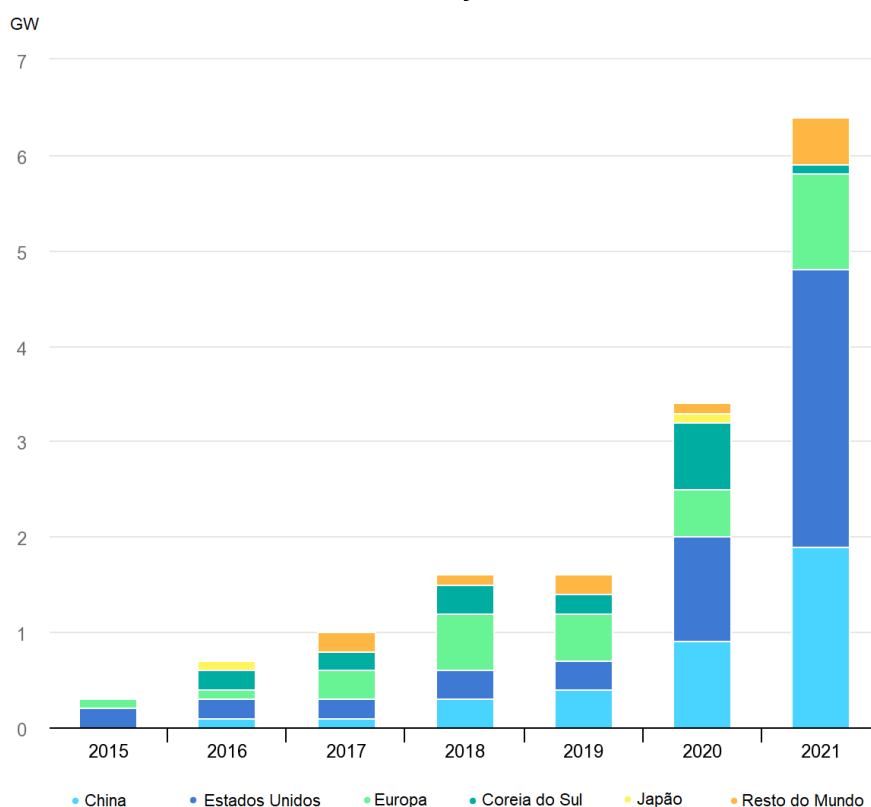
4.3.3 - BATERIA E TIPOS

Quando se fala em sistemas fotovoltaicos isolados ou híbridos, necessariamente é preciso o uso de baterias ou acumuladores de energia, para serem usados no momento no qual o sistema fotovoltaico não é capaz de prover energia elétrica necessária para a carga, tais como falta de radiação solar, sombreamento, longos períodos sem a presença solar. As baterias ou acumuladores, são dispositivos eficientes de armazenamento de energia através de processos químicos, a eletroquímica no qual há a conversão de energia química em energia elétrica, e são classificados como primários e secundários (SCHOENFISCH; DASGUPTA, 2022). As baterias primárias, são aquelas que não possuem capacidade de serem recarregadas, sendo descartadas após o seu uso e esgotamento de energia, enquanto que as secundárias são recarregáveis e utilizadas em um longo período de tempo, respeitando seus limites de ciclos de carga.

Em sistemas fotovoltaicos e ambientes fixos, é recomendado o uso de baterias estacionárias, capazes de suportarem ciclos profundos de descarga sem correr risco de danificar suas propriedades. Em comparação com baterias automotivas, as baterias estacionárias não possuem taxa de auto descarregamento elevado, devido a sua construção física, que diferentemente das baterias automotivas não necessitam que os componentes químicos internos sofram balanço e movimento dos componentes para manterem suas propriedades químicas e capacidade de armazenamento de energia.

Segundo *International Energy Agency* (IEA) (2022), a capacidade de energia estocada em bateria está crescendo cada vez mais e está projetado para corresponder como maior parte do crescimento de armazenamento de energia em todo o mundo. A capacidade de energia estocada em bateria ficou próxima de 16GW no final de 2021, tal capacidade se viu crescer nos 5 últimos anos passados. Países como Estados Unidos, China e continente Europeu lideram o mercado de estocagem, alcançando a escala de Gigawatt de adição. Em 2021, a bateria de Íon-Lítio continuou a ser a mais utilizada para se realizar esse tipo de armazenamento, conforme pode-se observar no Gráfico 1 (SCHOENFISCH; DASGUPTA, 2022).

Gráfico 1 – Utilização de baterias



Fonte: IEA.ORG (2022). Adaptado

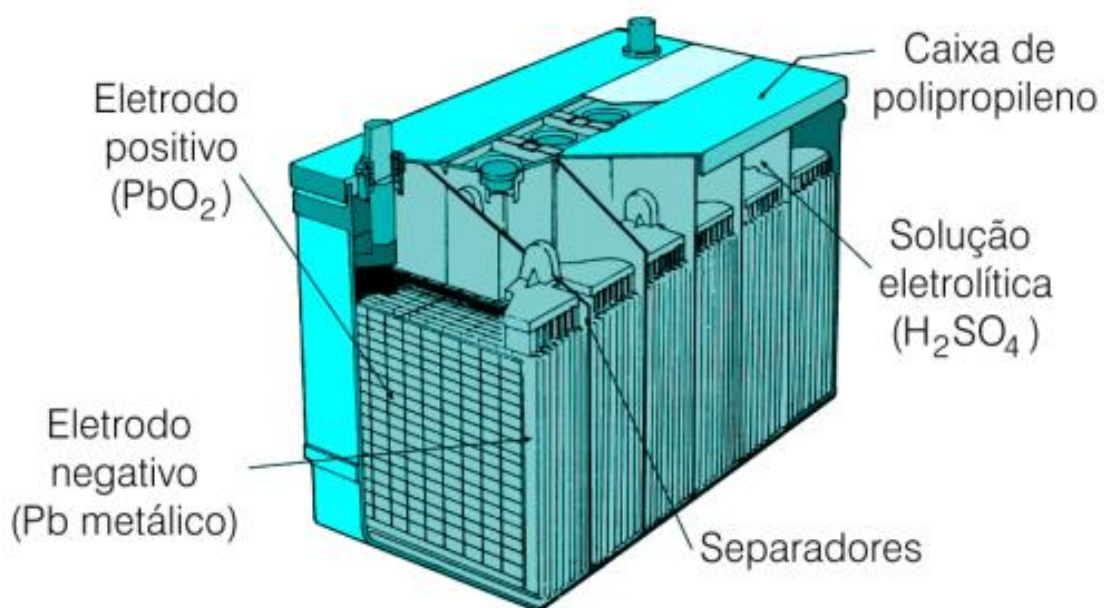
Baterias estacionárias mais comumente utilizadas a fim de proporcionar autonomia e segurança a sistemas que necessitam de um *storage* de energia, são: Bateria de Chumbo/Ácido e Bateria íon-Lítio.

4.3.3.1 - BATERIA CHUMBO/ACIDO ESTACIONARIA

As principais baterias de chumbo ácido estacionária estão presentes no mercado e utilizadas há décadas desde sua invenção em 1859 pelo físico francês Raymond Gaston Planté, possuem densidade de energia baixa, ou seja, não são capazes de reterem muita energia por kg de peso, sendo pesadas e volumosas. Possuem vida útil curta de 3 a 5 anos, necessitam de ambiente com temperatura controlada de 20 a 25 °C, porém são confiáveis e com custo benefício bom e podem ser classificadas como ciclo raso ou ciclo profundo de descarga. As baterias de chumbo ácido não necessitam de um sistema de carregamento

sofisticado e de precisão, se tornando mais segura com menor probabilidade para explosões ou incêndios em caso de sobrecarga, uma vez que em sua construção física seus eletrólitos não são inflamáveis (BOCCHI; FERRACIN; BIAGGIO, 2000). Contudo as baterias de chumbo/ácido, possuem em sua construção como seu nome já menciona Chumbo, metal pesado e tóxico que não é amigável e apresenta risco ao meio ambiente. Como pode ser visto na Figura 11 os elementos utilizados na construção da bateria de chumbo/ácido.

Figura 11 - Bateria Chumbo/Ácido



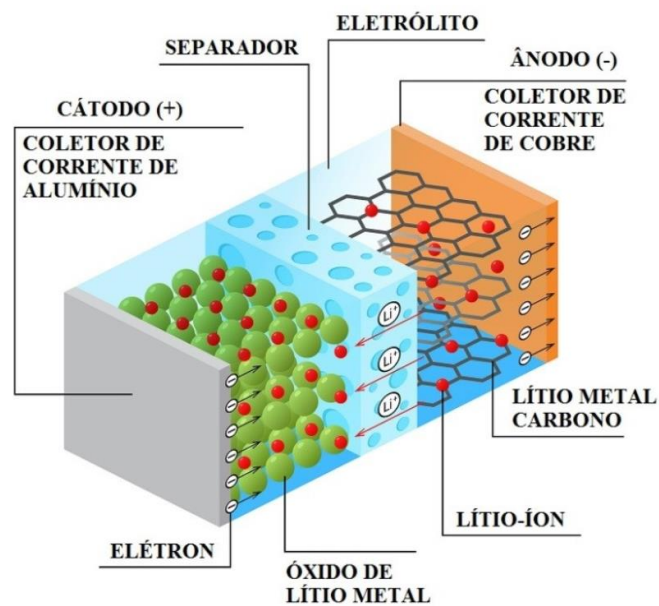
Fonte: qnesc (2000)

4.3.3.2 - BATERIA ÍON-LÍTIO

A bateria de Íon-Lítio é um recurso mais recente e atual em relação aos demais tipos de baterias existentes no mercado, possuem a mesma finalidade que as demais baterias de transformar energia química em energia elétrica através de reações eletroquímicas. As baterias de Íon-Lítio possuem alta densidade de energia, mais eficiente e mais leve, além de um carregamento e fornecimento de energia requisitada com tempo relativamente curto, podendo estar completamente carregada em 3 horas ou em alguns minutos, dependendo da capacidade da bateria. Em caso de altas temperaturas e instaladas incorretamente, as baterias de íon lítio possuem uma característica peculiar, o

qual pode incendiar devido ao seu eletrólito inflamável, fazendo necessário o uso de sistema de monitoramento e controle. Contudo, possuem vida útil superior a 10 anos, trabalham com temperatura variável entre -10 °C e 50 °C, sendo capaz de ser utilizada em regiões de climas quentes e frios, ecologicamente corretas, contendo materiais seguros para serem reciclados, uma vez que não são tóxicas (MARSH, 2022). Sua estrutura pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Bateria Ion-Lítio



Fonte: sta-eletronica (2020)

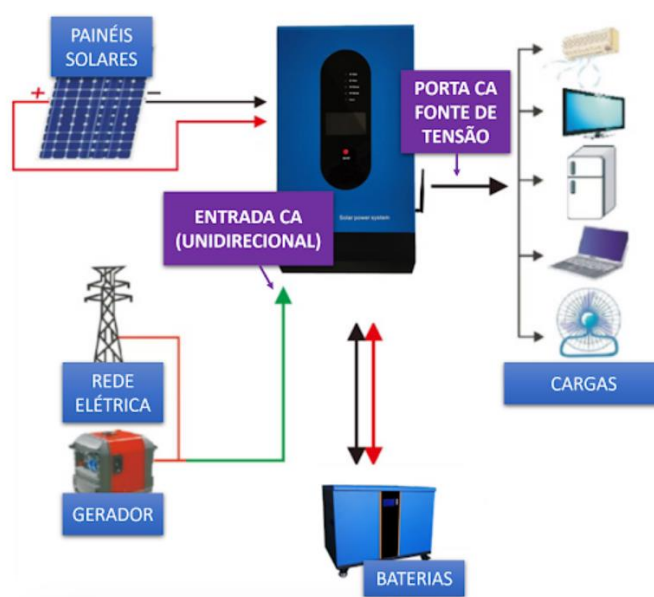
4.3.4 - INVERSORES

O inversor é um dispositivo tecnológico, no qual sua principal característica é realizar a conversão de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Os inversores são utilizados em diversas aplicações, desde pequenos adaptadores de energia até aplicações de grandes sistemas, sejam eles autônomos usados em aplicações de energia solar ou fonte de alimentação de baterias backup como são utilizados em sistemas de *Uninterruptible Power Supply* (UPS). O inversor é responsável por realizar a alimentação de equipamentos eletrônicos que trabalham em tensão de rede CA, os inversores são classificados de acordo com a sua forma de onda de comutação, tipo de chave, frequência e forma de onda de saída (ENESEP, 2018).

Para se realizar a conversão CC/CA, são utilizados semicondutores de potência, que fazem parte da construção do inversor para realizar o chaveamento entre CC e CA, eles são conhecidos como: tirístores ou transístores (ENESEP, 2018). No mercado estão disponíveis diversos tipos de tirístores, sendo o retificador controlado de silício (SCR) o mais utilizado, em relação aos transístores temos disponíveis semicondutores do tipo NPN ou PNP, os quais trabalham em 3 áreas de ação corte, saturação e ativa (RECEN, 2013).

Aplicações de sistemas fotovoltaicos fazem uso de inversores de duas classes: auto comutados e comutados. A utilização do inversor pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 - Exemplo de utilização Inversor



Fonte: canalsolar (2021)

4.3.4.1 - Inversor Auto Comutado

Os inversores auto comutados possuem a característica de funcionarem como fonte de corrente e tensão, por essa característica são empregados no uso de sistemas fotovoltaicos isolados ou conectados à rede. Por se tratar de um sistema auto comutado, os inversores dessa classificação possuem a capacidade de trabalharem de forma independente, necessitando somente de uma fonte de potência em sua entrada.

4.3.4.2 - Inversor Comutado

Os inversores comutados possuem a característica de funcionarem somente em aplicações conectadas a rede elétrica, são do tipo ponte retificada fazendo uso de tirístores, tal funcionalidade depende de tensão alternada da rede elétrica, resultando em grandes distorções harmônicas na rede, sendo somente utilizado em caso de sistemas de grande escala maior que 100 kW.

5 – ESTUDO DE CASO

5.1 – Levantamento de dados da localização

O estudo em questão se desenvolveu em uma empresa líder internacional diversificada em entretenimento familiar e mídia – na capital de São Paulo.

As informações referentes ao município de São Paulo, pertinentes a este estudo são:

a) Posição Geográfica:

- Latitude: 23° 32' 56" S;
- Longitude: 46° 38' 20" W;

b) Altitude: 745 metros;

c) Clima subtropical úmido, caracterizado por um inverno notadamente seco e um verão bastante chuvoso;

d) Temperaturas Médias anuais, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET):

- Máxima média anual: 26,1° C;
- Média anual: 20,4° C;
- Mínima média anual: 16,4° C.
- Mínima recorde: 7° C.

Figura 14 - Telhado a ser instalado sistema fotovoltaico e norte geométrico



5.1.1 – Informações sobre o local

Feita a verificação dos melhores ambientes disponíveis para instalação do gerador fotovoltaico (conjunto de painéis): por se tratar de um ambiente de telhados não uniformes, foi observado durante um intervalo de 2 em 2 horas, durante 3 dias as faces dos telhados disponíveis, que não possuem interferência e consequentemente sombreamento. Os módulos fotovoltaicos serão montados o mais próximo possível da sala técnica de missão crítica, a fim de evitar perdas no sistema elétrico e gerar economia com quantidade de materiais utilizados. A figura 15 apresenta os telhados com maior potencial para serem instaladas as placas fotovoltaicas, por não apresentarem sombreamento e influência de outras edificações.

Figura 15 - Telhados propostos ao sistema fotovoltaico



Fonte: Próprio Autor (2023)

Serão utilizados suportes metálicos para a orientação dos painéis ser para o Norte geográfico.

5.1.2 – Levantamento do consumo e demanda elétrica

O consumo elétrico da sala de missão crítica é composto por 5 racks, contendo diversos tipos de equipamentos e servidores, para se realizar a Transmissão de dados contendo vídeo e áudio através de rádio frequência, apresentado na figura 16.

Figura 16 - Sala de missão crítica de transmissão de RF



Fonte: Próprio Autor (2023)

Foram realizadas medições para se obter a demanda de potência sendo extraído como consumo aparente, considerando o Fator de Demanda (FD) igual a 1,0. A potência resultante da sala de missão crítica é de 7,6kW considerando o Fator de Potência (FP) da instalação igual a 0,92 e a potência aparente de 8,3kVA, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Dados de Consumo Elétrico

UPLINK - DADOS ELÉTRICOS			
REDE ELÉTRICA A		REDE ELÉTRICA B	
RACK	CORRENTE (A)	RACK	CORRENTE (A)
Rack 01	0	Rack 01	0
Rack 02	0,6	Rack 02	1,9
Rack 03	0,7	Rack 03	0,9
Rack 04	4	Rack 04	6
Rack 05	19	Rack 05	5,1
TOTAL	24,3	TOTAL	13,9
TOTAL (A)	38,2		
TENSÃO (V)	217,3		
TOTAL (kVA)	8,3		
TOTAL (kW)	7,6		
TOTAL (kWh)	7,6		
TOTAL (kWh/dia)	183,3		
TOTAL (kWh/mês)	5498,5		

Fonte: Próprio Autor (2023)

Os cálculos de consumo e demanda foram baseados nas Equações 1 e 2 e possuem como tensão o valor medido médio em campo de 217,3V bifásico, abaixo:

$$P_{apar} = I * V \text{ (Eq. 1)}$$

$$P_{ativa} = P_{apar} * F_p \text{ (Eq. 2)}$$

Onde:

I corrente nominal de condução elétrica do dispositivo de proteção geral dada em Ampére (A);

V tensão nominal da instalação dada em Volt (V);

P_{ativa} potência total ativa das cargas dada em Watts (W);

P_{apar} potência aparente total das cargas dada em *Volt-Ampéres* (VA);

F_p fator de potência da instalação;

5.2 – Dimensionamento sistema Fotovoltaico Isolado

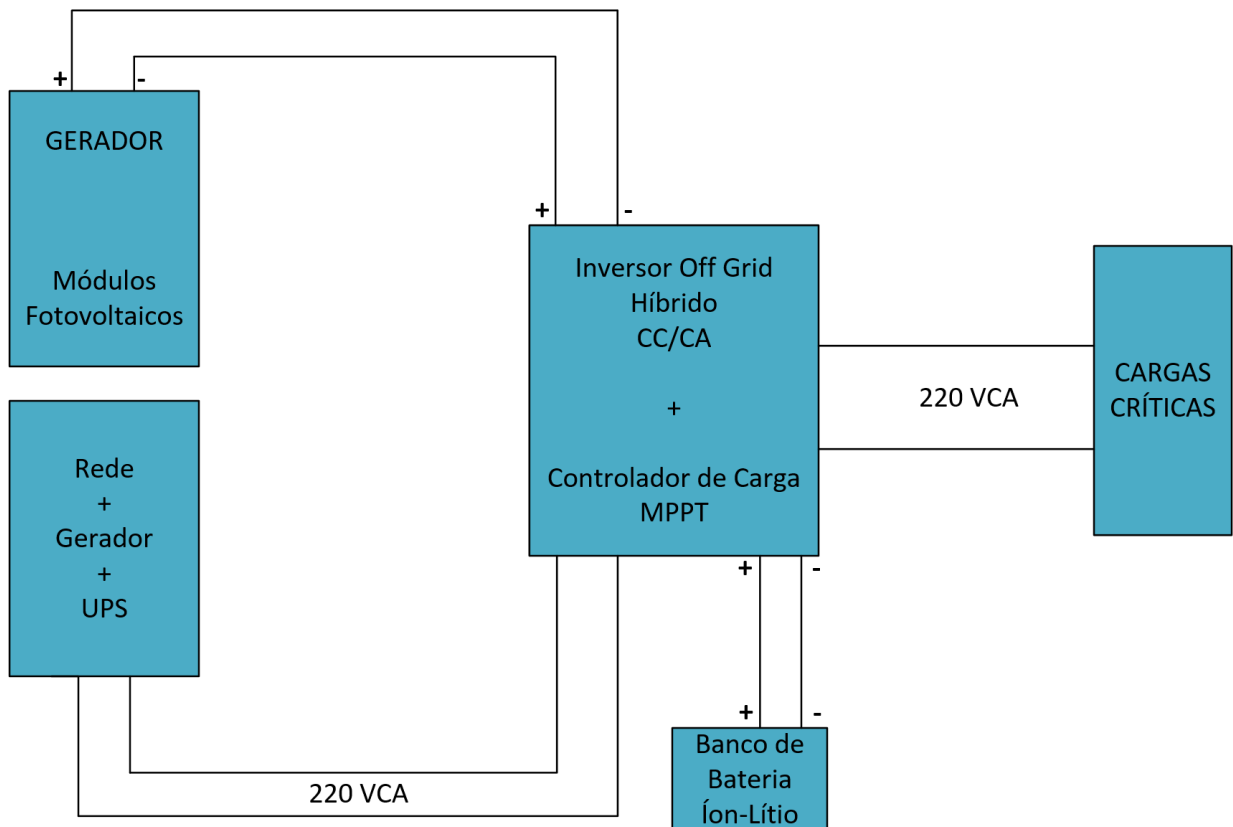
Tendo em vista o consumo elétrico e a topologia do sistema utilizado em sendo isolado, será necessário a utilização de banco de baterias. As baterias são elementos fundamentais e necessários na instalação para se prover a energia necessária nos momentos em que não há geração de energia proveniente do sistema fotovoltaico, garantindo autonomia diária 36 horas, uma vez que a sala de missão crítica possui funcionamento 24 horas por dia de forma ininterrupta.

Os elementos básicos para a construção da usina capaz de gerar e fornecer energia através dos módulos fotovoltaicos, para às cargas e banco de baterias são os seguintes:

- Módulos fotovoltaicos;
- Controlador de Carga;
- Baterias;
- Inversor;

A seguir através da Figura 17 temos a ilustração através de um diagrama de bloco de como será constituído o sistema:

Figura 17 - Diagrama de blocos do sistema fotovoltaico



Fonte: Próprio Autor (2023)

5.2.1 – Dimensionamento da Central Fotovoltaica

Após o levantamento da potência demandada pela carga em relação ao sistema fotovoltaico, localização do local a ser instalado o sistema definido, foi obtido através do CRESESB os valores médios mensais de energia acumulada ao longo de um dia, através de radiação solar, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Irradiação Solar Diária Média Mensal da Cidade de São Paulo				
Estação: São Paulo				
Município: São Paulo, SP - Brasil				
Latitude: 23,5° S				
Longitude: 46,649° O				
Distância do ponto de ref. (23,548889° S; 46,68° O) : 6,3 km				
Irradiação Solar Diária Média Mensal [kWh/m².dia]				
Mês	Plano Horizontal (0° N)	Ângulo igual a Latitude (24° N)	Maior Média Anual (21° N)	Maior Mínimo Mensal (34° N)
JAN	5,22	4,72	4,81	4,37
FEV	5,48	5,22	5,28	4,93
MAR	4,7	4,83	4,85	4,71
ABR	4,14	4,7	4,66	4,75
MAI	3,42	4,24	4,16	4,41
JUN	3,17	4,13	4,04	4,37
JUL	3,24	4,12	4,04	4,33
AGO	4,2	4,99	4,93	5,13
SET	4,24	4,5	4,5	4,45
OUT	4,76	4,64	4,69	4,43
NOV	5,14	4,7	4,79	4,38
DEZ	5,69	5,05	5,16	4,63
MÉD	4,45	4,65	4,66	4,57

Fonte: CRESESB, 2023

Para se realizar a avaliação do potencial solar de qualquer localidade é necessário conhecer a declinação (δ), solar da região. Os valores de declinação para latitudes inferiores ou iguais a 66,5°, são encontrados na tabela 4 dados provenientes da tabela 1.6.1 do livro (DUFFIE & BECKMAN, 2006).

Tabela 4 - Dia médio do ano e de declinação solar média mensal												
Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
n	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
δ	-20,9	-13,0	-2,4	9,4	18,8	23,1	21,2	13,5	2,2	-9,6	-18,9	-23,0

Fonte: Tabela 1.6.1 do livro (DUFFIE & BECKMAN, 2006)

Onde:

n: número do dia médio do ano por mês;

δ : declinação solar média mensal em graus.

A partir dos dados obtidos e coletados, calculou-se o período de insolação diária média, incidente na localidade estudada, conforme sequencia realizada abaixo:

Conhecendo os valores de latitude do local e a declinação, determinou-se o ângulo horário do pôr do sol (ω_s) através da Equação (3).

$$\cos \omega_s = -\tan \phi * \tan \delta \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

ω_s - é o ângulo horário do pôr do sol, dado em $^\circ$;

ϕ - é a latitude do local, dado em $^\circ$ (capítulo 3);

δ - é a declinação solar, dado em $^\circ$.

Através do ângulo horário do pôr do sol (ω_s), é possível calcular a duração da insolação (N), por meio da Equação (4).

$$N = \left(\frac{2}{15} \right) * \omega_s \quad (\text{Eq. 4})$$

Conforme a Tabela 5, é possível observar os valores mensais médios de duração de insolação solar, para a cidade de São Paulo, após serem realizadas as operações das equações 3 e 4.

Tabela 5 - Valores de ângulo horário pôr do sol e insolação média mensal

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ω_s	99,6	95,8	91	85,7	81,5	79,3	80,3	84	89	94,2	98,6	100,7
N	13,3	12,8	12,1	11,4	10,9	10,6	10,7	11,2	11,9	12,6	13,2	13,4

Fonte: Próprio Autor (2023)

Após a obtenção dos valores de duração média de insolação (N) conforme a Tabela 5 foi possível obter a média anual em aproximadamente 12h e dados de radiação diária

média (HT) para inclinação de 21° N, pode-se calcular o valor correspondente à irradiação solar média sobre a superfície inclinada, através da Equação 5.

$$H_T = \frac{HT \cdot 1000}{N} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$H_T = \frac{4,66 \cdot 1000}{12} = 388,3 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

H_T irradiação média mensal no plano inclinado, dado em W/m^2 ;

HT radiação integrada diária média no plano inclinado, dado em $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$;

N insolação média, dado em h;

A irradiação média no plano inclinado e a temperatura ambiente, determinam a temperatura de operação na qual a célula fotovoltaica irá operar e é dada através da Equação 6.

$$T_c = T_a + \frac{G_T}{800} \cdot (T_{NOC} - 20) \cdot 0,9 \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

T_c temperatura de operação da célula fotovoltaica, dado em $^\circ\text{C}$;

T_a temperatura média anual, dado em $^\circ\text{C}$;

G_T radiação solar média mensal no plano da célula fotovoltaica, dado em W/m^2 ;

T_{NOC} temperatura nominal de operação da célula fotovoltaica, dado em $^\circ\text{C}$.

Conforme os valores das temperaturas mínima, média e máxima anual do local de instalação do sistema fotovoltaico (capítulo 5.1). É possível calcular as temperaturas de operação da célula fotovoltaica anual do projeto. Porém é preciso definir qual o painel

fotovoltaico será utilizado, para através de seus dados técnicos obter as constates e valores necessários para a determinação da temperatura de operação da célula ao longo do ano.

5.2.1.1 – Determinação do módulo fotovoltaico

Com a carga demandada determinada, se torna possível realizar a escolha do módulo fotovoltaico a ser utilizado, conhecendo valores de temperaturas anuais do ambiente e irradiação solar que são os fatores que mais influenciam no funcionamento e desempenho dos módulos. Sendo a irradiação solar, responsável pela corrente fornecida pelo modulo através da tensão de trabalho, por sua vez a temperatura, que ao possuir elevadas temperaturas de operação, impacta em uma menor potência de saída do módulo, conforme figura 18. Através das informações obtidas, foi escolhido o seguinte modelo de modulo fotovoltaico HiKu7 Mono PERC, da fabricante Canadian Solar, que em sua especificação varia de 640W a 665W. A Figura 17, apresenta os parâmetros do equipamento, a princípio iremos trabalhar com o modelo de maior eficiência sendo o 665MS.

Figura 18 - Folha de dados do Módulo Fotovoltaico HiKu7 Mono PERC – CS7N

ELECTRICAL DATA STC*								
CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS	
Nominal Max. Power (Pmax)	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W	675 W	
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	
Opt. Operating Current (Imp)	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A	17.36 A	
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V	
Short Circuit Current (Isc)	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A	18.59 A	
Module Efficiency	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%	21.7%	
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C							
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL))							
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)							
Max. Series Fuse Rating	30 A							
Application Classification	Class A							
Power Tolerance	0 ~ + 10 W							

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

ELECTRICAL DATA NMOT*								
CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS	
Nominal Max. Power (Pmax)	484 W	487 W	491 W	495 W	499 W	502 W	506 W	
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V	
Opt. Operating Current (Imp)	13.72 A	13.74 A	13.76 A	13.79 A	13.83 A	13.85 A	13.88 A	
Open Circuit Voltage (Voc)	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V	43.3 V	43.5 V	
Short Circuit Current (Isc)	14.80 A	14.83 A	14.86 A	14.89 A	14.93 A	14.96 A	14.99 A	

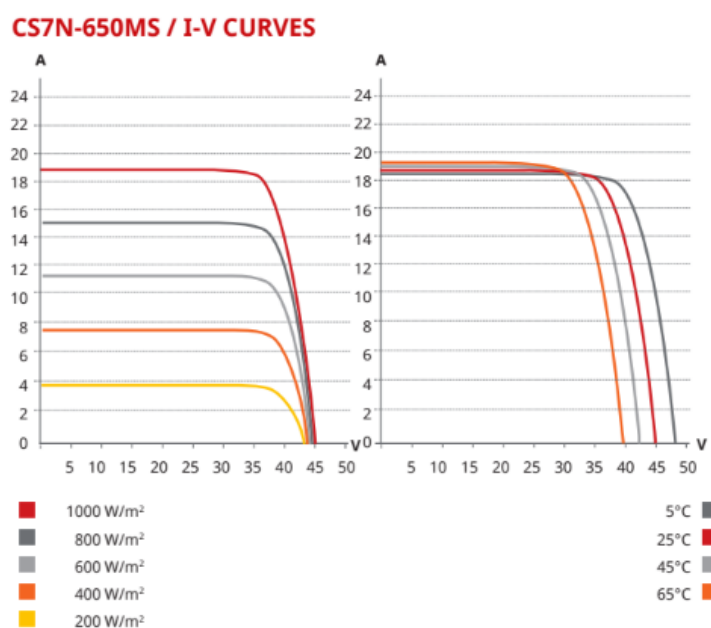
* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

Fonte: Canadian Solar (2023)

Figura 19 - Curva de Corrente x Tensão do Módulo CS7N – 650MS



Fonte: Canadian Solar (2023)

A potência média do módulo fotovoltaico é possível definir através da Equação 7, a partir da temperatura média anual de operação da célula resolvendo a Equação 6.

$$T_c = 20,4 + \frac{388,3}{800} * (42 - 20) * 0,9 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Eq. 6)}$$

$$P_{MPm} = P^{\circ}_{MP} * \frac{G_T}{G_{ref}} * [1 + \gamma_{mp} * (T_c - T_{ref})] \text{ (Eq. 7)}$$

Onde:

P_{MPm} potência média do modulo, dado em W;

P°_{MP} potência nominal do modulo em condições STC, dado em W;

G_T radiação solar média mensal no plano da célula fotovoltaica, dado em W/m²;

G_{ref} radiação solar em condições de STC, dado em W/m²;

γ_{mp} coeficiente de temperatura para potencia do painel, dado em $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

T_c temperatura de operação da célula fotovoltaica, dado em $^{\circ}\text{C}$;

T_{ref} temperatura da célula em condições de STC, em $^{\circ}\text{C}$;

Resolvendo a Equação 7, temos a potência média do módulo fotovoltaico.

$$P_{MPm} = 665 * \frac{388,3}{1000} * [1 + (-0,0034) * (30 - 25)] = 253,83 \text{ W} \quad (\text{Eq. 7})$$

O sistema fotovoltaico terá sua capacidade de geração de energia, dado pela Equação 8, onde temos o valor de demanda do projeto específico, o número de horas de sol pleno (HSP) da localidade em função do ângulo igual a latitude fornecida pelo CRESESB, ver Tabela 3.

$$E_{rede} = N * P^o_{MP} * HSP * TD \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

E_{rede} energia necessária a ser gerada pelo sistema fotovoltaico no ponto de conexão com a carga, dado em Wh/dia;

N quantidade de módulos fotovoltaicos do sistema;

P^o_{MP} potência nominal do módulo fotovoltaico em condições STC, dado em Wp;

n_{SPMP} eficiência do seguidor de ponto de máxima potência;

HSP média anual diária de horas de sol pleno incidente no módulo, dado em h/dia;

TD taxa de desempenho do gerador fotovoltaico, recomendado entre 0,7 a 1,05 no Brasil (CRESESB).

Para o dimensionamento do gerador fotovoltaico, é necessário ser considerado as perdas elétricas no sistema, para atender a potência demandada pela carga. Conforme a Tabela 6.

Tabela 6 - Dados Perdas Elétricas		
Perdas Elétricas no Sistema Fotovoltaico		
Potência Consumida	Potência Aparente	8,3 kVA
	Potência Ativa	7,6 kW
Perdas Técnicas	Eficiência Inversor	93%
	Eficiência Instalação	95%
	Eficiência MPPT	99,50%
	Outras Perdas	97%
	Total perdas	85,27%
Potência Gerador FV	Potência Aparente	9,73 kVA
	Potência Ativa	8,91 kW

Fonte: Próprio Autor (2023)

Com os valores de perdas elétricas, potência necessária definida e energia diária gerada pelo modulo fotovoltaico, é possível definir por meio da Equação 9 a quantidade de módulos requisitados.

$$N = \frac{E_{rede}}{P^o_{MP} * HSP * TD} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

N quantidade de módulos fotovoltaicos do sistema;

E_{rede} energia necessária a ser gerada pelo sistema fotovoltaico no ponto de conexão, dado em Wh/dia;

P^o_{MP} potência nominal do modulo fotovoltaico em condições STC, dado em Wp;

HSP média anual diária de horas de sol pleno incidente no modulo, dado em h/dia;

TD taxa de desempenho do gerador fotovoltaico, recomendado entre 0,7 a 1,05 no Brasil (CRESESB).

$$N = \frac{183.300}{665 * 4,66 * 0,8527} = 69,4 \cong 70 \text{ Módulos} \quad (\text{Eq. 9})$$

Através da quantidade de módulos necessários, pode-se calcular a área necessária pelos módulos fotovoltaicos através da Equação 10, através dos dados físicos fornecidos pelo fabricante, conforme Figura 19.

Figura 20 - Informações mecânicas do Módulo Fotovoltaico HiKu7 Mono PERC – CS7N

MECHANICAL DATA	
Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-ref- lective coating
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 250 mm (9.8 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	558 pieces
* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.	

Fonte: Canadian Solar (2023)

$$A_{MF} = L_{MF} * C_{MF} \text{ (Eq. 10)}$$

Onde:

A_{MF} área demandada pelo modulo fotovoltaico, dado em m²;

L_{MF} largura modulo fotovoltaico, dado em m;

C_{MF} comprimento módulo fotovoltaico, dado em m.

$$A_{MF} = 1,303 * 2,384 = 3,11 \text{ m}^2 \text{ (Eq. 10)}$$

5.2.1.1 – Arranjo Fotovoltaico

Para a configuração do arranjo fotovoltaico, deve-se calcular os níveis de tensão para as condições do local de instalação através dos dados obtidos de temperaturas máximas e mínimas. Com os valores de tensões e características do inversor, pode-se definir a configuração do arranjo fotovoltaico, o cálculo da tensão é dado pela Equação 11.

$$V_{oc} = V_{oc}^{\circ} * [1 + \gamma_{oc} * (T_c - T_c^{\circ})] \text{ (Eq. 11)}$$

Onde:

V_{oc} tensão do modulo fotovoltaico para determinada temperatura de operação, dado em V;

V_{oc}° tensão na condição STC, dado em V;

γ_{oc} coeficiente de temperatura na condição STC, dado em °C⁻¹;

T_c temperatura de operação da célula, dado em °C;

T_c° temperatura de referência, dado em °C.

Segundo a INMET a temperatura média máxima mensal anual em São Paulo foi de 26,1 °C, o qual se refere a temperatura máxima de operação da célula. Sendo GT a radiação solar no plano da célula, dado em W/m², correspondente ao pior caso que acontecer de 1.000W/m, é possível calcular a temperatura de operação da célula através da Equação 6 e a tensão de circuito aberto mínima através da Equação 11.

$$T_{cmax} = 26,1 + \frac{1000}{800} * (42 - 20) * 0,9 = 50,85 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Eq. 6)}$$

$$V_{ocmin} = 45,6 * [1 + (-0,0026) * (50,85 - 25)] = 42,53 \text{ V} \text{ (Eq. 11)}$$

A temperatura mínima recorde em São Paulo foi de 7 °C, o qual resulta na temperatura mínima recorde de operação da célula durante a noite, dado pela Equação 6a. A tensão de circuito aberto máxima do modulo fotovoltaico é dado pela Equação 12.

$$T_{cmin\ noite} = 7 + \frac{0}{800} * (42 - 20) * 0,9 = 7\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Eq. 6a)}$$

$$V_{oc\ max} = 45,6 * [1 + (-0,0026) * (7 - 25)] = 47,73\text{ V} \text{ (Eq. 12)}$$

Sendo o mês de julho com menor média de Temperatura registrada em 16,4°C, é calculada a temperatura mínima da célula durante o dia sob radiação, através da Equação 6b.

$$T_{cmin\ julho} = 16,4 + \frac{336,7}{800} * (42 - 20) * 0,9 = 24,73\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Eq. 6b)}$$

Segundo a INMET, a temperatura média máxima mensal anual em São Paulo foi de 26,1°C, o qual se refere a temperatura máxima de operação da célula. Sendo GT a radiação solar média mensal no plano da célula, dado em W/m, correspondente ao mês com maior irradiância (fevereiro) é possível calculara temperatura máxima de operação da célula através da Equação 6c.

$$T_{cmax\ fev} = 26,1 + \frac{440}{800} * (42 - 20) * 0,9 = 36,99\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Eq. 6c)}$$

Através das temperaturas máximas e mínimas obtidas, é possível obter os valores de tensões máxima e mínima de operação de cada módulo. Sendo assim a tensão máxima para temperatura mínima média mensal é dado pelas Equações 13 e 14:

$$V_{MP\ max} = 38,5 * [1 + (-0,0026) * (24,73 - 25)] = 38,53\text{ V} \text{ (Eq. 13)}$$

Para a temperatura média mensal máxima, temos a tensão mínima de:

$$V_{MP\ min} = 38,5 * [1 + (-0,0026) * (36,99 - 25)] = 37,30\text{ V} \text{ (Eq. 14)}$$

O inversor selecionado opera com a faixa de tensão em CC entre 120~400V, sendo assim o número de painéis conectados em série é dado pelas Equações 15 e 16.

$$N_{série} > \frac{V_{SPMP\ min}}{V_{MP\ min}} \text{ (Eq. 15)}$$

Onde:

$N_{série}$ número mínimo de painéis conectados em série;

$V_{SPMP\ min}$ tensão mínima da faixa de operação do inversor, dado em V;

$V_{MP\ min}$ tensão mínima do ponto de máxima potência do modulo, dado em V.

$$N_{série} < \frac{V_{SPMP\ max}}{V_{MP\ max}} \text{ (Eq. 16)}$$

Onde:

$N_{série}$ número máximo de painéis conectados em série;

$V_{SPMP\ max}$ tensão máxima da faixa de operação do inversor, dado em V;

$V_{MP\ max}$ tensão máxima do ponto de máxima potência do modulo, dado em V.

A quantidade de módulos, mínimo e máximo, que podem ser conectados no inversor é dado pelas Equações 15 e 16.

$$N_{série} > \frac{120}{37,30} = 3,2 \quad N_{série} < \frac{400}{38,53} = 10,3 \text{ (Eq. 15) (Eq. 16)}$$

A corrente máxima gerada no modulo, pode ser definida através da Equação 17.

$$I_{SC} = I_{SC}^{\circ} * [1 + \gamma_{SC} * (T_c - T_c^{\circ})] \text{ (Eq. 17)}$$

Onde:

I_{SC} corrente do modulo fotovoltaico para determinada temperatura de operação, dado em A;

I_{SC}° corrente na condição STC, dado em A;

γ_{SC} coeficiente de temperatura nas condições STC, dado em °C⁻¹;

T_c temperatura de operação da célula, dado em °C;

T°_C temperatura de referência, dado em °C.

Através da Equação 17, encontramos a corrente máxima gerada pelo módulo, sendo essa a corrente de curto circuito do projeto.

$$I_{SC} = 18,51 * [1 + 0,0005 * (36,99 - 25)] = 18,62 \text{ A} \text{ (Eq. 17)}$$

A corrente máxima suportada pelo inversor é de 80A como pode ser observada no capítulo 5.2.2.1, sendo assim é possível determinar a quantidade de conjuntos de módulos associados em paralelo, através da Equação 18.

$$N_{paralelo} < \frac{I_{max}}{I_{SC}} \text{ (Eq. 18)}$$

Onde:

$N_{paralelo}$ número máximo de conjuntos de painéis conectados em paralelo;

I_{max} corrente máxima por string do inversor, dado em A;

I_{SC} corrente do módulo fotovoltaico para determinada temperatura de operação, dado em A;

Sendo assim, o número de conjuntos admissível pelo inversor em cada string é de:

$$N_{paralelo} < \frac{80}{18,62} \cong 4,3 \text{ (Eq. 18)}$$

O valor de corrente de operação de cada módulo fotovoltaico é dado pela Equação 19.

$$P_{MP} = V_{MP \text{ Med}} * I_{MP} \text{ (Eq. 19)}$$

Onde:

P_{MP} potência média do módulo fotovoltaico, dado em W;

$V_{MP Med}$ tensão média de operação do módulo fotovoltaico, dado em V;

I_{MP} corrente média de operação do módulo fotovoltaico, dado em A.

Sendo assim, através das Equações 6, 20 e 21:

$$T_c = 20,4 + \frac{388,3}{800} * (42 - 20) * 0,9 = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Eq. 6)}$$

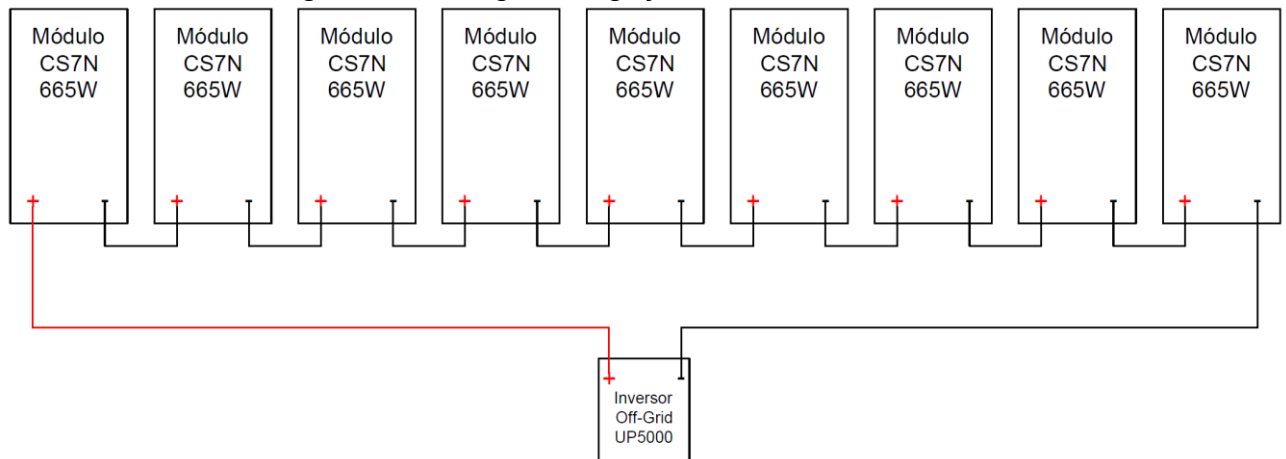
$$V_{MP Med} = 38,5 * [1 + (-0,0026) * (30 - 25)] = 37,9 \text{ V (Eq. 20)}$$

$$I_{MP} = \frac{P_{MP}}{V_{MP}} = \frac{253,83}{37,9} = 6,7 \text{ A (Eq. 21)}$$

Através da quantidade de painéis fotovoltaicos do sistema e do fator de dimensionamento do inversor igual a 80%, conforme o capítulo 5.2.2.1, foi possível dimensionar a potência necessária do inversor em 37.240W, a fim de atender as necessidades e especificações o Gerador fotovoltaico – que será composto por 72 módulos monocristalinos de 665 Wp, sendo 8 *strings* principais, cada um com 1 conjuntos em série de 9 módulos; Inversor – 8 inversores com potência nominal em CA de 5 kW cada e tensão de 220V.

A Figura 21 apresenta a exemplificação da ligação de 1 *string* com 9 módulos e 1 inversor.

Figura 21 – Diagrama ligação módulos fotovoltaicos



Fonte: Próprio Autor (2023)

As tensões de operação de máxima potência de cada string estão dentro das especificações da faixa de operação do inversor e as tensões de circuito aberto não ultrapassam a tensão máxima em CC do inversor. A corrente de curto circuito e a corrente de operação de máxima potência, são inferiores a corrente máxima suportável por cada *string* do inversor, sendo assim atendido as especificações técnicas do inversor utilizado.

5.2.2 – Dimensionamento do Inversor Off-Grid

O inversor *off-grid* é um equipamento conversor estático de potência, que converte a corrente contínua entregue pelas baterias em corrente alternada, operando como uma fonte de tensão que alimenta cargas em corrente alternada, sendo utilizado em sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica. Segundo o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), os inversores *off-grid* devem apresentar os seguintes valores de eficiência, de acordo com sua taxa de operação:

- $\geq 75\%$, na faixa de operação entre 10% (inclusive) e 20%, da potência nominal;
- $\geq 80\%$, na faixa de operação entre 20% (inclusive) e 50%, da potência nominal;
- $\geq 85\%$, na faixa de operação entre 50% (inclusive) e 100%, da potência nominal.

O inversor selecionado opera na faixa de operação igual a 93% se enquadrando

na faixa de $\geq 85\%$ o qual irá operar entre 50% e 100% de sua capacidade de potência nominal. Por se tratar de um sistema isolado, o inversor *off-grid* opera normalmente conectado ao banco de bateria e possui como característica tensões de entrada de 12, 24 e 48 (VDC), de acordo com a tensão do Banco de Bateria, convertendo em 120 ou 240 *Volts Alternating Current* (VAC).

5.2.2.1 – Fator de Dimensionamento de Inversor – FDI

O fator de dimensionamento de Inversor representa a relação entre a capacidade nominal de potência do inversor e a potência máxima do sistema fotovoltaico. De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos, o FDI possui valores inferiores e superiores que se referem a latitude de instalação do sistema fotovoltaico. Sendo o fator de 0,75 a 1,20 da potência nominal do gerador, em casos de baixas latitudes ou baixas temperaturas o sistema fotovoltaico opera próximo de sua potência nominal devido aos picos de radiação frequentes e intensos, sendo aconselhado o FDI de limites superiores de acordo com a localização. Para localizações onde a radiação solar possui valores com índices baixos, recomenda-se a utilização de um fator inferior.

No estudo de caso realizado, a latitude da instalação é de 21° , e seguindo assim os parâmetros informados, foi adotado um FDI de 80%. O FDI é calculado através da Equação (22).

$$FDI = \frac{P_{inv}}{P_{GF}} \text{ (Eq. 22)}$$

Onde:

FDI fator de dimensionamento do inversor;

P_{inv} potencia nominal do inversor, dado em W;

P_{GF} potencia nominal gerador fotovoltaico, dado em Wp.

$$P_{inv} = 70 * 665 * 0,8 = 37.240 \text{ W (Eq. 22)}$$

Potência recalculada final (ajustado para 72 módulos) e novo FDI, através da Equação 22b.

$$P_{inv} = 72 * 665 * 0,835 = 40.000 \text{ W (Eq. 22b)}$$

O sistema *off-grid* irá atender ao consumo estimado de 183,3 kWh/dia, sendo o valor de demanda de energia simultânea, dado em 7,6 kWh, é necessário a escolha de um inversor específico para sistema off-grid, o qual necessita suprir a demanda de energia de máxima potência e picos de energia, exigidos pelos equipamentos além de fazer a gestão do banco de bateria junto com o controlador de carga MPPT. O inversor fotovoltaico off-grid escolhido para o projeto é o modelo Inversor Off Grid Híbrido Epever UPower-Hi UP5000 - 80A MPPT - 48/220V, o suficiente para suprir a demanda energética de todas as cargas.

O inversor possui o controlador MPPT interno, com capacidade para até 4kWp, o qual irá gerir a energia produzida pelo gerador fotovoltaico e a carga e descarga do banco de bateria. As principais características do inversor são:

Dados do Inversor

Potência de Saída (contínua): 5.000 W

Potência Máxima de Surto: 8.000 W

Tensão de Saída: 220 / 230 V

Frequência: 50 / 60 Hz

Distorção Harmônica: <3%

Máx. Eficiência: 93 %

Dados de Entrada de Bateria

Tipo de Bateria: Chumbo ácido / Lítio

Tensão da Bateria: 48 Vdc

Máx. Corrente de Carga e Descarga: 80 A

Dados do Carregador Solar

Máx. Potência de Pannel Fotovoltaico: 4.000 W

Máx. de Pannel em Circuito Aberto: 400 V

Faixa de Tensão do MPPT: 120 / 400 V

Máx. Corrente de Carga: 80 A

5.2.3 - Dimensionamento do Banco de Baterias

O banco de baterias é o ponto crucial para o sistema *off-grid* deve ter carga suficiente para atender o consumo total por pelo menos 36 horas sem irradiação solar ou geração fotovoltaica mínima para recarga. Para o banco de baterias foi considerado o descarregamento de no máximo 80% da capacidade da bateria para evitar danos ou perda de capacidade de armazenamento. Para o projeto foi utilizado baterias com as características indicadas no anexo 2.

Com o dimensionamento de carga obtido em 183,3 kWh/dia, o banco será dimensionado garantindo autonomia mínima de 36 horas (1 dia e meio), tendo a capacidade de gerar uma demanda de 274,95 kWh de carga (consumo das cargas por 36 horas consecutivas).

Utilizando a Equação 23 é possível descobrir a energia necessária armazenada pelo banco de baterias necessário para promover autonomia ao sistema proposto de no mínimo 36 horas sem irradiação solar.

$$E_A = \frac{E_c}{P_d} \text{ (Eq. 23)}$$

Onde:

E_A energia necessária armazenada no banco, dado em Wh;

E_c energia consumida diária, dado em Wh;

P_d profundidade de descarga admissível para bateria de Íon-Lítio adotado em 80%;

$$E_A = \frac{274950}{0,8} = 343688 \text{ Wh (Eq. 23)}$$

A partir da capacidade de energia a ser armazenada, é possível realizar o dimensionamento da capacidade do banco de baterias em Ampère-hora (Ah), através da Equação 24:

$$C_{Banco} = \frac{E_A}{V_{Banco}} \text{ (Eq. 24)}$$

Onde:

C_{Banco} potencial de carga do banco de bateria, dado em Ah;

E_A energia necessária armazenada no banco, dado em Wh;

V_{Banco} tensão do banco de bateria, adotado em 48 V.

$$C_{Banco} = \frac{343688}{48} = 7160,2 \text{ Ah} \text{ (Eq. 24)}$$

O número de baterias necessárias para é definido pela Equação 25:

$$N_{Bat} = \frac{C_{Banco}}{C_{Bat}} \text{ (Eq. 25)}$$

Onde:

N_{Bat} número de baterias necessárias para compor o banco de baterias;

C_{Banco} potencial de carga do banco de bateria, dado em Ah;

C_{Bat} potencial de carga de cada bateria, adotado em 200 Ah.

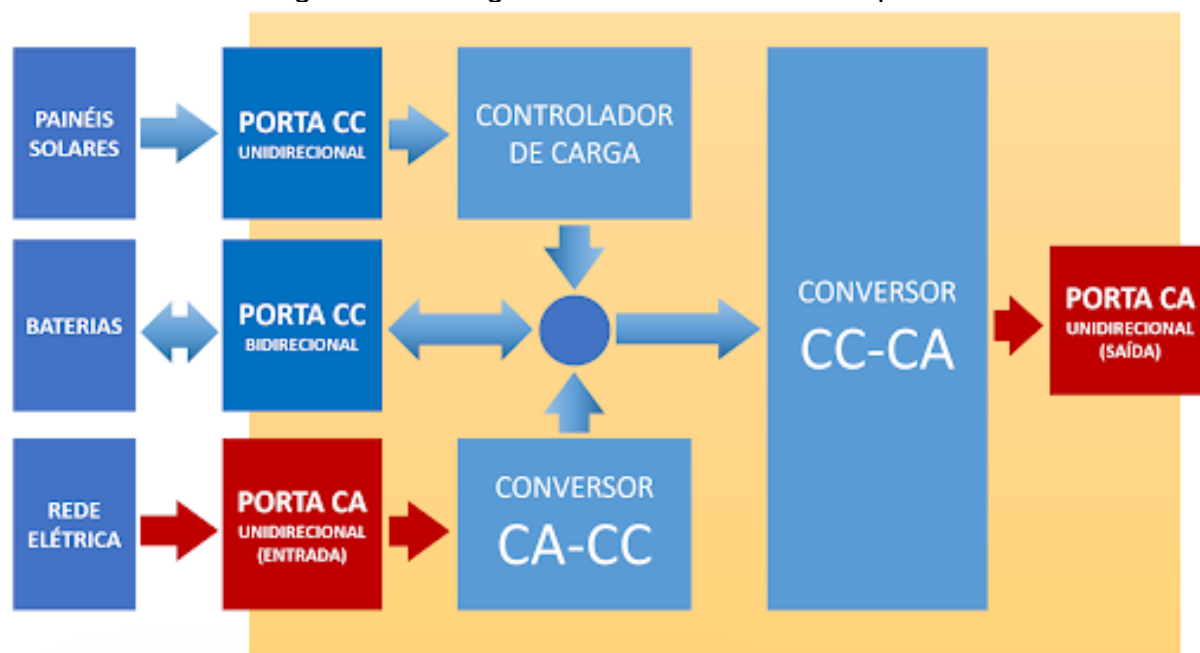
$$N_{Bat} = \frac{7160,2}{200} = 35,8 \cong 36 \text{ Baterias} \text{ (Eq. 25)}$$

Sendo assim, foi escolhido o modelo de bateria de *Powerbox* de Lítio 200Ah 9,6kWh da Dyness Solar, o qual possui 9,6 kWh de potência nominal. Através da

profundidade de descarga admissível de 80% recomendado pelo fabricante, obtém-se o potencial de 7,68 kWh utilizável. São necessários 36 baterias em paralelo para gerar 276,48 kWh, o suficiente para suprir a demanda especificada de 36 horas de uso contínuo.

A Figura 22 apresenta o funcionamento completo do sistema, bem como os fluxos possíveis de CC e CA.

Figura 22 – Diagrama sistema elétrico completo



Fonte: Marcelo Villalva. Adaptado (2023)

6 – ANÁLISE E RESULTADOS

O gerador fotovoltaico atende a necessidade de potência consumida pelo sistema de Missão Crítica e é composto por 72 módulos e deve cobrir uma área de 224 m², que se encontra dentro do espaço disponível para instalação que é de 300m². A utilização do banco de baterias com autonomia de 36 horas se apresenta o suficiente para atender a demanda, uma vez que através do inversor off-grid híbrido possui uma segunda entrada de fonte de energia se tornando possível a utilização de fonte alternativa de energia através da concessionária em caso de não geração suficiente pelo gerador fotovoltaico.

O estudo de viabilidade econômica é realizado através de técnicas financeiras para se verificar se o investimento do projeto trará retornos rentáveis e operacionais ao sistema que é proposto. Estudos financeiros através de *Payback* Descontado e Taxa Interna de Retorno (TIR), serão aplicadas no presente estudo. A tabela 7, apresenta os valores obtidos em mercado referente aos equipamentos necessários do projeto.

Tabela 7 - Valores Equipamentos do Projeto

Materiais	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Módulo Fotovoltaico	72	1145	82440
Inversor	8	6200	49600
Bateria	36	25000	900000
Cabeamento	1	25000	25000
Comissionamento	1	80000	80000
		Total	1137040

Fonte: Próprio Autor (2023)

De acordo com a ENEL-SP, desde 04/07/2022 os valores tarifários para horário de ponta na modalidade A4 (2,3 a 25 kV) é de 0,39208 R\$/kWh e para horário fora de ponta é de 0,24850 R\$/kWh, não estão sendo consideradas as bandeiras tarifárias neste caso. Aplicando as alíquotas de impostos de 18% para ICMS e 6% para PIS e COFINS, temos os valores da tarifa de energia de 0,5159 R\$/kWh horário de ponta e 0,3270 R\$/kWh horário fora de ponta. Conforme a tabela 8, temos a valor gasto total por mês em energia elétrica que é o fluxo de caixa mensal de R\$ 1.883,96.

Tabela 8 - Valor gasto em Energia Elétrica

Tarifa de Ponta Semanal		Quantidade de Horas	Valor Diário	Valor Mensal
kWh	Tarifa			
7,6	R\$ 0,52	3	R\$ 11,76	R\$ 258,77
Tarifa Fora de Ponta Semanal		Quantidade de Horas	Valor Diário	Valor Mensal
kWh	Tarifa			
7,6	R\$ 0,33	21	R\$ 52,19	R\$ 1.148,07
Tarifa Fora de Ponta Final de Semana		Quantidade de Horas	Valor Diário	Valor Mensal
kWh	Tarifa			
7,6	R\$ 0,33	24	R\$ 59,64	R\$ 477,12
			Total	R\$ 1.883,96

Fonte: Próprio Autor (2023)

A análise através do *Payback* Descontado possui os valores representados na tabela 9.

Tabela 9 - *Payback* Descontado

Taxa	Painel Solar <i>Payback</i> Descontado							
1,03	Anos	Fluxo	PAYBACK DESC 3%	PAYBACK DESC 15%	PAYBACK DESC 28%			
1,15	0	-1137040	FL Ajus	FL Acum	FL Ajus	FL Acum	FL Ajus	FL Acum
1,28	1	1875	1820	-1135220	1630	-1135410	1465	-1135575
	2	1875	1767	-1133452	1418	-1133992	1144	-1134431
	3	1875	1716	-1131736	1233	-1132759	894	-1133537
	4	1875	1666	-1130070	1072	-1131687	698	-1132838
	5	1875	1617	-1128453	932	-1130755	546	-1132292
	6	1875	1570	-1126883	811	-1129944	426	-1131866
	7	1875	1525	-1125358	705	-1129239	333	-1131533
	8	1875	1480	-1123878	613	-1128626	260	-1131273
	9	1875	1437	-1122441	533	-1128093	203	-1131070
	10	1875	1395	-1121046	463	-1127630	159	-1130911
	11	1875	1355	-1119691	403	-1127227	124	-1130787
	12	1875	1315	-1118376	350	-1126876	97	-1130690
	13	1875	1277	-1117099	305	-1126572	76	-1130614
	14	1875	1240	-1115860	265	-1126307	59	-1130555
	15	1875	1203	-1114656	230	-1126076	46	-1130509
	16	1875	1168	-1113488	200	-1125876	36	-1130473
	17	1875	1134	-1112354	174	-1125702	28	-1130444
	18	1875	1101	-1111252	152	-1125550	22	-1130422
	19	1875	1069	-1110183	132	-1125418	17	-1130405
	20	1875	1038	-1109145	115	-1125304	13	-1130392
	21	1875	1008	-1108137	100	-1125204	11	-1130381
	22	1875	979	-1107158	87	-1125118	8	-1130373
	23	1875	950	-1106208	75	-1125042	6	-1130366
	24	1875	922	-1105286	66	-1124977	5	-1130361
	25	1875	896	-1104390	57	-1124920	4	-1130358

Fonte: Próprio Autor.

Tendo em vista os valores obtidos como retorno no *Payback* Descontado, foi realizada a análise através da TIR, considerando uma taxa de porcentagem igual a três, apresentado na tabela 10. Resultando na confirmação de que a instalação do sistema não é aprovada e recomendada economicamente, uma vez que a o sistema fotovoltaico possui vida útil de 25 anos, contudo o fator de maior impacto financeiro no sistema *off-grid* possui 10 anos de garantia, no caso o banco de baterias, apresentando mais indícios de reprovação econômica.

Tabela 10 - TIR

Painel Solar TIR			
Investimento (M)	Fluxo de Caixa (M)	Anos	VP 3%
-1137040	0	0	-1137040,00
	1884	1	1829,13
	1884	2	1775,85
	1884	3	1724,13
	1884	4	1673,91
	1884	5	1625,15
	1884	6	1577,82
	1884	7	1531,86
	1884	8	1487,25
	1884	9	1443,93
	1884	10	1401,87
	1884	11	1361,04
	1884	12	1321,40
	1884	13	1282,91
	1884	14	1245,55
	1884	15	1209,27
	1884	16	1174,05
	1884	17	1139,85
	1884	18	1106,65
	1884	19	1074,42
	1884	20	1043,13
	1884	21	1012,74
	1884	22	983,25
	1884	23	954,61
	1884	24	926,80
	1884	25	899,81
TIR			-19,35%

Fonte: Próprio Autor.

Com o valor da TIR de -19,79% indica a inviabilidade do sistema, implicando em não possuir retorno financeiro com o projeto, não se tornando atrativo para a implantação.

7 – CONCLUSÃO

O estudo de caso, possibilitou elaborar com êxito um estudo para implantação de um sistema fotovoltaico *off-grid* para ambiente de missão crítica para atender toda a demanda energética necessária para a realização de Transmissão RF. Apesar de todo o estudo ter sido de grande aprendizagem, em análise financeira realizada, o projeto se caracterizou inviável, conforme estudos de *Payback* Descontado e TIR apresentados. Por se tratar de um sistema *off-grid*, a demanda por banco de baterias e autonomia segura, fizeram com que o projeto tivesse um valor de investimento expressivo devido a tecnologia e alta demanda energética utilizada.

Neste trabalho foram realizados estudos e medições de consumo elétrico presenciais na empresa The Walt Disney Company no Brasil, análise da localidade e telhados para a acomodação do gerador fotovoltaico, e obtenção das características de irradiação solar da localidade e estimativa de energia gerada pelo sistema fotovoltaico proposto. Através das análises realizadas o projeto se apresenta tecnicamente viável, capaz de atender toda a demanda de energia consumida pela sala de Transmissão RF, porém devido a necessidade de se utilizar um sistema *off-grid* financeiramente não se torna atrativo a implementação do sistema. Contudo, para um caso de sistema *on grid* o estudo e sistema propostos se tornam viáveis e atrativos, em função da oportunidade de usufruir do sistema de compensação de energia, além da possibilidade de participação da rede de energia da concessionária para eventual carregamento do banco de baterias.

Apesar da inviabilidade do projeto na concepção de sistema isolado deste trabalho proposto, é possível em situações futuras o uso de sistemas *off-grid* para missão crítica, o qual deverão ser feitos estudos e avaliação de novas tecnologias e equipamentos disponíveis no mercado, estes que estão em constante crescimento e melhorias. Outra opção a ser estudada que se mostra viável, mas não foi abordado neste estudo de caso, seria a utilização de um sistema híbrido, com a utilização de fonte fotovoltaica, banco de baterias e energia da concessionária de energia elétrica. Sendo possível, realizar o estudo do uso de energia proveniente da concessionária de energia elétrica, somente em momentos de horários fora de ponta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO (CRESESB). Disponível em: <<http://cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 15 Jan. 2023

Gillin, P. *The State of Renewable Energy for Data Centers*. Disponível em: <<https://www.datacenterfrontier.com/special-reports/article/11427357/the-state-of-renewable-energy-for-data-centers>>. Acesso em: 15 Jan. 2023

Kamiya, G. *Data Centres and Data Transmission Networks*. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>>. Acesso em: 15 Jan. 2023

ABSOLAR. A energia solar é um caminho para reduzir o aquecimento global?. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/a-energia-solar-e-um-caminho-para-reduzir-o-aquecimento-global/>>. Acesso em: 25 Jan. 2023

Roshni, Y. *Satellite Uplink*. Disponível em: <<https://electronicsdesk.com/satellite-uplink.html>>. Acesso em: 25 Jan. 2023

Osaretin, C; Edeko, F. *DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A SOLAR CHARGE CONTROLLER WITH VARIABLE OUTPUT*. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303683238_DESIGN_AND_IMPLEMENTATION_OF_A_SOLAR_CHARGE_CONTROLLER_WITH_VARIABLE_OUTPUT>. 3 Fev. 2023

Ribeiro, G. F. *DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID EM UM MOTORHOME*. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/15114/1/Artigo_Giankarlo_Ribeiro-%20Final.pdf>. Acesso em: 3 Fev. 2023.

RECEN. Descrição e Análise de Inversores Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/viewFile/2428/2231>>. Acesso em: 5 Fev. 2023.

Bocchi, N; Ferracin, L. C; Biaggio, S. R. *PILHAS E BATERIAS: Funcionamento e Impacto Ambiental*. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc11/v11a01.pdf>>. Acesso em: 5 Fev. 2023.

Schoenfisch, M; Dasgupta, A. *Grid-Scale Storage*. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/grid-scale-storage>>. Acesso em: 5 Fev. 2023

Lins, L. R. P. Dimensionamento de sistema fotovoltaico off-grid para Escritório móvel. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/54898/1/2018_tcc_lrplins.pdf>. Acesso em: 18 Fev. 2023.

Tarifas, Taxas e Impostos. Enel Distribuição São Paulo. Disponível em: <https://www.enel.com.br/pt-saopaulo/Corporativo_e_Governo/tabela-de-tarifas.html>. Acesso em: 05 Jun. 2013.

Pinho, J. T.; Galdino, M. A. Manual de Engenharia para Sistema Fotovoltaicos. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 18 Fev. 2023.

Portal Solar. Tipos de Paineis Solar Fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/painel-solar>>. Acesso em: 24 Mar. 2023.

SecPower. Como funciona um sistema de energia solar. Disponível em: <<https://secpower.com.br/energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 24 Mar Abr. 2023.

Enel Green Power. Módulo fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis/energia-solar/modulo-fotovoltaico>>. Acesso em: 25 Mar. 2023.

ENEGEP. BENEFÍCIOS DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_266_526_35096.pdf>. Acesso em: 01 Abr. 2023.

Moras, C. Célula Fotovoltaica: Tudo que você precisa saber. Disponível em: <<https://eletronicadepotencia.com/celula-fotovoltaica/>>. Acesso em: 01 Abr. 2023.

Ministério de Minas e Energia. Capacidade instalada de geração distribuída solar cresce e atinge 18 GW. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/capacidade-instalada-de-geracao-solar-cresce-e-atinge-18-gw#:~:text=E%C3%B3lica%20e%20Solar%20protagonizam%20matriz,renov%C3%A1vel%20na%20matriz%20el%C3%A9trica%20brasileira.>>. Acesso em: 15 Mai. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO. Equipamentos para Geração de Energia Fotovoltaica. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002736.pdf>>. Acesso em: 08 Abr. 2023.

Reis, P. Os 5 painéis solares fotovoltaicos mais potentes do mercado. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/5-paineis-solares-fotovoltaicos-potentes-147950/>>. Acesso em: 08 Abr. 2023.

Abdala, P, J, P. Energia Solar e Eólica. Disponível em: <https://cdn.atenaeditora.com.br/artigos_anexos/1_cd43a511f44e0f2fa19a7b1df71115ca839df136.pdf>. Acesso em: 12 Abr. 2023.

Marsh, J. *Lead acid vs lithium-ion battery comparison*. Disponível em: <<https://news.energysage.com/lithium-ion-vs-lead-acid-batteries/>>. Acesso em: 02 Abr. 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica. ANEEL regulamenta marco legal da Micro e Minigeração Distribuída. Disponível em:< <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2023/aneel-regulamenta-marco-legal-da-micro-e-minigeracao-distribuida>>. Acesso em: 26 Mai. 2023.

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.059, DE 7 DE FEVEREIRO DE 2023. Disponível em:< <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em: 26 Mai. 2023.

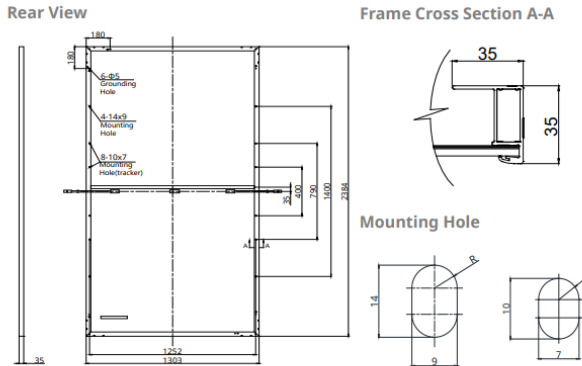
Portal Solar. Tipos de Painel Solar Fotovoltaico. Disponível em:<>. Acesso em: 05 Jun. 2023.

Villalva, M. Inversor fotovoltaico híbrido x inversor fotovoltaico off-grid. Disponível em:<<https://canalsolar.com.br/inversor-hibrido-x-inversor-off-grid/>>. Acesso em: 05 Jun. 2023.

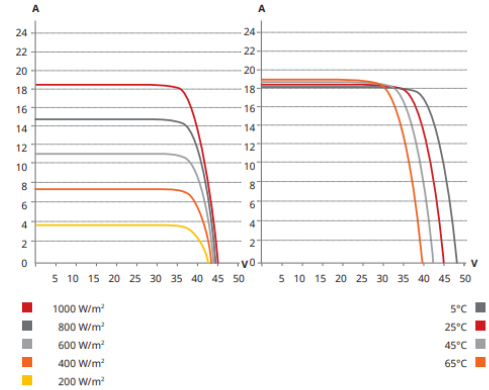
Instituto Nacional de Meteorologia INMET. NORMAIS CLIMATOLÓGICAS DO BRASIL. Disponível em:<<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 10 Mai. 2023.

ANEXO A

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-650MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W	670 W	675 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A	17.32 A	17.36 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V	45.8 V	46.0 V
Short Circuit Current (Isc)	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A	18.55 A	18.59 A
Module Efficiency	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%	21.6%	21.7%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C						
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)						
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)						
Max. Series Fuse Rating	30 A						
Application Classification	Class A						
Power Tolerance	0 ~ + 10 W						

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

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS	670MS	675MS
Nominal Max. Power (Pmax)	484 W	487 W	491 W	495 W	499 W	502 W	506 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.3 V	35.5 V	35.7 V	35.9 V	36.1 V	36.3 V	36.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.72 A	13.74 A	13.76 A	13.79 A	13.83 A	13.85 A	13.88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.3 V	42.5 V	42.7 V	42.9 V	43.1 V	43.3 V	43.5 V
Short Circuit Current (Isc)	14.80 A	14.83 A	14.86 A	14.89 A	14.93 A	14.96 A	14.99 A

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

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2 x (11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 250 mm (9.8 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or T4 or MC4-EVO2 or MC4-EVO2A
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	558 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

Mar. 2023. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V2.42_EN

Powerbox

ENERGY STORAGE SOLUTIONS

LiFePO4 chemistry battery with safe performance and longer cycle life, offering you various capacities to meet more of your requirements.

TUV Certified • CEC Accredited • IP65 Protection • Flexible Expansion

Features and Advantages

Tailor-made Cabinet
Suitable for multi-module installation

Easy to Install
Plug and play

Expandable
Capacity up to 48kWh

High Safety
LFP & smart BMS

Wide Compatibility
Matching with leading inverter brands

Wide temperature
Range of -20~55°C

Tel: +86 400 666 0655
 Web: www.dyness-tech.com
 Email: sales@dyness-tech.com

Technical Parameters

Battery Type	Model				Powerbox			
					LiFePO4			
System Model	F-2.5 1 Module	F-5.0 2 Modules	F-7.5 3 Modules	F-10.0 4 Modules				
Module Number	1	2	3	4				
Nominal Capacity	50Ah	100Ah	150Ah	200Ah				
Nominal Battery Energy	2.4kWh	4.8kWh	7.2kWh	9.6kWh				
Max Output Power	2.4kW	4.8kW	4.8kW	4.8kW				
Net Weight	47kg	69kg	91kg	113kg				
Nominal Voltage					48V			
Working Voltage					42-54V			
Dimension[W*D*H]					555*210*928mm			
Depth of Discharge					90%			
Charging Temp. Range					0~55°C			
Discharging Temp. Range					-20~55°C			
Communication					CAN/RS485			
Warranty					10 Years			
Warranty Document Supplied					Yes			
Calendar Life ⁽¹⁾					≥6000 Cycles			
Protection Level					IP65			
Expansion					Up to 5 units in parallel			
Color					White			
Alarms					Overcharge/Overdischarge/Overcurrent/ Overtemperature/Short Circuit			
Safe & Protection					Each system has smart BMS, breaker embedded in system			
Pros					Can be used in both off-grid and hybrid setups, compact design, modular expansion			
Compatible Inverters					Victron/SMA/Goodwe/Ineon/Solis/SAJ/ Growatt/Luxpower/Voltronic/Deye etc.			
Certification & Safety Standard					TUV/CE/EN62619/IEC62040/UN38.3/ CEC Accredited/UL1973/CEI4021			

(1) Test conditions: 5.0C Charging/Discharging @25°C, 40% DOD

