

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

VINICIUS TEIXEIRA MACHADO

**ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO EM UM POSTO DE GASOLINA**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

VINICIUS TEIXEIRA MACHADO

**ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
FOTOVOLTAICO HÍBRIDO EM UM POSTO DE GASOLINA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista.

Orientador:
Prof. Bruno S. Dupczak, Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Teixeira Machado, Vinicius
ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
HÍBRIDO EM UM POSTO DE GASOLINA / Vinicius Teixeira
Machado; orientação de Bruno S. Dupczak. - Florianópolis,
SC, 2022.
68 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Bateria. 2. Armazenamento de Energia. 3. Híbrido.
4. Fotovoltaico. I. S. Dupczak, Bruno. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. III. ESTUDO DE CASO PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO EM
UM POSTO DE GASOLINA.

ESTUDO DE CASO PARA IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO HÍBRIDO EM UM POSTO DE GASOLINA

VINICIUS TEIXEIRA MACHADO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 04 de março, 2022.

Banca Examinadora:

Bruno S. Dupczak, Dr. Eng.

Marcio Silveira Ortmann, Dr. Eng.

Ricardo Luiz Alves, Dr. Eng

RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável que vem sendo muito utilizada nos últimos anos. Atualmente o Brasil enfrenta problemas com a falta de água nos reservatórios das hidrelétricas e a alta tarifação de energia, necessitando cada vez mais do uso de energias alternativas e inesgotáveis para suprir a demanda da população. Por esta razão, este trabalho tem o intuito de apresentar um sistema recente no mercado, voltado a área de energia fotovoltaica, isto é, a chamada energia fotovoltaica híbrida que é basicamente a junção de um sistema ligado à rede da concessionária de energia, com um sistema que não necessita de conexão à rede elétrica. Para tanto, é realizado uma análise de viabilidade econômica de uma possível implementação deste sistema fotovoltaico híbrido, em um posto de gasolina, onde já possui um sistema conectado à rede. Neste estudo é implementado cálculos, gráficos, tabelas e simulações, onde constam o dimensionamento, valores econômicos, geração estimada e retorno de investimento para este sistema FV híbrido. Contudo, com os resultados obtidos, o ponto mais relevante é o custo deste sistema FV híbrido que conseqüentemente será mais elevado acarretando maior tempo para o retorno de investimento, comparado ao sistema conectado à rede por conta da maior complexidade e maior número de equipamentos necessários para instalação.

Palavras-chave: *Baterias. Armazenamento de energia. Híbrido. Fotovoltaico*

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy is a renewable energy source that has been widely used in recent years. Currently, Brazil faces problems with the lack of water in the hydroelectric reservoirs and the high energy tariffs, increasingly requiring the use of alternative and inexhaustible energies to supply the population's demand. For this reason, this work aims to present a recent system on the market, focused on the area of photovoltaic energy, that is, the so-called hybrid photovoltaic energy, which is basically the junction of a system connected to the energy utility grid, with a system that does not need to be connected to the electrical grid. Therefore, an economic feasibility analysis of a possible implementation of this hybrid photovoltaic system is carried out, in a gas station, where it already has a system connected to the grid. In this study, calculations, graphs, tables and simulations are implemented, which include the dimensioning, economic values, estimated generation and return on investment for this hybrid PV system. However, with the results obtained, the most relevant point is the cost of this hybrid PV system, which will consequently be higher, resulting in longer time for the return on investment, compared to the system connected to the grid due to the greater complexity and greater number of equipment needed to installation.

Keywords: *Batteries. Solar energy storage. Hybrid. Photovoltaic*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Funcionamento de um inversor para conexão à rede elétrica	18
Figura 2 - Sistemas Fotovoltaicos on grid	19
Figura 3 - Sistema fotovoltaico off grid	20
Figura 4 - Esquema de funcionamento de um Sistema <i>All in one</i>	21
Figura 5 - Esquema de funcionamento de Sistema bi-modal.....	22
Figura 6 - Sistema FV híbrido da Fazenda Saturno - GO.....	25
Figura 7 – Inversor Híbrido NHS QUAD.....	25
Figura 8 – Inversor On + Off grid Deye SUN5K.....	26
Figura 9 – Tipos de conexões de baterias.....	27
Figura 10 – Bateria Solar de Chumbo ácido 12V.....	29
Figura 11 – Bateria Solar de lítio-íon 24V.....	31
Figura 12 – Posto de gasolina.....	37
Figura 13 – Sistema de fixação dos módulos solares.....	41
Figura 14 – Geração <i>versus</i> Consumo do sistema <i>on grid</i>	42
Figura 15 – Perfil de consumo do posto de gasolina.....	44
Figura 16 – Simulação das baterias em horário ponta.....	49
Figura 17 – Inversor híbrido 100K-EX.....	50
Figura 18 – Simulação das baterias em cargas prioritária.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características dos sistemas FV híbridos.....	23
Tabela 2 – Principais características de uma bateria estacionária.....	29
Tabela 3 – Especificações técnicas de bateria Moura Chumbo ácido.....	30
Tabela 4 – Especificações técnicas de bateria Unipower Lítion-íon.....	31
Tabela 5 – <i>Datasheet</i> do módulo fotovoltaico – EMSZ 380M DG.....	38
Tabela 6 – <i>Datasheet</i> do Inversor – EGT 80000 MAX.....	39
Tabela 7 – <i>Datasheet</i> do Inversor – EGT 60000 MAX.....	40
Tabela 8 – Informações de dimensionamento da instalação.....	43
Tabela 9 – Configuração das <i>strings</i> dos módulos	46
Tabela 10 – Valores do dimensionamento de baterias em horário ponta.....	48
Tabela 11 – Informações técnicas do inversor híbrido 100K-EX.....	50
Tabela 12 – Levantamento das cargas prioritárias.....	51
Tabela 13 – Especificações da bateria de 24V de lítio-íon.....	52
Tabela 14 – Valores do dimensionamento de baterias para cargas prioritárias...	52
Tabela 15 – Insumo e custos do sistema <i>on grid</i>	54
Tabela 16 – Custo de venda do sistema <i>on grid</i>	55
Tabela 17 – Retorno de investimento do sistema <i>on grid</i>	56
Tabela 18 – Custos do sistema híbrido.....	57
Tabela 19 – Retorno de investimento do sistema híbrido em horário ponta.....	58
Tabela 20 – Retorno de investimento do sistema híbrido em cargas prioritárias	59
Tabela 21 – Planilha financeira do sistema híbrido em horário ponta.....	60
Tabela 22 – Planilha financeira do sistema híbrido em cargas prioritárias.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

CRESESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV - Fotovoltaico

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

NBR – Normas Técnicas

CC – Corrente contínua

CA – Corrente alternada

DPS – Dispositivo de proteção contra surtos

kW – quilowatt

Ah – Ampère por hora

kWh – quilowatt hora

GWh – Gigawatt hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Justificativa	12
1.2	Definição do Problema	13
1.3	Objetivo Geral.....	13
1.4	Objetivos Específicos.....	14
1.5	Estrutura do trabalho.....	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Energia solar fotovoltaica	15
2.2	Módulos e células fotovoltaicas	15
2.2.1	Silício monocristalino	16
2.2.2	Silício policristalino	16
2.3	Irradiação solar	17
2.4	Inversor fotovoltaico	17
2.5	Sistemas Fotovoltaicos	19
2.5.1	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede	19
2.5.2	Sistema Fotovoltaico Autônomo.....	20
2.5.3	Sistemas Fotovoltaicos Híbridos	21
2.5.4	Vantagens e desvantagens de um Sistema FV Híbrido.....	23
2.6	Aplicação do Sistema Fotovoltaico Híbrido	24
2.7	Tipos de baterias.....	26
2.7.1	Baterias de Chumbo ácido	27
2.7.2	Baterias de Lítio-íon	30
2.8	Dimensionamento de um sistema on e off grid.....	32
2.9	Normas e regulamentações	35
3	ESTUDO DE CASO	36
3.1	Metodologia	36
3.2	Local da instalação do Sistema FV <i>on grid</i>	36
3.3	Descrição do sistema	37
3.3.1	Módulos fotovoltaicos	38
3.3.2	Inversor Fotovoltaico	39
3.3.3	Superfície de instalação.....	41
3.3.4	Cabeamento	41
3.4	Geração do sistema	42
3.5	Dimensionamento do Sistema híbrido	43
3.5.1	Dimensionamento <i>on grid</i>	43
3.5.2	Dimensionamento <i>off grid</i>	47
3.5.2.1	Horários de ponta	47
3.5.2.2	Cargas Prioritárias	51
4	ANÁLISE ECONÔMICA	54
4.1	Custos do sistema <i>on grid</i>	54
4.2	Custos de instalação do sistema fotovoltaico híbrido	56
4.3	Retorno de investimento	57
4.4	Comparação do sistema FV <i>on grid</i> com sistema FV híbrido.....	60

5	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS.....	63
	ANEXOS.....	68
	ANEXO A – Especificações técnicas do inversor híbrido NHS QUAD.....	69
	ANEXO B – Especificações do inversor híbrido Deye Sun 3.6-5K.....	70

1 INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se por possuir uma matriz energética com uma grande participação de fontes renováveis, que por sua vez, é um fato que poucos países do mundo possuem. A energia solar fotovoltaica foi a fonte renovável que teve um salto de quase 100% de geração de energia entre os anos de 2018 com 3.461 GWh e 2019 com 6.650 GWh, embora representando apenas 1,5% da matriz energética brasileira. (EPE, 2021)

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), as medidas indicativas para o setor de energia no horizonte 2030, tem-se de alcançar 10 % de ganhos de eficiência no setor elétrico, bem como atingir a participação estimada de 45 % de energias renováveis na composição da matriz energética nacional. Porém o cenário do Brasil atualmente é bem preocupante. Para o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2021), o país enfrenta a pior crise hídrica desde 1930, e nos últimos sete anos os reservatórios das hidrelétricas obtiveram pouco volume de água comparado com a média histórica.

Com base nos fatos abordados anteriormente, sobre a crise hídrica e o aumento tarifário da energia que o Brasil vem enfrentando, buscou-se apresentar um sistema fotovoltaico híbrido, realizando análises de viabilidade econômica, além de comparar um sistema fotovoltaico conectado à rede em relação à um sistema fotovoltaico híbrido.

1.1 Justificativa

Considerando o fato do aumento do custo da energia elétrica e a falta de água nos reservatórios das hidrelétricas, percebe-se um crescimento no interesse e no desenvolvimento de novas tecnologias voltadas para os sistemas fotovoltaicos.

Para tanto, teve-se a ideia do estudo da utilização e funcionamento de um sistema fotovoltaico híbrido, onde o termo híbrido não significa combinações de tecnologias renováveis como solar, eólica, biodiesel, entre outras. O termo híbrido, remete a utilização de um só sistema, que funciona tanto conectado à rede elétrica,

quanto desconectado, isto é, a junção de um sistema fotovoltaico *on grid* e *off grid*. (VILLALVA, 2020)

Desta forma, surgiu o interesse por esta tecnologia, por se tratar de uma tecnologia que poderá ajudar a suprir as constantes faltas de energia em locais remotos e proporcionar a utilização de energia em horários com custos maiores, como horários de ponta.

1.2 Definição do Problema

Esta pesquisa inicialmente apresenta um sistema fotovoltaico *on grid*, em um posto de gasolina localizado em Arapongas-PR que foi elaborado e executado pela Empresa Sunergies Energia Solar – SC. Deste modo será realizado um estudo de caso para este posto de gasolina.

Neste estudo de caso, será realizado uma análise de viabilidade econômica de uma possível implementação de um sistema fotovoltaico híbrido, no posto de gasolina, onde já possui um sistema *on grid*. As informações serão implementadas através de tabelas, gráficos e simulações, informando valores econômicos, eficiência, dimensionamento, além de comparar os sistemas conectado à rede e o híbrido.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo analisar e comparar um projeto instalado de um sistema fotovoltaico *on grid*, com uma possível implementação de um sistema fotovoltaico híbrido, apresentando seus benefícios econômicos e usuais, além de mostrar possíveis oportunidades de geração de créditos de energia.

1.4 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- a) Explicar o funcionamento de um sistema fotovoltaico híbrido;
- b) Comparar um sistema híbrido com um sistema fotovoltaico *on grid*;
- c) Analisar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico híbrido com um sistema *on grid* projetado em um posto de gasolina.

1.5 Estrutura do trabalho

Este trabalho está disposto em cinco capítulos, sendo que no primeiro capítulo são apresentados os objetivos, e justificativas do estudo.

No segundo capítulo é feita a fundamentação teórica, onde são descritos todos os conceitos básicos sobre energia solar, bem como os equipamentos utilizados para elaboração de um sistema fotovoltaico.

O capítulo três, será apresentada inicialmente a metodologia aplicada, em sequência o estudo de caso, onde será mostrada as especificações e considerações feitas para o projeto de um sistema conectado à rede, já executado de um posto de gasolina.

Já no capítulo quatro será feito uma análise de viabilidade econômica e técnica sobre uma possível implementação de um sistema FV híbrido, no qual é o foco deste trabalho, mostrando suas devidas simulações, gráficos de geração e custos para este tipo de projeto.

Por fim, no capítulo cinco, será apresentada a conclusão, onde será relatadas as análises feitas no estudo, mostrando qual das tecnologias apresentadas, será mais viável economicamente.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será abordada a teoria da energia solar fotovoltaica, onde será descrito por partes, as variáveis e equipamentos utilizados para este tipo de sistema.

2.1 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é definida como a energia gerada através da conversão direta da radiação solar em eletricidade. Esta conversão é feita através de um dispositivo conhecido como célula fotovoltaica que atua segundo o princípio do efeito fotovoltaico. (IMHOFF, 2007)

Segundo Kemerich (2016), o efeito fotovoltaico é obtido a partir da conversão da radiação solar em energia elétrica, por meio de materiais semicondutores.

Quando a luz solar incide uma célula fotovoltaica gera uma pequena corrente, e em sequência é recolhida por fios ligados à célula e transferida para os demais componentes do sistema. Portanto, quanto mais células fotovoltaicas são ligadas em série maior é a tensão, assim como ligadas em paralelo a corrente será maior. (NASCIMENTO, 2018)

A utilização da energia solar fotovoltaica traz diversos benefícios, pois ela é uma fonte inesgotável, que está disponível em todo o mundo. A energia solar não produz ruídos ou gases nocivos, nem resíduos, além de ser um sistema fácil de instalar, necessitando de pouca manutenção e possuindo uma vida útil estimada em 30 anos. (WANDERLEY, 2013)

2.2 Módulos e Células Fotovoltaicas

A célula fotovoltaica é um dispositivo básico, pois uma célula isolada, produz pouca eletricidade. Com isso é necessário um conjunto de células conectadas em série para produzir tensões maiores, formando assim os módulos fotovoltaicos. (VILLALVA, 2015)

Para a fabricação de células fotovoltaicas o material mais utilizado é o silício. De acordo com a estrutura de ligação dos seus átomos, as células fotovoltaicas mais utilizadas, podem ser do tipo monocristalino ou policristalino. (WANDERLEY, 2013)

2.2.1 Silício Monocristalino

Este material possui um aspecto uniforme, normalmente azulado escuro ou preto, podendo obter cores diferentes, quando submetido a tratamentos antirreflexos. Essas células são as mais eficientes, além de serem produzidas em larga escala e disponível comercialmente. Porém possuem um custo mais elevado do que outros tipos de células, além de serem células rígidas. (VILLALVA, 2015)

O silício monocristalino, é um tipo de célula que é utilizado como conversor direto de energia solar. Este sistema inicia seu processo com a retirada do cristal de dióxido de silício do ambiente, depois esse material passa por processos de desoxidação, em sequência é purificado e solidificado, tendo como resultado uma pureza de 98% a 99%. Esta pureza é relativamente efetiva, tendo em vista seu custo-benefício e eficiência, ressaltando-se que o silício necessita de outros elementos para atuarem como semicondutores, que apresentam um grau de pureza, chegando a 99,99%. (PINHO, 2008)

2.2.2 Silício Policristalino

O silício policristalino é um tipo de célula mais econômica, comparado com o monocristalino, devido ao seu processo de fabricação. Entretanto a sua eficiência é menor devido a sua pureza. (MACEDO, 2006)

Sua fabricação pode ser realizada por meio do corte de uma massa sólida de metal fundido ou colocando uma camada com substrato, tanto por transporte de vapor como para imersão. A eficiência teórica máxima alcançada por essas técnicas de vapor ou imersão, é de 27%, no entanto quando é considerado produtos comerciais, essa porcentagem é reduzidas para 15 a 18%. (PEREIRA, 2006)

Em outras palavras, o silício policristalino, diferencia-se do monocristalino, por ser obtido através da solidificação do silício fundido, tornando-o seu custo de produção menor. (CEPEL, 2013)

2.3 Irradiação solar

Para melhor entender o termo de irradiação solar, deve-se compreender primeiramente o que é radiação solar. Segundo Villalva (2015), a energia do sol é transmitida através da forma de radiação eletromagnética, isto é, por ondas eletromagnéticas que possuem frequência e comprimento de onda diferentes, isto se dá o nome de radiação solar.

Tendo em vista esse conceito de radiação solar, a irradiância é uma grandeza que quantifica a radiação solar, expressa pela unidade W/m^2 (watt por metro quadrado), ou seja, unidade de potência por área. Portanto quanto maior a potência da radiação solar, mais energia ela irá transportar em determinado intervalo de tempo. (VILLALVA, 2015).

Segundo a Cepel (2004), a média de densidade do fluxo energético, provém da radiação solar onde é medido por meio de um plano perpendicular à direção da propagação dos raios solares no topo da atmosfera que é igual a $1.367 W/m^2$. Com isso para análise de um sistema fotovoltaico, é importante entender que abaixo do topo da atmosfera, a irradiação solar, varia de local para local.

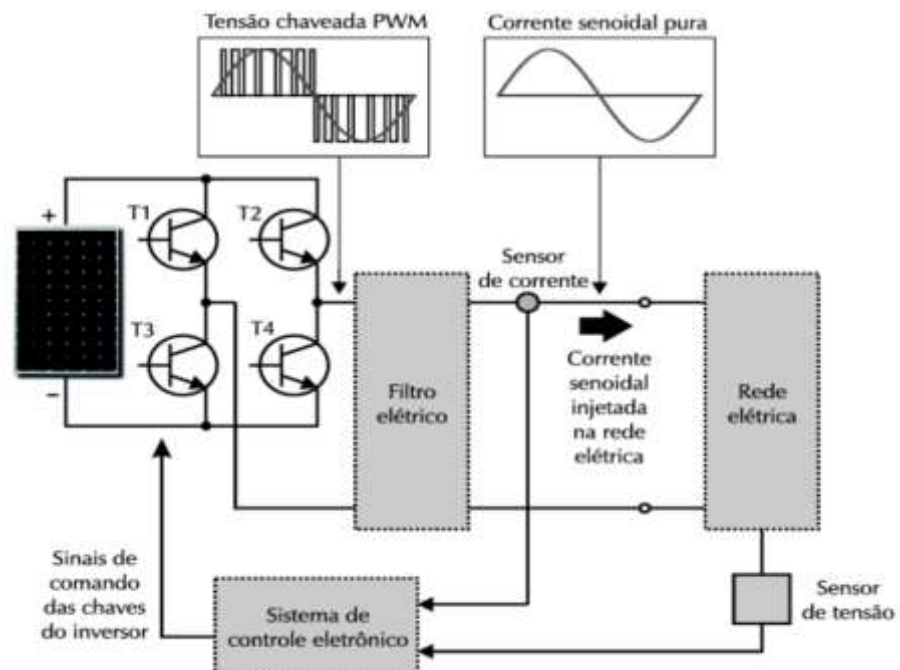
2.4 Inversor Fotovoltaico

Os inversores tanto para conexão à rede elétrica (*on grid*), quanto de sistemas autônomos (*off grid*), são usados para converter a corrente contínua (CC) disponibilizada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA). Nos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, os inversores funcionam como fontes de corrente, já os sistemas autônomos fornecem tensões elétricas alternadas aos seus terminais. (VILLALVA, 2015)

Segundo Villalva (2015), o inversor *on grid* possui um sistema eletrônico de controle sofisticado que tem o objetivo de fazer com que a corrente injetada pelo inversor na rede elétrica tenha o formato senoidal e esteja sincronizada a tensão senoidal da rede.

A Figura 1 ilustra o funcionamento de um inversor CC-CA conectado à rede elétrica, no qual possui um sistema eletrônico de controle aprimorado que transforma este inversor em fonte de corrente. Em outras palavras, o sistema faz com que a corrente nos terminais de saída do inversor, possua o formato senoidal e seja sincronizada com a tensão senoidal da rede.

Figura 1 – Funcionamento de um inversor para conexão à rede elétrica



Fonte: Villalva (2015).

2.5 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos basicamente podem ser classificados em sistemas conectados à rede (*on grid*), sistemas autônomos (*off grid*), e sistemas híbridos.

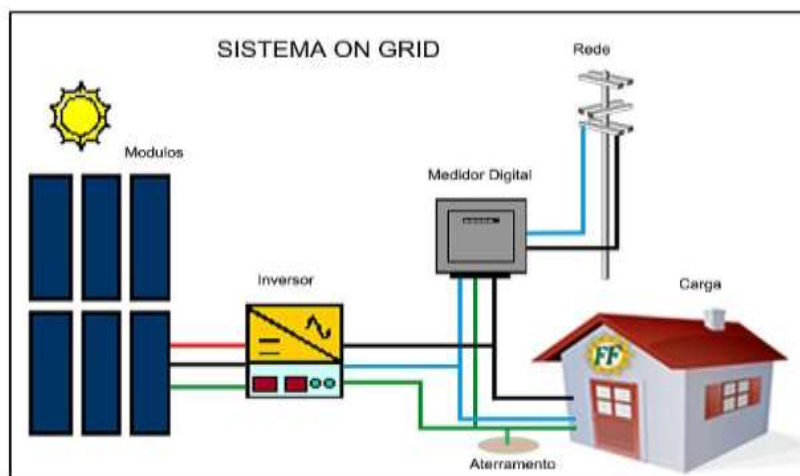
2.5.1 Sistemas fotovoltaicos conectados à rede

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, surgiram após os anos 90 pois antes existia somente sistemas autônomos desconectados da rede. O uso dos inversores foi implementado para conversão de corrente contínua em alternada ligando as placas solares à rede da concessionária de energia. (CROSARA, 2018).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica podem ser classificados em: microgeração, com potência instalada de até 75 kW e minigeração, com potência instalada de 75 kW à 5 MW. (ANEEL, 2012)

O sistema *on grid* funciona conectado à rede de distribuição. A energia que é produzida em excesso, isto é, o que não for utilizada pela unidade consumidora, será convertida em créditos junto a concessionária de energia, que poderão ser utilizados em até 3 anos. De modo ilustrativo a Figura 2, apresenta o funcionamento do sistema FV *on grid*. (BOSO, 2015)

Figura 2 - Sistema Fotovoltaico *on grid*



Fonte: Portal do Sol (2015).

O sistema fotovoltaico conectado à rede tem como objetivo gerar eletricidade para o consumo local, e como benefício, reduzir ou até eliminar o consumo da rede pública, além de possibilitar gerar excedente de energia. Em alguns países os consumidores são incentivados a produzir excedente, e com isso são remunerados pela eletricidade que exportam. (VILLALVA, 2015)

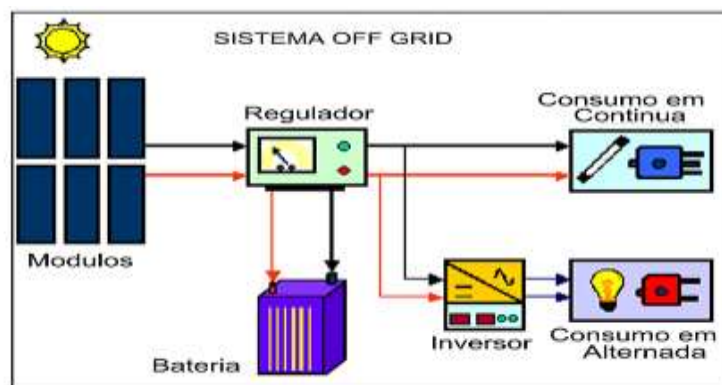
2.5.2 Sistema fotovoltaico autônomo

Um sistema fotovoltaico autônomo ou também conhecido como sistema *off grid*, é um sistema que não é utilizada a energia da rede de distribuição. Neste sistema é feito o fornecimento de energia diretamente aos aparelhos elétricos, sendo que a energia deve chegar sempre de forma permanente, o que acaba gerando problemas de variações causadas por sombreamentos, por exemplo. (GOMES, 2019)

O uso de baterias para este tipo de sistema autônomo é essencial, pois tem a função de estabilizar a energia enviada aos aparelhos. Além disso é usado também um controlador de carga que otimiza o banco de baterias, regula e gerencia o fluxo de energia dos geradores fotovoltaicos para as baterias. (GOMES, 2019)

Os inversores *off grid*, são diferenciados por serem independentes da rede elétrica convencional, com a capacidade de interagir com o sinal de corrente alternada presente na rede, sendo possível utilizar em locais remotos, isto é, onde não há passagem de rede de distribuição elétrica. (VILLALVA, 2015). A Figura 3, mostra o esquema de funcionamento de um *sistema off grid*.

Figura 3 – Sistema fotovoltaico off grid



Fonte: Portal do Sol (2015).

2.5.3 Sistemas fotovoltaicos híbridos

Os sistemas híbridos podem ser divididos em sistemas *All in One* e bi-modal, onde funcionam tanto *on grid*, quanto *off grid*. Em outras palavras, os sistemas fotovoltaicos híbridos destacam-se por interagirem com a rede de distribuição, mantendo seu funcionamento mesmo quando há falta de energia na rede. É importante ressaltar que não se deve confundir os sistemas fotovoltaicos híbridos com os antigos sistemas que utilizam mais de um meio de geração. (SOLIENS, 2018; CSR, 2017)

O sistema *All in One*, caracteriza-se por realizar a alimentação de cargas prioritárias. Isto deve-se, ao fato que em pleno funcionamento, este tipo de sistema, funciona na forma de um sistema *on grid*, e a partir do momento que há falta de energia na rede, passa operar automaticamente no modo *off grid*.

O sistema desconectado da rede, alimenta as cargas prioritárias por conta do banco de baterias, pois este sistema não desperdiça energia excedente, isto é, ele armazena o excedente no banco de baterias. (CSR, 2017)

O sistema *All in One*, como ilustra a Figura 4, conta com um inversor interativo, que é responsável por transformar a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada e um inversor autônomo que realiza o carregamento e o controle das baterias.

O sistema também conta com baterias que em alguns casos é necessário o uso de retificadores, controladores de carga ou outros equipamentos, dependendo da necessidade do consumidor, para o gerenciamento dos surtos de tensão e temperatura. (SOLIENS, 2018)

Figura 4 – Esquema de Funcionamento de um Sistema *All in one*



Fonte: Portal Energia (2021).

Semelhante ao sistema *All in One*, existe também o sistema fotovoltaico híbrido bi-modal, ou bidirecional, sendo basicamente mais moderno e compacto que o *All in One*, operando nos modos, *on* e *off grid* como o sistema anterior. No entanto, semelhante ao sistema apresentado anteriormente, este modelo bi-modal, alterna entre conectado à rede e desconectado da rede. Sendo assim, na falta de energia, o sistema desconecta-se da rede elétrica, e é suprido pela energia que está armazenada no banco de baterias.

Além disso, este sistema bi-modal, não injeta o excedente gerado na rede de distribuição, fazendo com que não haja necessidade de homologação, ou seja, não é necessário a aprovação da concessionária de energia local para implementação deste tipo de sistema.

Este sistema conforme ilustrado na Figura 5, difere-se do sistema *All in One* por conta do inversor, que é bi-modal, ou seja, um inversor interativo e autônomo em um mesmo dispositivo.

Figura 5 – Esquema de funcionamento de um sistema Bi-modal



Fonte: Ocaenergia (2021).

2.5.4 Vantagens e desvantagens de um Sistema FV Híbrido

Segundo Santos (2019), o sistema fotovoltaico híbrido apresenta vantagens, como garantir uma continuidade do fornecimento de energia, isto é, solucionando o problema de o consumidor ficar sem energia quando ocorrer uma falta na rede elétrica.

Com o uso do sistema híbrido, ao ser utilizado o banco de baterias para o armazenamento de energia, fornece ao consumidor independência energética, mesmo de noite ou em dias com pouca luminosidade. Deste modo o inversor híbrido é capaz de realizar o carregamento das baterias, fornecendo energia constante para o sistema, mesmo em dias com pouca geração de energia e até mesmo na falta de energia.

Porém existem algumas desvantagens de utilizar um sistema híbrido, inicialmente é o custo elevado, por conta da utilização banco de baterias, além dos inversores específicos para este sistema. Outro fator negativo é a complexidade de instalação, devido ao grande número de componentes e junção do dimensionamento de *on* e *off grid* em um mesmo sistema, e também a baixa vida útil das baterias, estimada entre 7 a 15 anos. (SANTOS, 2019)

Para uma melhor compreensão dos dois tipos de sistema fotovoltaico híbrido citados acima, a Tabela 1, mostra as principais características que diferenciam os dois sistemas, sendo eles All in one e bi-modal.

Tabela 1 – Principais características dos sistemas FV híbridos

All in one	Bi-modal
Possui dois Inversores: um interativo e outro autônomo (carregador).	Possui um único inversor, onde já possui o carregamento de baterias acoplado.
Sistema com maior número de equipamentos envolvidos, com menor confiabilidade e sofisticação.	Sistema mais compacto, com maior tecnologia, complexidade e confiabilidade.
Realiza o armazenamento de energia excedente, em banco de baterias.	Não realiza o armazenamento de energia excedente, nos bancos de baterias.
É necessário homologação, por conta do armazenamento de excedente.	Não é necessário a homologação, por conta de não realizar armazenamento de excedente.

Fonte: Elaboração própria (2021).

2.6 Aplicação do Sistema Fotovoltaico Híbrido

Segundo a Globo Rural (2021), foi instalado pela concessionária de energia ENEL um sistema fotovoltaico híbrido, localizado na Fazenda Saturno em Bela Vista de Goiás – GO. Esta fazenda trabalha no ramo de pecuária leiteira e sofria com muita queda de energia. Com intuito de solucionar este problema, foi projetado um sistema fotovoltaico híbrido de 16 módulos fotovoltaicos e 20 baterias para armazenar a geração excedente, e com a falta de energia, o banco de baterias a demanda de energia do local. A Figura 6 apresenta imagens deste sistema instalado.

O inversor utilizado e instalado pela ENEL, foi o inversor chamado *NHS QUAD* Híbrido, conforme Figura 7 e Anexo A, que respectivamente mostram o inversor e também suas especificações técnicas.

Figura 6 – Sistema FV Híbrido da Pecuária Leiteira



Fonte: Globo Rural (2021).

Figura 7 - Inversor Híbrido NHS QUAD



Fonte: nhssolar (2021).

Outra aplicação deste tipo de sistema FV híbrido, foi para um sistema de irrigação em uma propriedade rural no sudoeste de Goiás. O sistema de irrigação é suprido por meio de um sistema FV de 773 kW, com 700 kVA de potência instalada

de inversores híbridos, um gerador de 750 kVA e um banco de baterias de 300 kWh de autonomia, 2310 módulos solares de com potência de 335 W cada. Os inversores, baterias e o gerador operam de forma coordenada, o que garante excelente confiabilidade no atendimento das cargas. O retorno financeiro deste sistema foi calculado com 6 anos e uma estimativa de redução de 60% do consumo diário. (ARAUJO, 2020)

Um outro inversor que também pode ser utilizado para estes tipos de aplicações de sistemas híbridos, tendo sua função tanto *on* como *off grid*, é o inversor da marca *Deye* com sistema *All in One*, conforme mostra a Figura 8 e suas especificações das duas potências disponíveis no Anexo B.

Figura 8 – Inversor On + Off grid Deye SUN5K



Fonte: NeoSolar (2020).

2.7 Tipos de Baterias

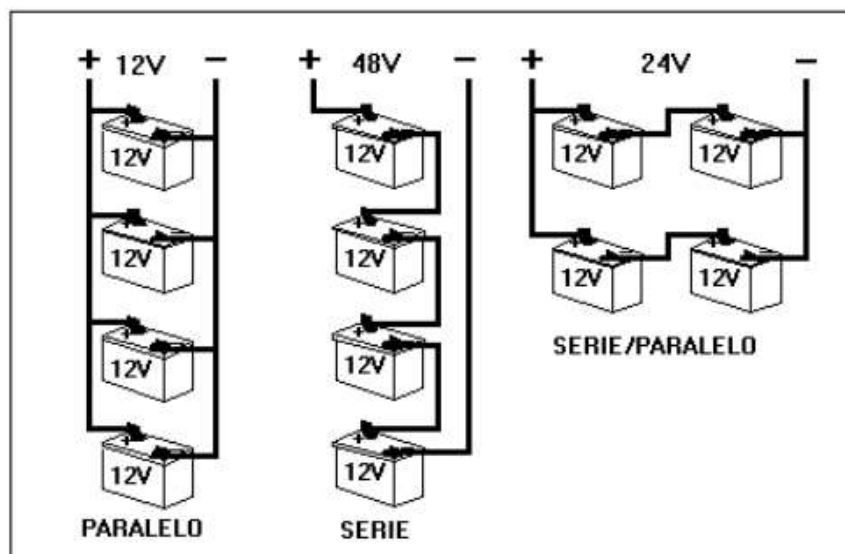
Nos sistemas autônomos, é necessário o uso de baterias para proporcionar o fornecimento constante de energia bem como evitar o desperdício de energia

gerada, quando se excede o consumido. Com isso a bateria armazena essa energia excedente para o uso posterior, como, por exemplo, em momentos de pouca radiação solar, período noturno, ou até mesmo, em dias nublados ou chuvosos. (VILLALVA, 2015)

Segundo Villalva (2015), as baterias ou banco de baterias que são conectados em sistemas fotovoltaicos autônomos, podem ser associados em série ou em paralelo. No caso a associação em série permite a obtenção de maiores tensões, em contra partida, a associação em paralelo permite acumular mais energia ou fornecer mais corrente elétrica com a mesma tensão.

Para aumentar simultaneamente a tensão e a corrente, deve-se fazer a conexão das baterias série e paralelo ao mesmo tempo. A Figura 9 apresenta os modos de conexão dos bancos de baterias.

Figura 9: Modos de conexão de baterias



Fonte: ALTOGAGREEN (2015).

2.7.1 Bateria de chumbo ácido

A bateria de chumbo ácido, é a bateria mais antiga recarregável existente comercialmente. Foi inventada em 1859 por Gaston Planté e é utilizada para realizar a partida em veículos a combustão e em outros sistemas, possuindo um custo menor que outras tecnologias de bateria. (BATTERY UNIVERSITY, 2010)

Este tipo de bateria é composto de uma placa de chumbo (Pb) que forma o eletrodo negativo e uma placa de óxido de chumbo (PbO₂) formando o eletrodo positivo. Ambas são adicionadas em uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) com água (H₂O). Entretanto, o chumbo é um material pesado e muito tóxico, fazendo com que a construção de baterias desse tipo, possua diversos cuidados a serem tomados, e também quanto para o seu correto descarte no fim de sua vida útil. (KIEHNE, 2003)

A bateria de chumbo ácido estacionária possui uma taxa de auto descarga menor que a de outras baterias, por exemplo a automotiva convencional, ou seja, a menor taxa de auto descarga traz a vantagem de uma bateria mais eficiente no armazenamento de eletricidade, e também ter um menor custo. (VILLALVA, 2015)

Segundo Villalva (2015), a Tabela 2 mostra a faixa de valores de tensão que a bateria deve apresentar quando encontra-se em estado de flutuação, isto é, o estado que a bateria se encontra carregada e que deve ser mantida nessa faixa de tensão para que sua durabilidade seja aumentada. A capacidade de carga é medida em ampère-hora (Ah).

Tabela 2 – Principais características de uma bateria estacionária

Capacidade de Carga	
Tempo de Carga	Capacidade em 25 °C
10 horas	200 Ah
20 horas	220 Ah
100 horas	240 Ah
Tensão de flutuação	
13,2 V a 13,8 V (em 25 °C)	
Tensão de carga	
14,4 V a 15,5 V (em 25 °C)	
Coefficiente de compensação de temperatura	
- 0,033 V/ °C	

Fonte: Villalva (2015).

Uma bateria de chumbo ácido, conforme Aldo (2020), é focada no desempenho de aplicações de armazenamento de energia solar, destacando-se em resistência a altas temperaturas, facilidade e segurança no transporte e manuseio e indicador visual de nível de bateria. Como exemplo desta bateria, tem-se a bateria solar da marca Moura com 12V de tensão e 220Ah de capacidade, conforme mostrado na Figura 10 e suas especificações técnicas em sequência na Tabela 3.

Figura 10 – Bateria Solar de Chumbo ácido 12V



Fonte: Aldo (2020).

Tabela 3 – Especificações técnicas bateria Moura de chumbo ácido

Modelo	Tensão nominal (V)	Capacidade a 25°C (Ah) / 1,75Vpe			Dimensões (mm)				Peso (Kg)
		C3	C10	C20	Comp.	Larg.	Com Polo	Sem polo	
12MF45	12	33,9	41	45	212	175	175	175	12,6
12MF55	12	41,2	50	55	242	175	175	175	14,4
12MF80	12	64	74	80	306	172	227	202	22,4
12MF105	12	78,2	95	105	330	172	244	219	26,5
12MF150	12	103,4	135	150	509	211	246	221	42,5
12MF220	12	166,9	200	220	517	272	246	221	57,35

Fonte: Aldo (2020).

2.7.2 Bateria de Lítio-íon

A bateria de lítio-íon é uma das mais avançadas tecnologias de baterias recarregáveis. Possui um mercado dominante nos equipamentos como baterias portáteis ou de veículos elétricos, devido seu baixo peso e elevada densidade de energia. (DENG, 2015)

Este tipo de bateria, também é utilizado em várias aplicações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, até mesmo, em sistemas de energias renováveis como, sistema fotovoltaico ou eólico. A bateria de lítio-íon possui maior densidade de energia, menor custo, o que impulsiona a pesquisa e desenvolvimento das novas gerações desta bateria. (GARITA, 2019)

As células de lítio-íon podem ser construídas em vários formatos e tamanhos, pois possuem design flexível de modo a se ajustar eficientemente nos espaços dos dispositivos eletrônicos.

Porém, segundo Shuai Ma (2018), a temperatura da bateria lítio-íon é um problema, principalmente na recarga e descarga, comprometendo seu desempenho e vida útil. Pode acarretar um aumento demasiado da temperatura em uma única célula, levando a uma reação em cadeia com outras células, e então ocasionando, fogo e até explosão da bateria.

Para bateria de lítio-íon, tem-se como exemplo, as bateria de lítio-ion da marca nacional Unipower, modelo UPLFP, voltadas para energia solar e aplicações de temperatura elevadas. Conforme o fabricante, este modelo de bateria possui vida útil média de 12 anos e um sistema de gerenciamento de bateria (BMS) que oferece proteção contra sobrecargas, descargas profundas e temperaturas extremas. A Figura 11 mostra o modelo da bateria e a Tabela 4 suas especificações.

Figura 11 – Bateria Solar Unipower de Lítio-íon 24V



Fonte: Unipower (2020).

Tabela 4 – Especificações Técnicas Bateria Unipower Lítio-íon

Modelo	UPLFP24-150
Tensão (V)	24
Capacidade (Ah)	150
Energia (Wh)	3580
Comprimento (mm)	520
Largura (mm)	269
Altura (mm)	208

Fonte: Unipower (2020).

As baterias de lítio-íon apresentam maiores vantagens quando refere-se a tecnologia, comparado a outros tipos de baterias. Porém requerem uma maior atenção quando trata-se de segurança, devido à instabilidade dos materiais como, sobrecarga, curto circuitos e altas temperaturas.

Na maioria dos sistemas fotovoltaicos que envolvem banco de baterias, é utilizado um controlador de carga para realizar a gestão das baterias. Porém em alguns sistemas específicos é sugerido um controlador mais específico chamado de BMS (*Battery Management System*), o qual gerencia melhor o sistema de baterias, principalmente quando há variação da temperatura e tensão das baterias. (COSENTINO, 2021)

2.8 Dimensionamento de um sistema on e off grid

Neste tópico será apresentado conceitos gerais de como é realizado inicialmente os critérios de dimensionamento de um sistema conectado à rede (*on grid*) e em sequência o dimensionamento de um sistema desconectado da rede elétrica (*off grid*). Vale ressaltar que os cálculos e detalhes de dimensionamento serão apresentados no estudo de caso contidos no capítulo 4.

Inicialmente, deve-se analisar a área disponível para instalação dos módulos onde está proposto o projeto, ou seja, é necessário uma avaliação detalhada do local de instalação e tipo de telhado. (SOLEN, 2020)

Outro fator que deve ser analisado é sombreamento, causado de acordo com a posição do sol que é incidida no telhado. Os obstáculos que podem estar em volta do telhado provocando o sombreamento, ocasionam perdas na eficiência de geração de energia no local.

A incidência solar, ou chamado índice solarimétrico, mede o potencial de insolação do local, indicando a potência que incide por metro quadrado. Com isso basta verificar a latitude e longitude do local e através de *softwares* ou até mesmo como referência para este estudo serão utilizados os dados meteorológicos do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), onde é informado a irradiação média do local.

O perfil de consumo é uma das etapas mais importantes, onde com a análise da conta de energia do consumidor, será possível verificar a quantidade de energia consumida nos últimos 12 meses, dado o valor em quilowatt hora por mês. No entanto, também é válido observar a tarifa de energia para fins de retorno de investimento, pois varia de acordo com a concessionária de energia.

Depois da análise do consumo, precisa-se avaliar a quantidade de energia a ser gerada pela unidade consumidora, com isso tem-se o valor de potência do sistema fotovoltaico *on grid* que precisa ser produzido. Com o espaço delimitado no telhado ou terreno proposto, e potência conhecida, é possível instalar os módulos fotovoltaicos exatos para atingir a potência desejada, considerando a melhor inclinação dos módulos e localização para maior aproveitamento do sol e conseqüentemente maior geração e eficiência energética.

Entretanto, é necessário a escolha dos inversores, onde basicamente cada inversor possui uma determinada capacidade de módulos que suporta, e com base do manual técnico do inversor, neste caso *on grid*, os devidos cálculos são necessárias as seguintes informações, como a Potência Nominal Máxima (W), Tensão de Máxima Potência (V_{mp}), Corrente de Máxima Potência (I_{mp}), Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), Corrente de Curto Circuito (I_{sc}), Eficiência do módulo e coeficientes de temperatura. (RAIMUNDO, 2020)

Com relação a proteção do circuito CC, vale ressaltar o uso de *String Box*, onde são necessários alguns requisitos de acordo com as normas NBR 5410 e NBR 16690. Estas normas presumem que as instalações, devem ter como características básicas a proteção contra choque elétrico do usuário e proteção contra efeitos térmicos, incêndio, sobretensão, sobrecorrente e capacidade de seccionamento, incluindo sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.

Segundo Canal Solar (2019), o equipamento *String Box* CC, conecta cabos vindos dos módulos fotovoltaicos ao inversor, enquanto fornece proteção contra surtos de corrente e tensão, juntamente com a chave seccionadora, disjuntores, DPS e fusíveis.

A importância da *String Box*, é devido ela impedir que o pico de energia e os surtos cheguem até os equipamentos da rede de energia solar e os equipamentos conectados, o que ocasionaria a queima dos equipamentos conectados. Com isso, outros sistemas de proteção como Sistema de Proteção Contra Descargas Elétricas (SPDA) e o aterramento, complementam a proteção, juntamente com a *String Box*. (SOLAR, 2019)

E por fim a estimativa de custos e retorno de investimento, é essencial, pois engloba a potência e o número de módulos fotovoltaicos utilizados, e os demais equipamentos. Assim sendo, o cliente visualiza o quanto ele está investindo e o quanto o sistema fotovoltaico irá se pagar ao longo dos anos. (SOLEN, 2020)

Como o intuito deste estudo é o sistema fotovoltaico híbrido, no qual é basicamente a junção de um sistema *on grid* com o *off grid*, dá-se sequência para o dimensionamento do sistema *off grid*, no que refere-se ao uso de banco de baterias e considerações a serem feitas na sua instalação. (KSENERGIA, 2020)

Segundo Maestri (2018), as considerações ao realizar o dimensionamento do banco de baterias, é inicialmente a autonomia do sistema, ou seja, quanto tempo o sistema pode permanecer funcionando sem que haja geração de energia pelos módulos, o custo dos bancos de baterias e a vida útil deles.

Outra consideração é a profundidade de descarga, no qual é dada em percentual do estado de carga que a bateria será descarregada, isto é, quanto maior a profundidade de descarga menor será o ciclo de vida da bateria.

E a última consideração é referente ao projeto do banco de baterias considerando a eficiência de carga e descarga, que inicialmente é estipulada em 90%, porém com as perdas de efeito joule, cabeamento e perdas relativas à eficiência do controlador e conversor, o sistema pode chegar a 80% de eficiência.

Segundo Raimundo (2020), um sistema *off grid* é um sistema autônomo que necessita de manutenção do estado de carga, evitando assim descargas profundas ou sobrecargas. Para dimensionar o banco de baterias deve-se primeiramente conhecer a energia diária demandada da carga, de acordo com a energia consumida diariamente, potência da carga e tempo de uso diário. Em sequência é necessário definir o número de baterias em série ou em paralelo de acordo com a melhor associação para atender a carga necessária, realizando a divisão da tensão do banco e a tensão da bateria utilizada.

Após este cálculo, será descoberta a capacidade de carga do banco dado em (Ah), de acordo com uma operação matemática, relacionando assim energia a ser armazenada (W) com a tensão do banco e profundidade de descarga da bateria.

Por fim vale ressaltar que a quantidade de dias de autonomia representa os dias que o sistema pode funcionar, sem que haja geração de energia, isso considerando que o banco de bateria esteja totalmente carregado. (MAESTRI, 2018)

2.9 Normas e regulamentações

Algumas das normas e regulamentações que regem um sistema fotovoltaico estão conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são: ABNT NBR 5410 – Instalações elétricas de baixa tensão; ABNT NBR 5419 – Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas; Resoluções Normativas da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL 482/12 E 687/15; ABNT NBR 16149: Sistemas fotovoltaicos (FV) – características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição; ABNT NBR 16690: Instalações elétricas de arranjos fotovoltaicos – requisitos de projeto; ABNT NBR 16274:2014 - Sistemas fotovoltaicos conectados à rede – requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho; IEC 61215 /IEC 61730 /UL 1703 – Estabelece requisitos mínimos para teste de módulos fotovoltaicos; ABNT NBR 16.612 - Cabos de potência para sistemas fotovoltaicos.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto, considera um sistema FV *on grid*, instalado em um posto de gasolina. Este sistema será detalhado nas próximas seções e servirá de base para o dimensionamento do sistema híbrido.

3.1 Metodologia

O estudo de caso, primeiramente irá mostrar como foi desenvolvido e projetado o sistema fotovoltaico *on grid* em um posto de gasolina, apresentando as especificações técnicas e equipamentos utilizados.

Na sequência, será feita uma análise de geração de energia através de gráficos e tabelas, contendo custos dos produtos utilizados no sistema *on grid* já projetado do posto de gasolina como também para o sistema FV híbrido a ser implementado.

No dimensionamento, serão realizados cálculos e simulações, correspondentes ao dimensionamento de um sistema FV *on grid* e para o sistema FV híbrido o qual poderia ser implementado no posto de gasolina. Além disso será apresentado o retorno de investimento deste sistema FV híbrido.

3.2 Local da instalação do Sistema FV *on grid*

O sistema fotovoltaico conectado à rede do posto de gasolina conforme Figura 12, localizado em Arapongas – PR, foi projetado e executado pelos engenheiros e responsáveis técnicos da empresa Sunergies Energia Solar de São José-SC. O local apresenta aproximadamente 2100m² de área de telhado disponível, do tipo metálico, com suas águas voltadas predominantemente para o leste e oeste.

Figura 12 – Posto de Gasolina



Fonte: Sunergies (2020).

3.3 Descrição do sistema

Este sistema fotovoltaico, possui uma potência de 236 kW e capacidade de geração média de 27.808 kWh/mês, conectado em média tensão na rede da concessionária de energia COPEL. Este consumidor é classificado como pertencente ao grupo tarifário A, com 213 kW de demanda contratada.

O sistema fotovoltaico *on grid* instalado é composto pelos componentes, conforme dispostas abaixo.

- a) 621 Módulos Fotovoltaicos Intelbras Double Glass EMSZ 380M DG – 380W;
- b) 1 Inversor Solar Grid-Tie Intelbras EGT 80000 MAX – 80kW;
- c) 2 Inversores Solar Grid-Tie Intelbras EGT 60000 MAX – 60 kW;
- d) 1 Caixa de Proteção CA – String Box CA (3 proteções separadas);
- e) 2 Caixas de Proteção CC – String Box CC (total, 36 entradas e 18 proteções e saídas);

- f) 2 Totens, para medições e testes (1 externo e 1 interno);
- g) Suportes Metálicos (trilhos, grampos e emendas);
- h) Cabos solares (CC);
- i) Cabos HEPR isolação 0,6/1kV (CA);
- j) Hastes e grampos de aterramento.

3.3.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos utilizados para projetar o sistema foram módulos monocristalinos da marca Intelbras, com classificação energética A pelo INMETRO e testado conforme normativas: IEC 61215 /IEC 61730 /UL 1703. Todos os módulos instalados são do mesmo fabricante e mesma potência nominal de 380 W.

Tabela 5: Informações técnicas do Módulo Fotovoltaico - EMSZ 380M DG

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO MÓDULO	
Fabricante	Intelbras
Tecnologia	Silício monocristalino
Potência máxima	380W
Rendimento	19,37%
Tensão nominal (Vmpp)	39,8V
Tensão em circuito aberto (Voc)	48,5V
Corrente nominal (Impp)	9,55A
Corrente de curto-circuito (Isc)	10,04A
Material da estrutura	Liga de alumínio anodizado
Dimensões (AxLxP)	1978 x 992 x 30mm
Peso	25,5Kg
Diodo de by-pass	3
Conector	Compatível com MC4
Coef. de temperatura máxima	-0,39%/°C
Coef. de temperatura (Voc)	-0,29%/°C
Coef. de temperatura (Isc)	+0,05%/°C

Fonte: Intelbras (2019).

3.3.2 Inversor fotovoltaico

Os inversores utilizados, possuem certificado internacional e sistema anti-ilhamento conforme os informações técnicas mostradas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 – Informações técnicas do Inversor - EGT 80000 MAX

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS – Inversor 80 kW	
ENTRADA - CC	
Marca/Modelo	Intelbras/EGT 80000 MAX
Máxima tensão de entrada CC	1100 V
Máxima corrente de entrada	6 x 25 A
Faixa de tensão MPPT (Vdc)	685-850
Faixa de tensão de máxima eficiência (Vdc)	200-1000
Tensão de inicialização CC	250 V
Número de rastreadores MPPT	4
Quantidade de strings por rastreador MPPT	2
SAÍDA - CA	
Potência máxima CA	80 W
Faixa de tensão (Vac)	220/380 V
Tensões de operação (Vac)	220/230/240
Frequência de rede CA; tolerância	60; ±5
Corrente alternada máxima	128.8 A
Distorção harmônica total (THD)	<3%
EFICIÊNCIA	
Eficiência MPPT	99.9%
Máxima eficiência	99.0%
LIMITES DO MEIO AMBIENTE	
Proteção	IP65
Altitude (m)	4000
Emissão de ruído	<40 dB
GERAL	
Tipo de refrigeração	Ventilação forçada
Interface de comunicação	RS485 / Pocket Wi-Fi
Dimensões (L x A x P)	870 x 580 x 290 mm
Peso	82 kg

Fonte: Intelbras (2019).

Tabela 7 – Informações técnicas do Inversor - EGT 60000 MAX

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS – INVERSOR 60kW	
ENTRADA - CC	
Marca/Modelo	Intelbras/EGT 60000MAX
Máxima tensão de entrada CC	1100 V
Máxima corrente de entrada	6 x 25A
Faixa de tensão MPPT (Vdc)	520-850
Tensão de inicialização CC	250 V
Número de rastreadores MPPT	6
Quantidade de strings por rastreador MPPT	2
SAÍDA – CA	
Potência máxima CA	60000 W
Faixa de tensão (Vac)	220/380 V
Frequência de rede CA; tolerância	60; ±5
Corrente alternada máxima	96,6 A
Distorção harmônica total (THD)	<3%
EFICIÊNCIA	
Máxima eficiência	99%
LIMITES DO MEIO AMBIENTE	
Proteção	IP65
Altitude (m)	4000
Emissão de ruído	<50 dB
GERAL	
Tipo de refrigeração	Ventilação forçada
Interface de comunicação	RS232 e RS485/ Pocket Wi-Fi
Dimensões (L x A x P)	870 x 580 x 290 mm
Peso	82 kg

Fonte: Intelbras (2019).

3.3.3 Superfície de instalação

As estruturas de fixação da marca TRITEC, conforme Figura 13, são destinadas a sistemas fotovoltaicos, o qual foram desenvolvidas em material de excelente qualidade, projetadas para condições climáticas adversas ao longo de muitos anos e resistentes à corrosão, e certificado teste de estresse mecânico.

Os fixadores (grampos) são em Alumínio 6063-T6 de alta resistência e os parafusos, porcas e arruelas em Aço galvanizado. O suporte fixador foi executado de acordo com o modelo de telhado metálico.

Figura 13 – Sistema de fixação dos módulos solares



Fonte: Tritec Energy Brasil Ltda (2018).

3.3.4 Cabeamento

Os cabamentos CC de cor vermelho e preto, utilizados para o sistema *on grid* projetado no posto de gasolina, possuem seção de 6 mm² com dupla isolação e cobertura não halogenada para tensões contínuas de até 1,8kV. Este cabo é formado com cobre eletrolítico estanhado, têmpera mole, e com encordoamento classe 5, da marca Cordeiro Cabos Elétricos. Este tipo de cabeamento é específico para sistema fotovoltaico com composto termo fixo com baixa emissão de fumaça, não propaga a chama e possui proteção contra raios ultravioletas, atendendo assim as exigências da ABNT NBR 16.612.

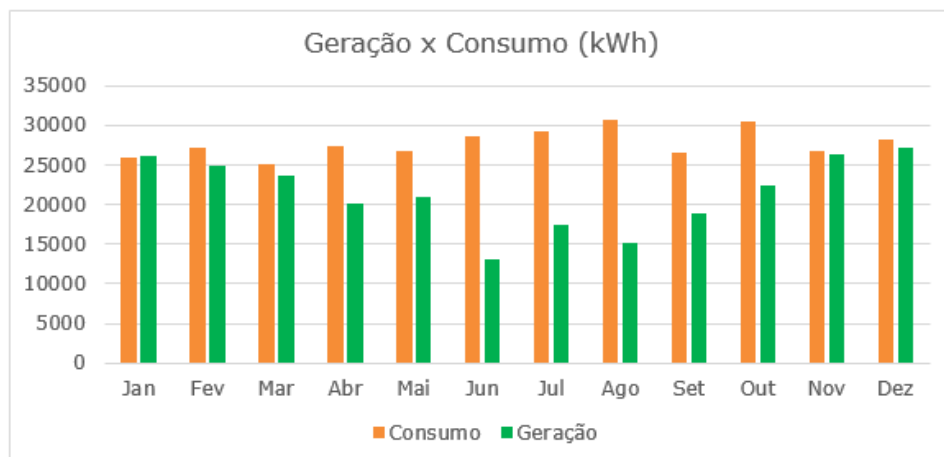
Os cabamentos CA utilizados foram cabos flexíveis do tipo HEPR 90°C 0,6/1 kV da marca Corfio. Segundo Corfio (2019), este cabo é recomendado para instalações em prédios residenciais, comerciais, industriais e subestações. Indicado

para aplicações que exigem maior flexibilidade do condutor e proteção mecânica do material isolante. A cor do revestimento do cabeamento CA por padrão da NBR 5410 foi vermelho, branco e preto para os condutores fase, e azul para neutro.

3.4 Geração do Sistema

A Figura 14, mostra a geração de energia mensal por consumo do cliente, que foi considerado no dimensionamento do sistema fotovoltaico *on grid*. Para efeitos de cálculo, a irradiação solar foi obtida através da base de dados do CRESESB.

Figura 14 – Geração versus Consumo do sistema *on grid*



Fonte: Sunergies (2019).

Na Tabela 8, são apresentados os dados de dimensionamento do sistema fotovoltaico, respeitando os limites impostos pelos fabricantes dos componentes utilizados, assim como as normas de segurança vigentes.

Tabela 8 – Informações do dimensionamento da instalação

DIMENSIONAMENTO DA INSTALAÇÃO	
Consumo médio mensal	27.808 kwh
Irradiação média anual	4,61 kwh/m ² dia
Número de Inversores	3
Potência instalada	200 kW
Número de entrada MPPT 60kW	6
Número de entrada MPPT 80kW	6
Número total de módulos	621
Área ocupada pelos módulos	1242 m ²

Fonte: Sunergies (2019).

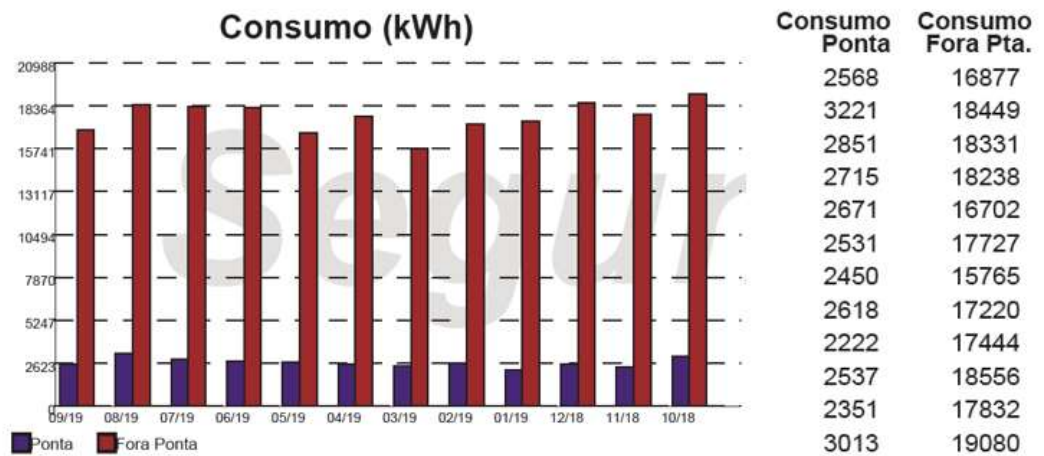
3.5 Dimensionamento do sistema híbrido

Conforme já descrito na seção 2.8, o sistema híbrido é basicamente a junção de um sistema *on* e *off grid*. Portanto na seção 3.6.1, será detalhada os cálculos que foram utilizados para o dimensionamento do sistema conectado à rede do posto de gasolina apresentado no estudo de caso. Na seção 3.6.2, será mostrado os cálculos para dimensionar o sistema *off grid*, onde dá-se início ao dimensionamento do sistema híbrido e banco de baterias.

3.5.1 Dimensionamento *on grid*

Primeiramente foi definido o consumo do cliente a partir da fatura de energia que foi enviada para estudo, e resultou em uma média de consumo mensal de 27.808 kWh/mês, conforme é mostrado o perfil de consumo na Figura 15.

Figura 15 – Perfil de consumo posto de gasolina



Fonte: Sunergies (2019).

Logo após foi definido a irradiação média do local dados em kWh/m² que através do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB). Com isso foi encontrado a irradiação de 4,61 kWh/m².dia para a localidade de Araçongas-PR, e também para efeitos de cálculo um rendimento de aproximadamente 85%.

Segundo Pinho (2014) é possível calcular a potência do sistema, sabendo o consumo diário médio (E) de 926,93 (kWh/dia), o *Performance Ratio* (PR) de 0,852 e a irradiação média diária do local HPS 4,61 (kWh/m².dia), conforme mostra a equação e o resultado obtido.

$$P_{fv} = \frac{E/PR}{HPS} \approx 236 [kWp] \quad (1.1)$$

Segundo Pinho (2014), para descobrir área total dos arranjos, deve-se calcular a quantidade de módulos. Para isso divide-se, o valor da potência do sistema (P_{fv}) dado kWp da equação 1.1, pelo o valor da potência do módulo (P_{mod}) escolhido de 380W, conforme mostrado na seção 3.3.1, nisso foi utilizado a equação 1.2.

$$n^{\circ} \text{módulos} = P_{fv} / P_{mod} \quad (1.2)$$

$$n^{\circ} \text{módulos} = 621$$

A escolha dos inversores foi definida a partir da equação 1.3, onde mostra o cálculo feito para encontrar a capacidade de módulos que o inversor suporta, que está associada a 2 (dois) inversores de 60 kW e 1 (um) inversor de 80 kW, que foram escolhidos para o projeto do posto conforme seção 3.3.2, considerando para a equação a potência máxima de entrada do inversor (P_{in_max}), potência dos módulos (P_{mod}).

Vale ressaltar que segundo o Inmetro (2011), sobre ensaios de equipamentos fotovoltaicos, a eficiência do inversor para operação de potência nominal ser entre 50 a 100%, neste caso foi usado o máximo aproveitamento, ou seja, 100% da capacidade permitida.

$$Cap_{inversor} = \frac{P_{in_max}}{P_{mod}} \quad (1.3)$$

Respeitando-se as condições de tensão de entrada do inversor, onde pode ser calculada pelo número de módulos ligados em série. O projeto on grid do posto, ateu-se a máxima tensão do sistema, que ocorre quando o painel está em circuito aberto (V_{oc}), normalmente na estação de inverno, devido à baixa irradiação. Nisso o sistema pode desconectar-se da rede, elevando a tensão.

Contudo o cálculo do número máximo de módulos em série, foi levado em conta a tensão de circuito aberto (V_{oc}) e a tensão de entrada máxima permitida no inversor ($V_{imáx}$), conforme equação 1.4. (PINHO, 2014)

$$n^{\circ} \text{módulos} \times V_{oc} < V_{imáx} \quad [V] \quad (1.4)$$

Sendo assim, também foi verificado se os módulos conectados em série, conseguem atender à tensão mínima de MPPT do inversor ($V_{iMPPTmin}$). Porém, o contrário também foi analisado, já que em períodos frios os módulos atingem sua máxima eficiência e a tensão gerada pelo sistema não deve ultrapassar a máxima de operação do MPPT do inversor ($V_{iMPPTmáx}$).

Esta condição pode ser estabelecida através da equação 1.5, em que a tensão de potência máxima de um módulo na máxima temperatura de operação ($V_{mpTmáx}$) e menor temperatura de operação (V_{mpTmin}).

$$\frac{V_{iMPPTmin}}{V_{mpTmin}} < n^{\circ} \text{módulos} < \frac{V_{iMPPTmáx}}{V_{mpTmax}} \quad (1.5)$$

Contudo, a configuração e divisão das *strings* no telhado, número de MPPT usados dos inversores, e área de ocupação dos módulos e peso, no qual foram propostos para a montagem dos painéis do posto de gasolina, foi configurada de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 – Configuração das *strings* dos módulos

Número de entradas MPPT (60 kW)	6
Número de entradas MPPT (80 kW)	6
Número total de módulos	621
Área ocupada pelos módulos	1242 m ²
Peso total do sistema	15.835,5 kg
Número de strings x Qtd de módulos (80 kW) - frente	4 x 15 + 8 x 20
Número de strings x Qtd de módulos (60 kW) – fundos 1	10 x 20
Número de strings x Qtd de módulos (60 kW) – fundos 2	8 x 20 + 2 x 14 + 1 x 13

Fonte: Sunergies (2019).

3.5.2 Dimensionamento *off grid*

Segundo Villalva (2015), o dimensionamento das baterias em um sistema fotovoltaico autônomo, consiste em verificar a quantidade de baterias que irão ser utilizadas para suprir uma carga. Isto significa que deve-se, verificar através de cálculos e equações estabelecidas, a quantidade de energia consumida diária, conhecendo a tensão do banco de baterias, bem como a tensão de operação do banco e sua profundidade de descarga, e por fim associa-las adequadamente conforme a necessidade.

Esta seção será dividida em duas partes, sendo que a primeira será utilizada para dimensionar o banco de baterias, afim de suprir a carga considerando o consumo diário do horário de ponta do posto de gasolina em estudo, ou seja horário de 18h às 21h. Logo após, será dimensionado as baterias considerando uma estimativa de consumo diário, afim de priorizar cargas.

3.5.2.1 Horários de ponta

Considerando as informações apresentadas na Figura 14, verifica-se que o consumo médio mensal no horário de ponta é da ordem de 2.645 kWh. Por sua vez, dividindo esse valor por 30 dias, conclui-se que a média do consumo do posto de gasolina no horário de ponta é de 88,2 kW por dia.

Para o dimensionamento do banco de baterias, primeiramente deve-se calcular o número de baterias em série (N_{bs}), que pode ser determinado pela equação 1.6. Considerando o valor da tensão do banco de baterias, e admitindo um valor médio entre as faixas de tensão das baterias conectadas ao inversor, foi escolhido a tensão do banco (V_{banco}) em 360V.

Sendo assim, foi determinado utilizar 15 (quinze) baterias em série, com tensão (V_{bat}) de 24 V cada. A partir desse valor, e supondo o uso de baterias de 24V, conclui-se a necessidade do uso de 15 baterias conectadas em série.

$$N_{bs} = \frac{V_{banco}}{V_{bat}} = \frac{360}{24} = 15 \quad (1.6)$$

Logo, é possível determinar a capacidade de carga em Ah, do banco de baterias. Basta dividir a energia consumida da carga, pela tensão do banco que no caso é de 360 V, e com profundidade de descarga escolhida de 30%. Então tem-se a equação 1.7.

$$C_{banco} = \frac{88.200/360}{0,3} \quad (1.7)$$

$$C_{banco} = 816,6 \text{ Ah}$$

Por fim, é necessário determinar o número de baterias conectadas em paralelo, considerando a bateria brasileira da Unipower, modelo UPLFP24-150 de 24V de lítion-íon e capacidade de carga 150 Ah, conforme mostra as principais especificações na Tabela 4 e o modelo de bateria na Figura 10. Vale lembrar que o número de baterias em paralelo, foi arredondado para cima, em virtude de atender à necessidade total do posto de gasolina em horário de ponta.

$$N_{bp} = \frac{816,6}{150} = 6 \quad (1.8)$$

De forma resumida, considerando os valores obtidos através das equações apresentadas, tem-se a Tabela 10.

Tabela 10 - Valores do dimensionamento de baterias para horário de ponta

Baterias em série (Nbs)	Baterias em paralelo (Nbp)	Energia armazenada do banco (EA)	Capacidade do banco (Cbanco)
15	6	88,2 [kWh/dia]	816,6 [Ah]

Fonte: Elaboração própria (2021).

Para comparar através de simulação, os valores obtidos pelos cálculos efetuados no dimensionamento das baterias do sistema *off grid*, foi utilizado o *software Pvsyst*. Com isso é possível verificar se a associação das baterias e a capacidade do banco de baterias está correto, de acordo com a energia que precisa ser armazenada ao dia.

Figura 16 – Simulação das baterias em horário ponta

The image shows two parts of the Pvsyst software interface. The top part is a pink box containing input fields for 'Av. daily needs' (88.2 kWh/day) and 'Enter requested autonomy' (2.0 day(s)). Below this is a 'Detailed pre-sizing' button. The bottom part is a grey box titled 'Specify the Battery set'. It shows 'Sort Batteries by' set to 'voltage'. The selected battery is 'LifePo4', '24 V', '150 Ah', 'Li LFP', 'Battery module Li-Ion, 2 Since 2017'. The interface shows '15 modules in serie' and '6 modules in parallel', resulting in 'Number of modules: 90' and 'Number of elements: 41760'. Summary statistics include: 'Battery pack voltage: 360 V', 'Global capacity: 901 Ah', 'Stored energy (80% DOD): 277 kWh', 'Total weight: 4950 kg', 'Nb. cycles at 50% DOD: 3125', and 'Total stored energy during the battery life: 501.6 MWh'.

Fonte: Pvsyst (2021).

Verificando-se os valores obtidos por simulação de acordo com a Figura 16, observa-se que para atender aproximadamente 88,2 kWh/dia, considerando 30% de profundidade da bateria, é necessárias 90 baterias, com a capacidade do banco de 816,6 Ah.

Considerando as dimensões das baterias conforme Tabela 4, estima-se uma área de no mínimo 10 m² e volume aproximado de 3 m³ para ocupação do banco de baterias. Deste modo, os valores obtidos por simulação estão aproximados, com os valores calculados na equação 2.3, devido as aproximações e arredondamentos

do próprio *software*, e também do arredondamento feito através dos cálculos da equação 2.3.

Como este sistema do posto de gasolina, possui uma carga relativamente grande, e para manter a mesma carga instalada de inversores do sistema *on grid*, será usado 2 (dois) inversores híbridos de potência 100 kW, modelo 100K-EX do fabricante DS New Energ.

O fabricante, afirma que este inversor usa o sistema *All in one*, onde já possui acoplado o controlador de carga e descargas dos bancos, além de combinar um sistema solar utilitário AC e fonte de energia de bateria para fornecer energia contínua ao usuário. A Figura 17 apresenta o modelo do inversor híbrido, e Tabela 11 as informações técnicas

Figura 17 – Inversor híbrido 100K-EX



Fonte: Cosentino (2021).

Tabela 11 – Informações técnicas do inversor híbrido 100K-EX

Potência nominal de saída (kW)	100
Corrente máxima de entrada (A)	384
Range de tensão de entrada (V)	520 ~ 900
Número de MPPTs	1
Range de Tensão das baterias (V)	250~520
Máxima corrente de carga / descarga (A)	300

Tensão nominal de saída (V)	400
Range de tensão de saída (V)	340-460
Frequência nominal (Hz)	60 Hz

Fonte :Adaptado de Cosentino (2021).

3.5.2.2 Cargas prioritárias

Nesta seção será estimado um consumo diário, priorizando cargas, no qual a princípio não podem ser desligadas na falta de energia. Com isso, considerando que o posto de gasolina opera por 24h, e também considerando a cargas dos refrigeradores verticais e horizontais da loja de conveniência, e restaurante anexos ao consumo do posto. A tabela 12, apresenta o levantamento estimado de carga para estes equipamentos.

Tabela 12 – Levantamento das cargas prioritárias

Equipamento	Quantidade	Potência [W]	Consumo [Wh/dia]
Refrigerador (Vertical)	4	780	3120
Refrigerador (Horizontal)	3	1500	1500
Bomba de gasolina	8	740	5920
Consumo total [Wh/dia]:			10540

Fonte: Elaboração própria (2021).

Foi mantida a utilização dos mesmos equipamentos e quantidades estabelecidas, tais como, inversor híbrido modelo 100K-EX e painéis solares de 380 W da seção 3.6.2.1 sobre horário de ponta, e considerando os cálculos de *range* de tensão para conexão do inversor

O banco de baterias será semelhante ao da seção anterior de lítio-íon da Unipower, modelo UPLFP21-30, porém de capacidade de carga menor de 30 Ah, com modelo semelhante à Figura 10, porém com diferentes especificações como mostra a Tabela 16, com conexão em série, resultando em uma tensão no banco de 360V. Nisso a área para instalação do banco de baterias será no mínimo 3 m² e o volume aproximado de 0,3 m³.

Os cálculos do dimensionamento do banco de baterias, são apresentados, conforme Tabela 14, baseado no consumo total diário de 10.540 Wh diários e as principais especificações da bateria na Tabela 13.

Tabela 13 – Especificações da bateria 24V de lítio-íon

Tensão nominal	24 V
Capacidade nominal	30 Ah
Comprimento (mm)	229
Largura (mm)	138
Altura (mm)	213

Fonte: Adaptado de Unipower.

Seguindo as equações 1.6 à 1.8, que referem-se ao dimensionamento do banco de baterias, tem-se a Tabela 14 com os valores obtidos, agora considerando cargas prioritárias.

Tabela 14 – Valores dimensionamento de baterias para cargas prioritárias

Baterias em série (N _{bs})	Baterias em paralelo (N _{bp})	Energia armazenada do banco (EA)	Capacidade do banco (C _{banco})
15	3	10,54 [kWh/dia]	97,6 [Ah]

Fonte: Elaboração própria (2021).

Observando-se os valores obtidos da Tabela 14, percebe-se que para atender somente as cargas prioritárias, o número de baterias foi reduzido pela metade, comparado com a seção anterior de horário ponta. Isto deve-se ao fato, que para atender o consumo de horário de ponta de todo o sistema, é muito mais complexo e demanda uma carga maior, e também as especificações da bateria utilizado neste caso diferem-se um pouco.

Na Figura 18, tem-se os valores obtidos por simulação, que aproximam-se dos resultados obtidos nas equações teóricas de dimensionamento, conforme Tabela 14. Vale ressaltar que este *software* também calcula uma estimativa de vida útil destas baterias mantidas nesse padrão de demanda diária que resultou um total de em 50,4 MWh em armazenamento de energia. Vale ressaltar que de acordo com as necessidades que foram repassadas a empresa instaladora do sistema *on grid* do posto de gasolina, foi estimado a autonomia das baterias em 2 (dois) dias.

Figura 18 – Simulação das baterias em cargas prioritárias

The image shows two parts of the PVsyst software interface. The top part is a control panel for battery simulation, and the bottom part is a detailed specification window for the battery set.

Simulation Parameters:

- Av. daily needs: 10.5 kWh/day
- Enter accepted LOD: 5.0 %
- Enter requested autonomy: 2.0 day(s)
- Button: Detailed pre-sizing

Specify the Battery set:

Sort Batteries by: voltage capacity manufacturer

Unipower | 24 V | 30 Ah | Li LFP | Battery module Li-Ion, 2 Since 2017 | [Open](#)

Lithium-ion | The selected battery is a module

<input type="text" value="15"/> modules in serie	Number of modules: 45	Battery pack voltage: 360 V
<input type="text" value="3"/> modules in parallel	Number of elements: 20880	Global capacity: 90 Ah
		Stored energy (80% DOD): 27.8 kWh
		Total weight: 2475 kg
		Nb. cycles at 50% DOD: 3125
		Total stored energy during the battery life: 50.4 MWh

Fonte: PVsyst (2021).

4 ANÁLISE ECONÔMICA

Para dar-se início a análise econômica, primeiramente serão apresentados os valores dos custos do sistema *on grid* já projetado e instalado no posto de gasolina em estudo, com seu devido retorno de investimento. Logo após, serão apresentado os custos necessário para uma possível implementação de sistema FV híbrido neste posto de gasolina, através de pesquisas dos valores estimados de mercado, dada a complexidade dos componentes como painéis solares, inversor híbrido e baterias e infraestrutura do sistema.

4.1 Custos do Sistema *On grid*

Os custos dos materiais utilizados no sistema FV *on grid* são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Insumos e custos do sistema *on grid*

Elementos	Quantidade	Valor unitário	Valor Total
Módulo Fotov. Monocristalino 380W EMSZ-380M DG	621	R\$ 953,76	R\$ 592.284,96
Inversor On Grid 60kW EGT 60000 MAX	2	R\$ 23.171,39	R\$ 46.342,78
Inversor On Grid 80kW EGT 80000 MAX	1	R\$ 26.496,40	R\$ 26.496,40
String box 1000V 4E/4S	18	R\$ 1.930,93	R\$ 34.756,74
Estrutura Fixação Alumínio Anodizado Telha Metálica	156	R\$ 270,10	R\$ 42.135,60
Grampo Intermediário p/ Estruturas Fotovoltaicas	310	R\$ 7,35	R\$ 2.278,50
Chapa Metálica p/ Junção de Estruturas Fotovoltaicas	310	R\$ 4,58	R\$ 1.419,80
Conector Fotovoltaico MC4 (par) 1,5kV	32	R\$ 11,93	R\$ 381,76
Cabo Fotovoltaico Preto 1,8 kV 4mm ECS 6B (m)	471	R\$ 5,07	R\$ 2.387,97
Cabo Fotovoltaico Verm. 1,8 kV 4mm ECS 6R (m)	471	R\$ 5,07	R\$ 2.387,97
Materiais de conexão CA	-	-	R\$ 144.291,39
Total Insumos:			R\$ 895.163,87

Fonte: Sunergies (2019).

Além disso, outros custos relacionados à mão de obra, impostos e lucro da empresa que executou o projeto, são detalhados na Tabela 16. Para tanto, o custo da mão de obra foi determinado, considerando 10% sobre o valor dos insumos, e o lucro foi considerado 10% do valor total da obra, descontando os impostos devidos.

Tabela 16 – Custos de venda do sistema *on grid*

Cálculo de preço de venda	
Total insumos	R\$ 895.163,87
Mão de obra	R\$ 89.516,39
Custo da obra	R\$ 984.680,26
Lucro	R\$ 85.953,19
Imposto sobre lucro	R\$ 29.224,08
Subtotal	R\$ 1.099.857,53
Pis/Cofins	R\$ 101.736,82
Total	R\$ 1.201.594,35
Preço de venda/kW	5.090,00 / kW

Fonte: Sunergies (2019).

O retorno de investimento ou também chamado de *payback*, é um indicador utilizado para compreender o retorno de investimento, e permite ter noção de quanto tempo o valor investido se iguala ao rendimento. Para energia solar, seria uma forma de geração de créditos de energia, quando o excedente não é utilizado. Assim o retorno do investimento é mensurado através do tempo em que irá ser pago o sistema, considerando os 25 anos, no qual estima-se a vida útil de um sistema fotovoltaico. (Portal Solar, 2019)

Tendo em vista estas considerações, a Tabela 17, apresenta os valores de economia anual durante 25 anos. Com isso os cálculos de economia estão baseados na taxa percentual de aumento de energia ao longo dos últimos anos, e também mostra a economia acumulada durante estes anos e o valor que o cliente irá pagar durante os 5 anos, no qual foi estimado o *payback* do sistema.

Tabela 17 – Retorno de investimento do sistema *on grid*

Investimento		Taxa média anual	Payback (anos)
R\$	1.201.044,42	12%	5

Ano	Economia	Economia acumulada	Valor a pagar
1	R\$ 235.789,79	R\$ 235.789,79	R\$ 965.254,63
2	R\$ 264.084,56	R\$ 499.874,35	R\$ 701.170,07
3	R\$ 295.774,71	R\$ 795.649,06	R\$ 405.395,36
4	R\$ 331.267,68	R\$ 1.126.916,74	R\$ 74.127,68
5	R\$ 371.019,80	R\$ 1.497.936,54	-
6	R\$ 415.542,17	R\$ 1.913.478,71	-
7	R\$ 465.407,23	R\$ 2.378.885,95	-
8	R\$ 521.256,10	R\$ 2.900.142,05	-
9	R\$ 583.806,84	R\$ 3.483.948,89	-
10	R\$ 653.863,66	R\$ 4.137.812,54	-
11	R\$ 732.327,29	R\$ 4.870.139,84	-
12	R\$ 820.206,57	R\$ 5.690.346,41	-
13	R\$ 918.631,36	R\$ 6.608.977,76	-
14	R\$ 1.028.867,12	R\$ 7.637.844,89	-
15	R\$ 1.152.331,18	R\$ 8.790.176,06	-
16	R\$ 1.290.610,92	R\$ 10.080.786,98	-
17	R\$ 1.445.484,23	R\$ 11.526.271,20	-
18	R\$ 1.618.942,33	R\$ 13.145.213,54	-
19	R\$ 1.813.215,41	R\$ 14.958.428,95	-
20	R\$ 2.030.801,26	R\$ 16.989.230,21	-
21	R\$ 2.274.497,41	R\$ 19.263.727,63	-
22	R\$ 2.547.437,10	R\$ 21.811.164,73	-
23	R\$ 2.853.129,56	R\$ 24.664.294,29	-
24	R\$ 3.195.505,10	R\$ 27.859.799,40	-
25	R\$ 3.578.965,72	R\$ 31.438.765,11	-

Fonte: Sunergies (2019).

4.2 Custos de instalação de um sistema fotovoltaico híbrido

Sendo assim a Tabela 18, apresenta os custos do sistema, destinado para suprir a carga do posto de gasolina em horário ponta, e também o de cargas prioritárias, conforme foi apresentado no capítulo anterior.

Tabela 18 – Custos do sistema híbrido

Equipamentos	Horário Ponta	Cargas prioritárias
Módulos Fotovoltaicos	R\$ 592.284,96	R\$ 592.284,96
Inversores Híbridos	R\$ 406.000,00	R\$ 406.000,00
Banco de Baterias	R\$ 370.530,00	R\$ 110.700,00
Instalação / Infraestrutura	R\$ 243.000,00	R\$ 243.000,00
Custo Total	R\$ 1.611.814,96	R\$ 1.351.984,96

Fonte: Elaboração própria (2022).

Observa-se na Tabela 18, que para instalação de um sistema, suprimindo a demanda de horário ponta, em termos econômicos ficará significativamente mais caro, do que comparado a priorização de cargas. Isto porque o sistema para horário ponta, é mais robusto, complexo e com maior número de equipamentos utilizados.

4.3 Retorno de investimento

As tabelas 19 e 20, referidas a sistema híbrido em horário ponta e priorização de cargas, respectivamente, calculam o retorno de investimento em função da evolução do preço do kWh ao longo dos anos.

A economia no primeiro ano é calculada, pelo valor médio atual do kWh constada na fatura do cliente, multiplicado pela geração média mensal em kWh/mês, estes multiplicados por 12 meses.

Entretanto, ao longo dos próximos anos é considerado o valor do ano anterior, multiplicados com a porcentagem de aumento de energia estimada em 14%, de acordo com os últimos anos, e a economia acumulada, soma ano a ano, durante 25 anos.

O valor a pagar, é subtraído o valor do investimento total com a economia acumulada de cada ano, chegando ao um ponto que a economia acumulada

ultrapassa o valor do investimento total, e com isso, dá-se a estimativa do tempo de *payback* para o investimento realizado.

Tabela 19 – Retorno de investimento do sistema híbrido em horário ponta

Investimento		Aumento de energia	Payback (anos)
R\$ 1.611.814,96		14%	7
Ano	Economia	Economia acumulada	Valor a pagar
1	R\$ 182.873,39	R\$ 182.873,39	R\$ 1.428.941,57
2	R\$ 208.475,67	R\$ 391.349,06	R\$ 1.220.465,90
3	R\$ 237.662,26	R\$ 629.011,32	R\$ 982.803,64
4	R\$ 270.934,98	R\$ 899.946,30	R\$ 711.868,66
5	R\$ 308.865,87	R\$ 1.208.812,17	R\$ 403.002,79
6	R\$ 352.107,10	R\$ 1.560.919,27	R\$ 50.895,69
7	R\$ 401.402,09	R\$ 1.962.321,36	-
8	R\$ 457.598,38	R\$ 2.419.919,74	-
9	R\$ 521.662,16	R\$ 2.941.581,90	-
10	R\$ 594.694,86	R\$ 3.536.276,75	-
11	R\$ 677.952,14	R\$ 4.214.228,89	-
12	R\$ 772.865,44	R\$ 4.987.094,33	-
13	R\$ 881.066,60	R\$ 5.868.160,93	-
14	R\$ 1.004.415,92	R\$ 6.872.576,85	-
15	R\$ 1.145.034,15	R\$ 8.017.611,00	-
16	R\$ 1.305.338,93	R\$ 9.322.949,93	-
17	R\$ 1.488.086,38	R\$ 10.811.036,31	-
18	R\$ 1.696.418,48	R\$ 12.507.454,79	-
19	R\$ 1.933.917,06	R\$ 14.441.371,85	-
20	R\$ 2.204.665,45	R\$ 16.646.037,31	-
21	R\$ 2.513.318,62	R\$ 19.159.355,92	-
22	R\$ 2.865.183,22	R\$ 22.024.539,14	-
23	R\$ 3.266.308,87	R\$ 25.290.848,01	-
24	R\$ 3.723.592,11	R\$ 29.014.440,13	-
25	R\$ 4.244.895,01	R\$ 33.259.335,14	-

Fonte: Elaboração Própria (2022)

Tabela 20 – Retorno de investimento do sistema híbrido em cargas prioritárias

Investimento		Aumento de energia	Payback (anos)
R\$ 1.351.984,96		14%	6
Ano	Economia	Economia acumulada	Valor a pagar
1	R\$ 182.873,39	R\$ 182.873,39	R\$ 1.169.111,57
2	R\$ 208.475,67	R\$ 391.349,06	R\$ 960.635,90
3	R\$ 237.662,26	R\$ 629.011,32	R\$ 722.973,64
4	R\$ 270.934,98	R\$ 899.946,30	R\$ 452.038,66
5	R\$ 308.865,87	R\$ 1.208.812,17	R\$ 143.172,79
6	R\$ 352.107,10	R\$ 1.560.919,27	-
7	R\$ 401.402,09	R\$ 1.962.321,36	-
8	R\$ 457.598,38	R\$ 2.419.919,74	-
9	R\$ 521.662,16	R\$ 2.941.581,90	-
10	R\$ 594.694,86	R\$ 3.536.276,75	-
11	R\$ 677.952,14	R\$ 4.214.228,89	-
12	R\$ 772.865,44	R\$ 4.987.094,33	-
13	R\$ 881.066,60	R\$ 5.868.160,93	-
14	R\$ 1.004.415,92	R\$ 6.872.576,85	-
15	R\$ 1.145.034,15	R\$ 8.017.611,00	-
16	R\$ 1.305.338,93	R\$ 9.322.949,93	-
17	R\$ 1.488.086,38	R\$ 10.811.036,31	-
18	R\$ 1.696.418,48	R\$ 12.507.454,79	-
19	R\$ 1.933.917,06	R\$ 14.441.371,85	-
20	R\$ 2.204.665,45	R\$ 16.646.037,31	-
21	R\$ 2.513.318,62	R\$ 19.159.355,92	-
22	R\$ 2.865.183,22	R\$ 22.024.539,14	-
23	R\$ 3.266.308,87	R\$ 25.290.848,01	-
24	R\$ 3.723.592,11	R\$ 29.014.440,13	-
25	R\$ 4.244.895,01	R\$ 33.259.335,14	-

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Para maior detalhamento do investimento do sistema híbrido, elaborou-se uma planilha financeira, onde mostra primeiramente o valor consumido com a energia elétrica ao longo do tempo, considerando a taxa média da última década, justificando que o mesmo consumo atualmente, será ajustado anualmente.

A planilha também apresenta a estimativa de projeção das parcelas de financiamento do sistema híbrido, e o fluxo de caixa, no qual este, indica entradas e transferências financeiras em um período, mostrando a origem de todo o dinheiro aplicado.

As Tabelas 21 e 22 apresentam esta tabela financeira sendo o sistema híbrido de horário ponta e cargas prioritárias respectivamente.

Tabela 21 – Planilha financeira do sistema híbrido em horário ponta

Ano	Energia elétrica		Fincanciamento			Saldo	
	Gasto com energia (economizado)	Aumento da energia	Valor pago	Valor pago (acumulado)	Valor a pagar	Fluxo de caixa	Acumulado
1	R\$ 183.315,34	R\$ 15.681,39	R\$ 227.777,40	R\$ 227.777,40	R\$ 2.049.996,60	-R\$ 44.462,06	-R\$ 44.462,06
2	R\$ 224.438,70	R\$ 41.565,30	R\$ 227.777,40	R\$ 455.554,80	R\$ 1.822.219,20	-R\$ 3.338,70	-R\$ 47.800,76
3	R\$ 251.371,34	R\$ 68.497,94	R\$ 227.777,40	R\$ 683.332,20	R\$ 1.594.441,80	R\$ 23.593,94	-R\$ 24.206,82
4	R\$ 281.535,90	R\$ 98.662,50	R\$ 227.777,40	R\$ 911.109,60	R\$ 1.366.664,40	R\$ 53.758,50	R\$ 29.551,68
5	R\$ 315.320,21	R\$ 132.446,81	R\$ 227.777,40	R\$ 1.138.887,00	R\$ 1.138.887,00	R\$ 87.542,81	R\$ 117.094,48
6	R\$ 353.158,63	R\$ 170.285,23	R\$ 227.777,40	R\$ 1.366.664,40	R\$ 911.109,60	R\$ 125.381,23	R\$ 242.475,72
7	R\$ 395.537,67	R\$ 212.664,27	R\$ 227.777,40	R\$ 1.594.441,80	R\$ 683.332,20	R\$ 167.760,27	R\$ 410.235,98
8	R\$ 443.002,19	R\$ 260.128,79	R\$ 227.777,40	R\$ 1.822.219,20	R\$ 455.554,80	R\$ 215.224,79	R\$ 625.460,77
9	R\$ 496.162,45	R\$ 313.289,05	R\$ 227.777,40	R\$ 2.049.996,60	R\$ 227.777,40	R\$ 268.385,05	R\$ 893.845,82
10	R\$ 604.174,39	R\$ 434.101,06	R\$ 227.777,40	R\$ 2.049.996,60	R\$ 227.777,40	R\$ 376.396,99	R\$ 1.001.857,76
Total	R\$ 3.548.016,81	R\$ 1.747.322,33	R\$ 2.277.774,00	-	-	-	-

Fonte: Elaboração Própria (2022).

Tabela 22 – Planilha financeira do sistema híbrido em cargas prioritárias

Ano	Energia elétrica		Fincanciamento			Saldo	
	Gasto com energia (economizado)	Aumento da energia	Valor pago	Valor pago (acumulado)	Valor a pagar	Fluxo de caixa	Acumulado
1	R\$ 120.290,00	R\$ 10.290,00	R\$ 191.058,84	R\$ 191.058,84	R\$ 1.719.529,56	-R\$ 70.768,84	-R\$ 70.768,84
2	R\$ 147.274,80	R\$ 27.274,80	R\$ 191.058,84	R\$ 382.117,68	R\$ 1.528.470,72	-R\$ 43.784,04	-R\$ 114.552,88
3	R\$ 164.947,78	R\$ 44.947,78	R\$ 191.058,84	R\$ 573.176,52	R\$ 1.337.411,88	-R\$ 26.111,06	-R\$ 140.663,94
4	R\$ 184.741,51	R\$ 64.741,51	R\$ 191.058,84	R\$ 764.235,36	R\$ 1.146.353,04	-R\$ 6.317,33	-R\$ 146.981,27
5	R\$ 206.910,49	R\$ 86.910,49	R\$ 191.058,84	R\$ 955.294,20	R\$ 955.294,20	R\$ 15.851,65	-R\$ 131.129,62
6	R\$ 231.739,75	R\$ 111.739,75	R\$ 191.058,84	R\$ 1.146.353,04	R\$ 764.235,36	R\$ 40.680,91	-R\$ 90.448,72
7	R\$ 259.548,52	R\$ 139.548,52	R\$ 191.058,84	R\$ 1.337.411,88	R\$ 573.176,52	R\$ 68.489,68	-R\$ 21.959,04
8	R\$ 290.694,34	R\$ 170.694,34	R\$ 191.058,84	R\$ 1.528.470,72	R\$ 382.117,68	R\$ 99.635,50	-R\$ 77.676,46
9	R\$ 325.577,66	R\$ 205.577,66	R\$ 191.058,84	R\$ 1.719.529,56	R\$ 191.058,84	R\$ 134.518,82	R\$ 212.195,29
10	R\$ 396.454,19	R\$ 284.853,49	R\$ 191.058,84	R\$ 1.719.529,56	R\$ 191.058,84	R\$ 205.395,35	R\$ 283.071,82
Total	R\$ 2.328.179,04	R\$ 1.146.578,34	R\$ 1.910.588,40	-	-	-	-

Fonte: Elaboração Própria (2022).

4.4 Comparação do sistema FV on grid com sistema FV híbrido

É possível observar que ao verificar os custos do sistema já projetado e executado do posto de gasolina em estudo com sistema *on grid*. É notório que em termos econômicos o sistema conectado à rede é muito mais viável para o consumidor, pois os equipamentos utilizados são significativamente mais acessíveis, comparado a um sistema híbrido, onde é usado inversores híbridos e baterias, que possuem uma maior complexidade de construção.

Isto implica em um aumento no retorno financeiro do consumidor que queira investir nesta recente tecnologia do sistema híbrido solar. Com isso ao verificar-se as tabelas 19 e 20, nota-se que o *payback* aumenta cerca de 1 a 2 anos, considerando ainda uma parte da demanda do posto, como foram apresentados e dimensionados, os dois casos no capítulo anterior, isto é, demanda em horário ponta e priorização de cargas.

Deste modo torna-se inviável o uso do sistema híbrido, mesmo atendendo uma parte da demanda do sistema do posto de gasolina. Certamente seria impraticável o uso do sistema FV híbrido atendendo a demanda total do posto, pois encareceria muito, por conta do número de baterias no banco que seriam necessárias para atender todo o sistema, além da complexidade e infraestrutura.

Porém, as vantagens que o sistema híbrido traz, são convidativas, pois como já foi mostrado as vantagens deste sistema no capítulo 2, ele é a junção do sistema *on* com o *off grid*, trazendo benefícios, como, suprir cargas na falha da rede elétrica, economizar custos de energia por causa do armazenamento de energia no banco de baterias, podendo ser utilizado no período noturno.

Este sistema pode ser considerado, em outras palavras como autossustentável. Mas como foi abordado, todo este privilégio, possui um investimento alto para ser feito, comparado a um sistema convencional *on grid*.

5 CONCLUSÃO

Através deste estudo, foi possível atingir o objetivo do trabalho. Apesar de ser o previsto, o sistema híbrido não foi satisfatório em termos econômicos, por conta de seu custo ser mais elevado do que o convencional *on grid*, isto é, considerando a maior complexidade e exigência de bancos de baterias. Por outro lado, acredita-se que foi de suma importância, para um maior conhecimento sobre os benefícios desta tecnologia e como ela pode atender melhor o consumidor.

Assim sendo, como sugestão de melhoria para trabalhos futuros, é possível apresentar de forma mais pontual e detalhada o sistema FV híbrido, apresentando outros estudos e aplicações, como, por exemplo, residências ou empresas de grande porte. Outra sugestão seria realizar a pesquisa de outros modelos de equipamentos que compõe o sistema FV híbrido, comparando-os com os apresentados neste estudo, afim de encontrar menores custos e que também possam reduzir o valor final da obra e retorno de investimento, não comprometendo a qualidade e eficiência do sistema.

Enfim, o trabalho realizado, espera contribuir para o maior conhecimento nesta recente tecnologia fotovoltaica, auxiliando em uma possível solução de problemas, no qual o sistema convencional *on grid* ocasiona. Para tanto, espera-se que este estudo, possa servir de inspiração e motivação para que continue sendo estudado, tanto nesta área abordada, quanto as demais tecnologias de energia solar fotovoltaica.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. **Resolução normativa n° 482**: Acesso ao sistema de Distribuição. Brasília: Aneel, 2012. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo3_Revisao_4_Retificacao_2.pdf. Acesso em: 13 ago. 2021.
- ARAUJO, Ericka. **Brasil recebe o primeiro sistema híbrido em aplicação de irrigação**. 2020. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/brasil-recebe-o-primeiro-sistema-hibrido-do-mundo-em-aplicacao-de-irrigacao/>. Acesso em: 16 out. 2021.
- BOSO, Ana Cláudia Marassá Roza *et al.* Análise de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil. **Anap Brasil**, São Paulo, v. 8, n. 12, p. 57-66, mar. 2015. Disponível: https://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/anap_brasil/article/view/1138/1161. Acesso em: 12 ago. 2021.
- BATTERY UNIVERSITY. Is Lithium-ion the Ideal Battery? Battery University, 201-. Disponível em: https://batteryuniversity.com/learn/archive/is_lithium_ion_the_ideal_battery. Acesso em: 25 set. 2021.
- CEPEL; CRESESB. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2004. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2004.pdf. Acesso em: 10 jul. 2021
- CSR, **Energia Solar. Sistema fotovoltaico híbrido (on-grid e off-grid)**. 2017. Disponível em: <http://www.csrenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-hibrido-on-grid-e-off-grid>. Acesso em: 13 ago. 2021.
- SOLAR, Canal. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box**. 2019. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>. Acesso em: 19 out. 2021.
- CROSARA, Vinícius de Oliveira; CAMPOS, Matheus. **Dimensionamento de um sistema on-grid fotovoltaico no setor de panificação no Brasil**. 42 f. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade de Uberaba, Uberaba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.uniube.br/bitstream/123456789/518/1/matheus%20Campos%20e%20Vinicius%20de%20Oliveira%20Crossara.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.
- COSENTINO, Vinícius de Lima. **Dimensionamento de um banco de baterias interligado em um sistema fotovoltaico para suprimento de energia em horário de ponta nos blocos UFASA do campus Gragoatá da UFF**. 2021. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Uff, Niterói, 2021. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/23192>. Acesso em: 23 nov. 2021

DENG, Da *et al.* Li- ion batteries: basics, progress, and challenges. **Energy Science & Engineering**, Michigan, v. 1, n. 30, p. 385-390, 12 ago. 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.95>. Acesso em: 12 ago. 2021.

DEYE. **Hybrid Inverter**. China: Ningbo Deye Technology Ltda, 2020. 2 p. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/loja/fileuploader/download/download/?d=1&file=custum%2Fupload%2FFile-1620307381.pdf>. Acesso em: 30 out. 2021.

EPE. **Mudanças Climáticas e Desdobramentos sobre os Estudos de Planejamento Energético**: considerações iniciais. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/Mudancas%20Climaticas%20e%20Planejamento%20Energetico.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2021

EPE. **Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf. Acesso em: 05 jul. 2021.

ENERGIA solar deve minimizar perdas de produtores de leite em Goiás. Direção: Globo Rural. 2021. (7 min.), son., P&B. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2021/07/18/energia-solar-deve-minimizar-perdas-de-produtores-de-leite-em-goias.ghtml>. Acesso em: 14 ago. 2021.

GARITA, Victor Vega; HANIF, Ali; NARAYAN, Nishant; ELIZONDO, Laura Ramirez; BAUER, Pavol. Selecting a suitable battery technology for the photovoltaic battery integrated module. **Journal of Power Sources**, Costa Rica, v. 1, n. 11, p. 1-11, ago. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775319310043>. Acesso em: 13 ago. 2021.

GOMES NETO, Leonardo; MASSA, Adilson; FLORIAN, Fabiana. Estudo do sistema fotovoltaico on-grid e off-grid. **Semana Acadêmica**, São Paulo, dez. 2019. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/leonardo_gomes_neto_-_estudo_do_sistema_fotovoltaico_on-grid_e_off-grid_0.pdf. Acesso em: 09 ago. 2021.

IMHOFF, Johninon. **Desenvolvimento de conversores estáticos para sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, UFSM, Santa Maria, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8608/JOHNINSONIMHOFF.pdf?sequen ce=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 ago. 2021.

KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha *et al.* Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Reget/Ufsm**, Santa Maria, v. 20, p. 241-247, jan. 2016. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/abef/1d505c90f629dd0bf36652356482c30086aa.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2021.

KIEHNE, H. A. Battery Technology Handbook. 2^a. ed. New York: Marcel Dekker, Inc., v. 1, 2003.

KSENERGIA. **Como funciona os sistemas de Energia Solar Off-Grid e Híbrido?** 2020. Disponível em: <https://ksenergia.com.br/como-funciona-os-sistemas-de-energia-solar-off-grid-e-hibrico>. Acesso em: 4 nov. 2021.

LAFUENTE, David Velasco de *et al.* Photovoltaic Power System With Battery Backup With Grid-Connection and Islanded Operation Capabilities. **Ieee Transactions On Industrial Electronics**, [S.L.], v. 60, n. 4, p. 1571-1581, 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6189074>. Acesso em: 10 jul. 2021.

MACEDO, Wilson Negrão. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2006. 14 f. Tese (Doutorado) - Curso de Interunidades em Energia, Usp, São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-29112006-153307/publico/TeseWilson1.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

MA, Shuai *et al.* Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries. **Journal of Power Sources**, China, v. 28, n. 14, p. 653-666, nov. 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007118307536>. Acesso em: 12 ago. 2021.

MAESTRI, Hugo Guilherme. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico autônomo para alimentação de um dispositivo de monitoramento de parâmetros elétricos em linhas de transmissão**. 2018. 101 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufsc, Florianópolis, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/183633/TCC_Hugo_Guilherme_Maestri.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 out. 2021.

NASCIMENTO C. A. 2018 "Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica", Artigo científico, Disponível em: http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf, Outubro. Acesso em: 08 jul. 2021.

ONS. **Avaliação das condições de atendimento eletroenergético do sistema interligado nacional**. 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/Nota-a-imprensa-Esclarecimentos-em-relacao-a-nota-tecnica-Avaliacao-das-Condicoes-de-Atendimento-Eletoenergetico-do-SIN.aspx>. Acesso em: 14 jul. 2021.

PINHO, João Tavares et al. **Sistemas híbridos – Soluções energéticas para a Amazônia**. 1 ed. Brasília, Brasil: Ministério de Minas e Energia, 2008.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel / Cresesb, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2021.

PEREIRA, Alisson Cruz. **Geração de Energia para condomínio utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo**. 46 f. 2010. Monografia de Especialização (Curso de Especialização em Construção Civil), UFMG, Minas Gerais, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS9AHFB9/1/monografia_ufmg_alisson_cruz_pereira.pdf. Acesso em 13 ago. 2021.

ROSOLEM, Maria de Fátima N. C. *et al.* Desenvolvimento de bateria de lítio-íon para serviços ancilares. **Anaiscbens**, Fortaleza, v. 8, n. 11, p. 2-6, 1 jun. 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/910/910>. Acesso em: 11 ago. 2021

RAIMUNDO, Thiago H. A.. **Projetando e Dimensionando Sistema Fotovoltaico**. São Paulo: Thiago Raimundo, 2020. 159 slides, color. Disponível em: <https://aett.com.br/wp-content/uploads/2020/07/Curso-PROJETANDO-E-DIMENSIONANDO-SISTEMA-FOTOVOLTAICO-Oficial.pdf>. Acesso em: 20 out. 2021.

ROSOLEM, Maria de Fátima. **Baterias de Lítion-Íon: desafios e oportunidades**. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/ptbr/arquivos/ciencia_tecnologia/acumuladores_energia/cpqda_.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

SILVA, Selênio Rocha. **EEE024 – Fundamentos em fontes alternativas de energia**. Disponível em: http://www.cpdee.ufmg.br/~selenios/Geracao/EEE024-2013_3.pdf. Acesso em: 05 jul. 2021.

SOLIENS. Entenda o que é sistema solar híbrido. 2018. Disponível em: <https://soliens.com.br/blog/energia-fotovoltaica/entenda-o-que-e-sistema-solar-hibrido/>. Acesso em: 13 ago. 2021.

SANTOS, Rayon Alves dos. **Estudos de caso e comparação da viabilidade econômica para a implementação de um sistema fotovoltaico on-grid e off-grid**. 2019. 147 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Unifacvest, Lages, 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/33936-santos,-r.-a.-estudo-de-caso-e-comparacao-da-viabilidade-economica-para-a-implementacao-de-um-sistema-fotovoltaico-on-grid-e-off-grid.-tcc,-2019.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

SOLENERGIA, Energia. **Como fazer o dimensionamento correto do sistema solar on grid**. 2020. Disponível em: <https://www.solenergia.com.br/blog/sistema-solar-on-grid-dimensionamento/>. Acesso em: 19 out. 2021.

SOLAR, Portal. **Portal Solar: como calcular**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-como-calcular#ancora4>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SOLAR, Hcc Energia. **Por que o string box é essencial para evitar picos de energia?** 2019. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/posts/por-que-o-string-box-e-essencial-para-evitar-picos-de-energia/>. Acesso em: 07 fev. 2022.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica: conceito e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2015.

WANDERLEY, Augusto César Fialho; P, Antonio Luiz; CAMPOS, Siqueira. Perspectivas de inserção da energia solar fotovoltaica na geração de energia elétrica no Rio Grande do Norte. **Holos**, Natal, p. 3-5, jun. 2013. Disponível em: www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1493. Acesso em: 07 ago. 2021.

ANEXOS

ANEXO A – Especificações Técnicas do Inversor Híbrido *NHS QUAD*

POTÊNCIA	
Pot. nominal:	3000 W
Pot. contínua:	3000 W
Fator de pot. saída:	1.0, ajustável 0.9 capacitivo - 0.9 indutivo
ENTRADA	
Tensão nom. entrada:	127 Vca (115 - 135 Vca)
Faixa de entrada:	-20% a +10% da tensão nominal de entrada
Freq. entrada:	60 Hz
Fase:	Monofásico
Conexão de entrada:	Conector circular
Configuração:	Não
Corrente máxima de entrada:	25 A
ENTRADA FOTOVOLTAICA	
Potência máxima de entrada:	3600 W
Tipo do conector:	WM4
Tensão máxima de operação:	480 Vcc
Tensão de partida:	120 Vcc
Quantidade de MPPTs:	1
Número de strings MPPT 1:	2
Corrente máxima MPPT 1:	25 A
Eficiência do MPPT:	> 99,9 %
Proteção de polaridade reversa CC:	Sim
Proteção de sobretensão CC:	Sim
Proteção de sobrecorrente CC:	Sim
Faixa de MPPT:	120 - 480 Vdc
Tensão nominal:	230 Vdc
SAÍDA	
Tensão nom. saída:	127 Vca
Frequência de saída:	60 Hz
Forma-de-onda:	Senoidal
Conexão de saída:	Conector circular
Distorção harmônica:	< 3 %
Fator de crista:	3:1
Regulação dinâmica:	5%
Regulação estática:	1%
Tempo de transferência:	<12,5 ms
Tempo de comutação:	<12,5 ms
Rendimento global:	94%
Corrente máxima de saída:	25 Aca
Configuração:	Não
BATERIA	
Tensão operação:	144 Vcc (126 - 174Vcc)
Tipo de bateria:	Chumbo-ácido
Quantidade de baterias:	12

Fonte: nhssolar (2021).

ANEXO B – Especificações do Inversor Híbrido *DEYE SUN 3.6-5K*

Model	SUN-3.6K-SG01/03LP1-EU	SUN-5K-SG01/03LP1-EU
Battery Input Data		
Battery Type	Lead-acid or Lithium-ion	
Battery Voltage Range (V)	40~60V	
Max. Charging Current (A)	90A	120A
Max. Discharging Current (A)	90A	120A
Charging Curve	3 Stages / Equalization	
External Temperature Sensor	Optional	
Charging Strategy for LI-Ion Battery	Self-adaption to BMS	
PV String Input Data		
Max. DC Input Power (W)	4680W	6500W
PV Input Voltage (V)	370V (100V~500V)	
MPPT Range (V)	125~425V	
Full Load DC Voltage Range	240~425V	
Start-up Voltage (V)	150V	
PV Input Current (A)	11A+11A	
No.of MPPT Trackers	2	
No.of Strings Per MPPT Tracker	1+1	
AC Output Data		
Rated AC Output and UPS Power (W)	3600W	5000W
Max. AC Output Power (W)	3960W	5500W
Peak Power (off grid)	2 times of rated power, 10 S	
AC Output Rated Current (A)	15.7A	21.7A
Max. AC Current (A)	18A	25A
Max. Continuous AC Passthrough (A)	35A	
Power Factor	0.8 leading to 0.8 lagging	
Output Frequency and Voltage	50/60Hz; 220/230 / 240Vac (single phase)	
Grid Type	Single Phase	
Current Harmonic Distortion	THD<3% (Linear load<1.5%)	
Efficiency		
Max. Efficiency	97.60%	
Euro Efficiency	96.50%	
MPPT Efficiency	99.90%	

Fonte: Neosolar (2020).