

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
JULIA MARIA QUINSAN SANTUCCI
RUBIA TEREZA BARBOSA**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA
Conceitos e Estudo de Caso**

**Taubaté – SP
2021**

**JULIA MARIA QUINSAN SANTUCCI
RUBIA TEREZA BARBOSA**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE ENERGIA
SOLAR FOTOVOLTAICA
Conceitos e Estudo de Caso**

Trabalho de graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté.

Orientador: Prof. Me. Sandro Botossi dos Santos

**Taubaté – SP
2021**

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBi
Universidade de Taubaté - Unitau**

S237d Santucci, Julia Maria Quinsan
Dimensionamento de um sistema de energia solar fotovoltaica: conceitos e estudo de caso / Julia Maria Quinsan Santucci; Rubia Tereza Barbosa. -- 2021.
45 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2021.
Orientação: Prof. Me. Sandro Botossi dos Santos, Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Energia fotovoltaica. 2. Projeto. 3. Meio ambiente. I. Barbosa, Rubia Tereza. II. Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica. Graduação em Engenharia Elétrica e Eletrônica. III. Título.

CDD – 333.7923

**JULIA MARIA QUINSAN SANTUCCI
RUBIA TEREZA BARBOSA**

**DIMENSIONAMENTO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA
Conceitos e Estudo de Caso**

Trabalho de graduação apresentado para obtenção do Certificado de Graduação do curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté.

DATA: 03/12/2021

RESULTADO: Aprovado

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Sandro Botossi dos Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:  _____

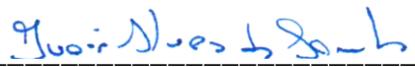
Prof. Rubens Castilho Júnior

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:  _____

Prof. Me. Ivair Alves dos Santos

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Assinatura:  _____

03/12/2021

Dedico este trabalho aos meus pais, Lucimar e Sebastião, e à
minha irmã Clara - Julia

Dedico este trabalho à minha mãe Áurea – Rubia

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, primeiramente, a Deus por ter nos ajudado a enfrentar os obstáculos ao longo do curso.

Aos nossos pais e familiares por todo apoio e incentivo ao estudo.

À Universidade de Taubaté, que nos ofereceu um ensino de qualidade e bons profissionais.

Ao nosso orientador, Prof. Me. Sandro Botossi dos Santos, por todo auxílio durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos professores Rubens Castilho Júnior e Me. Ivair Alves dos Santos por terem aceitado nosso convite para compor a banca examinadora.

Ao Prof. Me. Seide da Cunha Filho, pelo incentivo na escolha do tema desse trabalho de graduação.

“Eu colocaria meu dinheiro no sol e na energia solar. Que fonte de energia! Espero que não tenhamos que esperar até que o petróleo e o carvão acabem para fazer isso.”

(THOMAS EDISON)

RESUMO

Este trabalho de graduação tem como objetivo o estudo aprofundado sobre a energia solar fotovoltaica, sua teoria e conceitos, assim como a apresentação de um estudo de caso, em que foi realizado o dimensionamento de um projeto de geração de energia elétrica a partir de um sistema fotovoltaico para uma residência. Para fundamentar esse trabalho utilizaram-se ferramentas de pesquisa, livros e artigos. Dessa forma, conclui-se, através das informações adquiridas e analisadas, que uma pessoa ou empresa que opte por instalar um projeto de energia fotovoltaica terá uma economia significativa na conta de luz. Além disso, estará ajudando o meio ambiente ao escolher uma energia limpa e sustentável.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica; estudo de caso; projeto, meio ambiente.

ABSTRACT

This graduation work has as its objective the in-depth study of photovoltaic solar energy, its theory and concepts, as well as the presentation of a case study in which the dimensioning of an electrical energy generation project from a photovoltaic system was carried out for a residence. To support this work, research tools, books and article were used. In this way, it is concluded, through the information acquired and analyzed, that a person or company that chooses to install a photovoltaic energy project will have a significant savings in the electricity bill. In addition, you will be helping the environment by choosing clean and sustainable energy.

Key-words: Photovoltaics; case study; project, environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Módulo com célula de silício monocristalino.....	17
Figura 2 – Módulo com célula de silício policristalino.....	18
Figura 3 – Módulo com célula de silício amorfo.....	18
Figura 4 – Representação de String Box para sistemas grandes e pequenos, respectivamente.....	20
Figura 5 – Local da instalação.....	28
Figura 6 – Módulo TRINA Honey 375W.....	32
Figura 7 – Inversor GROWATT MIC2500TL-X.....	33
Figura 8 – Vista superior da disposição dos módulos fotovoltaicos no telhado.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Datasheet do módulo fotovoltaico.....	32
Tabela 2 – Datasheet do inversor.....	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
CC	Corrente Contínua
GD	Geração Distribuída
DPS	Dispositivo de Proteção contra Surto
CA	Corrente Alternada
QDG	Quadro de Distribuição Geral
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
STC	<i>Standart Test Condition</i>
UMUC	Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras
UC	Unidade Consumidora
SP	São Paulo
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CEPEL	Centro de Pesquisa em Energia Elétrica
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

TW	terawatts
V	Volt
GW	gigawatts
W/m ²	Watt por metro cuadrado
°C	Graus Celsius
kWh	quilowatt hora
W	Watt
kWhp	quilowatt hora pico
kWp	quilowatt pico
m	metro
m ²	metro cuadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 RADIAÇÃO SOLAR	15
2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
2.2.1 Efeito Fotovoltaico	15
2.2.2 Painéis Fotovoltaicos	16
2.2.3 Tipos de Células Fotovoltaicas	17
2.2.4 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	19
2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	19
2.3.1 Sistema <i>On Grid</i>	21
2.3.2 Sistema <i>Off Grid</i>	22
2.2.3 Vantagens e Desvantagens.....	22
2.2.4 Impactos Ambientais.....	23
2.2.6 Manutenção	24
2.2.7 Eficiência	24
2.3 Fatura de Energia	26
3 METODOLOGIA.....	27
4 DESENVOLVIMENTO	28
4.1 Local da Instalação	28
4.2 Consumo.....	29
4.3 Equipamentos	31
4.4 Disposição dos módulos fotovoltaicos	37
4.5 Cálculo da fatura de energia	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
6 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é uma das fontes de energia mais utilizadas atualmente, sendo fundamental para o desenvolvimento socioeconômico. A partir dela motores são acionados e garantem a produção industrial e, conseqüentemente, movimenta a economia e garante empregos. Além disso, diversas outras atividades podem ser realizadas utilizando a eletricidade. No Brasil, a maior parte da produção de energia elétrica é por meio de usina hidrelétrica, a qual tem seu funcionamento fundamentado no potencial hidráulico das águas do rio.

Entretanto, a produção de energia elétrica acarreta em diversos impactos ambientais. No caso das usinas hidrelétricas, por exemplo, são necessárias alterações no curso do rio (comprometendo a qualidade da água), sua construção ocasiona desmatamento e, por serem feitas em locais distantes dos consumidores, exigem a montagem de grandes redes de distribuição. A usina termelétrica, por sua vez, utiliza a queima de combustíveis como matéria prima para a produção de eletricidade, o que acarreta na liberação de gases de efeito estufa, poluição atmosférica, alterações climáticas, resultando, ainda, em chuvas ácidas. Semelhante a ela, tem-se a usina nuclear, na qual o calor é produzido por meio da fissão do urânio, oferecendo riscos ao meio ambiente a partir da emissão de gases poluentes e contaminação radioativa. (ORIGO ENERGIA, 2021).

Nesse contexto, a busca por uma energia sustentável vem, cada vez mais, ganhando espaço no mundo atual, devido a preocupação com o meio ambiente. A utilização de fontes renováveis garante a produção de uma energia limpa e economicamente viável. Uma alternativa energética muito promissora é a energia solar fotovoltaica, ou seja, aquela proveniente da radiação emitida pelo Sol. Para isso são utilizados painéis fotovoltaicos, os quais têm a função de absorver a luz solar e converte-la em eletricidade. (CAMARGO; GRANDINETTI; NOHARA, 2016)

A energia solar fotovoltaica apresenta uma vantagem muito importante: ela gera energia elétrica no próprio local de consumo. Assim, as pessoas podem optar por instalar os painéis fotovoltaicos em sua residência ou empresa, por exemplo, e usufruir da eletricidade que será produzida. No entanto, é essencial que seja realizado um projeto para dimensionar a quantidade de painéis necessários para atender a demanda contratada que, segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica),

não deve ter seu limite excedido. Ademais, deve-se considerar a área disponível para a instalação e o grau de incidência de radiação solar.

Dentro desta perspectiva, a utilização de painéis fotovoltaicos dimensionados corretamente se mostra uma alternativa favorável de geração de energia elétrica em termos de eficiência e sustentabilidade. Apesar do custo da instalação ser um pouco elevado, os benefícios que esse sistema traz superam essa desvantagem. Além disso, o Brasil apresenta um grande potencial para ser explorado nessa área, possibilitando que nos próximos anos a quantidade de consumidores desse tipo de energia cresça ainda mais. (CAMARGO; GRANDINETTI; NOHARA, 2016).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um estudo detalhado sobre os painéis fotovoltaicos, destacando seus princípios de funcionamento, suas vantagens e desvantagens. Busca-se, ainda, realizar o dimensionamento desses painéis para a geração de energia elétrica fotovoltaica em uma residência, uma vez que a elaboração de um projeto prévio é crucial para analisar as condições do local, a fim de atender as exigências necessárias. Por fim, torna-se possível verificar a viabilidade da instalação desse sistema, a quantidade de potência produzida e a relação custo-benefício desse investimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RADIAÇÃO SOLAR

A luz solar representa uma fonte de energia abundante e inesgotável, sendo responsável por originar, direta ou indiretamente, a maior parte das outras fontes de energia. Porém, somente uma pequena parcela é de fato aproveitada pelo homem. A energia emitida pelo Sol é denominada radiação solar, da qual metade é vista como luz visível e o restante, como infravermelho e radiação ultravioleta, possibilitando a obtenção de eletricidade (energia solar fotovoltaica) e calor (energia solar térmica), a partir da sua captação e conversão.

O Sol fornece a potência de cerca de 174 mil TW para a Terra, porém apenas aproximadamente 94 mil TW realmente atingem a superfície terrestre. A radiação solar que atinge a Terra e incide o receptor (que converte em energia elétrica) é formada por duas componentes: a direta, aquela provinda da direção do Sol; e a difusa, que provém de todas as direções e é espalhada pela atmosfera antes de atingir a superfície do planeta. Considerando um dia com ausência total de nuvens, cerca de 20% da radiação na superfície terrestre é difusa. Essa porcentagem chega a 100% quando se trata de um dia totalmente nublado. A quantidade de energia solar que atinge o Planeta Terra durante um ano refere-se a 10000 vezes o consumo de energia anual de toda a população mundial. (CAMARGO; GRANDINETTI; NOHARA, 2016).

2.2 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.2.1 Efeito Fotovoltaico

A Energia Solar Fotovoltaica ou Efeito Fotovoltaico é produzida ao converter luz em eletricidade por meio das células fotovoltaicas, as quais recebem os fótons (partículas de energia que compõem a luz) os quais são capazes de liberar elétrons que fluem pela célula, gerando uma corrente elétrica. Em 1839, Alexandre-Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico a partir de experimentos que envolvia eletrodos de platina em solução condutora. Ao incidir luz, Becquerel constatou que a energia elétrica era gerada em maior quantidade.

O princípio de geração de energia elétrica a partir da radiação solar se dá por meio do efeito fotovoltaico, o qual absorve a luz solar através de células fotovoltaicas feitas de materiais semicondutores, originando uma diferença de potencial nos

terminais. Os semicondutores são materiais sólidos cristalinos que apresentam a banda de valência completamente ocupada por elétrons; e a banda de condução vazia, considerando a temperatura de zero absoluto. Sabe-se que a banda de valência é formada por níveis de energia e nela se encontram os elétrons semilivres, ou seja, aqueles que estão mais afastados do núcleo atômico. E a banda de condução é aquela que contém os elétrons da banda de valência que foram excitados e conseguiram vencer o *gap* de energia. O *gap*, por sua vez, representa a separação das duas bandas, a partir dele é possível determinar a condutividade do material.

Outras características dos semicondutores são que eles apresentam condutividade entre isolante e condutor, sua condutividade aumenta proporcionalmente a temperatura. (CAMARGO; GRANDINETTI; NOHARA, 2016).

2.2.2 Painéis Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são constituídos por células fotovoltaicas capazes de transformar a fonte de luz solar em energia elétrica, através de elementos semicondutores. Agrupadas, essas células têm o objetivo de gerar tensão e corrente suficientes para o uso, uma vez que apenas uma delas produz cerca de 0,4V, o que corresponde a uma quantidade pequena de energia elétrica. Tais células apresentam espessuras muito finas, logo são revestidas por um material transparente, com o intuito de proteger seus componentes, permitindo a entrada de radiação solar. (CAMARGO; GRANDINETTI; NOHARA, 2016).

O conjunto de células é denominado painel fotovoltaico, por sua vez o conjunto de painéis designa um arranjo, os quais podem ser ligados em série ou paralelo de acordo com a tensão e a corrente desejadas. Nas ligações em série são feitas as conexões dos terminais positivos e negativos entre dois ou mais dispositivos fotovoltaicos. Assim, as tensões de cada painel são somadas e a corrente elétrica que circula por eles não sofre alteração. Nas ligações em paralelo os polos positivos são conectados entre si, bem como os negativos. As correntes elétricas, por sua vez, são somadas, enquanto a tensão não é afetada.

2.2.3 Tipos de Células Fotovoltaicas

De acordo com o modo como são produzidos os materiais utilizados em sua fabricação, as células fotovoltaicas são divididas em três tipos, sendo eles:

Células de Silício Monocristalino: são produzidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino feitas em fornos especiais. Essas barras são cortadas em finas pastilhas com espessura aproximada de 0,5 milímetros. No processo de conversão de luz solar em energia elétrica apresenta eficiência superior a 12%. Tem-se, na Figura 1, um exemplo de módulo feito com células monocristalinas:



Figura 1: Módulo com célula de silício monocristalino

Fonte: INTELBRAS (2018)

Células de Silício Policristalino: originam-se de blocos de silício produzidos pela fusão do silício puro em moldes especiais, nos quais o material esfria de forma lenta e torna-se sólido. Os átomos, por sua vez, organizam-se em mais de um cristal, formando, portanto, uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. Ao converter luz solar em energia elétrica apresentam eficiência ligeiramente menor quando comparadas as células de silício monocristalino. Um exemplo de módulos com células policristalinas é mostrado na Figura 2:



Figura 2: Módulo com célula de silício policristalino.

Fonte: INTELBRAS (2021).

Células de Silício Amorfo: são obtidas a partir da deposição, sobre superfícies metálicas ou de vidro, de finas camadas de silício, bem como outros semicondutores. No processo em que a luz solar é convertida em energia elétrica essas células apresentam eficiência em torno de 5% a 7%. Na Figura 3 é apresentado um módulo feito com células de silício amorfo.

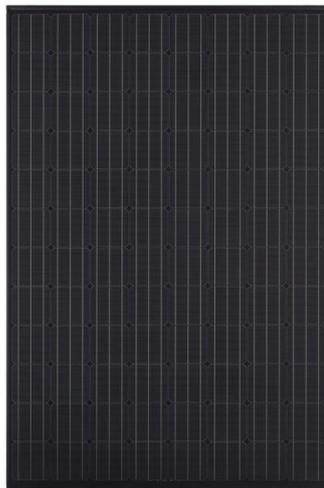


Figura 3: Módulo com célula de silício amorfo

Fonte: PANASONIC (2021).

2.2.4 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

O Brasil apresenta um potencial de radiação solar favorável para a implementação de sistemas fotovoltaicos para a geração de eletricidade. A relação da incidência solar é de 50.000 vezes o gasto de energia pelo país, o que evidencia que a utilização da energia solar é mais do que capaz de suprir a demanda brasileira. Os países europeus, embora apresentem a intensidade de irradiação inferior a do Brasil, já utilizam o sistema de geração fotovoltaica de forma significativa. (PORTAL SOLAR, 2021)

Apesar de embrionária, a energia solar fotovoltaica produzida no Brasil está em constante crescimento. Em 2012, a ANEEL permitiu a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede de energia elétrica. Assim, os painéis não eram mais utilizados apenas em regiões isoladas, mas também em locais com acesso a rede, podendo fazer troca de energia. Dessa forma, consegue-se ser ecologicamente correto e economizar, pois com o sistema fotovoltaico tem-se maior controle sobre a tarifação e o consumo de eletricidade. (PORTAL SOLAR, 2021)

A geração distribuída (GD), ou seja, a energia elétrica gerada no próprio local de consumo, teve um aumento de 116% em 2020, alcançando 4,377GW de potência instalada. A ABSOLAR (Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica), estima que a GD corresponda a um aumento de 90%, atingindo 8,3GW de potência em 2021. Além das vantagens que compreendem economia e sustentabilidade, o setor fotovoltaico implica a geração de novos empregos. (ECOIA, 2021)

Segundo a ABSOLAR, de toda a potência instalada de energia solar fotovoltaica em território nacional, mais da metade está localizada nas regiões Sul e Sudeste. De acordo com um levantamento, os estados que mais se destacam nessa área são Minas Gerais, São Paulo, Rio Grande do Sul, respectivamente. (HEIN, 2021)

2.3 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Para a implementação de um sistema capaz de gerar energia elétrica no próprio local de consumo, deve-se utilizar um conjunto de painéis fotovoltaicos, a fim de permitir que os fótons da luz solar colidam com os átomos de silício das próprias placas, acarretando na movimentação de elétrons e, conseqüentemente, no surgimento de corrente contínua. A CC (corrente contínua) gerada é conduzida através de cabos de cobre até a *String Box*, também conhecida como “caixa de

junção”, a qual é responsável por conectar esses cabos ao inversor, ao mesmo tempo em que protege a parte CC do sistema contra sobretensão e sobrecorrente, além de admitir o seccionamento do circuito, como mostra a Figura 4:



Figura 4: Representação de String Box para sistemas grandes e pequenos, respectivamente

Fonte: CANAL SOLAR (2019).

A String Box é composta por um invólucro que protege a chave seccionadora (a qual conecta e desconecta a parte CC), o DPS – Dispositivo de Proteção contra Surtos (que protege o inversor de possíveis sobretensões advindas do circuito de corrente contínua), o fusível (o qual oferece proteção contra sobrecorrentes e corrente de curto-circuito maiores que a corrente nominal), o disjuntor (que também protege o inversor contra surtos de correntes), os cabos CC (que conectam os módulos ao inversor) e, por fim, os conectores (responsáveis por fazer as conexões do circuito). (CANAL SOLAR, 2019).

A partir dessa caixa de junção é estabelecida a conexão entre os painéis fotovoltaicos e o inversor. Esse, por sua vez, recebe a corrente contínua gerada pelos módulos e a converte em corrente alternada (CA). A partir disso, a energia elétrica vai para o quadro de distribuição geral (QDG) e já pode ser distribuída e utilizada para ligar os eletrodomésticos da residência.

A potência total dos módulos pode ser maior que a potência do inversor, esse superdimensionamento é chamado de *oversizing* (também conhecido como *overloading*, *overbuilding* ou *overpaneling*) e pode trazer vantagens ou desvantagens ao sistema. Portanto, é indispensável fazer uma análise a fim de buscar a otimização do projeto de geração de energia solar fotovoltaica. (CANAL SOLAR, 2019)

Quando os painéis fotovoltaicos são sobredimensionados, o fator de dimensionamento do inversor (FDI) é reduzido. O FDI geralmente tem valor menor que 1, uma vez que na STC (*standart test condition*, ou seja, a condição de teste padrão), a potência de pico nominal dificilmente é atingida. Sabe-se que na STC são considerados 1000W/m² e 25°C nas células solares. Logo, para calcular o FDI é feito o seguinte cálculo:

$$FDI = \frac{\text{Potência de entrada do inversor}}{\text{Potência de pico dos módulos}}$$

O *oversizing* pode ser aplicado na maior parte dos inversores, porém em alguns casos é preciso respeitar os limites do equipamento. Dessa forma, a tensão máxima de entrada do inversor deve ser superior a tensão de saída das *strings*. E a corrente máxima de entrada do inversor deve ser maior que a corrente máxima de curto-circuito do conjunto de módulos. (CANAL SOLAR, 2019)

2.3.1 Sistema *On Grid*

O sistema *on grid* é caracterizado pela geração de energia elétrica conectado a rede da concessionária, ou seja, todo o excedente de energia é enviado para a rede, gerando créditos que ficarão disponíveis por um período de 60 meses. Quando os painéis não geram o suficiente para suprir o consumo, por exemplo a noite e em dias nublados, a rede fornece a energia necessária. Essa diferença será compensada pelos créditos acumulados, caso haja, o que acarreta na redução da fatura de energia. O responsável pela interação entre o gerador fotovoltaico e a rede é o inversor.

Existem, também, outras modalidades de compensação de energia. O Autoconsumo Remoto, por exemplo, refere-se a geração de energia em um local diferente das unidades consumidoras (cadastradas com o mesmo titular), as quais terão seus consumos compensados pelos créditos de energia gerados pelo excedente. Já a Geração compartilhada consiste em um consórcio ou cooperativa tendo como integrantes pessoas ou empresas, que possuem um sistema de geração fotovoltaica, do qual são gerados créditos que serão posteriormente distribuídos entre

as unidades consumidoras, podendo essas apresentar diferentes titularidades. Por fim, o Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras (EMUC) tem como característica a geração de energia para consumo nas áreas comuns do condomínio. A energia é também dividida entre os apartamentos em quantidades definidas pelos próprios consumidores. (ABSOLAR, 2020)

Uma vantagem desse sistema é que a unidade consumidora (UC) não sofrerá interferência dos reajustes da tarifa de energia, uma vez que será cobrado apenas a taxa mínima correspondente ao serviço da concessionária. O medidor bidirecional é o responsável por verificar a quantidade de energia consumida e injetada na rede.

No sistema *on grid* não é possível zerar a conta de energia, ou seja, terá uma redução no valor, mas ainda será cobrado uma taxa mínima de utilização. O faturamento é feito de acordo com o tipo de fornecimento, logo para monofásico é de 30 kWh, para o bifásico é de 50 kWh e para o trifásico é de 100 kWh.

2.3.2 Sistema Off Grid

O sistema *off grid* não é conectado à rede, o que significa que a energia excedente é armazenada em um banco de baterias estacionárias, capazes de fornecer eletricidade quando o sistema estiver com baixa produção, a noite ou em dias nublados, por exemplo. Nesse sistema também é necessária a utilização de um inversor elétrico.

O gerador fotovoltaico *off grid* é recomendado para lugares de difícil acesso, como áreas rurais, onde não há conexões com a rede da concessionária.

2.2.3 Vantagens e Desvantagens

Tendo em vista os diversos outros sistemas de geração de eletricidade, os sistemas fotovoltaicos se destacam por apresentarem diversas vantagens, tais como: é uma energia limpa, pois não utiliza nenhum tipo de combustíveis fósseis ou elementos radioativos para a geração de energia. Trata-se de uma geração distribuída, na qual a energia é gerada e consumida no mesmo local, assim, não há perdas por transmissão e distribuição e seu custo de manutenção é baixo. Além disso, o excedente da produção pode ser fornecido para a rede da concessionária de energia, garantindo redução no valor da conta. Estruturalmente, os módulos fotovoltaicos são resistentes, duram cerca de 25 anos, além de suportarem condições

climáticas adversas. Como características técnicas, eles são silenciosos e apresentam alta confiabilidade, fácil portabilidade e adaptabilidade durante a montagem. É possível dimensioná-los para atuar em uma enorme faixa de potência, pois esta pode ser alterada a partir da adição de módulos.

Entretanto, os sistemas fotovoltaicos apresentam desvantagens, tendo como exemplos: investimento inicial de alto custo, devido os módulos fotovoltaicos exigirem uma tecnologia avançada para serem fabricados. Por ser uma geração de energia na qual se utiliza a luz solar há uma irregularidade na potência, pois ela depende da incidência de radiação, da inclinação e orientação dos painéis, bem como dos componentes. Quando o sistema fotovoltaico é isolado, ou seja, não está interligado a concessionária de energia, há necessidade da instalação de um banco de baterias, capaz de armazenar a energia, elevando ainda mais o custo de implantação e manutenção. A produção de baterias e o descarte dos painéis fotovoltaicos implicam em impactos negativos ao ambiente, uma vez que contêm metais raros em suas composições.

2.2.4 Impactos Ambientais

Embora a Energia Solar Fotovoltaica seja considerada uma fonte de energia sustentável, existem impactos ambientais relacionados à sua geração. Os mais relevantes acontecem ao produzir, construir e desmontar os sistemas fotovoltaicos. Na fabricação dos módulos, por exemplo, é utilizado o silício, o qual reflete diversos impactos causados por sua extração, como a poluição da água, degradação visual da paisagem, emissão de poeiras e gases, entre outros. Além disso, consome-se uma quantidade significativa de energia. Para a montagem do painel fotovoltaico são utilizados o chumbo na fiação, a prata e o alumínio nos contatos elétricos, impactando sobre o meio físico. No entanto, para um projeto de pequeno porte os impactos de instalação são reduzidos.

Considerando esses fatores, a reciclagem dos painéis fotovoltaicos torna-se uma alternativa favorável à preservação do ambiente, porém a criação de políticas e normas é crucial para que essas ações sejam consideradas obrigatórias ou, ao menos, incentivadas.

2.2.6 Manutenção

Os painéis exigem uma manutenção simples e o procedimento indicado é realizar a limpeza com água e, caso seja necessário, ter como auxílio uma esponja macia, atentando-se para não causar riscos, pois isso pode comprometer a eficiência do material. A recomendação é de que os painéis sejam limpos a cada 3 ou 4 meses, entretanto a chuva contribui com sua autolimpeza. Dessa forma, para definir um intervalo deve-se analisar a frequência das chuvas, bem como o nível de sujeira. Isso implica que quando predominar o tempo seco, no qual a poeira e a estiagem são recorrentes, a limpeza dos painéis deve ser mais frequente. (NEOSOLAR, 2016).

A verificação da instalação também é crucial para garantir que o sistema funcione corretamente e que problemas futuros sejam evitados. Para ajudar na manutenção, pode ser instalado um sistema de monitoramento, o qual é responsável por acompanhar a geração de energia e detectar possíveis falhas. Alguns inversores já apresentam essa função, outros precisam do acréscimo de um componente para que o monitoramento seja efetuado. (NEOSOLAR, 2016).

De forma simplificada, os tipos de manutenção dos painéis fotovoltaicos podem ser divididos em: (JÚNIOR, 2021)

- Manutenção preventiva: que consiste em uma limpeza periódica, ou seja, a cada intervalo de tempo;
- Manutenção preditiva: que abrange inspeções para encontrar inconformidades e acompanhamento da geração do sistema;
- Manutenção corretiva: implica na assistência da equipe técnica, caso seja visto que o rendimento do sistema está abaixo do normal.

2.2.7 Eficiência

O sistema de geração de energia solar fotovoltaica pode ter sua eficiência comprometida por fatores que interferem o processo, por isso é necessário realizar um estudo e um projeto prévios com a finalidade de atingir a máxima eficiência dos painéis fotovoltaicos. Esses, por exemplo, devem ser instalados na orientação correta, com inclinação próxima de 22°, a fim de ter o melhor aproveitamento da radiação solar. A direção mais favorável no Brasil é ao Norte, pois considerando as posições do Sol durante o dia, essa direção é a que recebe maior incidência da luz. (JÚNIOR, 2021).

Em regiões mais quentes do Brasil, por exemplo no Nordeste, a eficiência dos painéis sofre interferência negativa da temperatura, uma vez que para a geração de energia elétrica é necessário ter luminosidade e não calor. Assim, os painéis fotovoltaicos apresentam desempenho mais favorável em lugares com temperaturas mais amenas. Mas, a temperatura analisada, de fato, é a da placa, a qual geralmente está cerca de 30°C acima da temperatura ambiente. Dessa forma, é fundamental verificar se os módulos são fabricados com materiais que não absorvem muito calor. Para isso, deve-se considerar o coeficiente de temperatura do painel solar, que é encontrado no datasheet de cada fabricante. O ideal é que o coeficiente esteja entre 0,35% e 0,47%, pois se for um valor maior, o equipamento será de qualidade inferior.

As especificações das placas solares são feitas a partir das condições laboratoriais e, por esse motivo, cada produto apresenta uma tolerância elétrica, a qual delimita o intervalo de valores de tensão e de corrente, em relação aos valores nominais, em que os painéis solares também funcionam. Contudo, de acordo com a condição de serem ou não associados em potência, tensão e corrente em níveis diferentes, pode-se considerar a existência de uma queda na eficiência, consequência da atuação fora das condições nominais. (JÚNIOR, 2021)

Outra interferência negativa no sistema fotovoltaico é o sombreamento nos painéis. Qualquer objeto que cause sombra, impedindo a incidência de luz nos módulos solares, deve ser retirado, pois isso faz com que as células interrompam a geração de corrente elétrica e limite sua circulação em série nas demais células, atuando como uma resistência. Como consequência, a potência do módulo fotovoltaico é dissipada como calor, surgindo pontos quentes (*hot-spots*), os quais danificam não somente as células, mas também o sistema fotovoltaico. Para auxiliar na redução desse dano na produção de energia, é indicada a utilização de módulos *half-cell*, caracterizada por células cortadas ao meio. Isso implica que enquanto uma quantidade maior de células sofreria a interferência de um sombreamento parcial, a divisão das células em mais grupos permite que somente uma parcela delas sofra essa influência de sombras. (VILLALVA, 2019)

Os módulos que possuem tecnologia *Half-cell* implicam uma diminuição de 50% do efeito de sombreamento. A caixa de junção que fica na parte posterior do painel contém os diodos de *by pass*, os quais são responsáveis por permitir a circulação de corrente em uma direção e impede a corrente reversa. Assim, nas células que realmente estão atuando, a corrente flui de forma isolada das outras células. Já que

toda a fileira é afetada quando apenas uma célula é incidida por sombra, nos módulos *Half-cell* somente metade dessa fileira sofreria interferência. (BERTO, 2018).

2.3 Fatura de Energia

A fatura de energia da unidade consumidora que tem um sistema de geração de energia solar fotovoltaica é calculada a partir da relação das quantidades de energia, sendo elas:

Energia instantânea E_{inst} : energia consumida instantaneamente pela casa, ou seja, o sistema gera e as cargas consomem imediatamente;

Energia injetada na rede $E_{injetada}$: a energia que o sistema gerou durante o dia e não foi consumida pela casa vai para a rede da concessionária;

Energia fornecida pela rede $E_{fornecida}$: energia que vem da concessionária para suprir a demanda da unidade consumidora, quando o sistema não gerou o suficiente durante o dia, e a noite quando não há geração;

Energia consumida $E_{consumida}$: energia total consumida pela casa, sendo $E_{consumida} = E_{inst} + E_{fornecida}$;

Energia gerada pelo sistema fotovoltaico E_{gerada} : energia total que o sistema gerou, podendo ser calculada conforme mostra a seguir: $E_{gerada} = E_{inst} + E_{injetada}$.

A partir dos valores desses itens é possível calcular o valor a ser pago a concessionária. Se $E_{injetada} > E_{fornecida}$, a diferença entre elas é a quantidade de créditos que ficarão disponíveis para a unidade consumidora geradora, ou serão enviados para as unidades consumidoras beneficiárias, caso tenha. No entanto, se o sistema não gerar o suficiente para atender a residência e esta precise de uma quantidade maior de energia fornecida pela concessionária, o valor a ser pago é equivalente ao seu consumo, não gerando créditos. Se a quantidade ultrapassar a taxa mínima, o valor cobrado é referente ao que foi fornecido pela concessionária.

3 METODOLOGIA

Metodologia é o estudo dos métodos empregados para adquirir dados e informações necessários para a elaboração do trabalho. Para o desenvolvimento deste projeto foi utilizada a pesquisa bibliográfica, que consiste na análise de recursos já publicados anteriormente a respeito de um assunto. Assim, foram estudados artigos, manuais e livro, sobre o tema abordado, a fim de obter o conhecimento necessário para a elaboração do trabalho.

Outro método aplicado foi o estudo de caso, o qual é caracterizado pela realização de pesquisas com o objetivo de coletar e analisar dados referentes ao evento real estudado. Dessa forma, a partir dessa metodologia foi possível obter informações no que diz respeito a elaboração do projeto de energia solar fotovoltaica, tais como as características do layout do telhado e do consumo de energia. (SOUSA; OLIVEIRA; ALVES; 2021)

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Local da Instalação

A residência analisada, localizada na cidade de Caçapava – SP, apresenta telhado com duas quedas, sendo direcionadas uma ao Norte e outra ao Sul, com inclinação de 22° , sendo, portanto, o objeto de estudo desse trabalho, sendo mostrada na Figura 5:



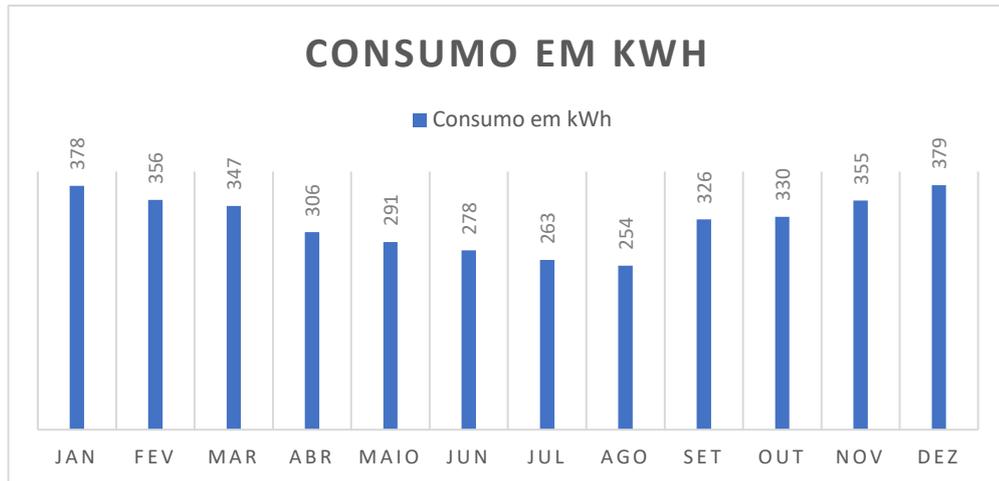
Figura 5: Local da instalação

Fonte: Google Maps (2019)

4.2 Consumo

A casa em que será instalado o projeto de energia solar fotovoltaica apresenta o histórico de consumo dos últimos 12 meses, conforme o Gráfico 1:

Gráfico 1: Consumo mensal da residência



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para calcular a média de consumo mensal, somaram-se todos os valores correspondentes a cada mês e dividiu-se o valor pela quantidade de meses. Obtém-se, portanto, que o consumo médio dessa residência é de 321,92kWh.

O sistema de alimentação da casa é bifásico, ou seja, a entrada de energia no padrão de entrada é composta por dois condutores de fase e um condutor neutro. Dessa forma, a geração de energia solar fotovoltaica pode ser 50kWh a menos que a média, uma vez que o valor referente a essa quantidade corresponde a taxa mínima exigida pela concessionária. Por esse motivo, o sistema fotovoltaico deve gerar no mínimo 271,92kWh para suprir a demanda de consumo do local.

Sabendo a quantidade de energia estimada de geração, determina-se a potência de pico do projeto, que é a soma das potências dos módulos, relacionando-a com o índice de irradiação do local da instalação, a potência de cada módulo e a quantidade de dias no mês. Além disso, deve-se multiplicar pelo rendimento do sistema, o qual depende de diversos fatores, tais como direção e inclinação do telhado, sombreamento e possibilidade da existência de dias totalmente nublados. Para esse projeto o rendimento será de 80%.

Foram escolhidos painéis cuja potência é de 375W. Os dados da irradiação na cidade de Caçapava / SP foram consultados no site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB), juntamente com o Centro de Pesquisas em Energia Elétrica (Cepel), concluindo que a média é de $4,62 \frac{kWh}{m^2 dia}$.

Calculou-se, portanto, a potência de pico do sistema de energia solar fotovoltaica, em kWhp, os resultados são apresentados a seguir:

$$P_{projeto} = \frac{E_{consumo}}{p \cdot \eta \cdot I}$$

Sendo:

$P_{projeto}$ – Potência de pico necessária para o projeto [kWp];

$E_{consumo}$ – Energia mínima de consumo mensal [kWh];

p – Período de consumo no mês [dias];

η – Rendimento do sistema [%];

I – Índice de irradiação $\left[\frac{kWh}{m^2 dia} \right]$.

Logo,

$$P_{projeto} = \frac{271,92}{30 \cdot \frac{80}{100} \cdot 4,62} \Rightarrow P_{projeto} = 2,45kWp$$

Para determinar a quantidade mínima de painéis fotovoltaicos (Q) a serem utilizados, dividiu-se a potência de pico do projeto ($P_{projeto}$) pela potência de pico do módulo escolhido ($P_{módulo}$), ou seja, 375W. Para igualar as unidades de medidas, considerou-se 0,375kW. Assim:

$$Q = \frac{P_{projeto}}{P_{módulo}} \Rightarrow Q = \frac{2,45}{0,375} \Rightarrow Q = 6,5333$$

Logo, a quantidade mínima de módulos a serem instalados é de 7 painéis. Mas nessa residência foram utilizados 8 painéis, a fim de ter uma geração maior que o consumo mensal. Isso pode ser feito para gerar créditos que serão descontados em meses cuja energia fornecida pela concessionária seja maior que a injetada na rede, caso ocorra. Também pode acontecer do consumo aumentar após a instalação, fato justificado pelo uso de mais equipamentos tendo em vista que a energia está sendo gerada na própria residência, tornando a economia de energia menos consciente.

Dentro desta perspectiva, pode ser vantajoso implementar um sistema que gere mais que o consumo médio mensal.

Para calcular a média de geração do gerador fotovoltaico, primeiramente determinou-se a potência de pico dos módulos:

$$P_{pico} = \text{quantidade painéis} \cdot P_{painel}$$

$$P_{pico} = 8 \cdot 375$$

$$P_{pico} = 3000W \Rightarrow P_{pico} = 3kW$$

Onde,

$$P_{pico} - \text{Potência de pico do conjunto de painéis}$$

Assim, a quantidade média de energia ($E_{geração}$) gerada no mês é:

$$E_{geração} = P_{pico} \cdot I \cdot p \cdot \eta$$

$$E_{geração} = 3 \cdot 4,62 \cdot 30 \cdot 0,8$$

$$E_{geração} = 332,64 \text{ kWh/mês}$$

4.3 Equipamentos

Para a elaboração do sistema de geração fotovoltaica foi utilizado o inversor MIC2500TL-X, da marca GROWATT, de 2,5kW de potência. O arranjo de módulos é composto por oito painéis TRINA SOLAR, de 375W de potência. O gerador fotovoltaico, portanto, será de 3kWp, atendendo a demanda do local.

A Tabela 1 e Tabela 2 referem-se às especificações dos equipamentos, seguidas da Figura 6 e Figura 7.

Tabela 1: Datasheet do módulo fotovoltaico

Datasheet módulo TRINA Honey 375W	
Dados Elétricos (STC)	
Potência de pico em Watts - P _{máx} (Wp)	375
Tensão máxima de potência - V _{mpp} (V)	34,4
Corrente de potência máxima - I _{mpp} (A)	10,89
Tensão de circuito aberto - V _{oc} (V)	41,6
Corrente de curto circuito - I _{sc} (A)	11,45
Eficiência de módulo η_m (%)	20,5
Dados Mecânicos	
Células solares	Monocristalinas
Número de células	120 cells (6x20)
Dimensões do módulo	1763x1040x35 mm
Peso	20 kg
Conector	MC4
Coeficientes de Temperatura	
P _{máx}	-0,34%/°C
V _{oc}	-0,25%/°C
I _{sc}	0,04%/°C

Fonte: ALDO SOLAR (2021)



Figura 6: Módulo TRINA Honey 375W

Fonte: ALDO SOLAR (2021).

Tabela 2: Datasheet do inversor

Datasheet inversor GROWATT MIC2500TL-X	
Dados de Entrada	
Tensão máxima de entrada Vcc (V)	550
Tensão Min MPPT (V)	65
Tensão Max MPPT (V)	550
Corrente máxima de entrada (A)	13
Dados de saída	
Potência máxima CA (kW)	2,5
Corrente nominal (A)	11,9
Tensão nominal (V)	220
Faixa de operação (V)	180-280
Frequência nominal (Hz)	50-60
Faixa de operação (Hz)	45-55/55-65
Eficiência máxima (%)	97,6
Dimensões	
Dimensões (L*A*P) (mm)	274/254/138
Peso (kg)	6,2
Conexão CA	Monofásico

Fonte: ALDO SOLAR (2021).



Figura 7: Inversor GROWATT MIC2500TL-X

Fonte: ALDO SOLAR (2021).

Para verificar se esse sistema teria um funcionamento correto, realizaram-se alguns cálculos. Para isso levou-se em consideração as especificações dos módulos fotovoltaicos e do inversor, a fim de garantir que nenhum parâmetro ultrapasse seu limite, tanto inferior quanto superior. A temperatura é um fator que interfere diretamente no dimensionamento de sistema fotovoltaico, por isso ela não deve ser desconsiderada nos cálculos. Assim, para esse local de instalação foi considerada a máxima de 40°C e a mínima de 0°C.

Sabendo que os dados fornecidos nos datasheets referem-se a condições de temperatura ambiente de 25°C, o ajuste nos valores é indispensável para verificar o comportamento dos dispositivos. Todos os parâmetros foram analisados a fim de prevenir falhas na operação e garantir o melhor desempenho do sistema de geração de energia solar fotovoltaica.

Primeiramente, analisaram-se os módulos:

Tensão de operação V_{mpp} 25°C sistema

Representa a tensão com carga máxima de potência à temperatura ambiente. Tem-se, para a quantidade de painéis desse projeto, que:

$$V_{mpp\ 25^{\circ}C_{sistema}} = V_{mpp\ 25^{\circ}C} \cdot \text{quantidade de módulos}$$

$$V_{mpp\ 25^{\circ}C_{sistema}} = 34,4 \cdot 8$$

$$V_{mpp\ 25^{\circ}C_{sistema}} = 275,2V$$

Tensão de operação V_{mpp} $T_{máx}$

É aquela que sofre interferência de temperaturas mais elevadas, nesse caso considerou-se 40°C. Sendo 30 a temperatura em graus Celsius que o módulo apresenta superior a temperatura ambiente de 25°C, tem-se que:

$$V_{mpp\ T_{máx}} = V_{mpp\ 25^{\circ}C_{sistema}} (1 + (T_{máx} + 30 - 25) \cdot \text{Coef } P_{máx})$$

$$V_{mpp\ T_{máx}} = 275,2 (1 + (40 + 30 - 25) \cdot \left(-\frac{0,34}{100}\right))$$

$$V_{mpp\ T_{máx}} = 233,09V$$

Tensão de operação V_{mpp} $T_{mín}$

É aquela que sofre interferência nos dias mais frios, em que as temperaturas são mais baixas. Assim, considerando 0°C:

$$V_{mpp\ T_{mín}} = V_{mpp\ 25^{\circ}C_{sistema}} \cdot (1 + (T_{mín} - 25) \cdot \text{Coef } P_{máx})$$

$$V_{mpp Tmín} = 275,2 \cdot (1 + (0 - 25) \cdot \left(-\frac{0,34}{100}\right))$$

$$V_{mpp Tmín} = 298,59V$$

Tensão de circuito aberto Voc 25°C sistema

Corresponde a tensão gerada quando ainda não há corrente circulando no módulo, ou seja, potência igual a zero. Para o sistema em questão, tem-se:

$$Voc\ 25^{\circ}C_{sistema} = Voc\ 25^{\circ}C \cdot \text{quantidade de módulos}$$

$$Voc\ 25^{\circ}C_{sistema} = 41,6 \cdot 8$$

$$Voc\ 25^{\circ}C_{sistema} = 332,8V$$

Tensão de circuito aberto Voc Tmín

A temperatura mínima interfere diretamente na tensão de entrada e, por esse motivo, deve ser considerada no cálculo:

$$Voc\ Tmín = Voc\ 25^{\circ}C_{sistema} \cdot (1 - (25 - Tmín) \cdot Coef\ Pmáx)$$

$$Voc\ Tmín = 332,8 \cdot (1 - (25 - 0) \cdot \left(-\frac{0,34}{100}\right))$$

$$Voc\ Tmín = 361,09V$$

Tendo todos os valores dos parâmetros dos módulos calculados, relacionou-os às especificações do inversor:

Tensão máxima de entrada Vcc

Refere-se a máxima tensão que o inversor pode receber dos módulos, e pode ser consultada pelo datasheet. Dessa forma, para que a associação dos equipamentos esteja coerente, a tensão em circuito aberto em temperatura mínima (que implica o ponto crítico, resultando na faixa mais alta de tensão dos módulos) Voc Tmín, deve ser menor que a máxima tensão de entrada Vcc do inversor. Logo:

$$Vcc > Voc\ Tmín$$

$$550V > 361,09V$$

Ou seja, a tensão referente aos 8 painéis de 375W ligados em série não ultrapassa o limite de tensão máxima de entrada do inversor.

Faixa de tensão de MPPT

O rastreador de máximo ponto de potência, mais conhecido por MPPT (maximum power point tracking), é o responsável por garantir que o inversor se adeque de modo a operar no ponto de maior potência do sistema. Para o inversor trabalhar com melhor desempenho é importante verificar se as tensões em momentos mais críticos V_{mpp} $T_{máx}$ e $T_{mín}$ dos painéis estão entre o intervalo de tensão de MPPT. Portanto, fez-se a seguinte análise:

$$\begin{aligned} \text{Tensão mín MPPT} &< V_{mpp} T_{máx} \\ 65V &< 233,09V \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tensão máx MPPT} &> V_{mpp} T_{mín} \\ 550V &> 298,59V \end{aligned}$$

Relacionando os valores acima, concluiu-se que esse gerador composto por 8 painéis de 375W com um inversor de 3kW funcionará corretamente, e todas as relações entre os equipamentos estão coerentes. Um dimensionamento correto é crucial para o melhor desempenho do sistema, garantindo uma boa eficiência.

Oversizing

Considerando os equipamentos utilizados, o FDI foi calculado a partir da relação entre a potência de entrada do inversor e a potência de pico dos painéis fotovoltaicos. Sendo assim:

$$\begin{aligned} FDI &= \frac{\text{Potência de entrada do inversor}}{\text{Potência de pico dos módulos}} \\ FDI &= \frac{2,5}{3} \\ FDI &= 0,83 \end{aligned}$$

Para verificar a porcentagem de *oversizing* do sistema, foi feita a seguinte relação:

$$\begin{aligned} \text{Oversizing} &= \frac{P_{pico}}{P_{inversor}} \\ \text{Oversizing} &= \frac{3}{2,5} \\ \text{Oversizing} &= 1,2 \end{aligned}$$

Ou seja, essa configuração de equipamentos resulta em um *oversizing* de 120%.

4.4 Disposição dos módulos fotovoltaicos

A residência analisada possui um telhado de duas quedas com 8,5m de largura e 7m de comprimento. Como os módulos têm dimensões de 1,763m de altura e 1,040m de largura e, adotando um espaçamento de 2cm entre eles, a configuração é mostrada na Figura 8:

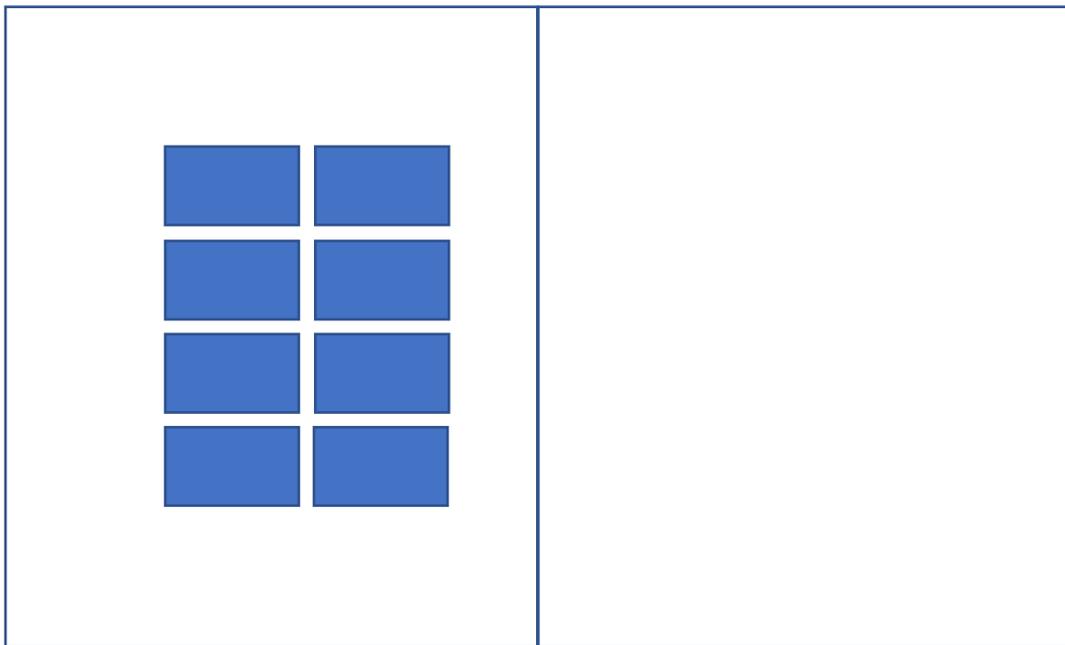


Figura 8: Vista superior da disposição dos módulos fotovoltaicos no telhado.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A área ocupada pelo arranjo de módulos fotovoltaicos ($A_{arranjo}$), em m^2 , é de:

$$A_{arranjo} = [4(1,040) + 3(0,02)]. [2(1,763) + 0,02]$$

$$A_{arranjo} = 14,964m^2$$

Sendo que cada queda do telhado tem área igual a $59,5m^2$. O arranjo ocupa, portanto, cerca de 25% de uma delas.

4.5 Cálculo da fatura de energia

Sabendo que a residência manteve o consumo médio mensal de 321,95kWh e o sistema gere a quantidade prometida, a média mensal de créditos ($E_{créditos}$) gerados por esse sistema é igual a diferença entre a energia injetada na rede (E_{injeta}) e o consumo médio ($E_{consumo}$) da residência. Então,

$$E_{créditos} = E_{geração} - E_{consumo}$$

$$E_{créditos} = 332,64 - 321,92$$

$$E_{créditos} = 10,72kWh$$

Essa energia que é gerada pelo sistema fotovoltaico, mas não é consumida pela residência, é injetada na rede da concessionária sendo revertida em desconto na conta de energia elétrica em meses que o consumo é maior que a geração.

Considerando que a tarifa em real do quilowatt hora da concessionária vigente no local da instalação do projeto é R\$1,00 incluindo os impostos e as taxas públicas, logo o valor pago pelo consumidor, caso o mesmo não tivesse o sistema fotovoltaico, seria o seu consumo (321,92kWh) multiplicado pelo preço da tarifa unitária (R\$1,00). Dessa forma, teria um gasto mensal de aproximadamente R\$322,00. Porém, como o consumidor possui o sistema fotovoltaico e consome menos energia daquela gerada, então seu gasto mensal é de apenas os 50kWh obrigatórios multiplicado pela tarifa, sendo em torno de R\$50,00. Com isso, a economia oferecida por esse sistema gerador de energia é de aproximadamente R\$272,00, correspondendo a 84%.

Estimando que o valor do projeto, incluindo mão de obra, empresa qualificada e gerador fotovoltaico (módulos, inversores, cabos, estruturas, conexões e fixadores), foi de R\$15.000,00, é possível analisar em quanto tempo o consumidor terá o seu valor investido de volta. Dividindo R\$15.000,00 por R\$272,00 (economia mensal na conta de luz), tem-se que em 56 meses, ou seja, em 4,6 anos haverá o retorno financeiro do investimento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos cálculos desenvolvidos e das relações estabelecidas, verificou-se que a configuração do sistema escolhido é viável para instalação. Primeiramente, os parâmetros do arranjo de módulos conectados em série estão de acordo com o inversor, uma vez que suas condições mínimas de funcionamento foram atingidas e as condições máximas não foram ultrapassadas. Analisando as dimensões do telhado estudado, concluiu-se que ele suporta o arranjo de módulos fotovoltaicos, uma vez que a ocupação foi de 25% da área da queda voltada a direção norte.

A geração estimada de energia por mês do sistema é suficiente para atender a demanda da residência e ainda gerar créditos, que são descontados caso o consumo seja maior que a energia produzida.

Em relação a economia gerada pelo sistema, o valor do investimento tende a apresentar retorno em 5 anos. Considerando que o sistema tem uma vida útil de aproximadamente 20 anos, trata-se de uma fonte de energia limpa, sustentável e rentável, sendo estas suas principais vantagens.

6 CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia limpa e sustentável, que colabora com a preservação do meio ambiente, pois para gerar eletricidade usa-se, principalmente a luz do Sol. Além da preocupação com as questões ambientais, possuir um sistema fotovoltaico traz vantagens econômicas, reduzindo os valores da conta de luz. Por esse motivo, tem sido uma alternativa recorrente para quem busca sustentabilidade e economia.

No estudo de caso apresentado concluiu-se que a energia solar fotovoltaica gerada atende as necessidades da residência, a partir do dimensionamento correto, no qual foram relacionados os equipamentos escolhidos, a média de consumo mensal e a irradiância do local. O desenvolvimento do projeto foi indispensável para promover o bom desempenho do sistema e, conseqüentemente, acarretando em economia na fatura de energia.

A partir dos resultados desse trabalho viu-se que a implementação de um sistema fotovoltaico traz muitas vantagens, mesmo que seja para uma unidade consumidora pequena. Logo, espera-se que nos próximos anos mais consumidores adquiram essa fonte de energia renovável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABENS. **Revista Brasileira de Energia Solar**. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/issue/view/28>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

ABSOLAR. **Entenda como funciona a energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/o-que-e-energia-solar-fotovoltaica/>> Acesso em: 10 de ago. 2021.

ALBA Energia Solar. **O que é o efeito fotovoltaico? Saiba como funciona!** Disponível em: <<https://albaenergia.com.br/efeito-fotovoltaico/>> Acesso em: 29 de jun de 2021.

ANEEL. **Brasil alcança 170 mil megawatts de capacidade instalada em 2019**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-alcanca-170-mil-megawatts-de-capacidade-instalada-em-2019/656877?inheritRedirect=false> Acesso em: 04 de mai de 2021.

ANEEL. **Capacidade instalada em 2021 supera 1 gigawatt; eólicas são o destaque pelo quarto mês seguido**. Disponível em: <bit.ly/33iKSok> Acesso em: 04 de mai de 2021.

ANEEL. **Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoizjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjVlLTl1MjltN2E5MzBkN2ZlMzVklwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

ATTUX, Romis. **Tópico 7 – Bandas de Energia**. Disponível em: <<https://www.dca.fee.unicamp.br/~attux/topico7.pdf>> Acesso em: 22 de jun. de 2021.

BERTO, Alessandra. **Efeito do sombreamento em módulos solares fotovoltaicos e consequências para o arranjo solar em sistemas de geração de energia solar fotovoltaica (parte I)**. Disponível em: <<https://www.solarbrasil.com.br/blog/efeito-do-sombreamento-em-modulos-solares-fotovoltaicos-e-consequencias-para-o-arranjo-solar-em-sistemas-de-geracao-de-energia-solar-fotovoltaica-parte-i/>> Acesso em: 10 de ago de 2021.

CAMARGO, J. R; GRANDINETTI, F. J; NOHARA, E. L. **Sistemas Fotovoltaicos: conceitos, inovação e aplicações**. 1. ed. 2016.

CANAL SOLAR. **Entenda as especificações básicas dos componentes da string box.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/entenda-as-especificacoes-basicas-string-box/>> Acesso em: 13 de set. de 2021.

CANAL SOLAR. **Oversizing e clipping nos sistemas fotovoltaicos.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/oversizing-e-clipping-nos-sistemas-fotovoltaicos/>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

CCEE Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **Fontes.** Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/fontes?_afzLoop=90192309086401&_adf.ctrl-state=ta7n4del_1#!%40%40%3F_afzLoop%3D90192309086401%26_adf.ctrl-state%3Dta7n4del_5> Acesso em: 25 de jun. de 2021.

COLAFERRO, José Renato Q. **Retorno do Investimento em Energia Solar: 5 Variáveis Essenciais que Você Deve Saber.** Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/retorno-do-investimento-em-energia-solar/>> Acesso em: 25 de jun de 2021.

ECOIA Energia Renováveis. **Energia solar fotovoltaica em 2020: expectativa x realidade.** Disponível em: <<https://www.ecoiaenergias.com.br/2020/12/28/crescimento-energia-solar-fotovoltaica-2020/>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

ECOIA Energias Renováveis. **Energia solar fotovoltaica 2021: expectativas e projeções.** Disponível em: <<https://www.ecoiaenergias.com.br/2021/02/09/energia-fotovoltaica-crescimento-2021/>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

EDP São Paulo. **Geração Distribuída – EDP SP.** Disponível em: <<https://www.edp.com.br/distribuicao-sp/saiba-mais/informativos/microgeracao-e-minigeracao-distribuida>> Acesso em 24 de set. de 2021.

ENERGÊS. **Como minimizar o efeito da sombra.** Disponível em: <<https://energes.com.br/energia-solar/como-minimizar-o-efeito-da-sombra/>> Acesso em: 28 de ago de 2021.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Fontes de Energia.** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>> Acesso em: 22 de jun. de 2021.

HEIN, Henrique. **Sul e Sudeste concentram mais da metade da energia fotovoltaica no Brasil.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/sul-e-sudeste->

concentram-mais-da-metade-da-energia-fotovoltaica-no-brasil/> Acesso em: 23 de set de 2021.

INSOL. **Geração Centralizada x Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://insolenergia.com.br/blog/geracao-centralizada-x-geracao-distribuida>> Acesso em: 23 de jun de 2021.

INTELBRAS. **Módulo Fotovoltaico Monocristalino 72 células 380W.** Disponível em: <<https://www.intelbras.com/pt-br/modulo-fotovoltaico-monocristalino-72-celulas-380w-emsz-380m-dg>> Acesso em 10 de ago. de 2021.

INTELBRAS. **Painel Solar.** Disponível em: <<https://www.upperseg.com.br/energia-solar/paineis-solares/painel-solar-modulo-fotovoltaico-330w-policristalino-345w-dg-intelbras/>> Acesso em 10 de ago. de 2021.

ITAIPU BINACIONAL. **Integração ao sistema brasileiro.** Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/integracao-ao-sistema-brasileiro>> Acesso em: 24 de set. de 2021.

JÚNIOR, Luiz Alberto Wagner Pinto. **Sistema de energia solar no Nordeste: 6 vantagens de se implementar.** Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/posts/sistema-de-energia-solar-no-nordeste-6-vantagens-de-se-implementar/>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

JÚNIOR, Luiz Alberto Wagner Pinto. **Veja os fatores que influenciam na eficiência do sistema fotovoltaico.** Disponível em: <<https://hccenergiasolar.com.br/posts/veja-os-fatores-que-influenciam-na-eficiencia-do-sistema-fotovoltaico/>> Acesso em: 10 de ago de 2021.

KIKUMOTO, Bruno. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos para o grupo A.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-o-grupo-a/#:~:text=Um%20fator%20importante%20ao%20dimensionar,est%C3%A1%20limitada%20a%20este%20fator.>> Acesso em: 05 de mai de 2021.

NEOSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica.** Guia Prático. 2016.

ORIGO ENERGIA. **Impactos ambientais causados pelas fontes de energia.** Disponível em: <<https://origoenergia.com.br/blog/impactos-ambientais-causados-pelas-fontes-de-energia>> Acesso em: 05 de mai de 2021.

PANASONIC. **Painel fotovoltaico de silício amorfo**. Disponível em: <<https://www.archiexpo.com/pt/prod/panasonic-solar/product-83914-2056729.html>>

Acesso em: 10 de ago. de 2021.

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

PLANAS, Oriol. **O que é radiação solar?** Disponível em: <<https://pt.solar-energia.net/que-e-energia-solar/radiacao-solar>> Acesso em: 29 de jun. de 2021.

PORTAL ENERGIA. **Energia Fotovoltaica: Manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. 2004.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil.html>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

PORTAL SOLAR. **Tudo sobre a Eficiência do Painel Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

SOUSA, A. S.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H.; **A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos**. Disponível em: <<http://www.faculdaderaizes.edu.br/files/images/M%C3%89TODOS%20E%20T%C3%89CNICAS%20DE%20PESQUISA.pdf>> Acesso em: 10 de ago. de 2021.

THOMAS, Jerry. **Métodos de pesquisa em atividade física**. 6ª Ed. Porto alegre: Artmed, 2012.

TOPSUN – Energia Solar. **Saiba como calcular o payback de investimento em energia solar**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sc/santa-catarina/especial-publicitario/top-sun/top-sun-energia-solar/noticia/2021/04/30/saiba-como-calcular-o-payback-de-investimento-em-energia-solar.ghtml>> Acesso em: 25 de jun. de 2021.

VILLALVA, Marcelo. **Módulos fotovoltaicos Half-ceel**. Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/modulos-fotovoltaicos-half-cell/>> Acesso em: 28 de ago. de 2021.