

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELO ALVES**

**WILMAR FELIPE DA SILVA**

**SISTEMA DE ENERGIA SOLAR A PARTIR DE CÉLULAS  
FOTOVOLTAICAS PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**MARCELO ALVES**  
**WILMAR FELIPE DA SILVA**

**SISTEMA DE ENERGIA SOLAR A PARTIR DE CÉLULAS  
FOTOVOLTAICAS PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

**ORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO**

**ANÁPOLIS / GO:**

**2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ALVES, MARCELO /SILVA, WILMAR FELIPE  
Aplicação de um sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar  
58P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Energia solar	2. Energia fotovoltaica
3. Placa fotovoltaica	4. Residência unifamiliar
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALVES, Marcelo; SILVA, Wilmar Felipe. Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 58p. 2020.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcelo Alves

Wilmar Felipe Da Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão par-a reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Marcelo Alves

E-mail: nettamalu1974@hotmail.com

---

Wilmar Felipe da Silva

E-mail: wilmarfelipesilva@hotmail.com

**MARCELO ALVES**  
**WILMAR FELIPE DA SILVA**

**SISTEMA DE ENERGIA SOLAR A PARTIR DE CÉLULAS  
FOTOVOLTAICAS PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

---

**EDUARDO MARTINS TOLEDO, (UniEvangélica)**  
**(ORIENTADOR)**

---

**WELINTON ROSA DA SILVA, (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**POLLYANA MARTINS SANTANA, (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADORA INTERNA)**

**ANÁPOLIS, 08 DE JUNHO DE 2020.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço plenamente a Deus, por me abençoar nessa longa jornada de ensino. Agradeço a toda minha família, amigos, que de alguma forma me ajudaram e me apoiaram nessa conquista da vida. E também, agradeço ao meu orientador, Eduardo Martins Toledo, pela sua dedicação e compreensão, e a todos professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

Marcelo Alves

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pois tudo que tenho foi dado por Ele. Agradeço pela coragem e fé dada, e por ser o motivo pelo qual nunca me deixei abater com os problemas do dia-a-dia, procurando sempre mais forças para continuar. A esposa, filhos, amigos e professores que vem mim ajudando ao longo desta jornada.

Wilmar Felipe da Silva

## RESUMO

Este trabalho, consiste em um sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar. O sistema de energia solar fotovoltaico é um sistema direto de captação da energia solar. Sendo uma fonte de energia limpa e sustentável, ou seja, que não agride o meio ambiente na sua produção, no Brasil, essa micro geração de energia, aplicadas em edificações e residências, vêm ganhando cada vez mais espaço, se solidificando como uma alternativa, dentro da matriz energética brasileira. Nesse contexto este Trabalho de Conclusão de Curso têm como objetivo, desenvolver um estudo para aplicação e viabilidade, de um sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar, a partir de um projeto criado pelos próprios autores. Onde, são apresentados os conceitos e princípios de funcionamento do sistema de geração elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos e análise da participação do sistema de geração de energia elétrica, dentro do contexto da matriz energética brasileira. Também, dentro dos objetivos, a criação de um projeto e dimensionamento de um micro sistema de geração de energia conectado à rede elétrica, para uma residência unifamiliar e avaliação da viabilidade de implantação do sistema de geração de energia elétrica, analisando suas vantagens e desvantagens e seu custo benefício. Para tal, o mesmo utilizou como metodologia o levantados os conceitos e princípios de funcionamento da energia fotovoltaica para posteriormente fazer o dimensionamento do projeto elétrico fotovoltaico seguindo, dentre outros fatores, parâmetros como análise do local e perfil de consumo dos moradores. Através do dimensionamento, observou-se não só a viabilidade do sistema, como também foi feito um análise de retorno do investimento, onde foi possível verificar, que o retorno do investimento, para este modelo, é igual a aproximadamente 8 anos, tornando o sistema viável economicamente e uma alternativa vantajosa, perante o cenário atual energético brasileiro.

**Palavras-chave:** Energia solar. Energia Fotovoltaica. Dimensionamento

## ABSTRACT

This work consists of a solar energy system from photovoltaic cells for a single family home. The photovoltaic solar energy system is a direct system for capturing solar energy. Being a clean and sustainable energy source, that is, that does not harm the environment in its production, in Brazil, this micro generation of energy, applied in buildings and homes, has been gaining more and more space, solidifying as an alternative, within the Brazilian energy matrix. In this context, this Course Completion Work aims to develop a study for the application and feasibility of a solar energy system from photovoltaic cells for a single family home, based on a project created by the authors themselves. Where, the concepts and principles of operation of the electricity generation system are presented, using photovoltaic panels and analysis of the participation of the electricity generation system, within the context of the Brazilian energy matrix. Also, within the objectives, the creation of a project and dimensioning of a micro power generation system connected to the electric grid, for a single family home and evaluation of the feasibility of implementing the electric power generation system, analyzing its advantages and disadvantages and its cost benefit. To this end, it used as a methodology the surveyed concepts and principles of operation of photovoltaic energy to later design the photovoltaic electrical project following, among other factors, parameters such as analysis of the location and consumption profile of residents. Through the design, it was observed not only the viability of the system, but also an analysis of return on investment was made, where it was possible to verify that the return on investment, for this model, is equal to approximately 8 years, making the system economically viable and an advantageous alternative, given the current Brazilian energy scenario.

**Keywords:** Solar energy. Photovoltaics. Sizing

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes direta, difusa e refletida da radiação solar. ....	17
Figura 2 - Potencial das energias limitadas e das energias renováveis. ....	18
Figura 3 - Placa fotovoltaica: captação de energia solar pelo método direto. ....	19
Figura 4 - Energia solar térmica: captação de energia solar pelo método indireto. ....	20
Figura 5 - Componentes da placa fotovoltaica. ....	21
Figura 6 - Esquema de geração da energia fotovoltaica pelo sistema isolado. ....	23
Figura 7 - Esquema de energia fotovoltaica pelo sistema conectado á rede elétrica. ....	24
Figura 8 - Esquema de funcionamento da energia fotovoltaica residencial. ....	26
Figura 9 – Planta de <i>layout</i> . ....	30
Figura 10 – Distribuição elétrica. ....	31
Figura 11 - Localização da edificação a ser construída. ....	34
Figura 12 – Planta da Cobertura da Edificação em estudo. ....	35
Figura 13 – Especificações elétricas do módulo <i>MAXPOWER CS6U-330P</i> . ....	38
Figura 14 – Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede (adaptado). ....	40
Figura 15 - Especificações técnicas do inversor <i>Fronius Primo 4.0</i> . ....	41
Figura 16 - <i>Ranking</i> com os estados que utilizam essa fonte renovável de energia no Brasil .	44
Figura 17– Disposição dos módulos fotovoltaicos na cobertura da edificação. ....	46

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média mensal do total diário da irradiação no local em estudo. ....	33
Tabela 2 – Valor estimado de carga e consumo da edificação em estudo.....	36
Tabela 3 – Perdas consideradas no sistema fotovoltaico.....	42
Tabela 4 – Eficiência da geração de energia do sistema fotovoltaico. ....	47
Tabela 5 – Custos totais do projeto de sistema fotovoltaico. ....	48
Tabela 6 – Desempenho do sistema fotovoltaico. ....	48

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA**

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSOLAR	- Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
SF	- Sistemas fotovoltaicos
TCC	- Trabalho de Conclusão de Curso

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS .....	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 METODOLOGIA .....	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>16</b>
2.1 ENERGIA SOLAR .....	16
2.1.1 Métodos de captação da energia solar.....	18
2.1.1.1 Método Direto .....	18
2.1.1.2 Método Indireto .....	19
2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	20
2.2.1 Sistemas de energia fotovoltaica .....	22
2.2.1.1 Sistema fotovoltaico isolado ( <i>off grid</i> ).....	22
2.2.1.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	23
2.2.2 Aplicações da energia solar fotovoltaica.....	24
2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA RESIDÊNCIA UNIFAMILIARES.....	25
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	26
2.4.1 Vantagens .....	26
2.4.2 Desvantagens.....	27
2.5 NORMATIZAÇÃO .....	28
<b>3 ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>29</b>

<b>4 - DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DE SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>31</b>
4.1 POTENCIAL ENERGÉTICO – Análise preliminar .....	32
a) Irradiação solar local:.....	32
b) Análise de sombreamento e espaço físico:.....	33
4.1 - DIMENSIONAMENTO DO NÚMEROS E DISPOSIÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS. ....	37
4.2 - ESCOLHA DO INVEsor.....	41
4.3 – PROJETO ELÉTRICO. ....	42
4.4 – ANÁLISE DE PERDAS. ....	42
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>43</b>
5.1 PARTICIPAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS, DENTRO DO CONTEXTO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	43
5.2 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA RESIDENCIAS UNIFAMILIARES .....	45
5.2.1 ORÇAMENTO.....	47
5.2.2 PLANEJAMENTO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DA IMPLANTÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	48
5.3 CONCLUSÃO .....	50
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO A – CATÁLOGO PAINEL FOTOVOLTAICO CANADIAN SOLAR .....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO B – CATÁLOGO INVERSOR FRONIUS PRIMO.....</b>	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional no mundo é um acontecimento que é caracterizado como o aumento do número de habitantes no planeta. Esse aumento da população mundial, dá-se devido a vários fatores, dentre eles, a queda da mortalidade infantil em conjunto dos avanços tecnológicos da medicina, que respectivamente, gera um aumento na expectativa de vida, refletindo, para o crescimento da população mundial.

Nesse contexto, o crescimento populacional, traz consigo a necessidade de suprir a crescente demanda de insumos e recursos naturais que mantém a vida humana em nosso planeta. Em especial, a crescente demanda de consumo de energia elétrica em escala mundial, vem tornando o sistema de produção de energia atual, um modelo sobrecarregado e insustentável. Nesse contexto, se faz necessário a implantação de novas tecnologias, para a produção de energia elétrica, onde possa suprir a crescente demanda mundial (FADIGAS, 2016).

Dentro dessas novas tecnologias, a energia elétrica produzida por radiação solar, conhecida como energia fotovoltaica, vem sendo conceituada como um modelo sustentável de geração de energia elétrica, onde em seu processo, usa como fonte de produção, a luz solar, sendo uma forma limpa, natural que não agride o meio ambiente (FADIGAS, 2016).

Em 2012, entrou em vigor a Resolução Normativa nº482 ANEEL, que permite que o consumidor possa instalar pequenos geradores (tais como painéis solares fotovoltaicos), em sua residência possibilitando a troca de energia elétrica, com a distribuidora local, através de equipamentos específicos, com objetivo de reduzir o valor da sua fatura de energia elétrica. No período de junho de 2017 a junho de 2018, a sua utilização teve um crescimento de 577%, no Brasil, (ANEEL, 2018), onde, com certeza, ocupará um lugar privilegiado na geração elétrica no futuro.

Pensando nisso, o Trabalho de Conclusão de Curso em questão, fará um estudo sobre a utilização de energia fotovoltaica para a aplicação de um sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

O Brasil, devido ao seu extenso território nacional e boas condições climáticas, possui um grande potencial de geração de energia solar. Os investimentos no setor privado e incentivos

de políticas governamentais, criando linhas de financiamento em bancos públicos, com juros mais baixos e prazos facilitados, tornaram o panorama da geração de energia solar, em residências habitacionais, ainda mais atraente.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), somente 0,5% da energia elétrica total no Brasil, vem de fontes solares, e que em 2019, o Brasil deverá crescer para 44% na capacidade instalada de energia solar.

Nesse panorama, de aplicação de novas tecnologias, para suprir as necessidades de produção de energia elétrica, levando em consideração, uma fonte de energia limpa e renovável, como a luz solar, é nossa intenção aprofundar o conhecimento nessa área, a fim de enriquecer nossa formação acadêmica, e assim contribuir, para que outros profissionais possam ter uma referência sobre produção de energia fotovoltaica, através desse trabalho.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo, desenvolver um estudo para aplicação e viabilidade, de um sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para uma residência unifamiliar, a partir de um projeto criado pelos próprios autores .

### 1.2.2 3.1.2. Objetivos específicos

- Apresentar os conceitos e princípios de funcionamento do sistema de geração elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos;
- Analisar a participação do sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, dentro do contexto da matriz energética brasileira;
- Projetar e dimensionar um sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, para uma residência unifamiliar, onde o projeto da edificação, foi criado pelos próprios autores;
- Avaliar a viabilidade de implantação do sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, analisando suas vantagens e desvantagens e seu custo benefício.

### 1.3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, será primeiramente desenvolvido uma coleta de informações advindas de fontes bibliográficas, sobre energia solar fotovoltaica e suas características, normas e resoluções aplicadas no Brasil, através de artigos, teses, livros, sites, entre outros.

Em seguida, serão coletadas as informações sobre o potencial energético solar do município de Anápolis, onde foi escolhido uma localização, para implantação de um projeto de uma residência unifamiliar de nossa autoria, com o objetivo de instalar um micro sistema de geração de energia fotovoltaica ligado a rede elétrica, sendo a base de estudo para o desenvolvimento do trabalho.

Nesse contexto, será dimensionado um projeto de micro geração de energia fotovoltaica, a ser implantado na residência em estudo, verificando uma estimativa da demanda energética da edificação, para assim poder dimensionar o sistema de micro geração fotovoltaico, para atender a potência elétrica estimada, para ser gerado pelo sistema, assim como, os equipamentos necessários e custo de implantação.

E finalmente, será feito uma análise da geração de energia fotovoltaica no contexto da matriz energética brasileira, como também, uma análise de uma simulação para estimar o tempo de retorno do investimento feito para implantação do sistema fotovoltaico, em estudo, para verificar a viabilidade do sistema em estudo.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para uma melhor estruturação e apresentação da proposta do estudo, este trabalho está organizado em cinco capítulos.

No capítulo 01 foi apresentado a introdução do estudo, evidenciando os objetivos propostos, justificativa e metodologia utilizada na elaboração do TCC.

No capítulo 02, é apresentada a revisão bibliográfica, onde foi realizado o levantamento do material teórico necessário para o estudo.

No Capítulo 3, são apresentados os procedimentos metodológicos e etapas da elaboração do TCC.

No Capítulo 4, foram apresentado todo o processo de dimensionamento do projeto do sistema de geração de energia elétrica, utilizando painéis fotovoltaicos, para uma residência unifamiliar, a partir do projeto de nossa autoria.

Por fim, no capítulo 5, expomos a participação do sistema de geração de energia elétrica fotovoltaica, dentro do contexto da matriz energética brasileira, como também, o análise da viabilidade de implantação do sistema, onde serão apresentados as conclusões obtidas através do estudo, assim como as sugestões propostas para trabalhos futuros.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 ENERGIA SOLAR**

Sabe-se que o Sol é a estrela central do Sistema Solar, logo todos os outros corpos do desse sistema, tanto os planetas como os satélites associados a eles, giram ao seu redor. Não bastante isso, o sol é conhecido ainda como fonte de vida, fornecendo energia e calor na forma de radiação.

Essa energia oriunda do Sol que chega à Terra em forma de radiação apresenta comprimentos de onda caracterizados como curtose sua incidência sobre um se dá pela soma dos componentes de radiação direta, difusa e refletida. Fadigas (2016) a radiação denominada direta é a que provém diretamente do sol e que não tenha sofrido qualquer tipo de alteração em sua direção além daquela provocada pela refração a nível atmosférico. A difusa é a incidida sobre um corpo após ocorrer a mudança de direção do raio inicial e pode ocorrer devido aos efeitos de reflexão ou espalhamento na atmosfera. A refletida varia conforme os atributos do corpo receptor bem como sua inclinação em relação aos raios recebidos. A Figura 1 ilustra os componentes direta, difusa e refletida da radiação solar em contato com um corpo.

**Figura 1 - Componentes direta, difusa e refletida da radiação solar.**



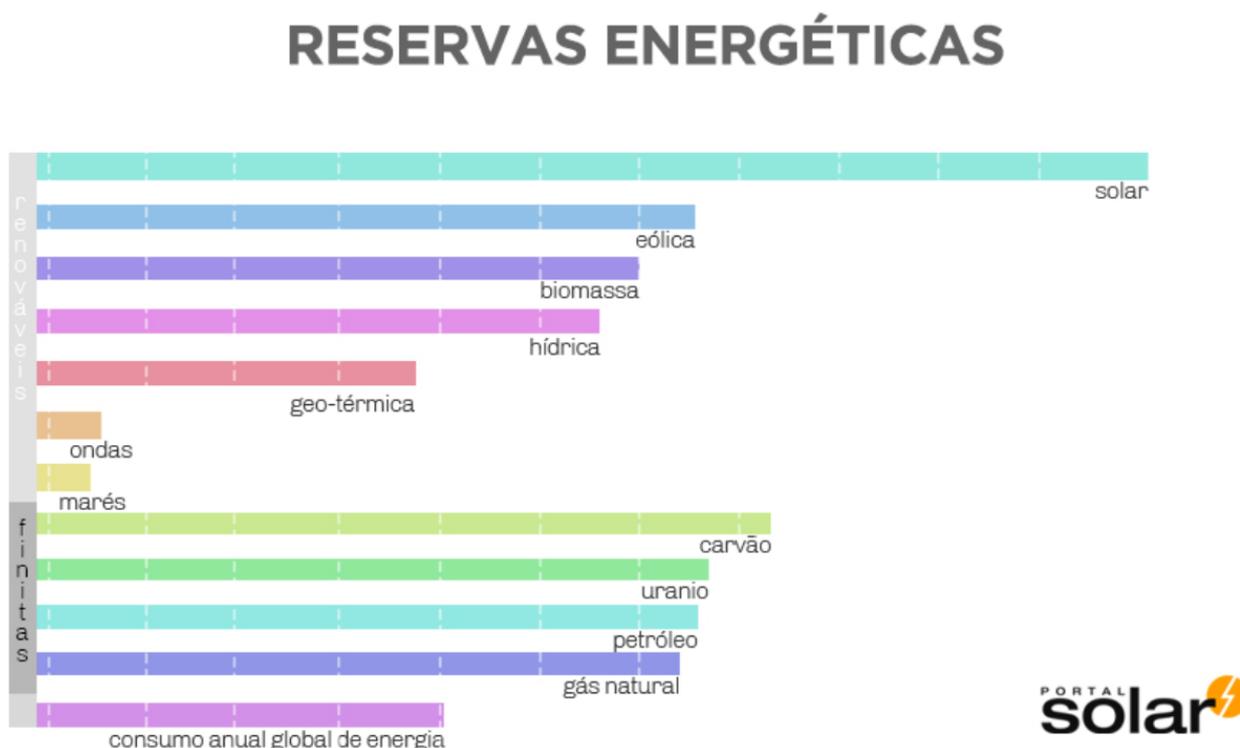
Fonte: Cruz (2017)

Segundo Fadigas (2016) esses componentes resultam do fato que toda a radiação, antes de chegar ao solo, sofre uma sequência de reflexões, dispersões e absorções em seu percurso e até mesmo desde as camadas mais externas às mais internas da terra.

Por conseguinte, a energia solar é uma energia renovável que corresponde à energia obtida da luz e calor emitidos pelo Sol. A captação e utilização dessa da energia pode ser realizado diretamente para iluminação, aquecimento de fluidos e ambientes, como fonte de energia, ou para geração de potência mecânica ou elétrica, como energia térmica.

Esse tipo de energia limpa é uma das formas de produção de energia que esta ganhando destaque e crescendo no mundo, além disso, pode ser a resposta para o futuro do planeta em relação á sustentabilidade e abastecimento energético, uma vez que, grande parte dos tipos de energia utilizados atualmente são limitados, ou seja finitas, e agridem o meio ambiente. A Figura 2 ilustra potencial das energias renováveis em relação á energias limitadas.

Figura 2 - Potencial das energias limitadas e das energias renováveis.



Fonte: Portal Solar [Entre 2010 e 2020]

### 2.1.1 Métodos de captação da energia solar

A energia solar, pode ser utilizada convertida em energia elétrica ou energia térmica, conforme mencionando. Hoje, existem duas formas principais de captação da energia solar, a captação e transformação direta da energia do sol em energia elétrica e a captação e posteriormente a transformação da energia do sol em energia térmica.

#### 2.1.1.1 Método Direto

Os métodos diretos de captação de energia solar, são os que precisam de apenas uma etapa para capturar a energia do sol e transformá-la em energia que pode ser utilizada pelos homens. São captadas através das placas fotovoltaicas que são montadas em módulos ou em painéis e transformam a radiação solar em eletricidade, uma vez que, a energia solar atinge uma célula fotovoltaica criando assim a eletricidade (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]). A Figura 3 ilustra uma placa fotovoltaica para captação de energia solar pelo método direto.

**Figura 3 - Placa fotovoltaica: captação de energia solar pelo método direto.**



Fonte: Portal Solar [Entre 2010 e 2020]

#### 2.1.1.2 Método Indireto

Os métodos indiretos de captação de energia solar, são os que precisam de duas ou mais etapas para converter a energia solar em energia que pode ser utilizada pelo homem. Esse sistema utiliza a energia solar térmica que é captada através de painéis solares térmicos, ou coletores, que absorvem o calor da radiação do sol. Esse calor é armazenado em um tubo a vácuo por onde passa água, que quando transformada em vapor é utilizada como fonte de calor para aquecimento de água em chuveiros ou piscinas, ambientes climatizados, e ainda em alguns processos industriais (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]). A Figura 4 ilustra um sistema de energia solar térmica para captação de energia solar pelo método indireto.

**Figura 4 - Energia solar térmica: captação de energia solar pelo método indireto.**



Fonte: Portal Solar [Entre 2010 e 2020]

Ao passo que a energia e calor do sol são captados, são utilizados ainda, alguns métodos que servem como apoio para melhorar o desempenho dos sistemas como estufas que transferem o calor do sol para o ar, mantendo o ambiente quente, ou dispositivos mecânicos como bombas para melhorar a circulação de água.

## 2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica é um sistema direto de captação da energia proveniente do sol, através de células fotovoltaicas, e transformação em energia elétrica que pode ser utilizada pelo homem. Seu funcionamento através das células fotovoltaicas, segundo Zilles (2012), utilizam, essencialmente, materiais semicondutores, que são sólidos normalmente cristalinos e possuem condução elétrica entre o grupo dos materiais condutores e o grupo dos materiais isolantes.

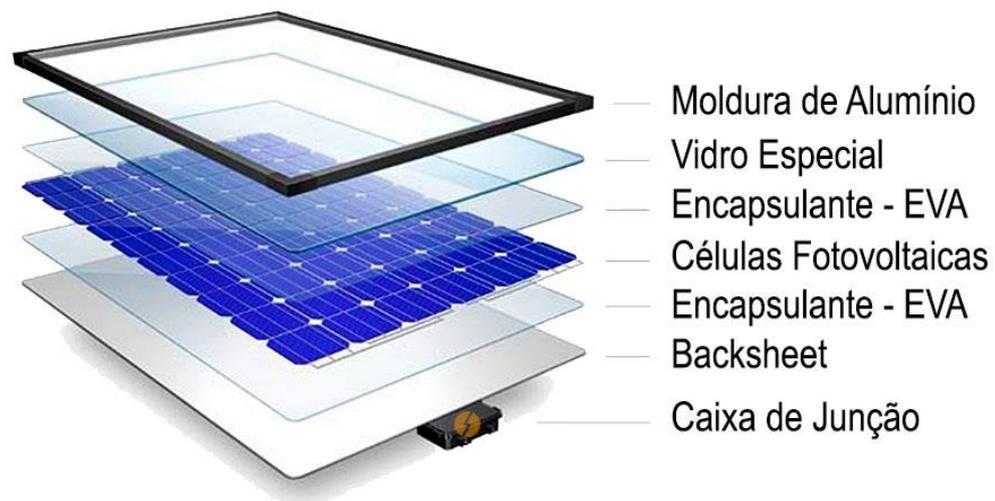
Segundo Cruz

Em qualquer instalação solar fotovoltaica o módulo solar fotovoltaico é a célula básica do sistema gerador. A quantidade de módulos conectados em série irá determinar a tensão de operação do sistema em corrente contínua. A corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de strings (conjunto de módulos conectados em série). A potência 24 instalada, normalmente especificada em

corrente contínua, é dada pela soma da potência nominal dos módulos individuais. (2017, p. 23-24)

A geração de energia solar acontece dentro da célula ao passo que ocorre uma reação da luz do sol com o material semicondutor, que por sua vez, admite à placa fotovoltaica uma combinação de varios elementos sobrepostos. A Figura 5 ilustra os componentes da placa fotovoltaica.

**Figura 5 - Componentes da placa fotovoltaica.**



Fonte: Portal Solar [Entre 2010 e 2020]

De acordo com o Portal Solar [Entre 2010 e 2020], cada componente possui uma funcionalidade para o painel solar, a saber:

- **Molduras do Painel Solar de Alumínio Anodizado:** É uma moldura de alumínio anodizado desenvolvida para proteger o painel na hora da instalação como para assegurar que o painel solar não "torça" causando trinca nas células (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- **Vidro Fotovoltaico:** O vidro fotovoltaico é vidro especial para a fabricação do painel solar, é um vidro temperado revestido com uma substância antirreflexiva, por isso é desenvolvido especialmente para refletir menos e deixar o máximo de luz passar através dele, além disso, ele contém baixo teor de ferro (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- **Filme Encapsulante para o Painel Solar – EVA:** O Filme Encapsulante para o Painel Solar, também conhecido como EVA (acetato-vinilo de etileno), é um material selante

que foi especificamente projetado para os painéis fotovoltaicos que protege as células fotovoltaicas contra o envelhecimento causado por raios UV, temperaturas extremas e umidade, assegurando que o máximo luz visível atinja as células solares (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

- Backsheet: O Backsheet é um Material plástico branco que vai na parte de trás do painel solar que protege os componentes internos do painel solar, especificamente as células fotovoltaicas bem como agir como um isolante elétrico (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- Caixa de Junção: A caixa de junção fica na parte de trás do painel solar onde as células fotovoltaicas estão conectados, que vem com os cabos e conectores especiais que são utilizados para interconectar os painéis solares quando instalados no telhado e tem a função de garantir a segurança e o bom funcionamento do painel solar (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

### 2.2.1 Sistemas de energia fotovoltaica

Segundo Esteves (2014) existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos, a saber: o sistema fotovoltaico isolado e o sistema fotovoltaico conectado á rede elétrica.

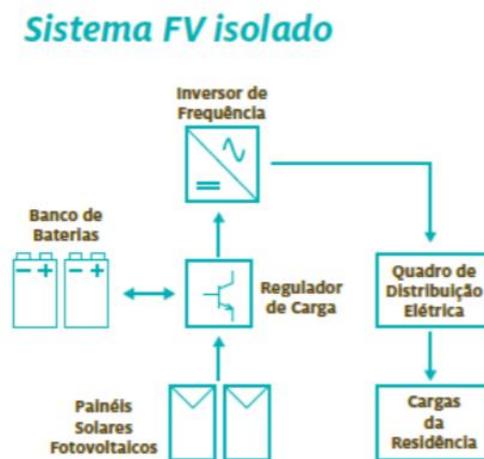
#### 2.2.1.1 Sistema fotovoltaico isolado (*off grid*)

O sistema fotovoltaico isolado é normalmente utilizado em locais onde o sistema fotovoltaico não é conectado à rede de distribuição elétrica convencional. Desta forma, a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos é armazenada em baterias, de forma que, é utilizar a energia ainda que o o sistema não esteja gerando nenhuma energia ou em casos de incidência solar.

Esse tipo de sistema possibilita o acesso da energia em locais remotos onde não ha acesso à rede padrão de energia ou até mesmo em locais onde o custo de se conectar à rede seja muito alto, por conseguinte, devido ser um sistema independente, ainda não existe uma regulamentação específica o que permite sua instalação sem a necessidade de autorização da consercionária de energia (CRUZ, 2017).

Esse sistema permite ainda, a geração de energia para a alimentação tanto de usinas, bombas de água quanto de residencias e postes de iluminação, por exemplo. A Figura 6 ilustra o esquema de geração da energia fotovoltaica pelo sistema isolado.

**Figura 6 - Esquema de geração da energia fotovoltaica pelo sistema isolado.**



Fonte: Cruz (2017)

#### 2.2.1.2 Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

Ao contrario do sistema isolado, no sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, como o próprio nome já sugere, a energia elétrica gerada é transferida para a rede pública. Nesse sistema o uso de baterias é dispensável pois quando a geração energética do sistema fotovoltaico falha ou não é suficiente para suprir as necessidades dos usuários, o abastecimento pela concessionária de energia poderá ser usado.

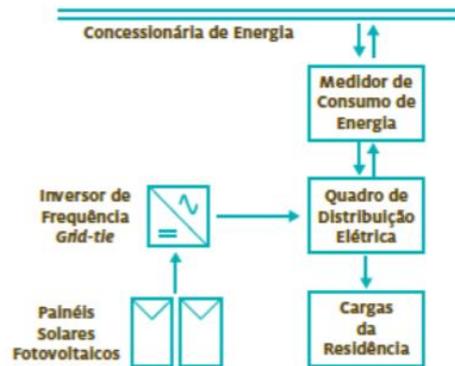
Segundo Cruz

Este sistema é baseado na interação da concessionária e o gerador fotovoltaico. Havendo incidência solar sobre o painel fotovoltaico, este gera energia elétrica e disponibiliza diretamente à rede elétrica do dono do painel elétrico. Ao gerar energia elétrica superior à demanda da edificação, a sobressalência é enviada à rede elétrica pública (2017, p. 33) .

Ora, quando o consumo excede a produção, ou seja é consumida mais energia do que a produzida pelas placas fotovoltaicas, esse consumo é registrado. Desta forma, o Sistema fotovoltaico conectado á rede elétrica é regulamentado pela ANEEL, onde são previstos os impostos e funciona o sistema de compensação energética (CRUZ, 2017). A Figura 7 ilustra um esquema de energia fotovoltaica pelo sistema conectado á rede elétrica.

Figura 7 - Esquema de energia fotovoltaica pelo sistema conectado á rede elétrica.

### Sistema FV conectado à rede



Fonte: Cruz (2017)

#### 2.2.2 Aplicações da energia solar fotovoltaica

Quando se fala em energia fotovoltaica, existe uma gama de aplicações para cada tipo de sistema encontrados, direto e indireto.

Se tratando do sistema direto, ligado diretamente a rede elétrica, pode-se destacar:

- Instalações solares: grandes áreas de terra com um grande número de painéis fotovoltaicos com o objetivo de gerar grandes quantidades de eletricidade.
- Edificações multifamiliares: utilização de painéis fotovoltaicos para a geração de energia em prédios ou edificios seja, instalados nos telhados, dentro das paredes ou numa determinada área de solo próxima do edifício.
- Residencias unifamiliares: utilização de painéis fotovoltaicos para a geração de energia em residencias unifamiliares, ou seja, habitadas por uma única família.

Ja se tratando do sistema inditero, a aplicabilidade do sistema fotovoltaáivo é bem mais variado, por se tratar se um sistema independente, podendo ser encontrado em:

- Satélites Movidos a energia fotovoltaica: utilização de paineis fotovoltaicos nos satélites que envia para o espaço.
- Eletrificação rural: captação de energia para locais afastadas das redes publicas de energia. Permite o uso de qualquer aparelho doméstico.
- Sistemas fotovoltaicos de iluminação: iluminação pública, por meio de sistemas fotovoltaicos. Podendo ser instalados também para outdoors e iluminação de túneis, por exemplo.

- Energia fotovoltaica em explorações agrícolas e pecuárias: utilizada para alimentar bombas e fornecer água para cochos de gado ou até mesmo para bombeamento de água para irrigação.

### 2.3 ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA RESIDÊNCIA UNIFAMILIARES

As residências unifamiliares são caracterizadas por serem uma moradia habitada por uma única família, logo o aproveitamento da radiação solar para a produção de energia elétrica através das placas fotovoltaicas é uma ótima opção para esse tipo de residência. Existem diversas formas de se aproveitar a energia fotovoltaica em uma residência unifamiliar seja para a própria produção de energia em si, como iluminação de ambientes ou produção de água quente, por exemplo.

Pensando nisso, o sistema fotovoltaico para uma residência desse tipo é primeiramente dimensionado levando-se em consideração o tipo de sistema, diretamente ligado a rede de energia, ou indireto e independente da rede.

Definido o tipo de sistema fotovoltaico que será utilizado, o morador precisará definir qual o tipo de placa fotovoltaica mais se adequa ao seu ambiente e em seguida quantas placas irá utilizar.

Segundo o Portal Solar (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]) o cálculo de quantas painéis fotovoltaicos serão utilizados varia de acordo com alguns Fatores, entretanto pode-se partir de 03 princípios para decidir o tamanho do sistema fotovoltaico a ser instalado, ou seja, a quantidade de painéis fotovoltaicos.

- Quanto espaço de telhado, com face o mais próximo do norte, sem sombreamento a residência tem disponível? Para cada Kw instalado é necessário aproximadamente 7m<sup>2</sup>
- Qual é o capital (R\$) o morador tem disponível para esse investimento?
- Qual é a porcentagem de consumo de energia o morador reduzir? 10%; 25%; 50%...100%?

Geralmente a própria empresa de energia solar que irá fornecer e instalar o sistema ajudará o morador a responder essas perguntas.

Caso seja instalado um sistema fotovoltaico ligado diretamente na rede pública de energia, ele funcionará paralelo com a rede elétrica da distribuidora local. Sendo assim, o painel instalado gera a energia através das células fotovoltaicas (1). A energia gerada pelo painel, para ser consumida, precisa primeiro passar por um outro equipamento do sistema, o inversor, que

alterna a corrente contínua para alternada convertendo-a então para os padrões da energia que consumimos da rede (2). Posteriormente, a energia é então enviada para o quadro de força e espalhada pela casa para ser consumida (3). Caso não seja consumida na hora, a energia é então enviada para a rede e emprestada para a distribuidora (4). Por fim, se a residência gerar mais energia do que o consumido a energia extra vai para a rede da distribuidora e posteriormente retorna para o morador como “crédito de energia” (5).

A Figura 8 ilustra o esquema de funcionamento da energia fotovoltaica residencial, conforme explicado acima.

**Figura 8 - Esquema de funcionamento da energia fotovoltaica residencial.**



Fonte: Portal Solar (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

## 2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS

No geral, quando se trata de energia solar, principalmente analisando o cenário atual do país, existem diversos benefícios tanto para o meio ambiente quanto para o consumidor, entretanto, existem também algumas desvantagens. Por isso, Ao optar pela instalação da energia fotovoltaica, é importante que o consumidor tenha em mente as vantagens e desvantagens desse tipo de tecnologia.

### 2.4.1 Vantagens

- Energia Sustentável: Esse tipo de tecnologia é limpa e renovável, além de utilizar uma fonte de energia gratuita e eficiente. Como o Brasil é um país tropical que se localiza

entre a linha do equador, recebe uma grande quantidade radiação solar, o que torna a utilização desse tipo de energia muito vantajosa (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

- Isento de ruídos e poluição: A geração de energia solar fotovoltaica é completamente silenciosa, uma vez que utiliza somente as placas fotovoltaicas para a geração direta de energia, sendo um processo fotoquímico, o SF não emite sons nem poluentes (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- Facilidade na instalação: Na maioria dos casos as placas solares já são projetadas para o tamanho certo a ser instalado, e geralmente já são montadas em estruturas já prontas quando necessário, requerem apenas pequenas adaptações, como por exemplo, a fixação de eletrodutos e quadros elétricos de distribuição (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- Pouca manutenção: Quando o SF é bem projetado e instalado, as manutenções preventiva e corretiva se tornam quase nulas (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- Vida útil longa: Um sistema solar fotovoltaico possui mais de 25 anos de vida útil, gerando energia elétrica limpa, sustentável e de qualidade, sem prejudicar o meio ambiente (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- Alcance a locais remotos: Através do sistema indireto de energia fotovoltaica, ela pode ser instalada em locais onde não há acesso a rede convencional de energia (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).
- Redução de custos a longo prazo: Levando-se em consideração a vida útil do sistema fotovoltaico combinada com a baixa manutenção e a abundante e gratuita fonte de energia, há uma grande viabilidade na redução de custos a longo prazo (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

#### **2.4.2 Desvantagens**

- Valor Alto de Investimento inicial: Embora a fonte de energia solar seja abundante, o custo para aquisição e instalação do sistema fotovoltaico é alto. Entretanto, existem

hoje consórcios de energia solar e financiamentos subsidiados, que disponibilizam linhas de crédito especiais para investimentos em recursos sustentáveis (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

- Geração Intermitente de Energia: Por se tratar de uma tecnologia que capta energia através do sol, consequentemente esse sistema não funciona a noite, causando um efeito intermitente de geração de energia. Felizmente, o consumidor pode optar por utilizar baterias para o aproveitamento da energia a noite (PORTAL SOLAR, [Entre 2010 e 2020]).

Além disso, algumas pessoas consideram que a instalação de placas fotovoltaicas afeta a estética do imóvel, devido a necessidade da instalação das placas fotovoltaicas para a captação de energia, o SF pode alterar a fachada e arquitetura original do imóvel.

## 2.5 NORMATIZAÇÃO

Conforme mencionado, a energia solar, em especial a energia fotovoltaica tratada nesse estudo, é uma energia limpa e renovável que está em crescimento no mundo. Entretanto, é importante ter em mente que para a adoção dessa tecnologia, deve-se fazer um estudo sobre a energia solar disponível na região além de buscar as normas e procedimentos necessários para a instalação do sistema adequadamente assim como a fiscalização.

Para isso a NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição (ABNT, 2013) estabelece as recomendações específicas para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e estabelece seus requisitos e a NBR 16150 – Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade (ABNT, 2013) especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos utilizados na interface de conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede de distribuição de energia estão em conformidade com os requisitos da ABNT NBR 16149.

Além disso, a Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012 da ANEEL, posteriormente atualizada pela Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015 estabelece ainda, as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências, impactando diretamente sobre o mercado de energia elétrica para micro e minigeradores distribuído.

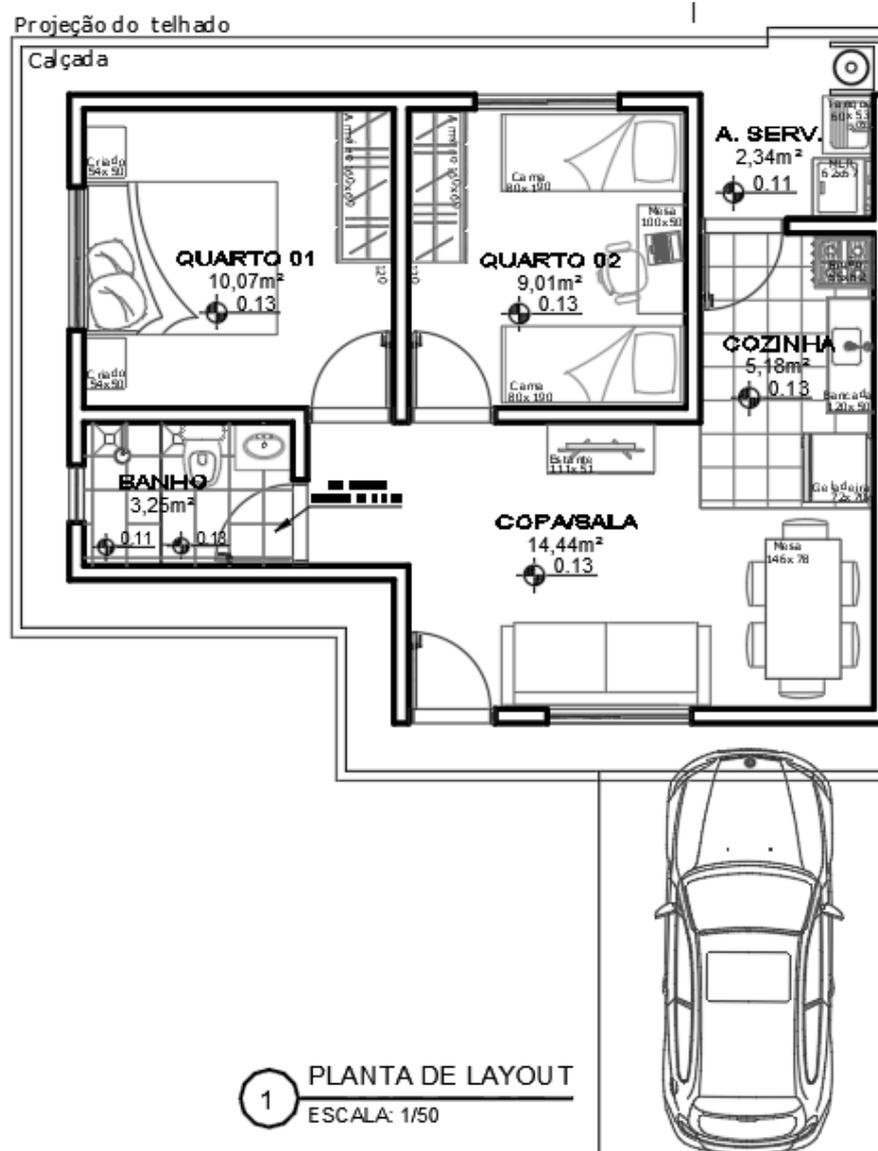
Essa alteração melhorou dentre outras coisas as condições de geração distribuída, passando de até 100 KW para até 75 KW e de 100 KW até 1 MW para 75 KW até 5 MW. Em relação aos prazos o prazo de aprovação do acesso ao sistema de compensação de energia passou de 82 dias para 32 dias. Além disso, essa alteração possibilitou que sejam criados consórcios ou cooperativas entre várias unidades consumidoras.

### **3 ESTUDO DE CASO**

A escolha do tipo de ligação do sistema de energia solar a partir de células fotovoltaicas para a implantação em uma residência unifamiliar, foi o sistema ligado à rede de energia. (*off grid*).

Desta forma, o estudo de caso foi baseado em uma residência unifamiliar simples a ser construída em um lote de 200 m<sup>2</sup>, onde a área construída total da residência conta com 02 quartos, banheiro, sala, cozinha, área de serviço e garagem, conforme demonstrado na planta de *layout* ilustrada na figura 09.

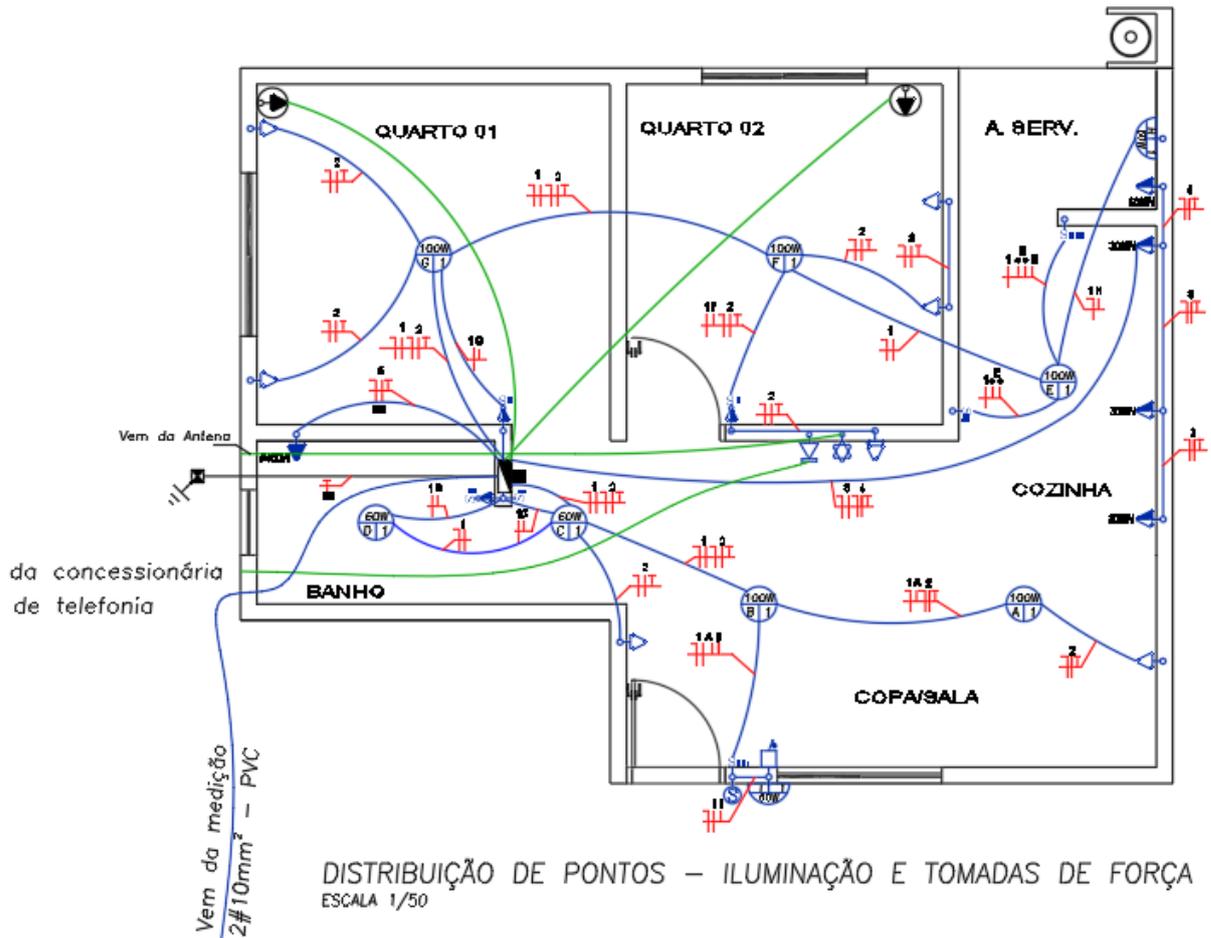
Figura 9 – Planta de layout.



Fonte: Próprio Autor (2020)

A partir do projeto arquitetônico foi elaborado o projeto elétrico respeitando as diretrizes da ABNT NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão de 2008. A distribuição elétrica da residência é ilustrada na figura 10.

Figura 10 – Distribuição elétrica.



Fonte: Próprio Autor (2020)

Para os projetos elétricos para a instalação de sistema de energia solar fotovoltaico é possível aproveitar os componentes como o dimensionamento, diagramas e listas de componentes, de um projeto para outro. Entretanto, é importante destacar que cada caso tem sua particularidade e deve ser analisado separadamente para se obter uma maior segurança e eficiência no dimensionamento do projeto.

#### 4 - DIMENSIONAMENTO DO PROJETO DO SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A seguir será demonstrado um modelo de dimensionamento de um sistema fotovoltaico de micro geração conectado á rede elétrica, baseado na interação da concessionária de energia ENEL e o gerador fotovoltaico da residência. Tal dimensionamento é fundamentado

na NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (2013) e nas Resoluções Normativas N° 482 (2012) da ANEEL e sua alteração Resolução Normativa N° 687 (2015).

O estudo é proposto a partir de uma residência unifamiliar em construção na cidade de Anápolis no estado de Goiás, levando em conta fatores como potenciais de geração de módulos fotovoltaicos, a média de horas de sol anual do local, inclinação e orientação ideal dos módulos de forma que o sistema FV projetado neste estudo possa integrar de forma harmoniosa o projeto arquitetônico demonstrando que é possível realizar bons projetos arquitetônicos integrados a sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica.

#### 4.1 POTENCIAL ENERGÉTICO – ANÁLISE PRELIMINAR

O primeiro passo para o dimensionamento do sistema de energia solar fotovoltaico para a residência em questão, é conhecer a média de consumo e de irradiação solar local da futura unidade consumidora. Para a média de consumo, levará em conta o projeto elétrico da mesma, onde será feito um dimensionamento de consumo de energia elétrica, para estimar a futura demanda elétrica da edificação.

É importante ter em mente que para que o local em que a residência se encontra seja adequado para a energia FV, a disponibilidade e a intensidade da energia solar são imprescindíveis, uma vez que, obstáculos como árvores e prédios no entorno, provocam sombras e limitam o rendimento do módulo FV (BASTOS, 2018).

##### a) Irradiação solar local:

Através das coordenadas latitude e longitude do endereço a ser construído, obtidos no Google Earth, foi consultado utilizando o *software* SunData, disponível no site do CRESESB, o potencial energético do local.

As informações disponibilizadas pelo *software* SunData, estão atualizadas de acordo com a segunda edição publicada do Atlas Brasileiro de Energia Solar, produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A Tabela 1, apresenta a média da irradiação solar, em Kwh/ metros quadrados.dia, da localidade em estudo, durante o ano a partir de diferentes ângulos de inclinação.

**Tabela 1 – Média mensal do total diário da irradiação no local em estudo.**

Mês	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]			
	Plano Horizontal (0° N)	Ângulo Igual a Latitude (16° N)	Maior Anual (19° N)	Média Mensal (6°N)
Janeiro	5,37	4,97	4,87	5,25
Fevereiro	5,52	5,31	5,23	5,48
Março	5,04	5,09	5,07	5,09
Abril	5,01	5,42	5,46	5,20
Mai	4,78	5,52	5,62	5,10
Junho	4,64	5,55	5,68	5,01
Julho	4,90	5,79	5,92	5,27
Agosto	5,75	6,46	6,55	6,06
Setembro	5,54	5,75	5,76	5,66
Outubro	5,49	5,36	5,30	5,47
Novembro	5,12	4,80	4,71	5,03
Dezembro	5,36	4,92	4,81	5,22
Média Anual [kWh/m <sup>2</sup> .dia]	5,21	5,41	5,42	5,32
Delta	1,11	1,66	1,84	1,04

Fonte: CRESESB (2018)

Para estimar a produção de energia fotovoltaica, o número de horas de Sol Pleno (HSP), é uma grandeza que equivale o número de horas, onde a irradiância solar permanece equivalente a 1 Kw/metros quadrados, em conformidade a energia acumulada em todo o período do dia, sendo equiparada à fornecida pelo sol no local determinado. (PINHO; GALDINO,2014). A partir da equação (1), é possível encontrar o valor da HSP.

$$HSP = \frac{\text{Irradiância do Local [kWh/m}^2]}{1 \text{ [kW/m}^2]} \text{ [h]} \quad (1)$$

Levando em consideração a irradiação média anual na localização de Anápolis, em estudo, e utilizando a equação 1, obtêm-se o número de Horas de Sol Pleno, igual a 5,42 horas, que equivale a 5 horas e 25 minutos de energia possivelmente acumulada, conforme indicada na equação 2.

$$HSP = \frac{5,42}{1} = 5,42 \quad (2)$$

b) Análise de sombreamento e espaço físico:

Através da imagem obtida através do Google Earth é possível verificar na figura 11, que não há nenhum prédio ou outros obstáculos como grandes árvores que possam comprometer ou limitar o funcionamento do FV.

**Figura 11 - Localização da edificação a ser construída.**

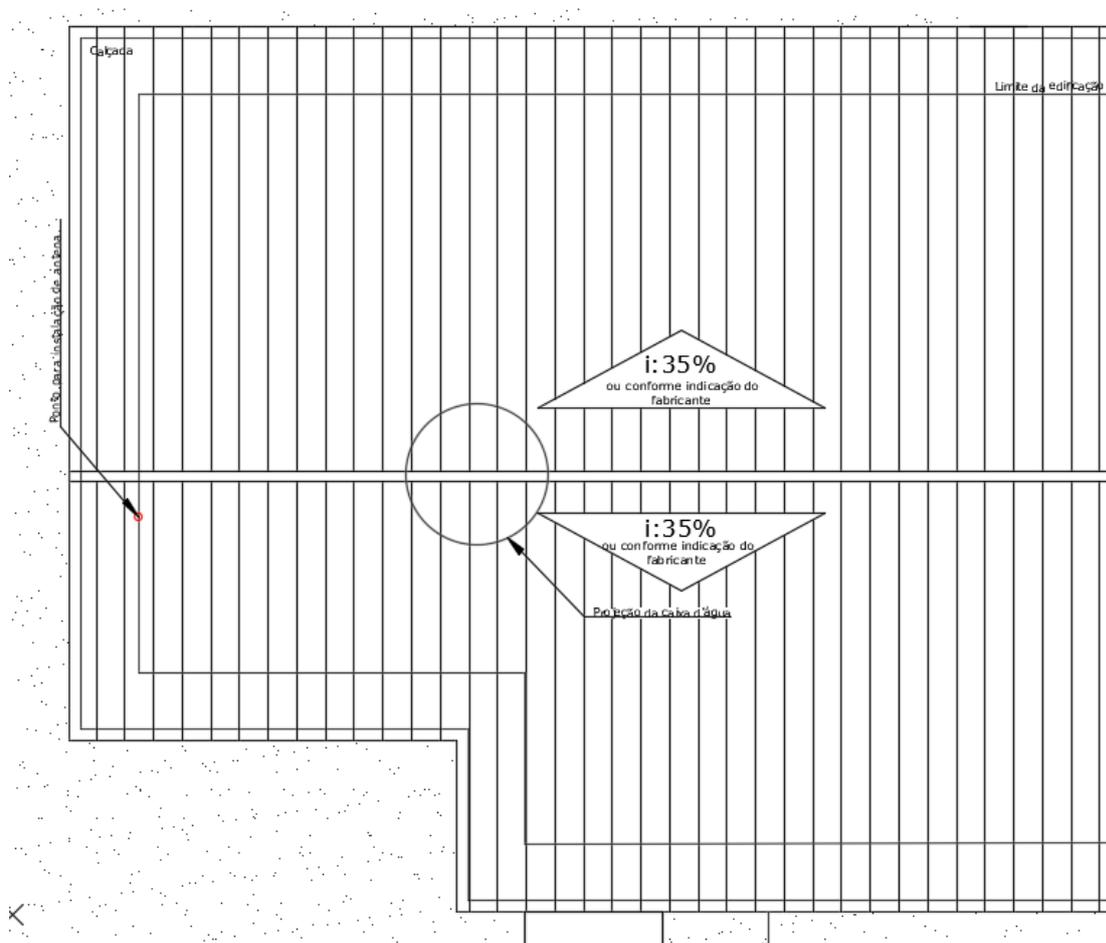


Fonte: Google Earth (2020)

O projeto de cobertura da edificação em estudo, conforme a figura 12, demonstra que, é composto de duas águas com inclinação de 35%, onde sua área superior equivale a 35,53 metros quadrados e está direcionada em direção ao norte, que de acordo com Ruter (2004), a orientação ideal da superfície do sistema FV, é em direção voltada para o Equador, ( Norte geográfico para instalações no Hemisfério Sul).

A Figura 12 ilustra a planta de cobertura da edificação.

**Figura 12 – Planta da Cobertura da Edificação em estudo.**



Fonte: Próprio Autor (2020).

O projeto de instalação do sistema fotovoltaico, com relação ao posicionamento dos módulos e a inclinação, estará limitado pelas condições do projeto de cobertura da futura edificação. Nesse caso, podem ser contornadas inserindo estruturas metálicas de apoio para os módulos (PINHO; GALDINO, 2014). Sendo assim, consideramos a necessidade, de instalar uma estrutura metálica para acoplar o sistema FV, na arquitetura do telhado, que possui uma inclinação de 35° (graus), a fim de conseguir a inclinação ideal de 20° (graus), para garantir uma máxima incidência solar.

c) Carga instalada:

Partindo do projeto elétrico da edificação, foi feita uma simulação da demanda de consumo de energia elétrica, a partir da distribuição elétrica ilustrada anteriormente na figura 10 - Distribuição elétrica.

A seguir, como demonstrado na Tabela 2, foi levantado o valor estimado de carga e consumo para a edificação em estudo:

**Tabela 2 – Valor estimado de carga e consumo da edificação em estudo.**

Equipamento	Qtd	Potência		Potência Nominal [VA]	Potência Total [kVA]	Tempo e Uso (dia) [h]	Energia Consumida (dia) [kWh]	Energia Consumida (mês) [kWh]
		Ativa	Fator de Potência					
Geladeira 1	1	150	0,85	127,5	0,1275	10	1,5	45
Microondas	1	1000	0,92	920	0,92	0,2	0,2	6
Liquidificador	1	550	0,92	506	0,506	0,1	0,055	1,65
TV 1	1	120	0,92	110,4	0,1104	5	0,6	18
Ferro Elétrico	1	1200	1	1200	1,2	0,05	0,06	1,8
Lavadora de Roupas	1	150	0,85	127,5	0,1275	1	0,15	4,5
Chuveiro 1	1	5400	1	5400	5,4	0,5	2,7	81
Lâmpada LED (copa/sala/cozinha)	3	20	0,8	16	0,048	12	0,24	7,2
Lâmpada LED (interna)	5	20	0,8	16	0,08	6	0,12	3,6
Lâmpada LED (externa)	1	30	0,8	24	0,024	12	0,36	10,8
Lâmpada LED (externa)	1	100	0,8	80	0,08	8	0,8	24
							Total Energia Consumida (dia) [kWh]	6,785
							Total Energia Consumida (mês) [kWh]	203,55

Fonte: Próprio Autor (2020).

#### d) Média de consumo de energia

Como a edificação em estudo não foi construída, foi feita uma estimativa baseada no projeto elétrico em questão, prevendo equipamentos e quantidade de habitantes da residência.

- Média anual de consumo de energia: 203,55 kWh ao mês;

- Tipo de Ligação: Monofásico;

Nesse sentido, para determinar o valor da Energia de Compensação em Média Diária, utiliza-se a equação 3:

$$E_{CD} = \frac{\text{Geração Ideal do Sistema mensal}}{30 \text{ dias}} \quad (3)$$

Onde:  $E_{CD}$ : Energia de Compensação em Média Diária – em kWh/dia;

A partir daí obtém-se:

$$E_{CD} = \frac{203,55 \text{ kWh /mês}}{30}$$

$$E_{CD} = 6,785 \text{ kWh/dia}$$

Assim, o sistema ideal deve ser dimensionado para gerar um pouco mais que 7 kWh/dia devido às perdas ocorridas nos cabeamentos e no inversor de cerca de 2 e 3% respectivamente.

#### 4.1 - DIMENSIONAMENTO DO NÚMEROS E DISPOSICÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Os módulos fotovoltaicos que serão utilizados neste projeto, seram da marca Canadian Solar, modelo MAXPOWER CS6U – 330P, com potência nominal de 330 P cada um, fabricado em silício policristalino. Na figura 13 estão especificados as características do módulo escolhido, que serão abordados nesse capítulo, para a dimensão do sistema FV.

**Figura 13 – Especificações elétricas do módulo MAXPOWER CS6U-330P.**

ELECTRICAL DATA   STC*				MECHANICAL DATA	
CS6U	325P	330P	335P	Specification	Data
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W	Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V	Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A	Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V	Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A	Front Cover	3.2 mm tempered glass
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%	Frame Material	Anodized aluminium alloy
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C			J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)			Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			Connector	T4 series
Max. Series Fuse Rating	15 A			Per Pallet	30 pieces
Application Classification	Class A			Per Container (40' HQ)	720 pieces
Power Tolerance	0 ~ + 5 W				

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte: Solar (2018)

É importante salientar que a eficiência do módulo é de 16,97%, a potência nominal de 330 W, a tensão de circuito aberto em corrente contínua de 45,6 Volts e área aproximada de 1,95 metros quadrados.

Baseado na conceituação teórica, será calculado a potência de pico dos painéis (Pfv), necessário para calcular a quantidade de módulos que serão utilizados no sistema FV em questão. O valor do Sol Pleno verificado é de 5,42 horas (tabela 1), a demanda de consumo médio diário estimado é de 6,785 KWh (tabela 2) e a taxa de desempenho será estimado em 75%, sendo que de acordo Pinho e Galdino (2014), em sistemas fotovoltaicos residenciais conectados à rede no território brasileiro, possuem uma taxa de 70 e 80%. Na sequência da equação (4) será possível calcular a potência de pico dos painéis fotovoltaicos (Pfv), em Kwp (quilo Watt-pico).

$$P_{FV} = \frac{E/TD}{HPS_{MA}} [kWp] \quad (4)$$

Portanto, a potência de pico dos painéis fotovoltaicos (Pfv), é igual a 1,67 Kwp. Com essa informação, é possível calcular a quantidade de módulos, necessários para gerar a potência total da demanda estimada no projeto em questão, dividindo o valor do Pfv de 1,67 Kwp pelo valor de potência de pico de 330 W do módulo escolhido MAXPOWER CS6U – 330P, chegando a quantidade de 5,06 módulos, onde adotaremos a quantidade de 6 módulos, para uma melhor eficiência do sistema fotovoltaico.

Desta forma, podemos saber a área ocupada pelos módulos na cobertura, multiplicando a área aproximada de 1,95 metros quadrados por unidade, pela a quantidade de 6 módulos

necessários para a eficiência do sistema fotovoltaico, obtendo uma área de utilização de 11,7 aproximadamente 12 metros quadrados.

A sequência, é importante estabelecer as ligações dos módulos em série, paralelo ou ambos. Sendo assim, o valor da tensão de saída e a corrente gerada nos módulos, não exceda os valores máximos que permite na entrada do inversor.

É possível calcular a tensão de entrada no inversor, utilizando a ligação em série do número de módulos. É importante salientar que a tensão máxima do sistema fotovoltaica, se dá quando o módulo está em circuito aberto ( $V_{oc}$ ), acontecimento que pode ocorrer no inverno, por decorrência da irradiância baixa, fazendo com que o sistema possa desconectar com o fornecimento da rede elétrica, obtendo os módulos em circuito aberto, e, em consequência a elevação da tensão.

Assim sendo, deve se levar em consideração a quantidade máxima de módulos em série em circuito aberto e a tensão máxima de entrada, permitida no inversor ( $V_{imáx}$ ), em concordância a equação (5) (PINHO; GALDINO,2014).

$$n^{\circ} \text{módulos}_{série} \cdot V_{oc} < V_{imáx} [V] \quad (5)$$

Para este projeto, os painéis estarão agrupados por 3 módulos ligados em série. No catálogo do fabricante do módulo, indica que o  $V_{oc}$  é de 45,6 V, e, pelo inversor, o  $V_{imáx}$  é de 1000 V. A equação (6), apresenta a correlação dos valores de tensão.

$$3 \cdot 45,6 < 1000 [V] \quad (6)$$

$$136,8 < 1000 [V] \quad (7)$$

O resultado obtido na equação (7), obteve que a correlação dos resultados estão em conformidade. Sendo assim, é possível realizar os 3 módulos em ligação em série. A próxima observação é analisar as características de ligação em paralelo dos módulos já ligados em série.

Para assegurar que o valor de corrente máxima na entrada do inversor ( $I_{imáx}$ ) não seja elevado, a equação (8) deve ser respeitada. Considerando  $I_{sc}$ , a corrente de curto circuito do módulo na situação padrão de teste (STC), obtem-se a seguinte situação:

$$n^{\circ} \text{módulos}_{série_{paralelo}} = \frac{I_{imáx}}{I_{sc}} \quad (8)$$

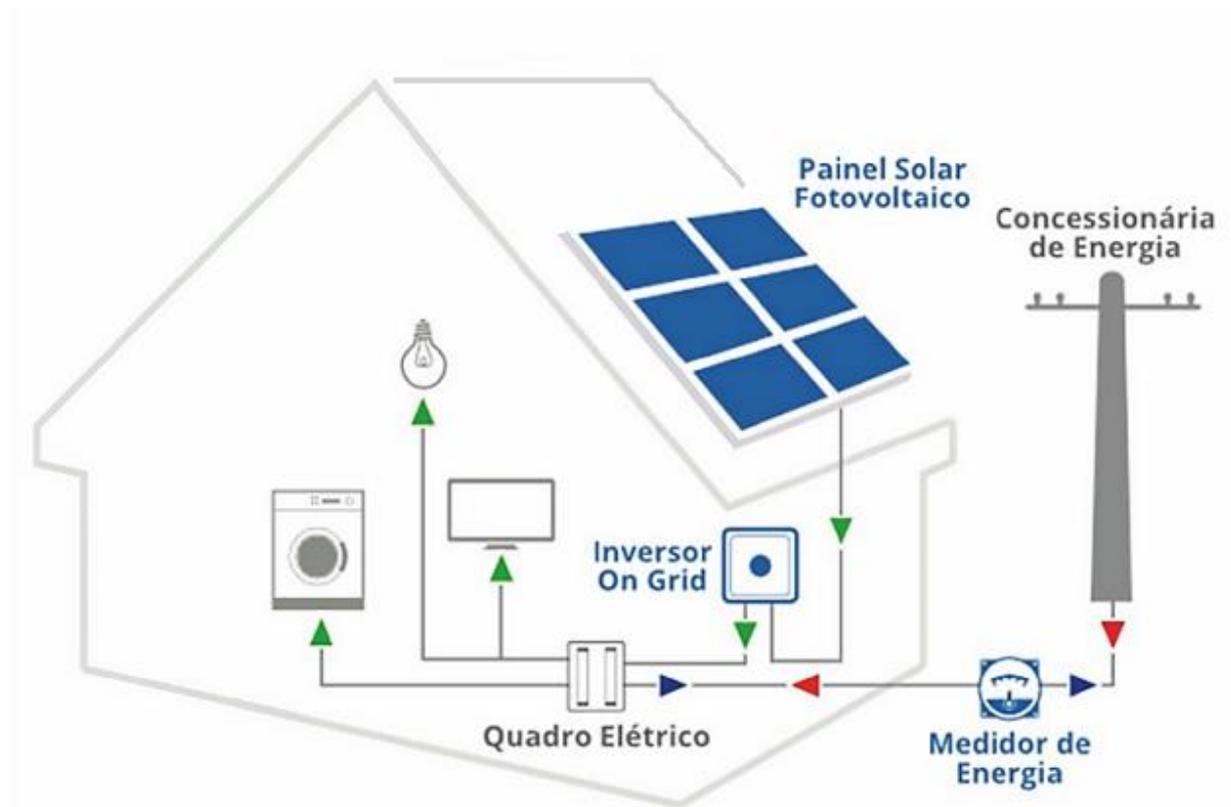
Utilizando a equação (9) e substituindo os valores pelos da corrente do módulo e do inversor especificados, obtém-se:

$$n^{\circ} \text{módulos\_série\_paralelo} = \frac{18}{9,45} = 1,9 \quad (9)$$

A quantidade de ligações máximas em paralelo dos módulos fotovoltaicos em série, será igual a 2, resultado obtido na equação (3.8). A figura 15 demonstra a ligação dos módulos fotovoltaicos, com 2 fileiras em paralelo com 3 módulos cada uma conectados em série.

É visível também, na figura 14, observar que o fluxo da corrente gerada nos módulos, pode fornecer energia tanto para edificação, quanto para ser injetada à rede elétrica pública.

**Figura 14 – Esquema de um sistema fotovoltaico conectado à rede (adaptado).**



Fonte: Energy (2018)

## 4.2 - ESCOLHA DO INVESOR.

Foi levado em consideração para a escolha do Inversor a potência pico do sistema fotovoltaico de 1,67 Kwp. Sendo assim, escolhemos esse modelo que têm como capacidade de fornecer 4000 W de potência nominal.

A figura 15 apresenta as características técnicas deste equipamento, com especificação da eficiência de 98,1%.

**Figura 15 - Especificações técnicas do inversor Fronius Primo 4.0**

DADOS DE ENTRADA	
Quantidade de MPP Tracker	2,0
Corrente máx. de entrada ( $I_{cc\ máx}$ )	12 / 12 A
Corrente máx. de curto-circuito do campo do módulo	18 / 18 A
Faixa de tensão de entrada CC ( $U_{cc\ mín} - U_{cc\ máx}$ )	80 - 1000 V
Alimentação de tensão inicial ( $U_{cc\ inicial}$ )	80,0 V
Tensão nominal de entrada ( $U_{cc,r}$ )	710,0 V
Faixa de tensão MPP ( $U_{mpp\ mín} - U_{mpp\ máx}$ )	210 - 800 V
Faixa de tensão MPP utilizável	80 - 800 V
Quantidade de conexões CC	2 + 2
Potência máxima do gerador fotovoltaico ( $P_{cc\ máx}$ )	6,0 kWpeak

DADOS DE SAÍDA	
Potência nominal CA ( $P_{ca,r}$ )	4000,0 W
Potência máx. de saída ( $P_{ca\ máx}$ )	4000,0 VA
Potência máxima de saída ( $I_{ca\ nom}$ )	17,4 A
Acoplamento à rede ( $U_{ca,r}$ )	1~ NPE 220/230 V
Faixa de tensão CA ( $U_{mín} - U_{máx}$ )	180 - 270 V
Frequência ( $f_r$ )	50 / 60 Hz
Faixa de frequência ( $f_{mín} - f_{máx}$ )	45 - 65 Hz
Fator de distorção	< 5 %
Fator de potência ( $\cos \varphi_{ca,r}$ )	0,85 - 1 ind./cap.

Grau de eficiência máx. (FV - rede de energia)	98,1 %
Europ. Grau de eficiência ( $\eta_{EU}$ )	97,0 %
$\eta$ a 5 % $P_{ac,r}^{3)}$	80,8 / 82,5 / 82,5 %
$\eta$ a 10 % $P_{ac,r}^{3)}$	86,6 / 93,9 / 92,2 %
$\eta$ a 20 % $P_{ac,r}^{3)}$	92,2 / 96,7 / 95,6 %
$\eta$ a 25 % $P_{ac,r}^{3)}$	93,2 / 97,2 / 96,1 %
$\eta$ a 30 % $P_{ac,r}^{3)}$	94,0 / 97,2 / 96,8 %
$\eta$ a 50 % $P_{ac,r}^{3)}$	95,2 / 97,8 / 97,4 %
$\eta$ a 75 % $P_{ac,r}^{3)}$	95,8 / 97,9 / 97,8 %
$\eta$ a 100 % $P_{ac,r}^{3)}$	95,9 / 98,0 / 97,9 %
Grau de eficiência de adaptação MPP	> 99,9 %

Fonte: Fronius (2018)

### 4.3 – PROJETO ELÉTRICO.

No projeto elétrico do sistema fotovoltaico, deve ser levado em consideração a escolha dos condutores, as características dos dispositivos de proteção, aterramento, por exemplo, atendendo as especificações da Norma Técnica NBR 5410, para instalações de Baixa Tensão (PINHO; GALDINO,2014). Também, segundo Pinho e Galdino (2014), a NBR 5410 ou o próprio fabricante dos equipamentos fotovoltaicos, indicam as seções padrões dos condutores que devem integrar a instalação, trazendo eficiência na execução do projeto.

Nesse projeto, para simplificar, será utilizada a seção mínima aceitável para o condutor sugerido pelo fabricante do módulo fotovoltaico, de 4 milímetros quadrados (Anexo A). Além disso, também é relevante salientar, que o modelo do módulo em questão, já possui 3 diodos de desvio (bypass), não tendo a necessidade de calcular o dimensionamento do mesmo.

### 4.4 – ANÁLISE DE PERDAS.

Segundo as especificações do catálogo do fabricante do módulo utilizado nesse sistema fotovoltaico, a temperatura média de funcionamento é de 43° C, 18°C acima do valor que estabelece as características de teste padrão (STC).

É importante salientar que o módulo têm uma baixa de 0,40% em sua eficiência para cada grau de aumento de temperatura, obtendo uma possível perda de 7,2%. Para irradiações baixas, a perda na eficiência oscila entre 200 e 1000 W/ metro quadrado, a eficiência do módulo chega aproximadamente 96%, obtendo uma baixa de 4% em seu rendimento.

A capacidade de eficiência do inversor escolhido é de 98,1%, conforme especificado no catálogo do fabricante, obtendo uma perda de 1,9%. Outros parâmetros que influenciam na eficiência do sistema fotovoltaico, são esplanados na tabela 3, referidos por Miranda (2014), que utilizou artigos científicos para obter resultados estimados.

**Tabela 3 – Perdas consideradas no sistema fotovoltaico.**

Perda	Valor Considerado
Baixa Irradiância	4,00%
Temperatura Nominal de Operação	7,20%
Condutores CC	2,00%

Condutores CA	1,00%
Inversor	1,90%
Degradação da Incidência Solar Inicial	1,00%
Poeira e Resíduos Acumulados nos Módulos	2,00%
<b>Total</b>	<b>19,10%</b>

Fonte: Próprio Autor (2020).

## 5 RESULTADOS

### 5.1 PARTICIPAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS, DENTRO DO CONTEXTO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.

A energia solar fotovoltaica corresponde a 1,2% de toda a matriz energética brasileira, sendo Minas Gerais a principal produtora com 35.499,60 kW instalados. No Brasil a energia solar vem conquistando seu espaço e tem sido bastante utilizada, tanto em residências como estabelecimentos comerciais, indústrias, agronegócio e usinas solares. A utilização dessa tecnologia no país, presente em processos industriais, rurais e domésticos atua como geração de empregos e preservação do meio ambiente (PAINEL SOLAR, 2020).

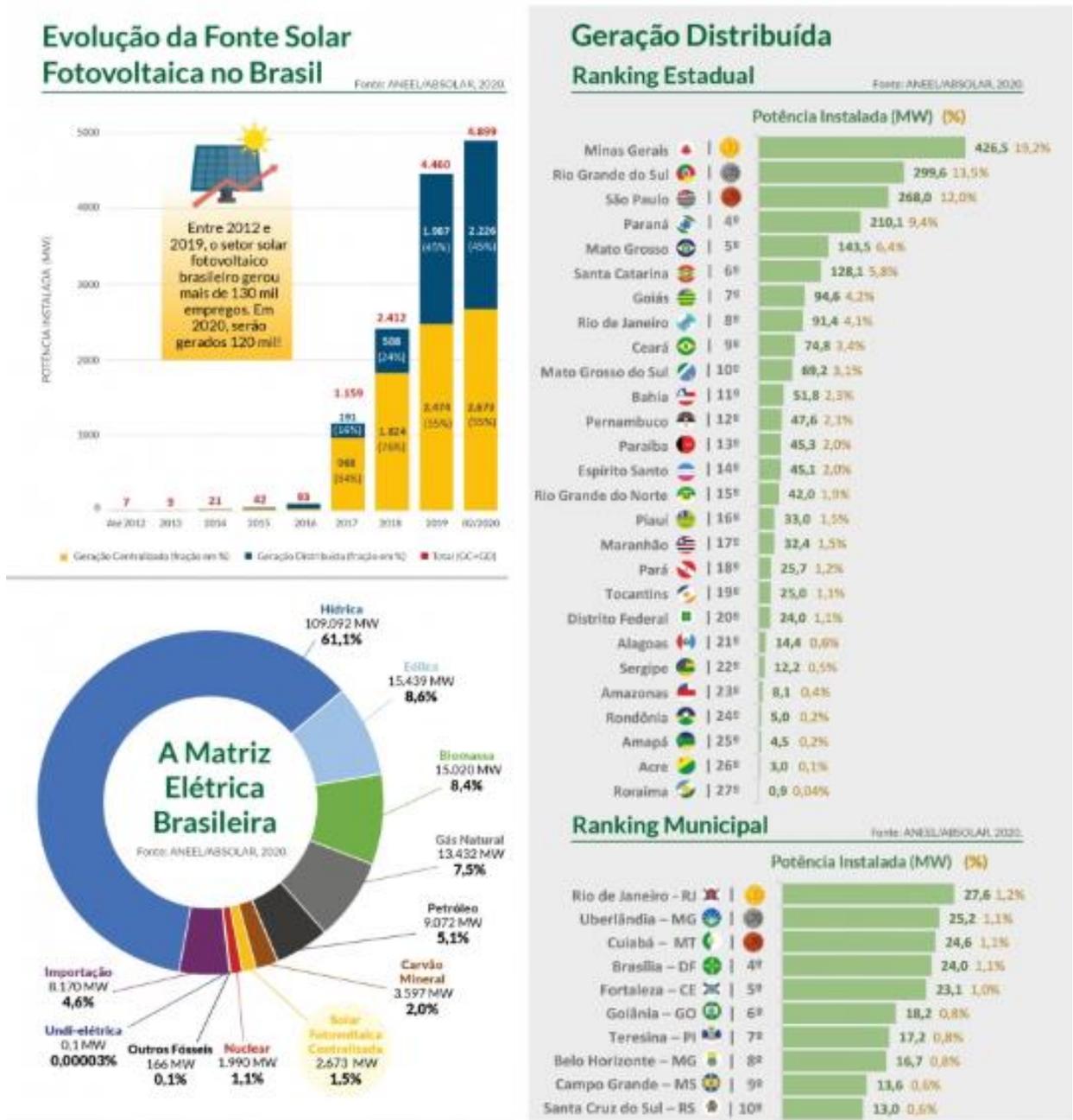
Apesar de contar com uma das matrizes energéticas mais renováveis do mundo, possuindo, aproximadamente, 75% de fontes renováveis para a produção de energia elétrica, o Brasil ainda encontra alguns desafios para alcançar as metas de utilização. No entanto, o número de sistemas fotovoltaicos instalados no território brasileiro tem crescido consideravelmente se considerarmos os custos de aquisição, que ainda são altos devido à falta de incentivos por parte do governo (PAINEL SOLAR, 2020).

Pode-se observar, ainda, que o Brasil possui uma vantagem por conta do extenso potencial energético a partir da energia solar, tendo em vista que os níveis de incidência solar são superiores aos de países que desenvolvem projetos fotovoltaicos com mais frequência, como Alemanha, França e Espanha. Portanto, a geração de energia fotovoltaica precisa ser amplamente explorada no país, já que possui os estímulos fundamentais para isso.

A Figura 20 ilustra um ranking com os estados que utilizam essa fonte renovável de energia em todo o território brasileiro de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica

(Aneel) e a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR). Portanto, podemos considerar que a matriz energética brasileira é composta por sistemas fotovoltaicos, majoritariamente instalados nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Estados como Roraima e Acre ficam atrás, com um baixo potencial de energia solar instalada. (PAINEL SOLAR, 2020).

Figura 16 - Ranking com os estados que utilizam essa fonte renovável de energia no Brasil



Fonte: PORTAL SOLAR (2020)

Embora, a energia solar ainda enfrenta grandes desafios no Brasil existem alguns planos de incentivo para o avanço e utilização dessa tecnologia, a saber:

- A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR foi criada em Janeiro de 2013 e tem o objetivo de fomentar o mercado, derrubar as barreiras do setor de energia solar no Brasil e defender o interesse desta indústria.
- O Solcial é o primeiro programa social de energia solar no Brasil que pretende dar acesso a todos a esta fonte de energia renovável.
- Minas Gerais é o primeiro estado brasileiro a dar isenção de ICMS para a energia solar.
- O Instituto Ideal foi criado com o intuito de fomentar e divulgar o uso da energia solar no Brasil.
- Já é possível comprar energia solar com o "Construcard" Caixa.
- O BNDES esta financiando fábricas de painéis fotovoltaicos para trazer a tecnologia para o Brasil e gerar empregos.
- Foi publicado o Atlas Solarimético Brasileiro que mapeia o recurso solar em todo o território Nacional.
- O primeiro leilão de energia solar no Brasil aconteceu em 2014 e foi um sucesso contratando 1.000MW médios apx.
- O Portal Solar foi criado para divulgar e promover o crescimento da energia solar no Brasil. Ele junta empresas de energia solar e clientes em um mesmo lugar afim de incentivar o uso da tecnologia
- O governo apoia o desenvolvimento do mercado pois gera empregos e a energia solar ajuda a reduzir a conta de luz.

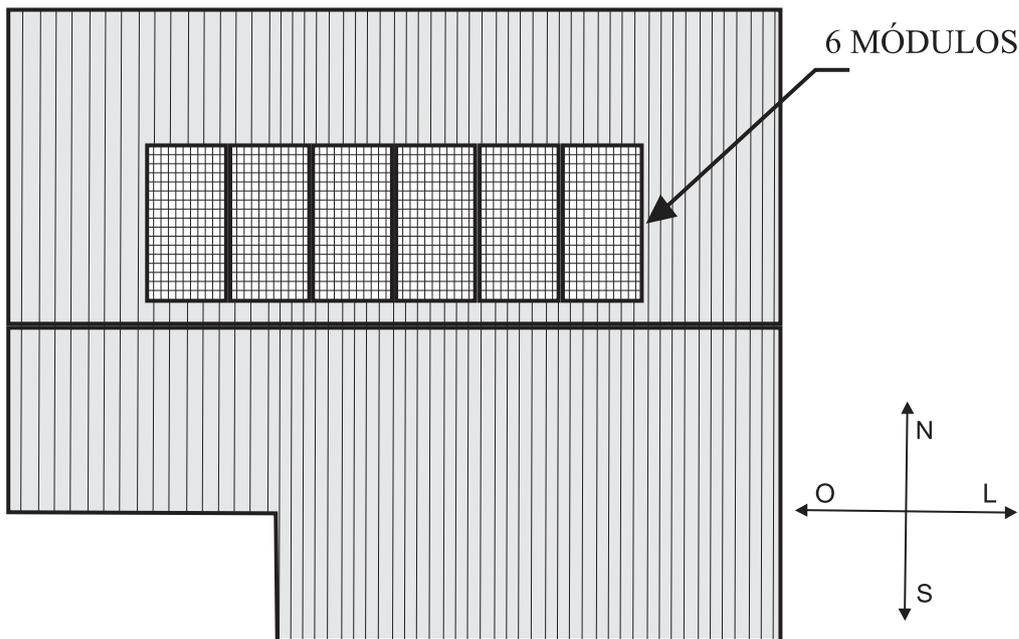
## 5.2 VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, UTILIZANDO PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA RESIDENCIAS UNIFAMILIARES

Posteriormente executados os cálculos e observações necessárias no dimensionamento do sistema fotovoltaico, chegamos a conclusão que o projeto em questão, obtem uma potência igual a 1,67 Kwp, com eficiência para suportar a demanda de energia elétrica da edificação, onde será instalado. No processo de desenvolvimento do projeto de instalação do sistema

fotovoltaico, chegamos ao resultados de 6 módulos fotovoltaico dispostos em 2 fileiras em ligação paralela com 3 módulos fotovoltaico em ligação em série cada um.

Vale resaltar a disposição dos módulos equivalente a área de aproximadamente 12 metros quadrados, distribuidos na cobertura da edificação, onde a figura 16 demonstra tal disposição:

**Figura 17– Disposição dos módulos fotovoltaicos na cobertura da edificação.**



Fonte: Próprio Autor (2020)

Vários fatores influenciam na energia que será produzida em cada módulo, como exemplo, a área, aficiência de cada modelo e a irradiação solar média do local. Para chegar na capacidade de geração de energia elétrica, é necessário multiplicar esses valores, conforme equação (10), ( BASTOS, 2018)

$$E_M = A \cdot \eta \cdot E_s \quad (10)$$

Assim sendo, basta substituir os valores para encontrar a energia produzida diária de cada módulo, onde a área do módulo em metros quadrados, sua eficiência e  $E_s$ (Kwh/ metro quadrado.dia), a irradiação do local, conforme valores já calculados e valores consultados no catálogo do fabricante, encontrando o valor de aproximadamente:

$$E_M = 1,95 \cdot 0,1697 \cdot 5,42 \cong 1,79 \text{ kWh/dia} \quad (11)$$

Com o valor obtido na equação (11) e o valor referente da potência nominal do mesmo, podemos estimar a produção anual do sistema, como também a potência geral instalada. Para chegar na geração anual, multiplica-se  $E_M$  por 365 (equivalente a quantidade total de dias durante o ano), e pela quantidade de módulos. Para encontrar a capacidade do sistema, multiplica-se a potência do módulo pela a quantidade aplicada igual a seis. A partir do percentual das perdas do sistema calculado (tabela 3), obtem-se o resultado da energia produzida mais real, conforme tabela 4, representado a seguir:

**Tabela 4 – Eficiência da geração de energia do sistema fotovoltaico.**

	Sem Perdas	Com Perdas
Energia Produzida por Um Módulo (kWh/dia)	1,79	1,45
Potência Instalada (kW)	1,98	1,79
Geração Anual (kWh)	3.920,10	3.175,50

Fonte: Próprio Autor (2020)

Portanto a capacidade de geração anual de energia é igual a 3.175,50 KW, considerando as perdas, do sistema fotovoltaico.

### 5.2.1 ORÇAMENTO

Para a realização do projeto foi composto um orçamento, onde se levou em consideração todos os equipamentos necessários para montagem do sistema, assim também, acessórios e mão de obra especializada para execução do projeto.

Os valores obtidos foram consultados sites de revenda autorizada, e a mão de obra, foi feita uma estimativa com profissionais da área na cidade de Anápolis. O custo total para implantação do sistema fotovoltaico, está exposto na tabela 5:

**Tabela 5 – Custos totais do projeto de sistema fotovoltaico.**

Itens	Qtd	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Inversor Fronius Primo 4.0-1 (4.000W)	1	9590,00	9590,00
Módulo Fotovoltaico Canadian Solar CS6U (330W)	06	739,00	4434,00
Par de Cabo 4 mm <sup>2</sup> (1 metro)	20	8,50	170,00
Par de Conectores MC4	06	19,90	119,40
Estrutura Metálica para Fixação dos Painéis	06	201,25	1207,50
Mão de Obra		1800,00	1800,00
		<b>Total</b>	<b>17.320,90</b>

Fonte: Próprio Autor (2020)

## **5.2.2 PLANEJAMENTO DE RETORNO DO INVESTIMENTO DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Nesse cálculo de retorno do investimento, será considerado o custo da implantação do sistema, como também será considerado um vida útil aproximado de 25 anos dos módulos fotovoltaicos, que segundo Energia (2015), é a estimativa aproximada que os fabricantes garantem, sendo 90% da potência e nos primeiros 12 anos e 80 % para os próximos 13 anos de vida útil.

O retorno do investimento, foi planejado, levando em consideração o preço da energia, em conjunto com a capacidade média anual da geração do sistema fotovoltaico a ser implantado. Portanto, o valor de implantação de geração de energia é de 3.175,50 KWh, produzidos anualmente (Tabela 4), sendo que cada ano, foi considerado uma depreciação de 1,25% ao ano, devido os módulos sofrerem um deficit em sua eficiência de 80% no final dos primeiros 25 anos.

Para encontrar o valor da economia gerada pelo sistema fotovoltaico em implantação, foi multiplicada a energia gerada anualmente pela projeção do preço em KWh, que, atualmente, no estado de Goiás, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a tarifa está em torno de aproximadamente R\$ 0,51 para tarifa residencial de baixa tensão.

O primeiro fluxo de caixa é utilizado o valor de investimento de implantação do sistema pela economia subtraindo pela economia do primeiro ano. Para os demais anos, é considerado o fluxo de caixa anterior menos a economia do ano respectivo.

Para a projeção do preço da energia, foi considerado uma inflação energética de 10% ao ano, onde segundo Aneel (2020), taxa obtida estimada após análise dos últimos anos.

Alguns componentes do sistema fotovoltaico, não possuem a mesma vida útil que os módulos fotovoltaicos, criando assim custos operacionais, como manutenção e reposição de componentes, porém, neste método matemático, não vai ser levado em consideração, devido o seu objetivo principal, é verificar o tempo de retorno do investimento do sistema fotovoltaico, sendo também impreciso calcular possíveis manutenção ou reposição de componentes.

O planejamento de retorno do investimento, utilizou-se como referência Colaferro(2017), Tabela 6.

**Tabela 6 – Desempenho do sistema fotovoltaico.**

Ano	Geração (kW/h)	Projeção do Preço do kWh (R\$)	Economia (R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)
1º	3.175,50	0,510	1.619,50	-15.701,40
2º	3.135,80	0,561	1.759,18	-13.942,22
3º	3.096,60	0,617	1.910,91	-12.031,31
4º	3.057,89	0,678	2.075,39	-9.955,92
5º	3.019,66	0,745	2.252,06	-7.703,86
6º	2.981,91	0,819	2.443,67	-5.260,19
7º	2.944,63	0,900	2.652,81	-2.607,38
8º	2.907,82	0,990	2.878,74	71,36
9º	2.871,47	1,089	3.127,03	3.128,42
10º	2.835,57	1,197	3.396,72	6.525,14
11º	2.800,12	1,316	3.686,91	10.212,05
12º	2.765,11	1,477	4.002,77	14.214,82
13º	2.730,54	1,624	4.436,30	18.651,12
14º	2.696,40	1,786	4.816,84	23.467,96
15º	2.662,69	1,964	5.231,12	28.699,08
16º	2.629,40	2,160	5.680,55	34.379,63
17º	2.596,53	2,376	6.169,35	40.548,98
18º	2.564,07	2,613	6,701,45	47.250,43
19º	2.532,02	2,874	7.277,78	54.528,21
20º	2.500,36	3,161	7.904,63	62.432,84
21º	2.469,10	3,477	8.585,30	71.018,14
22º	2.438,23	3,824	9.325,49	80.343,63
23º	2.407,75	4,206	10.127,95	90.471,58
24º	2.377,65	4,626	11.000,43	101.472,01

---

25º	2.347,93	5,088	11.947,67	113.419,68
-----	----------	-------	-----------	------------

---

Fonte: Próprio Autor (2020)

### 5.3 CONCLUSÃO

Através da realização deste trabalho, foi possível dimensionar um micro sistema de geração de energia fotovoltaica ligado a rede, respeitando as normativas brasileiras que regem dito segmento, que atendesse a demanda energética de um residência unifamiliar, a partir de um projeto de nossa autoria.

Dentro do contexto da matriz energética brasileira, concluímos que apesar que o Brasil possui uma vantagem por conta do extenso potencial energético, a partir da energia solar, a sua utilização corresponde somente a 1,2% de toda matriz energética. Apesar que a energia solar, no Brasil, têm um fator de crescimento considerável nos últimos cinco anos, em contra partida os custos de aquisição desse sistema, ainda são altos, devido à falta de incentivos por parte do governo. Nesse contexto, falta melhores iniciativas por parte do governo, onde é um setor, que economicamente, pode vir a crescer significativamente, gerando oportunidades de negócios e empregos, como também, criando condições mais favoráveis para preservação do meio ambiente.

Com referência, ao custo benefício do sistema fotovoltaico, concluímos que através dos cálculos de investimentos e tempo de retorno, foi possível estimar que no período de aproximadamente oito anos, o investimento inicial da aplicação do sistema fotovoltaico, é resarcido através da economia que o sistema proporciona, tornando o projeto totalmente viável a longo prazo, como também, sendo uma fonte de energia limpa e sustentável, que não agride o meio ambiente, sendo uma solução, perante o cenário atual energético brasileiro.

## REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional e Energia Elétrica. [2020?]. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 14/05/20.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **O Mercado Fotovoltaico no Mundo**. 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3>>. Acesso em: 02/09/2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16150 – Sistemas fotovoltaicos (FV) — Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição — Procedimento de ensaio de conformidade**. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **Caderno Temático - Micro e Minigeração Distribuída, Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. [S. l.], 2016. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>> Acesso em: 02/09/2019.

BASTOS, Wisley da Silva. **Estudo de Caso de um Projeto Fotovoltaico Integrado à Edificação**. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba. 2018.

CRESESB (Brasil). **Potencial Solar: SunData**. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 25/10/2018.

CRUZ, Cleyton Warlen Nieiro. **Estudo de viabilidade técnica e financeira para geração de energia elétrica utilizando painel fotovoltaico no shopping oriundi – Aracruz**. Faculdades Integradas de Aracruz. ARACRUZ, 2017.

\_\_\_\_\_. **Entendendo as Vantagens e Desvantagens da Energia Solar: O Guia Definitivo Para Você Não Errar Na Escolha do Seu Gerador Elétrico**. [Entre 2010 e 2020]. Disponível em <<https://blog.bluesol.com.br/vantagens-e-desvantagens-da-energia-solar/>> Acesso em: 24/11/2019.

ESTEVEES, Eloisa Nonato. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para geração de energia elétrica utilizando painel fotovoltaico em uma residência no interior de São Paulo.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2014.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e viabilidade técnico-econômica.** São Paulo: GEPEA, 2016.

PORTAL SOLAR. **O que é Energia Solar?.** [Entre 2010 e 2020]. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html>> Acesso em: 22/11/2019.

PORTAL SOLAR. **Energia Solar Residencial.** [Entre 2010 e 2020]. Disponível em <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-residencial.html>> Acesso em: 22/11/2019.

PORTAL SOLAR. **Passo a Passo da Fabricação do Painel Solar.** [Entre 2010 e 2020] . Disponível em < <https://www.portalsolar.com.br/passa-a-passo-da-fabricacao-do-painel-solar.html>> Acesso em: 22/11/2019.

PORTAL SOLAR. **Quantos Painéis Solares preciso para uma residência?.** [Entre 2010 e 2020]. Disponível em < <https://www.portalsolar.com.br/quantos-paineis-solares-fotovoltaicos.html>> Acesso em: 22/11/2019.

\_\_\_\_\_.**Resolução Normativa N° 482.** 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 22/11/2019.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede.** TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010504.pdf>>. Acesso em: 04/11/2018.

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](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual%20de%20Engenharia%20FV%2014.pdf)>. Acesso em: 03/08/2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil.** Florianópolis: UFSC / Labsolar, 2004.

ZILLES, Roberto et al. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

## ANEXO A – CATÁLOGO PAINEL FOTOVOLTAICO CANADIAN SOLAR



### MAXPOWER CS6U-325 | 330 | 335P

Canadian Solar's modules use the latest innovative cell technology, increasing module power output and system reliability, ensured by 17 years of experience in module manufacturing, well-engineered module design, stringent BOM quality testing, an automated manufacturing process and 100% EL testing.

#### KEY FEATURES



Excellent module efficiency of up to: 17.23 %



High PTC rating of up to: 92.18 %



IP68 junction box for long-term weather endurance



Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 3600 Pa\*



**25** years linear power output warranty

**10** years product warranty on materials and workmanship

#### MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES\*

ISO 9001:2015 / Quality management system  
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system  
OHSAS 18001:2007 / International standards for occupational health & safety

#### PRODUCT CERTIFICATES\*

IEC 61215 / IEC 61730: VDE / CE / MCS / INMETRO / CEC AU / KEMCO / SII  
UL 1703 / IEC 61215 performance: CEC listed (US) / FSEC (US Florida)  
UL 1703: CSA / IEC 61701 ED2: VDE / IEC 62716: VDE  
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / IEC 60068-2-68: SGS

Take-e-way



\* We can provide this product with special BOM specifically certified with salt mist, ammonia and sand blowing tests. Please talk to our local technical sales representatives to get your customized solutions.

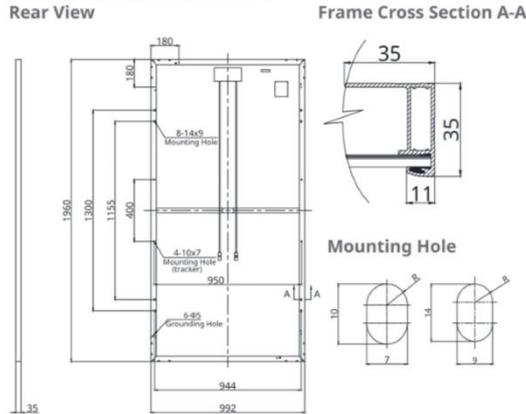
**CANADIAN SOLAR INC.** is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in IHS Module Customer Insight Survey. As a leading PV project developer and manufacturer of solar modules with over 30 GW deployed around the world since 2001.

\*For detail information, please refer to Installation Manual.

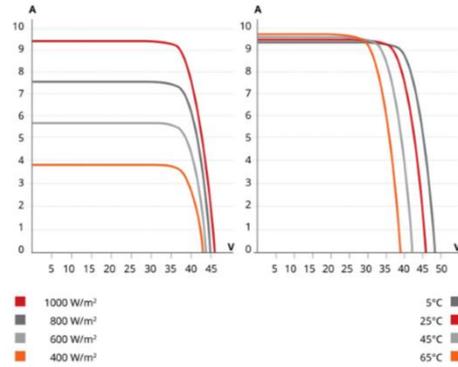
#### CANADIAN SOLAR INC.

545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

**ENGINEERING DRAWING (mm)**



**CS6U-330P / I-V CURVES**



**ELECTRICAL DATA | STC\***

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	325 W	330 W	335 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.0 V	37.2 V	37.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	8.78 A	8.88 A	8.96 A
Open Circuit Voltage (Voc)	45.5 V	45.6 V	45.8 V
Short Circuit Current (Isc)	9.34 A	9.45 A	9.54 A
Module Efficiency	16.72%	16.97%	17.23%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C		
Max. System Voltage	1000 V (IEC/UL) or 1500 V (IEC/UL)		
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)		
Max. Series Fuse Rating	15 A		
Application Classification	Class A		
Power Tolerance	0 ~ + 5 W		

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

**ELECTRICAL DATA | NMOT\***

CS6U	325P	330P	335P
Nominal Max. Power (Pmax)	239 W	243 W	247 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	34.0 V	34.2 V	34.4 V
Opt. Operating Current (Imp)	7.03 A	7.10 A	7.17 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.4 V	42.5 V	42.6 V
Short Circuit Current (Isc)	7.54 A	7.63 A	7.70 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

**MECHANICAL DATA**

Specification	Data
Cell Type	Poly-crystalline, 6 inch
Cell Arrangement	72 (6 × 12)
Dimensions	1960 × 992 × 35 mm (77.2 × 39.1 × 1.38 in)
Weight	22.4 kg (49.4 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame Material	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4.0 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL), 1160 mm (45.7 in)
Connector	T4 series
Per Pallet	30 pieces
Per Container (40' HQ)	720 pieces

**TEMPERATURE CHARACTERISTICS**

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.40 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.31 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	43 ± 3 °C

**PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE**

Outstanding performance at low irradiance, with an average relative efficiency of 96.0 % for irradiances between 200 W/m<sup>2</sup> and 1000 W/m<sup>2</sup> (AM 1.5, 25°C).

\* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. Canadian Solar Inc. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice.

**PARTNER SECTION**



**CANADIAN SOLAR INC.**  
545 Speedvale Avenue West, Guelph, Ontario N1K 1E6, Canada, [www.canadiansolar.com](http://www.canadiansolar.com), [support@canadiansolar.com](mailto:support@canadiansolar.com)

## ANEXO B – CATÁLOGO INVERSOR FRONIUS PRIMO

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging



### FRONIUS PRIMO

The communicative inverter for optimised energy management.



SnapINverter  
Technology



Integrated data  
communication



SuperFlex  
Design



Dynamic Peak  
Manager



Smart Grid  
Ready



Zero feed-in

The Fronius Primo in power categories from 3.0 to 8.2 kW perfectly completes the SnapINverter generation. This single-phase, transformerless device is the ideal inverter for private households.

Its innovative SuperFlex Design provides maximum flexibility in system design, while the SnapINverter mounting system makes installation and maintenance easier than ever before. The communication package included as standard, with WLAN, energy management, several interfaces and much more besides, makes the Fronius Primo a communicative inverter for owner-occupiers.

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

INPUT DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Number of MPP trackers			2		
Max. input current ( $I_{dc\ max\ 1} / I_{dc\ max\ 2}$ )			12.0 A / 12.0 A		
Max. array short circuit current (MPP <sub>1</sub> /MPP <sub>2</sub> )			18.0 A / 18.0 A		
DC input voltage range ( $U_{dc\ min} - U_{dc\ max}$ )			80 - 1000 V		
Feed-in start voltage ( $U_{dc\ start}$ )			80 V		
Usable MPP voltage range			80 - 800 V		
Number of DC connections			2 + 2		
Max. PV generator output ( $P_{dc\ max}$ )	4.5 kW <sub>peak</sub>	5.3 kW <sub>peak</sub>	5.5 kW <sub>peak</sub>	6.0 kW <sub>peak</sub>	6.9 kW <sub>peak</sub>

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

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

GENERAL DATA	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Dimensions (height x width x depth)	645 x 431 x 204 mm				
Weight	21.5 kg				
Degree of protection	IP 65				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC) <sup>1)</sup>	2 / 3				
Night time consumption	< 1 W				
Inverter design	Transformerless				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation				
Ambient temperature range	-40 - +55 °C				
Permitted humidity	0 - 100 %				
Max. altitude	4,000 m				
DC connection technology	4x DC+ and 4x DC- screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
AC connection technology	3-pole AC screw terminals 2.5 - 16 mm <sup>2</sup>				
Certificates and compliance with standards	DIN V VDE 0126-1-1/A1, IEC 62109-1/-2, IEC 62116, IEC 61727, AS 4777-2, AS 4777-3, G83/2, G59/3, CEI 0-21, VDE AR N 4105				
EFFICIENCY	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
Max. efficiency	98.0 %	98.0 %	98.0 %	98.1 %	98.1 %
European efficiency (η <sub>EU</sub> )	96.1 %	96.8 %	96.8 %	97.0 %	97.0 %
MPP adaptation efficiency	> 99.9 %				
PROTECTIVE DEVICES	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
DC insulation measurement	Yes				
Overload behaviour	Operating point shift, Power limitation				
DC disconnect	Yes				
Reverse polarity protection	Yes				
INTERFACES	PRIMO 3.0-1	PRIMO 3.5-1	PRIMO 3.6-1	PRIMO 4.0-1	PRIMO 4.6-1
WLAN / Ethernet LAN	Fronius Solar.web, Modbus TCP SunSpec, Fronius Solar API (JSON)				
6 inputs and 4 digital in/out	Interface to ripple control receiver				
USB (A socket) <sup>2)</sup>	Datalogging, inverter update via USB flash drive				
2x RS422 (RJ45 socket) <sup>2)</sup>	Fronius Solar Net				
Signalling output <sup>2)</sup>	Energy management (potential-free relay output)				
Datalogger and Webserver	Included				
External input <sup>2)</sup>	S0-Meter Interface / Input for overvoltage protection				
RS485	Modbus RTU SunSpec or meter connection				

<sup>1)</sup> According to IEC 62109-1.

<sup>2)</sup> Also available in the light version.

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).