

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ÂNDRIA LAVÍNIA DE MENDONÇA**

**SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA:  
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

**ANÁPOLIS / GO**

**2020**

**ÂNDRIA LAVÍNIA DE MENDONÇA**

**SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA:  
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: EDUARDO MARTINS TOLEDO**

**ANÁPOLIS / GO: 2020**

## FICHA CATALOGRÁFICA

MENDONÇA, ÂNDRIA LAVÍNIA

Sustentabilidade na geração de energia: Energia fotovoltaica.

60P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Módulos Fotovoltaicos

2. Energia Renovável

3. Energia Fotovoltaica

4. Matriz Energética Sustentável

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MENDONÇA, Ândria Lavínia. Sustentabilidade na geração de energia: Energia fotovoltaica. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 60p. 2020.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Ândria Lavínia de Mendonça

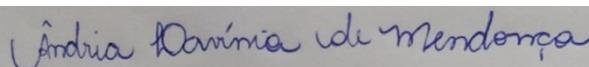
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Sustentabilidade na geração de energia: Energia fotovoltaica.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para 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.



Ândria Lavínia de Mendonça

E-mail: andria.lavinia@outlook.com

**ÂNDRIA LAVÍNIA DE MENDONÇA**

**SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA:  
ENERGIA FOTOVOLTAICA**

**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, mestre (UniEvangélica)  
(ORIENTADOR)**

---

**FILIPE FONSECA GARCIA, especialista (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**JOÃO SILVEIRA BELÉM JÚNIOR, mestre (UniEvangélica)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 22 de maio de 2020.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço acima de tudo a Deus, pois Ele que permite todas as coisas em nossas vidas e mesmo muitas vezes sem merecermos, nos dá mais do que imaginamos. Agradeço aos meus pais por sempre me apoiarem e incentivarem a ser uma pessoa melhor, não há palavras que possam descrever o que são para mim e o tamanho do meu amor e gratidão.

Gostaria de agradecer a cada professor que passou por minha formação acadêmica, cada um contribuiu com algo que me motivou a buscar sempre mais o conhecimento pessoal e profissional. Muito obrigada Ana Lúcia, Agnaldo, Andreia, Aurélio, Carlos Eduardo, Cláudia, César, Eduardo Argolo, Elke, Filipe, Glediston, João Belém, Kíria, Leandro, Nayane, Neander, Paulo Alexandre, Ricardo, Rodolfo, Rogério Cardoso, Rhogério Correia, Simone, Vanessa Honorato, Vítor, Vera, Wanessa Quaresma e Welinton.

Ao meu orientador, Eduardo Toledo, deixo todo agradecimento e admiração pelo profissional dedicado, paciente e competente que é. Espero um dia ter ao menos metade de todo conhecimento que você tem. Muito obrigada!

Ândria Lavínia de Mendonça

## RESUMO

A necessidade de inovações na maneira de gerar energia, produzindo energias limpas e que garantam segurança energética tem aumentado a cada dia. Com as preocupações com a preservação do planeta e a criação de protocolos que visam reduzir a emissão de gases poluentes, novas formas de geração de energia estão sendo cada vez mais exploradas. O presente trabalho objetiva entender o conceito de sustentabilidade, apresentando formas de geração de energia renováveis e avaliar os benefícios da implantação de um microssistema fotovoltaico de geração de energia *on-grid* para uma residência unifamiliar, apresentando breve histórico de seu surgimento e detalhamento de seus componentes. Com os resultados obtidos pela proposta de implantação foi feita a análise da viabilidade econômica, onde observou-se que o investimento se paga no oitavo ano após a implantação e que o retorno do investimento é de R\$ 36.284,00 ao final de 25 anos. Além da viabilidade econômica, o sistema apresenta grandes benefícios ambientais, que equivalem a 231 árvores plantadas e redução de 32.315 kg de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Com a instalação de um gerador fotovoltaico o usuário pode ter acesso à uma fonte energética inesgotável que garante segurança, preservação ambiental e retorno de investimento extremamente relevante.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Energia fotovoltaica. Módulos fotovoltaicos. Energia sustentável. Preservação ambiental. Segurança energética.

## **ABSTRACT**

The need for innovations in the way of generating energy, producing clean energies and ensuring energy security has increased every day. This paper aims to understand the concept of sustainability, presenting forms of renewable energy generation and evaluate the benefits of the implementation of a photovoltaic microsystem of on-grid power generation for a single family residence, presenting a brief history of its emergence and detailing of its components. With the results obtained by the implementation proposal, the economic viability analysis was made, where it was observed that the investment is paid in the eighth year after implementation and that the return on investment is R\$ 36,284.00 at the end of 25 years. In addition to economic viability, the system has great environmental benefits, equivalent to 231 planted trees and reduction of 32,315 kg of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. With the installation of a photovoltaic generator the user can have access to an inexhaustible energy source that ensures safety, environmental preservation and extremely relevant return on investment.

### **KEYWORDS:**

Photovoltaics. Photovoltaic modules. Sustainable energy. Environmental preservation. Energy security.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstrativo de um modelo de sistema .....	17
Figura 2 - Oferta de energia 2017/2018.....	20
Figura 3 - Matriz Energética Brasileira .....	21
Figura 4 - Perfil esquemático de uma usina hidroelétrica .....	22
Figura 5 - Esquema de uma turbina eólica .....	23
Figura 6 - Esquema simplificado de sistema ondomotriz.....	24
Figura 7 - Geração de energia em usina maremotriz.....	25
Figura 8 - Reservatório geotérmico de alta temperatura .....	26
Figura 9 - Esquema de geração de energia através da queima de biomassa .....	27
Figura 10 - Esquema de geração de energia fotovoltaica.....	28
Figura 11 - Participação das fontes de energia na geração nacional .....	32
Figura 12 - Ligações no Sistema fotovoltaico <i>off-grid</i> .....	34
Figura 13 – Representação do sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> .....	34
Figura 14 - Efeito fotovoltaico em uma célula fotovoltaica.....	36
Figura 15 - Esquema de módulo fotovoltaico .....	36
Figura 16 - Conta atual de energia do imóvel residencial .....	41
Figura 17 - Local da Implantação.....	42
Figura 18 - Irradiação Solar em horas (Média Anual).....	43
Figura 19 - Dimensionamento do Sistema fotovoltaico .....	46
Figura 20 - Esquema de ligação do sistema de microgeração à rede .....	49
Figura 21 - Forma de conexão do microssistema acessante à rede BT da Enel .....	50

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos modelos de sistema.....	35
---	----

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Perdas de Rendimento .....	45
Tabela 2 - Detalhamento do Sistema.....	47
Tabela 3 - Fluxo de Caixa.....	52
Tabela 4 - Estimativa Ambiental do Sistema .....	53

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
Cresesb	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora
kWp	Quilowatt pico
ONU	Organização das Nações Unidas
REN	Relatório Energético Nacional

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS .....	14
1.2.1	<b>Objetivo geral</b> .....	14
1.2.2	<b>Objetivos específicos</b> .....	14
1.3	METODOLOGIA .....	14
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	17
2.1	PRINCIPAIS FORMAS DE GERAÇÃO ENERGIA SUSTENTÁVEL .....	20
2.1.1	<b>Energia de usinas hidroelétricas</b> .....	22
2.1.2	<b>Energia eólica</b> .....	22
2.1.3	<b>Energia ondomotriz</b> .....	23
2.1.4	<b>Energia maremotriz</b> .....	24
2.1.5	<b>Energia geotérmica</b> .....	25
2.1.6	<b>Bioenergia</b> .....	26
2.1.7	<b>Energia Solar</b> .....	27
2.2	HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA .....	28
2.3	AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	30
2.3.1	<b>Vantagens do sistema fotovoltaico</b> .....	30
2.3.2	<b>Desvantagens do sistema fotovoltaico</b> .....	31
2.4	OS CONSTITUINTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	33
2.4.1	<b>Módulos Fotovoltaicos</b> .....	35
2.4.2	<b>Controladores de carga</b> .....	37
2.4.3	<b>Os inversores</b> .....	38
2.4.4	<b>As baterias</b> .....	39
2.5	A REGULAMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	39
3	DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO .....	40
3.1	ANÁLISE PRELIMINAR .....	40
3.2	GERAÇÃO IDEAL .....	43
3.3	DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR.....	45

3.4	EQUIPAMENTOS E ORÇAMENTO PARA O MICROGERADOR SOLAR.....	46
3.5	REQUISITOS PARA CONEXÃO DE MICROGERADOR AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PÚBLICO.....	48
3.6	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO SISTEMA.....	51
4	CONCLUSÃO.....	54
	REFERÊNCIAS.....	56

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade está buscando cada vez mais a preservação do meio ambiente e se conscientizando quanto à importância de garantir conforto visando à preservação para as gerações futuras. O desgaste dos recursos naturais causa preocupação em estudiosos de todas as áreas, que estão sempre tentando encontrar formas de preservar ao máximo o nosso planeta.

Com o aumento da demanda por abastecimento energético, foi necessário que novas formas de geração de energia mais sustentáveis e limpas fossem estudadas e ampliadas para suprir a necessidade humana sem causar grande impacto nas condições de vida futura, dentre essas a que destaca-se é a energia fotovoltaica.

A energia solar, que é obtida diretamente do sol, pode ser utilizada na forma passiva, uso mais comum na arquitetura bioclimática, e também na forma ativa, meio em que se utilizam dispositivos capazes de convertê-la diretamente em energia elétrica, a exemplo dos painéis fotovoltaicos, ou em energia térmica, através de coletores planos e concentradores (TOLMASQUIM, 2003).

Apesar do grande potencial de geração, a energia solar representa apenas uma pequena parte da matriz energética mundial. As fontes renováveis eólica, solar e geotérmica representam 1,6% de toda matriz. Porém, várias medidas governamentais e a queda no preço dos equipamentos vêm proporcionando o crescimento na produção de energia fotovoltaica, que ganha cada vez mais destaque e acessibilidade no Brasil devido à sua alta eficiência e bom aproveitamento (EPE, 2018).

Os países que lideram a produção dessa energia são a China, o Japão, os Estados Unidos e a Alemanha (FONTES, 2019). A China adota um modelo de política integrada que visa à redução da poluição local e a segurança energética e com essas medidas várias cidades chinesas conseguiram sair do ranking das mais poluídas do país e se destacar pela grande produção de energia limpa, o que nos dá um exemplo de sustentabilidade e preservação a ser seguido (LEMOS, 2019).

O Brasil é um dos países com melhores condições para geração de energia solar, visto que o seu potencial solar é 40% maior na região de menor incidência solar que na região de maior incidência solar da Alemanha (FONTES, 2018), com isso pode-se ressaltar a importância de investimentos na ampliação da energia fotovoltaica em nosso país, para que se possa atingir um grande potencial energético e, consequentemente, a sustentabilidade.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A energia fotovoltaica vem se tornando cada vez mais popular no Brasil, uma vez que a mesma é uma energia limpa, sustentável e altamente renovável, pois o Sol é uma fonte inesgotável de calor e energia. Nosso país, devido à sua localização geográfica, possui um enorme potencial energético solar na maior parte de seu território, com maior destaque para a região Nordeste.

Além de todas as vantagens ambientais, é de extrema importância ressaltar a economia em longo prazo que a instalação de um sistema fotovoltaico pode gerar, incluindo a autonomia energética, seja em imóveis residenciais, comerciais ou industriais.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo avaliar os benefícios da geração de energias sustentáveis no Brasil, dando destaque à energia fotovoltaica, evidenciando sua viabilidade econômica e importância na preservação ambiental.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Entender o conceito de Sustentabilidade, destacando os principais meios de geração de energia sustentável;
- Expor os conceitos relacionados à geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos e especificar suas vantagens e desvantagens;
- Dimensionar um sistema fotovoltaico para residência unifamiliar;
- Comparar a viabilidade econômica do uso de energia fornecido pela concessionária com a geração fotovoltaica em uma unidade residencial.

## 1.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na elaboração desse trabalho consistiu em pesquisas de referencial teórico e revisão bibliográfica que serviram para nortear o dimensionamento de

um sistema de energia solar fotovoltaico, assim como conhecer os componentes que constituem um sistema de microgeração. A matriz energética brasileira foi estudada como forma de entender as mudanças que vem ocorrendo após o surgimento da necessidade de gerar energias mais sustentáveis.

Foi feita a identificação e compreensão dos equipamentos e métodos de um sistema de microgeração fotovoltaica, após isso foram definidos os componentes do sistema, assim como uma explicação de seu funcionamento e de cada item que o compõe e a normativa que regulamenta todos os sistemas de mini e micro geração.

Apesar de a energia solar ter um histórico de existência que data séculos atrás, apenas no século XXI essa forma de geração de energia ganhou maior visibilidade no mercado e vem sendo cada vez mais popularizada, o que leva a maior possibilidade de pesquisas por artigos e trabalhos acadêmicos.

Com o entendimento de como ocorre a geração de energia solar, foi realizado o dimensionamento para implementação de um sistema de microgeração *on-grid* de energia para uma residência unifamiliar através de células fotovoltaicas para que se pudesse analisar a viabilidade econômica, os benefícios e o conforto que este sistema gera, destacando-se como ocorre o dimensionamento e os fatores necessários para implantação do mesmo.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 traz uma introdução que visa demonstrar o que será abordado nesse trabalho, a justificativa de sua elaboração, os objetivos e a metodologia que foi utilizada para alcançá-los.

O Capítulo 2 apresenta uma abordagem sobre as formas de geração de energias sustentáveis mais utilizadas em nossa matriz energética, o uso do Sol na geração de energia, o efeito fotovoltaico e um breve histórico do seu desenvolvimento, as principais vantagens e desvantagens desse sistema de produção de energia, a célula fotovoltaica e seus principais componentes e os diferentes tipos de sistemas que podem ser empregados para a geração de energia fotovoltaica.

Após o entendimento do que vem a ser a geração de energia fotovoltaica e como se dá o seu funcionamento, o Capítulo 3 traz um estudo de caso, que contém o dimensionamento do sistema e os possíveis resultados que seriam obtidos pela instalação do sistema fotovoltaico em uma residência unifamiliar.

No Capítulo 4 é apresentada a conclusão, juntamente com uma análise dos resultados obtidos pelo estudo de caso, a análise da viabilidade econômica e o tempo de retorno do investimento feito na implantação do sistema.

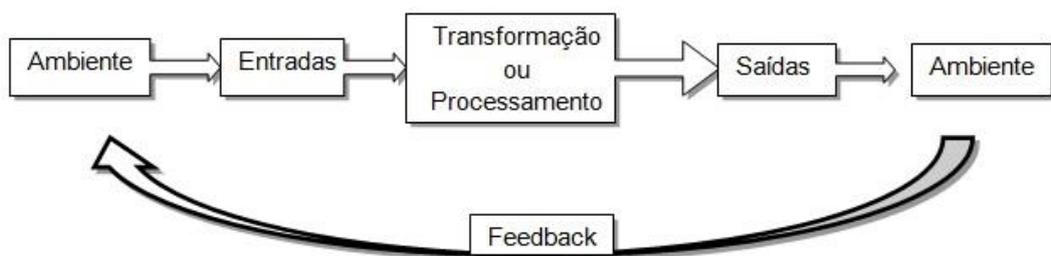
Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas que foram utilizadas para a produção do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

## 2 SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO DE ENERGIA

O meio ambiente labora como um sistema aberto, onde insumos são recebidos de forma constante, depois de recebidos são processados e transformam-se em produtos. A entrada dos insumos consiste no *input*, visto que nenhum sistema pode ser considerado autossuficiente. Os animais, plantas e todas as atividades humanas necessitam de importar energia do meio ambiente. A fase de processamento ocorre quando os seres vivos utilizam a energia da natureza transformando-a em uma nova fonte de energia. Exemplifica-se esse processo com o uso dos recursos naturais para geração das diversas formas de energia existentes. O *output* tem relação com o produto criado pelo processamento do sistema, onde esse produto sai do sistema e retorna para alimentá-lo novamente, ou seja, retorna como *input* para que o sistema possa continuar renovando seu ciclo, esse mecanismo de retroalimentação do sistema, é caracterizado como *feedback* (Ponte et al., 2011).

A Figura 1 apresenta um esquema de funcionamento de sistema. Vale ressaltar que um sistema trabalha em função de diversas coisas, mas basicamente essas são as bases para realizar a análise de seu equilíbrio e de sua perenidade no tempo, visto que os sistemas naturais são autossustentáveis e podem se desagregar à medida que as atividades humanas interferem em seu ciclo de funcionamento (JUNIOR et al., 2010).

**Figura 1- Demonstrativo de um modelo de sistema.**



Fonte: PONTE et al., 2011.

As energias de baixo aproveitamento, tais como dejetos industriais, a poluição exagerada e outros vários tipos de lixo, causam excesso de *inputs* e sobrecarregam os sistemas causando consequências indesejadas, como por exemplo, os vários desastres naturais causados por interferência humana (JUNIOR et al., 2010).

Com o passar dos anos o ser humano começou a notar que suas ações poderiam causar transformações na Terra que causariam impactos negativos que em longo prazo poderiam colocar em risco o sustento das gerações futuras, com isso surgiu a conscientização

da importância de conservar o planeta e de buscar alternativas que não causassem tanto desgaste e sobrecarga ao nosso planeta, foi quando surgiu o conceito de sustentabilidade; baseado no eco desenvolvimento proposto durante a Primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em Estocolmo, na Suécia, em 1972; e que tem como principal ideia suprir as necessidades humanas, sempre visando garantir a qualidade de vida para as gerações futuras (DECICINO, 2014).

A Organização das Nações Unidas (ONU) criou uma comissão para estudar os problemas ambientais e de desenvolvimento da Terra. Com isso foi apresentado o Relatório Brundtland - "*Our Common Future*" (Nosso Futuro Comum), o qual dava destaque à importância do desenvolvimento sustentável. Em 1992, ocorreu a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, onde o conceito foi adotado como um princípio que viria a reger o desenvolvimento futuro.

A Declaração de Política de 2002 da Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável (Johanesburgo, África do Sul), determinou os três pilares interdependentes da sustentabilidade: desenvolvimento econômico, desenvolvimento social e proteção ambiental (DECICINO, 2014).

A geração de energia também precisa se adequar aos princípios de sustentabilidade. O Brasil se destaca na geração de energia sustentável devido à sua grande disponibilidade de recursos naturais, a maior parte da energia utilizada no país é gerada através de recursos renováveis (GUERREIRO et al., 2007).

No ano de 2015, a ONU determinou 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para serem adotados até o ano de 2030, eles abordam diversos temas como a erradicação da pobreza, saúde, educação, saneamento básico, igualdade e inovações e visam a preservação ambiental, igualdade e qualidade de vida para todos. De acordo com a Agenda 2030, o Objetivo 7 de Desenvolvimento Sustentável é aumentar o uso de energia renovável, a eficiência energética e o acesso à energia moderna e com preço acessível. O investimento em fontes de energia sustentáveis é essencial para alcançar esse objetivo. O uso de fontes renováveis, comparando-se aos combustíveis fósseis, traz inúmeras vantagens e oportunidades, que vão do ambiental ao socioeconômico e político. O tipo de energia a ser utilizada decorre da demanda doméstica e industrial da região e da necessidade de se elevar o nível de inserção no mercado econômico internacional.

O setor energético causa um grande impacto ambiental, mesmo utilizando-se modelos considerados sustentáveis, como por exemplo, a construção de uma barragem, que

devasta uma grande área. Todavia, as energias advindas de recursos não renováveis são as que causam maior poluição, como o consumo de combustíveis fósseis, uma vez que a queima de combustíveis fósseis resulta em uma quantidade significativa de emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes atmosféricos que contribuem para o aquecimento global, a maioria das fontes de energia renovável resulta em pouca ou nenhuma emissão de poluentes, mesmo considerando o ciclo de vida completo das tecnologias (JUNIOR et al., 2010).

Desde que o conceito de sustentabilidade se popularizou, passou-se a investir mais em formas de energia limpa e apesar do progresso no uso de energia renovável, do amplo investimento em eficiência energética e da expansão do acesso à energia na última década, ainda é preciso muito para se cumprir as metas internacionais de desenvolvimento sustentável (JUNIOR et al., 2010).

O mundo está enfrentando uma crise climática, onde diversos estudos constataam que se tem aproximadamente uma década para reduzir o aquecimento global e evitar os piores efeitos das mudanças climáticas. A maioria dos países ainda está subsidiando o consumo de combustíveis fósseis, e os subsídios ao consumo de combustíveis fósseis aumentaram 11% em 2017. Isto ressalta a importância da criação de políticas de incentivo ao uso de fontes renováveis de energia (REUTERS, 2019).

No Brasil, pôde-se observar uma queda no uso de energias não renováveis entre os anos de 2017 e 2018, o que é demonstrado na Figura 2, extraída do relatório feito anualmente pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), que é pertencente ao Ministério de Minas e Energias. Essa queda é consequência do crescimento no uso das energias renováveis, onde se pode ressaltar o grande destaque que vem obtendo a energia solar.

**Figura 2 - Oferta de energia 2017/2018.**

Fonte (Mtep)	2017	2018	Δ 18 / 17
<b>RENOVÁVEIS</b>	<b>126,2</b>	<b>130,5</b>	<b>3,4%</b>
Energia hidráulica <sup>1</sup>	35,0	36,5	4,1%
Biomassa da cana	49,8	50,1	0,7%
Lenha e carvão vegetal	24,0	24,1	0,6%
Eólica	3,6	4,2	14,4%
Solar	0,072	0,298	316,1%
Lixívia e outras renováveis	13,8	15,4	11,8%
<b>NÃO RENOVÁVEIS</b>	<b>167,0</b>	<b>157,9</b>	<b>-5,5%</b>
Petróleo e derivados	106,3	99,3	-6,5%
Gás natural	37,9	35,9	-5,4%
Carvão mineral	16,8	16,6	-0,9%
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	4,2	4,2	-0,5%
Outras não renováveis	1,8	1,8	-0,1%

<sup>1</sup> Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica

Fonte: Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN, 2019.

A energia solar fotovoltaica e a energia eólica foram classificadas como as principais opções no setor de energia, com um número crescente de países gerando mais de 20% de sua eletricidade com esses modelos de geração. Entretanto, várias pesquisas de órgãos que investigam o uso de fontes renováveis de energia ilustram claramente que são necessárias estruturas políticas ambiciosas que criem condições favoráveis e estimulem a geração de energia sustentável, permitindo que mesmas cresçam e substituam os combustíveis fósseis (DIAS, 2016).

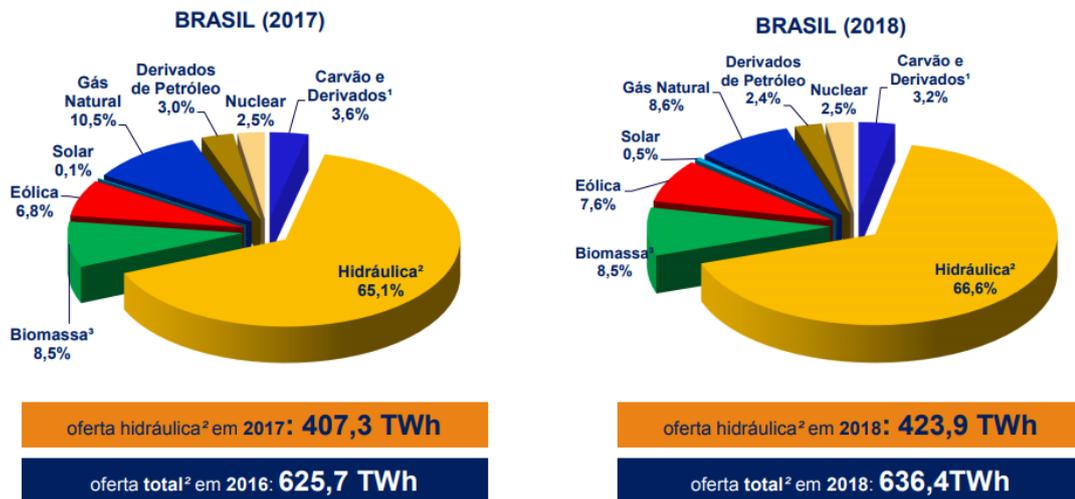
As energias renováveis representam a fonte de menor custo de geração de energia e os custos continuam diminuindo. A energia solar fotovoltaica sofreu rápidas quedas de custo devido ao avanço tecnológico, maior popularização do sistema e melhorias na produção dos equipamentos; o preço dos módulos vem apresentando queda desde 2010 e já apresentou redução de cerca de 60%. Além de representar ganhos econômicos e ambientais, o uso da energia fotovoltaica aumenta a segurança energética, que é uma preocupação nos mercados de energia em todo o mundo (MENDES, 2019).

## 2.1 PRINCIPAIS FORMAS DE GERAÇÃO ENERGIA SUSTENTÁVEL

A matriz energética define-se como um conjunto de fontes distintas que ofertam energia. Observando-se o Balanço Energético Nacional (BEN) do ano de 2019, presente na

Figura 3, é possível observar a redução no uso de combustíveis fósseis e o aumento do uso de energias renováveis entre os anos de 2017 e 2018.

**Figura 3 - Matriz Energética Brasileira.**



Fonte: Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN, 2019.

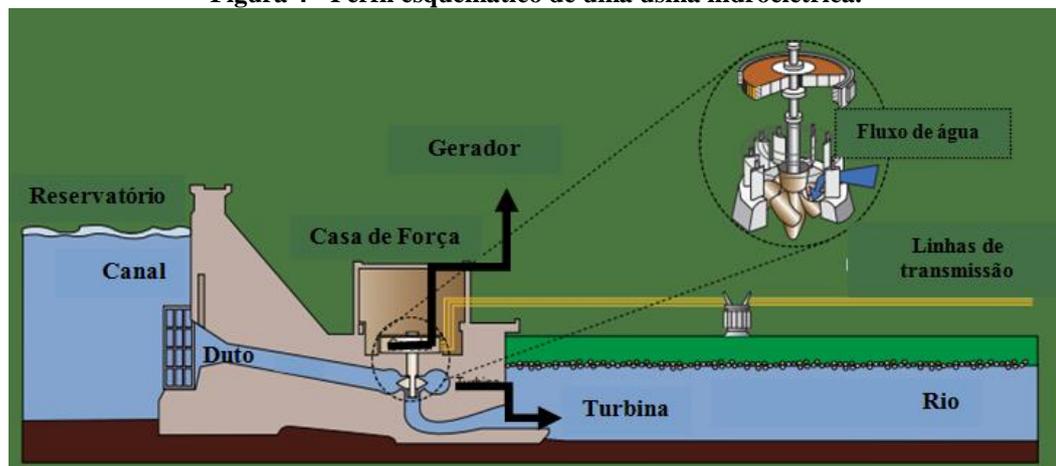
No Brasil, a maior parte da energia gerada é considerada renovável, entretanto, a maior parte do mundo ainda depende dos combustíveis fósseis. Vários países estão adotando medidas políticas de incentivo à produção de energia renovável visando à preservação ambiental, o aumento da eficiência e da segurança energética e a economia, visto que energias renováveis podem oferecer custos mais baixos e preços mais estáveis de energia, além de ofertar oportunidades para o desenvolvimento da indústria e maiores oportunidades de emprego. Essas medidas tem causado aumento do uso de fontes renováveis, diminuindo consequentemente o uso das fontes não renováveis, mas apesar da redução, o carvão mineral, o gás natural e o petróleo ainda somam cerca de 80% na matriz energética mundial e aproximadamente dois terços da concentração de gás do efeito estufa são decorrentes do setor energético (PIMENTEL et al., 2016).

As principais formas de geração de energia sustentável, que são as energias produzidas com recursos que se renovam e que não emitem poluentes na atmosfera, são a energia hidroelétrica, a energia solar, a energia eólica, a energia das ondas, a energia geotérmica, a bioenergia e a energia das marés.

### 2.1.1 Energia das usinas hidroelétricas

A geração de energia através de usinas hidroelétricas é a forma de geração de energia mais utilizada em nosso país. As usinas hidroelétricas utilizam a energia cinética presente no movimento das massas de água para promover a rotação de pás presentes em turbinas que transformam essa energia cinética em energia elétrica, conforme esquema demonstrado na Figura 4 (ANEEL, 2008).

Figura 4 - Perfil esquemático de uma usina hidroelétrica.



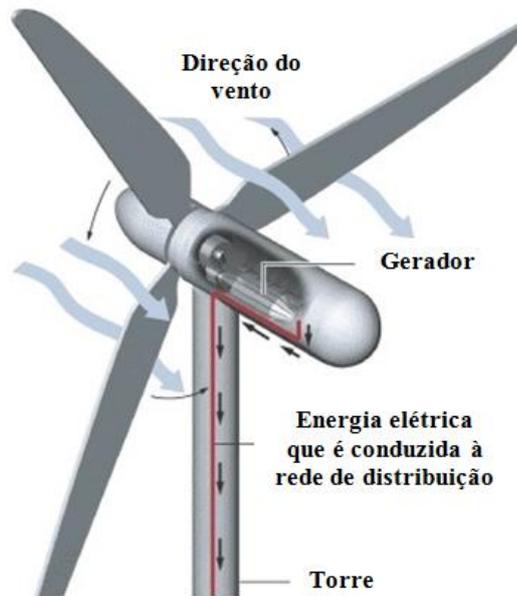
Fonte: ANEEL, 2008.

A energia hidroelétrica é considerada uma forma de energia limpa, inesgotável, de baixo custo, impulsiona a construção de estradas e comércios, porém sua grande desvantagem é que para que se possam construir as barragens há um grande impacto ambiental decorrente do alagamento de uma elevada área, que destrói ecossistemas como a fauna, flora, o solo, além de comunidades ribeirinhas, quilombolas e indígenas.

### 2.1.2 Energia eólica

A energia eólica é uma fonte de energia inesgotável, obtida através de aerogeradores que utilizam a força dos ventos como fonte de energia. O sistema é composto basicamente por hélices que captam a energia cinética contida em massas de ar em movimento que são ligadas a uma turbina que aciona um gerador, como se observa na Figura 5 (VICHI et al., 2009).

**Figura 5 - Esquema de uma turbina eólica.**



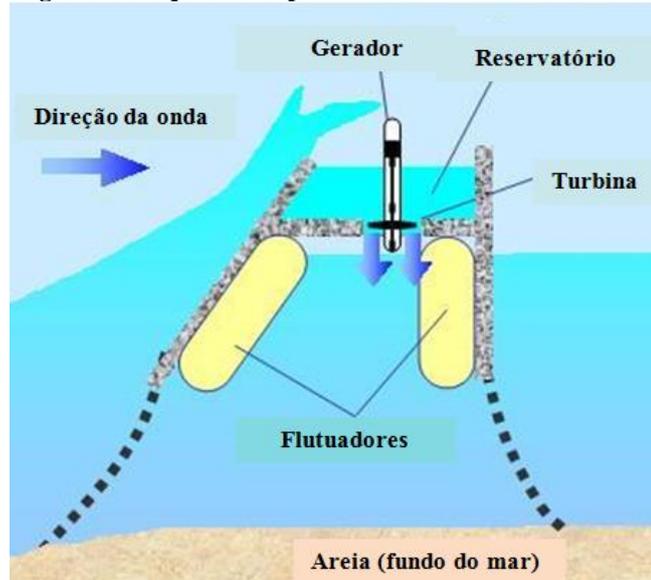
Fonte: REIS, 2016 (adaptado).

O sistema de geração eólico tem como vantagem a baixa manutenção, a diminuição de gases de efeito estufa e a geração de investimento em áreas desfavorecidas. As principais desvantagens desse modelo de geração de energia são a dependência da intensidade dos ventos, o custo elevado, o impacto visual, acústico e ambiental (devido às aves que podem colidir com as hélices), o tamanho dos aerogeradores que causa dificuldade no transporte e a dificuldade de armazenamento.

### **2.1.3 Energia ondomotriz**

A energia ondomotriz é derivada das ondas do oceano, o movimento das águas é decorrente do vento e move turbinas que geram energia cinética, essa energia é captada e posteriormente convertida em energia elétrica através de um gerador, como se observa no esquema da Figura 6 (NÓBREGA, 2009).

**Figura 6 - Esquema simplificado de sistema ondomotriz.**



Fonte: SØRENSEN, 2005 (adaptado).

Apesar de não gerar nenhuma poluição ao meio ambiente e não depender das condições da costa, a potência reduzida, a necessidade de ondas de grande amplitude, a impossibilidade de navegar nas regiões das usinas e a deterioração dos componentes do sistema pela água salgada são as maiores desvantagens desse modelo de geração de energia.

#### **2.1.4 Energia maremotriz**

A energia maremotriz é derivada da força das marés. As ondas são provenientes do vento, já as marés se diferem porque são geradas pela força gravitacional exercida pela Lua e pelo Sol. O movimento das marés origina uma fonte energética, esquematizada na Figura 7, onde o processo de geração de energia é possível devido ao uso de turbinas movidas com a força das ondas ligadas a geradores (NETO et al., 2011).

Figura 7- Geração de energia em usina maremotriz.



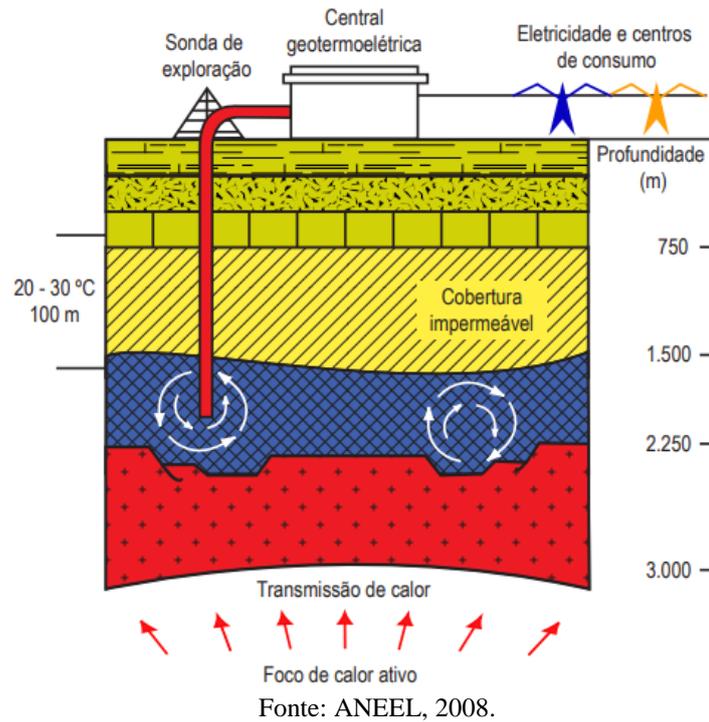
Fonte: FÜRST, 2011 (adaptado).

A usina maremotriz representa uma fonte de energia limpa e inesgotável, com risco mínimo ao ambiente e grande capacidade de geração. O que dificulta esse processo de geração é o custo elevado, a localização restrita e a poluição visual gerada pela instalação das usinas.

### 2.1.5 Energia geotérmica

A energia geotérmica é proveniente do calor presente no interior do planeta, e sua obtenção se dá através da perfuração do solo, com intuito de captar calor das rochas secas e do vapor. As centrais geotérmicas são as responsáveis por transformar esse calor em energia elétrica, a Figura 8 representa a esquematização de um reservatório geotérmico (GUERREIRO et al., 2007).

**Figura 8 - Reservatório geotérmico de alta temperatura.**

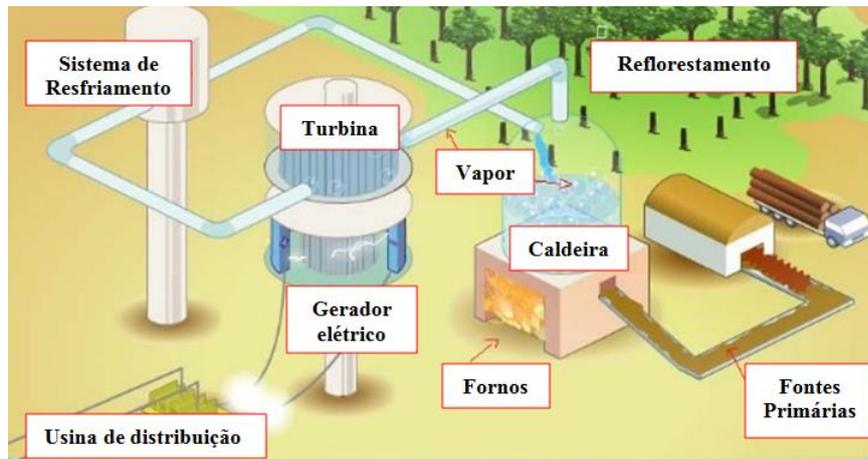


As vantagens da instalação de uma usina geotérmica é que a instalação necessita de uma área pequena em comparação com a hidroelétrica, é resistente à interrupção de energia devido às condições atmosféricas ou catástrofes naturais e pode ser incrementada quando necessário. Os problemas que esse modelo de geração pode causar são danos à geologia do planeta devido à perfuração incorreta, a água retirada pode possuir minérios prejudiciais e gases tóxicos dissolvidos, além de poluição sonora e elevado custo de geração.

### 2.1.6 Bioenergia

A bioenergia é a energia que se obtém através de biomassas, que são matérias-primas renováveis de origem animal ou vegetal. A queima dessa biomassa gera calor que é transformado em energia. Através da Figura 9 é possível observar como ocorre a geração de energia por queima de biomassa (SILVA, 2017).

Figura 9- Esquema de geração de energia através da queima de biomassa.



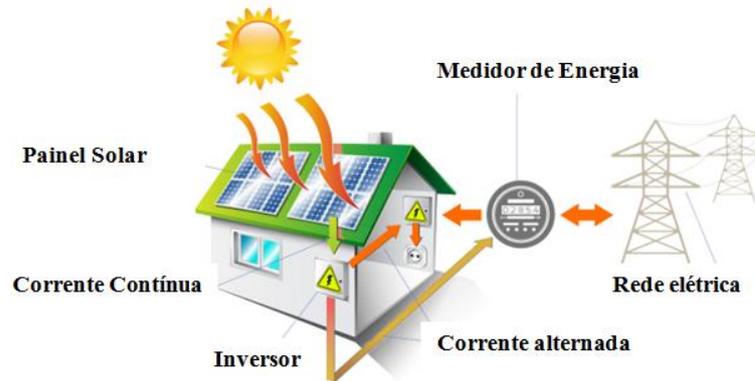
Fonte: REIS, 2016 (adaptado).

Além do baixo custo, essa forma de produção de energia permite o reaproveitamento de resíduos e apesar de ocorrer liberação de gás carbônico, o uso de biocombustíveis representa um ciclo fechado de carbono, não acarretando em poluição excessiva. As principais desvantagens são a dificuldade no transporte e armazenamento da matéria-prima e a eficiência reduzida.

### 2.1.7 Energia solar

A energia solar tem como principal fonte de energia o Sol. Ele pode ser utilizado no aquecimento solar, na arquitetura solar e na geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico. Os painéis solares captam a luz do Sol e as células fotovoltaicas produzem eletricidade na forma de corrente contínua (CC), os inversores transformam a corrente contínua para corrente alternada (CA), que é a corrente utilizada na rede pública, como é demonstrado na Figura 10. Após esse processo de inversão a energia gerada é direcionada para o consumo e o excedente entra como créditos na rede pública (PINHO et al., 2014).

**Figura 10 – Esquema de geração de energia fotovoltaica.**



Fonte: MDK Energia, 2017.

A energia fotovoltaica vem ganhando cada vez mais destaque no mercado mundial, visto que ela é uma energia de fácil obtenção, com custos relativamente baixos e capacidade de geração ilimitada quando há presença de luz solar. Todavia, o investimento inicial é relativamente elevado, não há geração de energia à noite e a eficiência é reduzida em dias nublados.

## 2.2 HISTÓRICO DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica está tomando cada vez mais espaço dentre as energias sustentáveis devido à sua alta eficiência, facilidade de instalação e bom custo-benefício. A geração de energia nesse sistema se dá basicamente pela captação da luz do Sol e sua transformação em energia elétrica.

A energia oferecida pelo Sol é utilizada pelos homens desde as primeiras civilizações e foi essencial para o desenvolvimento da vida humana. Muitos povos antigos veneravam o Sol como um deus e a maioria das obras arquitetônicas eram construídas em função do astro.

Os gregos, por volta do ano 400 a.C., foram os pioneiros em projetar suas casas para aproveitar a luz solar para iluminação. O Império Romano criou grandes janelas de vidro para que a luz solar pudesse entrar nos ambientes. Acredita-se que o estudioso grego Arquimedes, criou uma arma que incendiava navios de madeira do Império Romano, utilizando espelhos para refletir a radiação solar, concentrando os raios e atacando o inimigo antes que eles chegassem a terras gregas; além disso, os primeiros projetos de coletores solares estão relacionados a ele, no ano de 212 a.C. (VALLÊRA et al., 2006).

No século XV, Leonardo da Vinci já tinha projetos para utilizar a radiação solar para gerar vapor e calor, mas esses projetos não foram finalizados. Em 1767, Horace Bénédict De Saussure desenvolveu caixas de madeira e vidro que serviam como coletores de energia solar térmica. Lavoisier, famoso químico francês, em 1774, criou o primeiro "forno solar" que consistia em duas lentes capazes de concentrar a radiação solar, permitindo que altas temperaturas capazes de derreter metais fossem alcançadas. O inventor francês Augustin Mouchout, por volta de 1871, criou a primeira máquina que fazia a conversão de energia proveniente do Sol em energia mecânica. A máquina utilizava coletores solares para gerar vapor, que movia um motor devido à pressão (CARVALHO et al., 2012).

Com vários estudos tendo como base a energia proveniente do Sol e com a Revolução Industrial aumentando a necessidade de novas fontes de energia, o que impulsionava as pesquisas, foi descoberto o efeito fotovoltaico no século XIX. Podendo destacar, de acordo com Vallêra (2006):

- 1839: o físico francês Edmond Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico.
- 1873: Willoughby Smith descobriu que o selênio poderia funcionar como um fotocondutor.
- 1876: William Grylls Adams e Richard Evans Day aplicaram o princípio fotovoltaico descoberto por Becquerel ao selênio.
- 1883: Charles Fritz criou a primeira célula solar de selênio, essa célula solar foi o principal precursor da tecnologia usada atualmente.
- 1905: Albert Einstein deu maior destaque para a energia fotovoltaica quando publicou um artigo sobre o efeito fotoelétrico e como a luz transporta energia, o que gerou mais atenção e aceitação da energia solar em uma escala mais ampla.
- 1954: Daryl Chapin, Calvin Fuller e Gerald Pearson criaram uma célula solar mais eficiente usando silício, as vantagens desse mineral são a melhor eficiência e sua ampla disponibilidade como recurso natural.
- 1958: à medida que a era espacial se desenvolvia, os painéis solares começaram ser utilizados para alimentar sondas e satélites. O primeiro satélite movido por energia solar foi o Vanguard I, seguido pelo Vanguard II, Explorer III e Sputnik-3.

Em 1964, a NASA lançou o satélite Nimbus, que funcionava inteiramente em seu painel solar fotovoltaico. Ainda assim o uso de energias não renováveis era mais popular devido ao baixo custo com extração dos combustíveis fósseis e a falta de conscientização

sobre os danos que a geração desse tipo de energia pode gerar ao planeta. Portanto, na década de 70, uma escassez de petróleo nos EUA, gerou uma crise e painéis solares foram instalados na Casa Branca como fonte de energia alternativa. Com isso, a energia fotovoltaica ganhou destaque, mas mesmo assim ainda não se tornou tão popular devido ao seu elevado custo (FONTES, 2017).

Atualmente, com os avanços e melhorias nos módulos fotovoltaicos que o tornaram mais acessíveis e a conscientização das pessoas quanto à necessidade de utilizar energia limpa e renovável, é que os sistemas fotovoltaicos vêm se tornando cada vez mais popular e acessível.

## 2.3 AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O Sol é uma poderosa fonte de energia que pode ser aproveitada através da instalação de módulos fotovoltaicos capazes de gerar energia. A crescente demanda e a evolução tecnológica na fabricação dos módulos vêm tornando a energia fotovoltaica cada vez mais acessível e popular, além de tornar a fonte de geração cada vez mais eficiente.

### 2.3.1 Vantagens do sistema fotovoltaico

De acordo com Braga (2008), dentre as principais vantagens do sistema de geração fotovoltaico, a maioria está ligada a benefícios na preservação ambiental, do qual podemos destacar:

- **É sustentável:** a energia proveniente do Sol é abundante, eficiente, gratuita e, além disso, pode ser considerada renovável e inesgotável;
- **Não gera ruídos:** em comparação com outras fontes, a energia solar é totalmente silenciosa;
- **Segurança energética:** não se depende das concessionárias de energia, tendo acesso à geração de sua própria energia;
- **Não emitem poluentes na atmosfera:** o processo de geração de energia não libera gases nocivos;
- **Acessibilidade:** pode-se fazer a instalação de um sistema em qualquer lugar, por mais remota que seja a área e mesmo que não se tenha acesso à energia das concessionárias (com uso de baterias);

- **Ocupa pouco espaço:** o sistema é pequeno e pode ser instalado afetando minimamente a estética do ambiente;
- **Fácil instalação e baixa manutenção:** o sistema possui instalação simples e manutenção quase inexistente, o que gera uma grande economia em longo prazo.

### 2.3.2 Desvantagens do sistema fotovoltaico

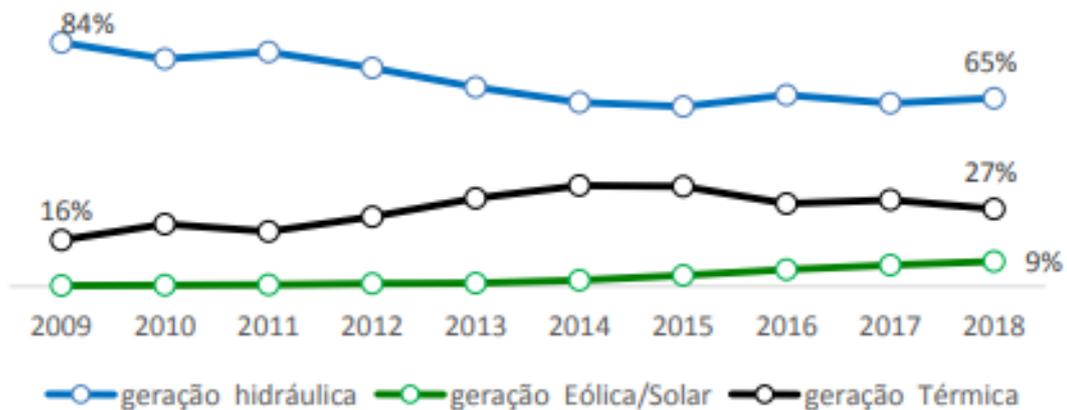
Todo sistema possui desvantagens e por mais que sejam mínimas elas precisam ser levadas em consideração, é importante destacar, segundo Pinho (2014), que:

- **Investimento inicial relativamente elevado:** os painéis de geração fotovoltaica estão se tornando cada vez mais acessíveis, porém mesmo assim o custo ainda é elevado;
- **Pode gerar prejuízos ambientais:** o lítio, material constituinte dos painéis, é poluente e pouco reciclável, portanto, deve-se tomar cuidado ao descartar qualquer material que não sirva mais para o uso para evitar desequilíbrio ambiental. Além da poluição, os painéis podem levar pássaros à morte;
- **Não gera energia à noite e tem menor capacidade de geração em dias nublados:** os painéis necessitam de luz solar para gerar energia, sendo assim durante a noite não há como funcionarem e em dias nublados a capacidade de geração é reduzida, sendo necessário permanecer conectado na rede pública ou comprar banco de baterias para armazenar a energia para o período da noite ou para dias de menor capacidade solar.

A energia solar fotovoltaica, de acordo com relatório do BEN, teve um crescimento de 316,2% somente entre 2017 e 2018, no Brasil essa forma de geração de energia cresce de forma brusca, aumentando cada vez mais sua participação na matriz energética. Os sistemas fotovoltaicos solares podem ser considerados um bom investimento, principalmente em longo prazo. O preço dos painéis solares tem tornado o sistema muito mais acessível e como os sistemas fotovoltaicos são capazes de gerar energia elétrica, eles possuem grande vantagem em relação aos sistemas solares térmicos, que apenas aquecem a água. A instalação do sistema gera uma valorização do imóvel, além da economia com a conta de energia.

A participação das fontes de energia na geração nacional pode ser observada na Figura 11, destacando-se que as fontes de geração solar e eólica são as únicas que apresentam crescimentos constantes.

**Figura 11 - Participação das fontes de energia na geração nacional.**



Fonte: Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional – BEN, 2019.

Os painéis são de fácil instalação e é possível instalá-los em regiões isoladas, onde ainda não se tem acesso a rede elétrica, eles necessitam somente de luz do dia para gerar energia, portanto, funcionam em dias nublados, embora a eficácia do painel fotovoltaico solar seja menor quando o sol estiver coberto de nuvens, ele ainda gerará eletricidade.

O sistema não gera ruídos e a manutenção do sistema fotovoltaico é mínima, necessitando de apenas uma limpeza anual, um painel de boa qualidade pode ter duração de até 25 anos, em perfeito funcionamento e gerando até 80% da capacidade do equipamento (REIS, 2019).

Ao usar energia limpa e renovável o meio ambiente é protegido. As reservas mundiais de combustíveis fósseis estão diminuindo rapidamente, o que aumenta a necessidade do uso de energias alternativas; além disso, a geração de energia por combustíveis fósseis é extremamente poluente.

As desvantagens da energia fotovoltaica são o alto custo de aquisição, pois as células e painéis solares requerem um alto investimento inicial, conquanto, levando em consideração a duração do sistema sendo maior que 25 anos, o custo é extremamente razoável. Além disso, a falta de incentivos fiscais do governo faz com que essa solução pareça pouco acessível. Contudo, para abrandar essas desvantagens o valor dessa tecnologia está em constante queda devido aos inúmeros avanços e estão sendo criadas linhas de financiamento para que se possa obter um sistema fotovoltaico com juros acessíveis (REIS, 2019).

## 2.4 OS CONSTITUINTES DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Um sistema fotovoltaico é composto por um ou mais painéis solares que utilizam energia da radiação solar para gerar eletricidade, combinados a um inversor. Os sistemas fotovoltaicos podem variar muito em tamanho, desde pequenos sistemas portáteis, sistemas em telhados residenciais ou industriais, até grandes usinas de geração em elevada escala.

O sistema funciona a partir da obtenção de luz do Sol, que é composta de partículas de energia chamadas fótons, essas partículas são coletadas por um painel solar e criam uma corrente elétrica através de um processo chamado efeito fotovoltaico. A eletricidade produzida a partir de um painel solar está na forma de corrente contínua (CC) e os aparelhos eletrônicos foram projetados para operar usando a rede elétrica pública que fornece corrente alternada (CA). Portanto, para que a eletricidade solar seja útil, ela deve ser convertida de corrente contínua para corrente alternada utilizando-se um inversor (PINHO et al., 2014).

Para entender melhor os constituintes de um sistema fotovoltaico e como geram energia é preciso compreender como funciona o efeito fotovoltaico, um processo que gera tensão ou corrente elétrica em uma célula fotovoltaica quando é exposta à luz solar. É esse efeito que torna os painéis solares úteis, assim como as células dentro do painel que convertem a luz solar em energia elétrica.

O efeito fotovoltaico consiste na transformação da radiação solar em energia elétrica. A luz é composta de fótons (pequenos feixes de radiação ou energia eletromagnética) que são absorvidos por uma célula fotovoltaica, o tipo de célula que compõe os painéis solares, que podem ser fabricadas de silício, telureto de cádmio, disseleneto de cobre e índio, sendo que o material mais utilizado atualmente é o silício devido ao seu custo reduzido. Os raios solares incidentes na célula fotovoltaica provocam a liberação de elétrons, os quais são orientados pelo campo elétrico existente, formando uma corrente elétrica. O valor da corrente depende da quantidade de radiação solar que o sistema receberá (REIS, 2019).

Os sistemas fotovoltaicos podem ser conectados à rede (*On-Grid*) e isolados da rede ou autônomos (*Off-Grid*), conforme Braga (2008), pode-se definir:

- *Off-grid* são sistemas autônomos, que não dependem da rede pública de distribuição de energia elétrica, eles são sustentados por baterias ou dispositivos de armazenamento. Esse sistema armazena a energia excedente em baterias, permitindo seu uso em momentos que não possuem nenhuma ou pouca incidência solar. A Figura 12 apresenta o esquema de instalação de um sistema *off-grid*.

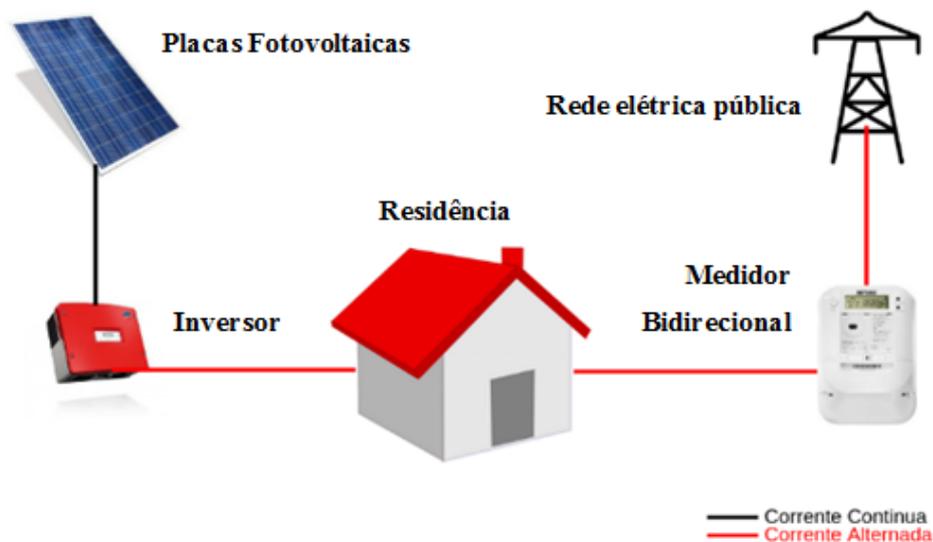
Figura 12: Ligações no Sistema fotovoltaico *off-grid*.



Fonte: SILVA, 2019 (adaptado).

- *On-Grid* são sistemas conectados a rede de abastecimento de energia elétrica e normalmente possuem um custo reduzido, devido ao fato de não necessitar de baterias. Toda energia não utilizada é enviada à rede pública, gerando créditos que podem ser utilizados quando a demanda for maior que a produção. A Figura 13, traz a representação de como ocorre a ligação do sistema *on-grid* à rede.

Figura 13: Representação do sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: SILVA, 2019 (adaptado).

Os dois sistemas possuem suas vantagens e desvantagens, é preciso avaliar o local de implantação, o objetivo do cliente e a viabilidade para determinar qual a melhor escolha a ser feita. O Quadro 1 apresenta uma comparação das principais vantagens e desvantagens de cada sistema.

**Quadro 1 - Vantagens e desvantagens dos modelos de sistemas.**

<b>Sistema</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Off-Grid</b>	Pode ser utilizado em regiões remotas por ser independente da rede de distribuição	Necessita de baterias e controladores de carga
	Possui sistema de armazenamento de energia	Custo mais elevado Menos eficiente
<b>On-Grid</b>	Dispensa baterias e controladores de carga	Necessita de acesso à rede de distribuição
	Possibilita ao consumidor fazer trocas com a rede elétrica	
	Créditos podem ser utilizados em outras unidades consumidoras do proprietário	Não há sistema de armazenamento de energia
	Mais eficiente	

Fonte: FORSAITE, 2019 (adaptado).

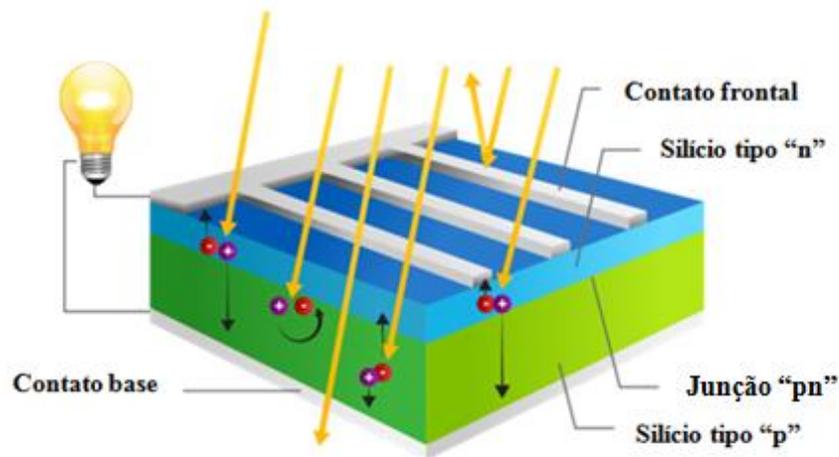
#### 2.4.1 Módulos Fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico funciona permitindo que fótons liberem elétrons dos átomos, gerando um fluxo de eletricidade. Os módulos são compostos de muitas unidades chamadas células fotovoltaicas.

Cada célula fotovoltaica é composta por duas fatias de material semicondutor, geralmente silício, e para funcionar as células precisam estabelecer um campo elétrico. Assim como um campo magnético, que ocorre devido a polos opostos, um campo elétrico ocorre quando as partículas de cargas opostas são separadas. Para obter esse campo, os fabricantes unem o silício com outros materiais, que permitem que cada fatia possua uma carga elétrica positiva ou negativa. Outros componentes da célula transformam esses elétrons em energia utilizável. Placas condutoras de metal nas laterais da célula coletam os elétrons e os transferem para os fios. Nesse ponto, os elétrons podem fluir como fonte de eletricidade (PINHO et al., 2014).

Na Figura 14, podemos observar como ocorre o efeito fotovoltaico, capaz de gerar eletricidade, em uma célula fotovoltaica.

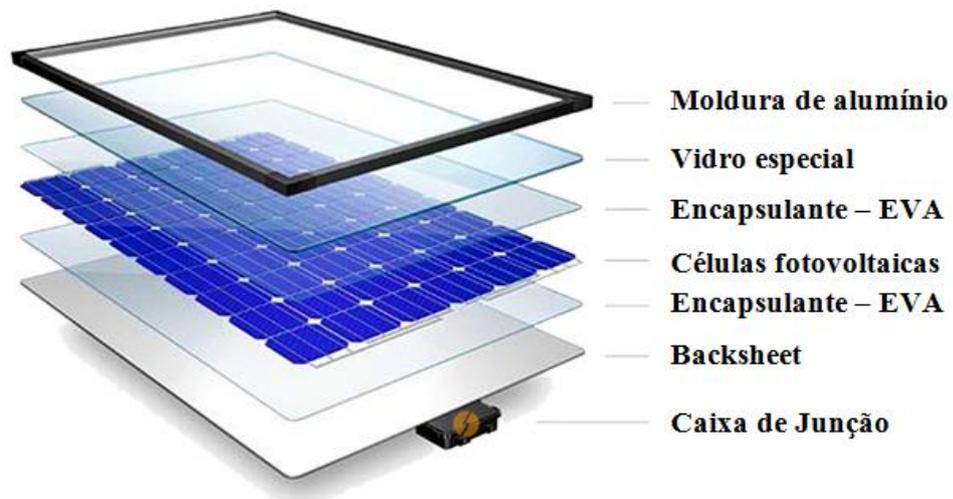
**Figura 14 - Efeito fotovoltaico em uma célula fotovoltaica.**



Fonte: BLUE SOL, 2019.

A Figura 15 apresenta o esquema de um módulo fotovoltaico, onde se pode analisar sua composição e a organização de seus componentes.

**Figura 15: Esquema de módulo fotovoltaico.**



Fonte: REIS, 2019.

Um módulo fotovoltaico é um conjunto de células fotovoltaicas associadas em série e encapsuladas, analisando a imagem de acordo com Reis (2019), pode-se observar que ele constitui-se de:

- Células fotovoltaicas: fonte de energia do painel;
- Vidro fotovoltaico: vidro especial com tecnologia antirreflexos que permite maior passagem da radiação solar;
- Filme encapsulante (EVA): material selante que tem a função de proteger as células do envelhecimento por raios UV, do calor e da umidade em excesso;
- Backsheet: filme branco com finalidade de proteger a parte interna do painel e manter o isolamento elétrico;
- Caixas de junção: localizadas na parte traseira do painel, é onde as strings (células fotovoltaicas interconectadas em série) estão conectadas eletricamente;
- Moldura em alumínio: serve para garantir a integridade do painel.

#### **2.4.2 Controladores de Carga**

Os controladores de carga ou reguladores de tensão têm um papel muito importante no sistema fotovoltaico *off-grid*, que é proteger as baterias de sobrecargas ou descargas profundas, aumentando assim a vida útil das mesmas.

Os controladores de carga funcionam através de dispositivos que apontam o estado de carga do sistema e permitem ao utilizador fazer adaptações a instalação às suas necessidades particulares (PINHO et al., 2014).

Existem diversos tipos de controladores de carga no mercado, variando de acordo com suas funções e preços, e segundo Sbampato (2008), algumas características desejáveis para compra de um bom regulador de tensão são uma vida útil garantida pelo fabricante de pelo menos 10 anos; resistência a impactos; chaveamento eletrônico; proteção contra inversão de polaridade dos módulos, baterias e cargas; desconexão da carga para proteção das baterias contra descargas excessivas; capacidade de suportar a corrente de curto-circuito dos módulos; compensação das variações de temperatura e principalmente proteção contra sobrecarga da bateria.

#### **2.4.3 Os Inversores**

O Inversor Solar é um dispositivo essencial em qualquer sistema de energia solar. A função básica do inversor é alterar a saída de corrente contínua dos painéis solares em

corrente alternada, adaptando o sistema que use energia solar em um sistema para usos domésticos. Os vários componentes elétricos e eletrônicos conectados no circuito ajudam na conversão (PINHO et al., 2014).

A energia de corrente alternada convertida é usada para operar os diversos aparelhos eletrônicos, algumas aplicações específicas, podem usar diretamente a energia de corrente vinda diretamente do painel solar, como luzes de LED e alguns carregadores de celular.

Existem diversos tipos de inversores solares em todo o mundo, dentre eles os principais disponíveis no mercado, definidos de acordo com Alvarenga (2001), incluem:

- os inversores *off grid*, usados em sistemas autônomos, nos quais o inversor solar é alimentado por energia CC a partir de um painel de bateria carregado por painéis solares.
- Inversores *grid tie* são associados à rede e usam esta como referência de tensão e frequência, possuem um sistema anti-ilhamento, que interrompe a passagem de energia da rede fotovoltaica para a rede em caso de queda da rede elétrica, que serve para evitar acidentes.
- Inversores centrais são de grande porte e capazes de operar com vários módulos fotovoltaicos conectados em série.
- Micro inversores são os mais modernos na indústria solar. São pequenos e compactos, porém, com elevado desempenho e têm uma manutenção mais fácil devido a rápida constatação de falha.

#### **2.4.4 As baterias**

As baterias tem como função armazenar toda energia produzida nos sistemas *off-grid*. A quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico não é constante, pois depende do índice de radiação solar do dia, pela manhã, por exemplo, não há uma produção tão elevada quanto no meio do dia e à noite não ocorre nenhuma geração. Como o uso da energia não se dá no momento do consumo, é preciso que se faça o uso de baterias ou acumuladores elétricos para que a energia elétrica possa estar sempre à disposição do usuário. A energia elétrica é armazenada em baterias ou acumuladores como energia química e no momento do uso é convertida em energia elétrica (ALVARENGA, 2001).

As baterias podem ser classificadas como primárias ou secundárias, onde as baterias primárias são dispositivos eletroquímicos descartáveis, pois caso haja esgotamento dos reagentes que produzem a energia elétrica elas não podem ser recarregadas e as baterias secundárias podem ser regeneradas através da aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais, que reverte as reações responsáveis pela geração de energia elétrica (ALVARENGA, 2001).

Outro fator importante é a vida útil da bateria, que termina quando ela não consegue armazenar 80% da energia que armazenava quando nova e caso isso ocorra é necessário que a bateria seja substituída. É preciso que as baterias possuam vida útil acima de 3 ou 4 anos, visto que o custo das baterias são relativamente elevados. Quanto à manutenção existem baterias abertas, que necessitam de inspeção periódica do eletrólito e eventual adição de água, e baterias seladas, que não necessitam de manutenção nem de adição de água. Para os sistemas fotovoltaicos o mais indicado são as baterias seladas, principalmente em locais remotos e com capacidade de carga elevada, porque quanto maior a capacidade de armazenamento da bateria, maior a autonomia do sistema (PINHO et al., 2014).

## 2.5 A REGULAMENTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é a responsável por regulamentar todos os processos de criação de micro e mini usinas de geração de energia elétrica e para tal finalidade criou a Resolução Normativa (REN) 482/2012 e a Resolução Normativa 687/2015, onde foi feito um aprimoramento e modificação da primeira, essas resoluções visam viabilizar cada vez mais o acesso à autossuficiência em energia nas residências e indústrias do país.

Com a REN 482/2012 surgiu a possibilidade de os consumidores devidamente cadastrados terem permissão para realizar a troca entre energia gerada em fontes renováveis e a rede de distribuição elétrica pública e uma forma de compensação para o consumidor pela energia injetada na rede foi criada. A resolução 687/2015 que veio para aperfeiçoar a resolução já existente apresentou uma alteração que definiu que os sistemas de microgeração passariam a corresponder aos sistemas com potência instalada inferior ou igual a 75 kW (Quilowatts) e os sistemas de minigeração os de potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (Megawatts) para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para as demais fontes renováveis de energia elétrica.

### 3 DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE MICROGERAÇÃO

O estudo de implantação de usina de microgeração apresentado no presente trabalho visa avaliar a viabilidade econômica e os benefícios da implantação de um sistema de microgeração *on-grid* em uma residência unifamiliar, localizada na cidade de Campo Limpo de Goiás. O dimensionamento, bem como todas as etapas necessárias para confecção e aprovação do projeto de microgeração, seguiu as regulamentações vigentes para aprovação na concessionária local de energia, a Enel. Para realizar o dimensionamento, deve-se levar em consideração vários fatores, como a incidência solar na região, a potência de geração dos módulos fotovoltaicos, a inclinação e orientação dos módulos.

#### 3.1 ANÁLISE PRELIMINAR

Como etapa inicial do projeto, foi realizado o levantamento médio anual do consumo de energia na residência em questão. Os dados obtidos pela análise da conta de energia atual estão apresentados na Figura 16, onde está presente o consumo médio mensal, analisado durante 12 meses. Com o consumo médio mensal foi possível calcular a média de consumo anual, somando-se o consumo médio dos últimos 12 meses e fazendo a divisão pelo número de meses. A média anual calculada foi 237,83 kWh (Quilowatts-hora), também foi verificado que o tipo de ligação é monofásico e o valor da tarifa do kWh é de R\$ 0,869380, já acrescida de impostos.

Figura 16: Conta de energia do imóvel residencial.



Fonte: ENEL, 2020.

Através do Google Earth foi possível conhecer as coordenadas do local para analisar a irradiação solar do local da instalação do sistema, além de avaliar possíveis obstáculos que pudessem gerar sombreamento na região. Após analisar as informações contidas no Google Earth, foi possível verificar que:

a) A localização do imóvel possui latitude  $16^{\circ}17'45''$  e longitude  $49^{\circ}05'17''$ , logo o melhor posicionamento dos módulos será com inclinação de  $16^{\circ}$ , pois de acordo com manual do fabricante dos módulos, o ângulo ideal do módulo depende da respectiva latitude da localidade da instalação.

b) Ao avaliar ao telhado da residência, pode-se notar que a maior parte do telhado está voltada para o Norte, sendo assim os módulos serão direcionados nesse sentido.

Na Figura 17, é possível observar que há uma árvore que pode causar sombreamento nos módulos fotovoltaicos, necessitando assim levar isso em consideração e fazer uma análise mais aprofundada durante os cálculos da potência de geração.

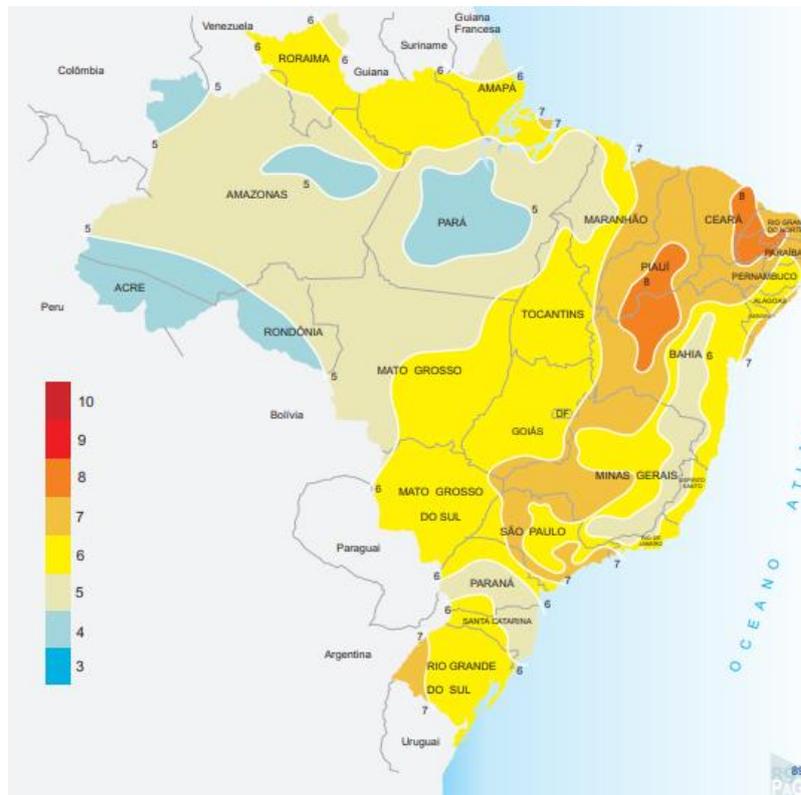
**Figura 17: Local da Implantação.**



Fonte: GOOGLE MAPS, 2020.

O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb), criou um atlas para definir os valores médios de irradiação e horas de Sol para cada região do Brasil. O Atlas Solarimétrico, traz inúmeras definições que podem auxiliar na maior precisão do dimensionamento, como o índice de incidência de irradiação solar em horas de insolação diária, o que pode ser observado na Figura 18.

**Figura 18: Irradiação solar em horas (Média Anual)**



Fonte: TIBA, 2000.

Apesar de quase todo o nosso país apresentar boa irradiação solar, o Centro-Oeste apresenta um elevado número de horas de irradiação solar, o que favorece os sistemas de geração fotovoltaicos, pois quanto mais radiação solar, mais energia os sistemas conseguem gerar.

### 3.2 GERAÇÃO IDEAL

A taxa de iluminação pública vem acrescida na conta de energia de cada imóvel além de um valor referente à disponibilidade do serviço prestado e à disposição do sistema elétrico, chamado de Custo de Disponibilidade. Esse Custo de Disponibilidade é utilizado para cobrir os custos de transmissão de energia e a manutenção do sistema e é definido pela Aneel com base no tipo de ligação, sendo que esse valor para ligações monofásicas, como é o caso do sistema a ser implementado, é de 30 kWh/mês, para ligações bifásicas o valor é de 50 kWh/mês e para ligações trifásicas o valor é 100 kWh/mês.

Mesmo que o proprietário gere sua própria energia, ele ainda deverá pagar a tarifa mínima, que inclui o Custo de Disponibilidade, logo calculamos o consumo médio mensal subtraindo o valor do custo de disponibilidade, uma vez que esse valor é pago independentemente do consumo de energia. Esse consumo mensal que considera apenas o que o consumidor irá utilizar representa o valor que o sistema deverá gerar, recebendo o nome de Geração Ideal.

$$G_I = C_m - C_d \quad (1)$$

Onde:

- $G_I$ : Geração Ideal;
- $C_m$ : Consumo médio mensal;
- $C_d$ : Custo de disponibilidade.

Aplicando a equação a residência presente nesse estudo de caso que possui um consumo médio anual de 237,83 kWh e ligação monofásica, a geração ideal é:

$$G_I = 237,83 \text{ kWh} - 30 \text{ kWh}$$

$$G_I = 207,83 \text{ kWh}$$

A Geração Ideal é de aproximadamente 207,83 kWh, o que significa que o sistema de microgeração precisará gerar no mínimo esse valor mensalmente. Normalmente o dimensionamento é realizado com o valor de geração diária e para isso dividimos o valor de geração médio mensal por 30 (número médio de dias em um mês), sendo assim o sistema precisa gerar em média 6,93 kWh/dia.

É necessário considerar as perdas no rendimento do sistema para um cálculo mais preciso e evitar que ocorra a geração insuficiente. A Tabela 1 apresenta as principais causas da redução do rendimento.

**Tabela 1: Perdas de rendimento.**

<b>Rendimento</b>	<b>Porcentagens</b>
Perdas por temperatura	7 - 18%
Incompatibilidade elétrica	1 - 2%
Acúmulo de sujeira	1 - 8%
Cabeamento	1- 2%
Inversor	2,5 - 5%

Fonte: PINHO et al., 2014.

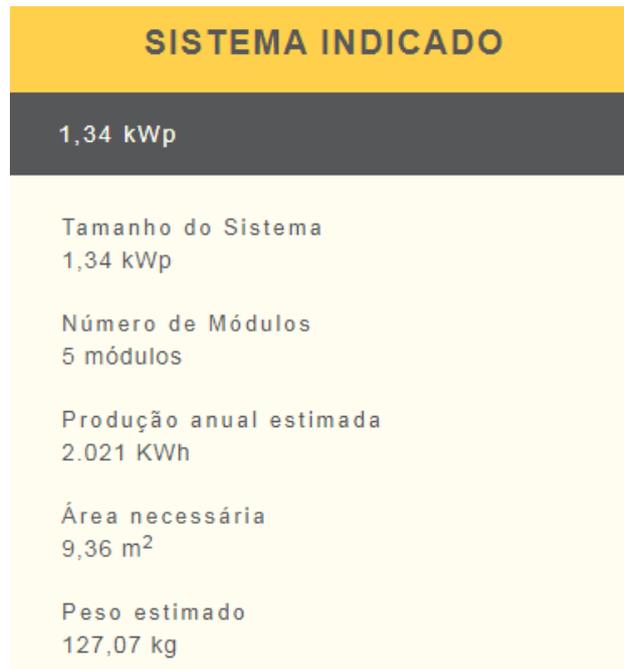
As perdas por temperatura, incompatibilidade elétrica e acúmulo de sujeira podem ser reduzidas com o projeto e manutenção corretos, logo será considerado apenas os fatores que dependem dos equipamentos e será somado à geração diária uma perda média nos cabeamentos 1,5% e no inversor de cerca de 3,5%, portanto considera-se uma perda de 5%, o que significa que o sistema precisará gerar no mínimo 7,3 kWh/dia.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR SOLAR

Para o dimensionamento do gerador solar, são utilizadas muitas variáveis e para tornar a implantação deste projeto a mais viável e segura possível, foi feita uma simulação no portal NeoSolar, para o fornecimento de dados e orçamento, tornando o cálculo rápido, preciso e com dados monitorados por profissionais qualificados.

Ao analisar a posição do Sol durante o dia, foi possível verificar que a árvore presente no terreno não causa sombreamento no local que destinou-se para colocação dos módulos, podendo assim ser desconsiderada no momento do cálculo de dimensionamento.

Com o uso do simulador foram obtidos os seguintes dados, presentes na Figura 19:

**Figura 19: Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.**

Fonte: NeoSolar, 2020.

### 3.4 EQUIPAMENTOS E ORÇAMENTO PARA O MICROGERADOR SOLAR

Para fazer um orçamento devemos levar em conta diversos fatores, como a mão-de-obra, os projetos e os equipamentos a ser utilizados. As estruturas de fixação dependem do tipo de telhado presente no imóvel, e no caso analisado a residência possui telhado cerâmico. O valor dos inversores e dos painéis solares soma grande parte do valor total do sistema, sendo assim é de extrema importância escolher marcas confiáveis e que ofereçam garantia.

Os equipamentos sugeridos pela NeoSolar e analisados de acordo com os seus respectivos manuais do fabricante que foram escolhidos para constituírem o sistema de microgeração de 1,34 kWh são:

- **Inversor Fronius 3 kW:** uma das melhores marcas presentes no mercado, os inversores são eficientes, confiáveis e possuem uma garantia que pode se estender por até 7 anos, além de possuir classes de potências variáveis que prometem a adequação para praticamente todos os tamanhos de sistema;
- **Painéis solares Canadian Solar 330 Wp:** o painel fotovoltaico de 330 W da Canadian Solar possui um elevado padrão de qualidade, conta com certificação INMETRO nota “A”, 10 anos de garantia contra defeitos de fabricação e possui estrutura reforçada e resistente;

- **Cabo Solar Nexans:** fornecem conexões seguras e duráveis. Sua composição livre de halogênio garante ótima proteção contra incêndio para instalação em telhados.
- **Conectores mc4 Multi-contact:** possuem elevada segurança e condutividade, durabilidade e praticidade na instalação, além de grande resistência mecânica e isolamento, resistência à água e ao vento;
- **Stringbox Abb:** é um quadro de proteção e isolamento para o lado CC. Desenvolvidas especificamente para aplicações fotovoltaicas, asseguram uma instalação com desempenho e segurança superiores;
- **Estruturas de Fixação para telhado cerâmico.**

A Tabela 2 apresenta os custos médios estimados para a implantação do microgerador de acordo com os valores dos equipamentos fornecidos pelo portal NeoSolar, a empresa Energize e DOT Automação.

**Tabela 2: Detalhamento do sistema.**

<b>Descrição</b>	<b>Valores</b>
Tamanho do Sistema	1,34 kWp
Geração anual estimada	2021 kWh
Inversor	R\$ 5.978,00 - 7.230,00
Painéis Solares	R\$ 3.485,00 - 3.490,00
Cabos Solares	R\$ 348,00 - 395,00
Conectores	R\$ 114,00 - 138,00
Stringbox	R\$ 929,00 - 1379,00
Mão de obra	R\$ 2.500,00 - 3000,00
Estrutura de fixação	R\$ 633,00 - 820,00
Projeto e Solicitação na Concessionária	R\$ 500,00 - 800,00
<b>Total do Investimento</b>	<b>R\$ 14.487,00 - 17.252,00</b>

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Apesar de o investimento inicial ser relativamente elevado, é preciso ressaltar que a durabilidade do sistema também é alta, uma vez que os reparos em seus componentes são mínimos e as garantias são prolongadas.

### 3.5 REQUISITOS PARA CONEXÃO DE MICROGERADOR AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PÚBLICO

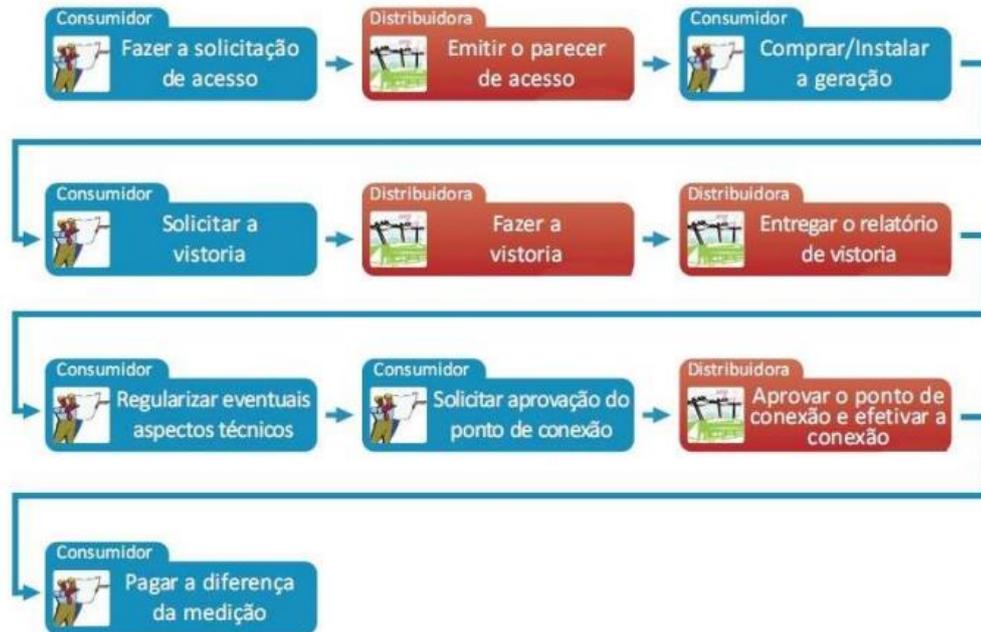
A NTC-71 é a normativa que trata dos requisitos para conexão de um sistema de microgeração solar fotovoltaico à concessionária de energia, foi elaborada pela CELG e continua sendo utilizada pela atual concessionária, a Enel. Ela tem como base a REN nº 414, que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, a REN nº 482 que se refere às condições para o acesso de mini e microgeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação e outras considerações e a REN nº 687 que é uma atualização da resolução normativa nº 482.

A ligação do sistema à rede garante a compensação de energia elétrica, que promove a geração de créditos nos meses que o consumidor gerar mais energia que consumir, esses créditos são utilizados para abatimento no uso de energia futuramente.

Para o sistema de compensação é instalado um medidor bidirecional. No período que o sistema fotovoltaico instalado está gerando energia para a edificação, todo o excedente é injetado no sistema de distribuição gratuitamente e gera créditos que poderão ser utilizados durante a noite e no final do mês, caso ainda haja créditos remanescentes, eles ainda podem ser utilizados para abatimento em contas de energia por um prazo de 60 meses.

A Figura 20 mostra a esquematização de como proceder para realizar a conexão da microgeração ao sistema de distribuição, demonstrando em azul o que cabe ao consumidor e em vermelho o que cabe a concessionária de energia.

**Figura 20: Esquema de ligação do sistema de microgeração à rede.**



Fonte: NTC-71, 2016.

O primeiro passo, parte do consumidor e é fazer a solicitação de acesso à distribuidora, com um requerimento que será analisado. Para os sistemas de microgeração, o formulário de solicitação está presente nos anexos E (igual ou inferior a 10 kW) e F (superior a 10 kW) e para sistemas de minigeração no anexo G da NTC-71.

Após receber a solicitação de acesso, os prazos de emissão do parecer são de até 15 dias caso não haja necessidade de melhorias ou reforços no sistema de distribuição acessado para os sistemas de microgeração e de 30 dias para os sistemas de minigeração. Quando houver necessidade de melhorias ou reforços no sistema de distribuição o prazo é de até 30 dias para sistemas de microgeração e 60 dias para minigeração.

Após a avaliação da solicitação de acesso à distribuidora, a mesma irá emitir a autorização de acesso, o que permite o início da instalação do sistema. Para a instalação do sistema fotovoltaico, é necessário:

- a) Projeto Elétrico padronizado para o formato apresentado na ABNT NBR 10068, Anotação de Responsabilidade Técnica – ART e Memorial Descritivo do projeto, que contemple a finalidade do projeto, a localização, especificações dos componentes, nome e assinatura do proprietário;
- b) Cronograma de Implantação;
- c) Diagrama Unifilar, apresentando seção e características de todo e qualquer condutor, dispositivos de proteção e suas características, indicação das cargas;

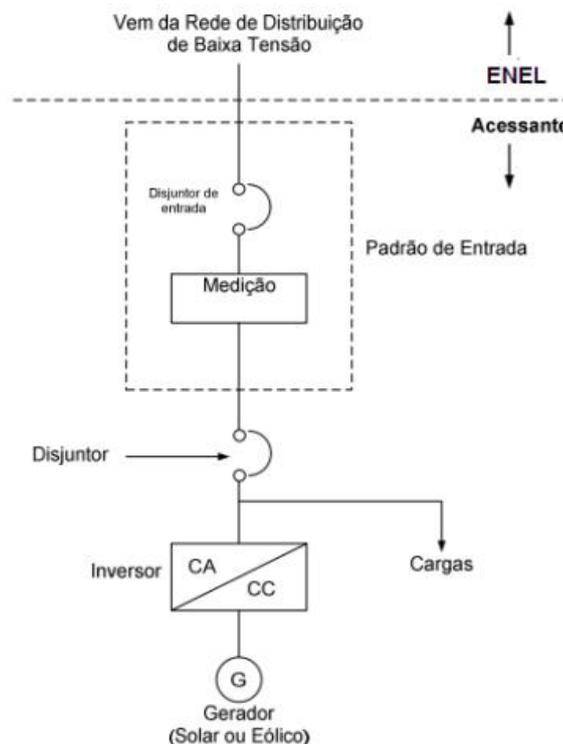
- d) Certificados dos Inversores;
- e) Formulário de informações para registro na ANEEL (Anexo D da NTC-71);
- f) Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (para o caso de geração compartilhada).

A instalação deve ser realizada de acordo com o projeto e após o procedimento de instalação, solicita-se a vistoria dentro de 120 dias após a obtenção do parecer de acesso em alguma agência ou posto de atendimento da Enel. Dentro de 7 dias a concessionária deverá realizar a vistoria. A solicitação de vistoria deve conter:

- a) Relatório de comissionamento indicando as condições finais do sistema instalado;
- b) ART de execução;
- c) ART de execução do comissionamento.

As responsabilidades técnicas e financeiras do sistema de medição ficam sob o dever da concessionária de energia local, a Enel. A Figura 21 mostra a forma que o microssistema é conectado à rede elétrica pública.

**Figura 21: Forma de conexão do microssistema acessante à rede BT da ENEL.**



Fonte: NTC-71, 2016.

Após a aprovação, instalação e vistoria da Enel, o sistema integrado à rede começa a funcionar com o sistema de compensação energética.

### 3.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA E AMBIENTAL DO SISTEMA

Ao realizar a análise da potência de geração anual e do valor da tarifa vigente de energia elétrica, podemos obter a economia anual estimada que a instalação do microgerador irá proporcionar ao consumidor. Com a economia anual podemos avaliar o tempo de retorno do investimento, que é quando o investimento começa a gerar lucro.

Para o cálculo do tempo de retorno do investimento, considera-se a tarifa vigente de R\$ 0,869380/kWh, com reajuste de 2% ao ano e o valor total de investimento para instalação do sistema de R\$ 14.487,00. Será considerado que os módulos têm uma vida útil de 25 anos e que ao final desse tempo ainda irão possuir 80% de sua capacidade, sendo assim será considerada uma perda anual de 0,8% no rendimento.

Para a obtenção da tabela de Fluxo de Caixa, onde avaliamos os benefícios financeiros que a implantação do sistema oferece a cada ano, utilizamos as seguintes equações:

$$\text{Energia Gerada}_i \text{ (kWh)} = \text{Produção Anual}_{i-1} - (\text{Produção Anual}_{i-1} \times 0,08) \quad (2)$$

$$\text{Valor da Tarifa}_i \text{ (R\$)} = \text{Valor}_{i-1} \times 1,02 \quad (3)$$

$$\text{Economia Anual}_i \text{ (R\$)} = \text{Energia Gerada}_i \text{ (kW)} \times \text{Valor da Tarifa}_i \text{ (R\$)} \quad (4)$$

$$\text{Fluxo de Caixa Anual}_i = \text{Preço do Sistema} - \text{Economia Anual}_i \quad (5)$$

A Tabela 3 mostra o fluxo de caixa e a rentabilidade do sistema a cada ano, o que possibilita a análise do lucro que a implantação do microssistema possibilita.

**Tabela 3: Fluxo de Caixa.**

Ano	Energia gerada (kWh)	Valor kWh	Economia Anual	Investimento	Fluxo de Caixa
1	2021	R\$ 0,869380	R\$ 1.757,02	-R\$ 14.487,00	-R\$ 12.729,98
2	2005	R\$ 0,886768	R\$ 1.777,82	-R\$ 12.729,98	-R\$ 10.952,16
3	1989	R\$ 0,904503	R\$ 1.798,87	-R\$ 10.952,16	-R\$ 9.153,29
4	1973	R\$ 0,922593	R\$ 1.820,17	-R\$ 9.153,29	-R\$ 7.333,13
5	1957	R\$ 0,941045	R\$ 1.841,72	-R\$ 7.333,13	-R\$ 5.491,41
6	1941	R\$ 0,959866	R\$ 1.863,52	-R\$ 5.491,41	-R\$ 3.627,88
7	1926	R\$ 0,979063	R\$ 1.885,59	-R\$ 3.627,88	-R\$ 1.742,29
8	1911	R\$ 0,998644	R\$ 1.907,91	-R\$ 1.742,29	R\$ 165,62
9	1895	R\$ 1,018617	R\$ 1.930,50		R\$ 2.096,13
10	1880	R\$ 1,038990	R\$ 1.953,36		R\$ 4.049,49
11	1865	R\$ 1,059769	R\$ 1.976,49		R\$ 6.025,98
12	1850	R\$ 1,080965	R\$ 1.999,89		R\$ 8.025,87
13	1835	R\$ 1,102584	R\$ 2.023,57		R\$ 10.049,44
14	1821	R\$ 1,124636	R\$ 2.047,53		R\$ 12.096,96
15	1806	R\$ 1,147128	R\$ 2.071,77		R\$ 14.168,74
16	1792	R\$ 1,170071	R\$ 2.096,30		R\$ 16.265,04
17	1777	R\$ 1,193472	R\$ 2.121,12		R\$ 18.386,16
18	1763	R\$ 1,217342	R\$ 2.146,24		R\$ 20.532,39
19	1749	R\$ 1,241689	R\$ 2.171,65		R\$ 22.704,04
20	1735	R\$ 1,266522	R\$ 2.197,36		R\$ 24.901,40
21	1721	R\$ 1,291853	R\$ 2.223,38		R\$ 27.124,77
22	1707	R\$ 1,317690	R\$ 2.249,70		R\$ 29.374,47
23	1694	R\$ 1,344044	R\$ 2.276,34		R\$ 31.650,81
24	1680	R\$ 1,370925	R\$ 2.303,29		R\$ 33.954,10
25	1667	R\$ 1,398343	R\$ 2.330,56		R\$ 36.284,66

Fonte: PRÓPRIO AUTOR, 2020.

Como podemos observar na Tabela 3, o investimento se paga em 8 anos e começa a gerar lucros. Em 25 anos o consumidor terá um valor acumulado de R\$ 36.284,66, se esse valor for somado ao valor de investimento pode-se concluir que o sistema gerará cerca de R\$ 50.771,66 em energia elétrica. A instalação do microgerador garante 17 anos de energia grátis após o retorno do investimento, considerando-se que não há custos significantes com manutenção, há uma valorização do imóvel e além de tudo a energia oferecida pelo sistema é totalmente renovável, sem ruídos e sem emissão de gases poluentes.

A Tabela 4 apresenta as estimativas ambientais do sistema e mostra a sua relevância na preservação ambiental.

**Tabela 4: Estimativa ambiental do sistema.**

Redução de CO <sub>2</sub> na atmosfera	32.315 kg de CO <sub>2</sub>
Equivalente a árvores plantadas	231 árvores
Equivalente a km rodados de carro	294.674 km

Fonte: NeoSolar, 2020.

A implantação de um microgerador fotovoltaico acarreta em benefícios ambientais e financeiros ao consumidor, o retorno do investimento é garantido, o que torna esse tipo de gerador cada vez mais atrativo no mercado e ainda podemos destacar a segurança energética que a implantação do sistema oferece.

## 4 CONCLUSÃO

Com o aumento da necessidade de tornar nosso planeta mais sustentável tem-se buscado formas de utilizar os recursos naturais sem agredir ou causar grandes danos à natureza. A construção civil é uma área que causa constantes transformações no meio ambiente e que está sempre procurando métodos eficazes para compensar o desgaste causado, considerando questões ambientais, financeiras e sociais, que são os pilares do Desenvolvimento Sustentável. Os incentivos governamentais para o desenvolvimento de energias renováveis estão aumentando a cada dia e até mesmo a ONU já se atentou para essa necessidade. A maior parte da energia elétrica gerada em nosso país é proveniente de hidroelétricas e apesar de serem consideradas sustentáveis, causam grande impacto ambiental devido à necessidade da construção de barragens, além de não garantirem elevada segurança energética no período de estiagem.

Com a explanação sobre a geração de energia elétrica fotovoltaica, foi possível analisar como ocorreu seu surgimento e desenvolvimento, como se dá sua geração e seus componentes. Foi feita uma comparação dos sistemas *on-grid* e *off-grid*, apresentando suas principais vantagens e desvantagens e por fim apresentou-se o dimensionamento para implementação de um microsistema de geração *on-grid* em uma residência unifamiliar.

Após o estudo sobre as formas de geração de energia sustentáveis mais relevantes disponíveis, foi possível verificar que a energia solar apresenta um bom potencial quando comparada a outras fontes. Ela utiliza pequena área para implantação do sistema, não causando poluição ambiental ou visual; por ser gerada no local onde será utilizada, caso se trate de um sistema *off-grid*, não há necessidade de grandes investimentos em sistemas de transmissão. Nosso país possui uma boa incidência solar em grande parte do seu território, que dura o ano todo, o que favorece a geração fotovoltaica e garante uma boa segurança energética para o usuário.

As desvantagens do sistema são pequenas se comparadas à eficiência dos microgeradores e incluem o investimento inicial relativamente elevado, os prejuízos ambientais gerados pelo descarte incorreto dos constituintes do sistema e a incapacidade de geração de energia à noite.

É preciso realizar manutenções preventivas nos módulos para evitar o acúmulo de sujeira, que pode interferir na capacidade de geração, além disso o sistema possuirá menor capacidade de geração em dias nublados devido à menor incidência de radiação solar.

É necessário que o governo continue investindo em incentivos e na conscientização da população, expondo as principais vantagens e desvantagens e os benefícios que o uso de uma energia limpa, renovável e de fonte própria pode trazer, para que a energia fotovoltaica continue crescendo na matriz energética brasileira.

O estudo de caso da implantação de um sistema em residência unifamiliar apresentou ser economicamente viável e apesar do elevado investimento inicial, após 8 anos da instalação do sistema, o consumidor já começa obter retorno econômico do investimento. Se for considerada a vida útil do sistema de 25 anos e que ele praticamente não necessita de manutenção, ainda restam 17 anos de grande rentabilidade e geração de energia gratuita.

## REFERÊNCIAS

Agenda 2030 da ONU, disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 10 set. 2019.

ALVARENGA, C. A. **Energia Solar**. 2001. Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia da Universidade Federal de Lavras, 2001.

ANEEL, disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 2 out. 2019.

BEN: Relatório Síntese, disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. Acesso em: 04 set. 2019.

BRAGA, R. P.; **Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos e Aplicações**. 2008. Monografia apresentada ao Curso de Engenheiro Eletricista da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, C. *et al.* Energia Solar: Uma alternativa sustentável. **Energia Solar 2012**, [S.l.], 24 abr. 2012. Disponível em: <https://energiasolar2012.wordpress.com/historico-do-uso-do-sol/>. Acesso em: 3 nov. 2019.

DECICINO, R. Desenvolvimento sustentável: Como surgiu esse conceito?. **Uol**, [S. l.], 20 fev. 2014. Disponível em: <https://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/desenvolvimento-sustentavel-2-como-surgiu-esse-conceito.htm>. Acesso em: 25 out. 2019.

DIAS, R. A sustentabilidade da geração energética. **Pensamento Verde**, [S. l.], 13 set. 2016. Disponível em: <https://www.pensamentoverde.com.br/sustentabilidade/sustentabilidade-da-geracao-energetica/>. Acesso em: 27 out. 2019.

EPE, disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 03 set. 2019.

FONTES, R. Onde a energia solar cresce mais forte: Os 5 países com maior capacidade instalada. **BlueSol**, [S. l.], 6 jun. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/os-5-paises-com-mais-energia-solar/>. Acesso em: 1 set. 2019.

FONTES, Ruy. Alemanha registra novos recordes na sua geração elétrica pela solar fotovoltaica e eólica. **BlueSol**, [S. l.], 4 jun. 2018. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/novo-recorde-sola-alemanha/>. Acesso em: 31 ago. 2019.

FONTES, Ruy. Painel Solar Fotovoltaico: Sua Criação e História. **BlueSol**, [S. l.], p. 1, 28 jun. 2017. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/painel-solar-sua-criacao-e-historia/>. Acesso em: 9 out. 2019.

Forsaitte: Qual é a solução que você busca para economia na sua conta de energia?, disponível em: <https://forsaitte.com.br/qual-e-a-solucao-que-voce-busca-para-economia-na-sua-conta-de-energia/>. Acesso em: 03 mar. 2020.

FÜRST, Omar. Energia Maremotriz. **Biboca Ambiental**, [S. l.], p. 2, 16 maio 2011. Disponível em: <http://bibocaambiental.blogspot.com/2011/05/1-introducao-mare-e-uma-fonte-natural.html>. Acesso em: 19 fev. 2020.

GUERREIRO, Amílcar *et al.* Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **SciELO**, [S. l.], p. 1, 25 jun. 2007. JUNIOR, J.C.C. *et al.* **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano**. Brasília: [s. n.], 2010. 624 p.

LEMOS, R. Expresso futuro: Cidade aposta em veículos elétricos e formas alternativas de energia. **Fantástico**, [S. l.], 8 set. 2019. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/7906937>. Acesso em: 14 set. 2019.

MDK Engenharia, disponível em: [mdkenergia.com.br](http://mdkenergia.com.br). Acesso em: 28 ago. 2019.

MENDES, L. Energia Solar: instalar agora ou esperar o preço cair?. **Astra solar**, [S. l.], 6 set. 2019. Disponível em: <https://astrasolar.com.br/energia-solar/energia-solar-instalar-agora-ou-esperar-o-preco-cair/>. Acesso em: 31 out. 2019.

NeoSolar, disponível em: <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica-resultado>. Acesso em: 03 mar. 2020.

NETO, Pedro Bezerra Leite *et al.* Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. **Ingeniare**, [S. l.], p. 219-232, 2011.

NÓBREGA, A. **Estudo sobre a geração de energia elétrica através das ondas do mar**. 2009. 37 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado) - Universidade Federal de Campina Grande, [S. l.], 2009.

NTC-71: Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição, disponível em: <https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/one-hub-brasil---2018/nomas-t%C3%A9cnicas-goi%C3%A1s/normas-t%C3%A9cnicas/NTC71.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2020.

PINHO, J. *et al.* **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S. l.: s. n.], 2014.

PIMENTEL, L. *et al.* O impacto nas variações das matrizes energéticas. **REAd**, [S. l.], 5 mar. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-23112017000200306](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-23112017000200306). Acesso em: 28 out. 2019.

PONTE, G. *et al.* **Teoria Geral dos Sistemas**. UECE, [S. l.], 5 jul. 2011. Disponível em: <http://admuecediurno2011.blogspot.com/2011/07/teoria-geral-dos-sistemas.html>. Acesso em: 29 out. 2019.

REIS, P. Manual e Guia Técnico de Energia Solar Fotovoltaica. **Portal Energia**, [S. l.], 26 fev. 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/manual-e-guia-tecnico-de-energia-solar-fotovoltaica-tecnologias-projecto-e-instalacao/>. Acesso em: 2 nov. 2019.

REIS, Pedro. Como funciona um Aerogerador. **Portal Energia**, [S. l.], p. 1, 14 abr. 2016. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/funcionamento-de-um-aerogerador/>. Acesso em: 3 mar. 2020.

REIS, Pedro. O que é a energia da Biomassa: Tudo sobre Biomassa. **Portal Energia**, [S. l.], p. 1, 20 abr. 2016. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/o-que-e-energia-biomassa/>. Acesso em: 7 mar. 2020.

REUTERS, T. Subsídios de combustíveis fósseis estão destruindo o mundo. **Exame**, [S. l.], 28 maio 2019. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/economia/subsidios-de-combustiveis-fosseis-estao-destruindo-o-mundo-diz-onu/>. Acesso em: 26 out. 2019.

SBAMPATO, Fernando Cesar Sotero. **Eletrificação rural utilizando o sistema de energia solar fotovoltaica**. 2008. Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Formas Alternativas de Energia da Universidade Federal de Lavras, 2008.

SILVA, Thiago. Tudo sobre energia solar tipos de sistema on grid off grid e híbrido. **Silvatronics**, [S. l.], p. 1, 26 maio 2020. Disponível em: <https://blog.silvatronics.com.br/tudo-sobre-energia-solar/>. Acesso em: 2 mar. 2020

SILVA, S. *et al.* Fontes renováveis: geração de energia elétrica a partir do bagaço da cana-de-açúcar. **Educação Ambiental**, [S. l.], 30 maio 2017. Disponível em: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=2720>. Acesso em: 27 out. 2019.

SØRENSEN, Bent. *Renewable energy: Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects*. 3. ed. Londres: Elsevier Science, 2004.

TIBA, Chigueru *et al.*, (ed.). **Atlas Solarimétrico do Brasil**. [S. l.: s. n.], 2000. Atlas.

TOLMASQUIM, M. T. (Org.). *Fontes Renováveis de Energia no Brasil*. 2003.

VALLÊRA, A. *et al.* Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta**, [S. l.], 30 dez. 2006. Disponível em: <http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2019.

VICHI, Flavio Maron *et al.* Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **SciELO**, [S. l.], p. 1, 2 abr. 2009.