

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS**  
**Programa de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica**

DAYSE ANNE LEITE DUTRA  
SHAYANE MAYRE DA SILVA CAMPOS  
VANÁRIA ALVES DOS SANTOS

**USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO MEIO DE  
SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

BELO HORIZONTE - MG  
JUNHO/2022

DAYSE ANNE LEITE DUTRA  
SHAYANE MAYRE DA SILVA CAMPOS  
VANÁRIA ALVES DOS SANTOS

## **USO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO MEIO DE SUSTENTABILIDADE E ECONOMIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG), como requisito para obtenção de título de bacharel em Engenharia Civil

Área de concentração: Civil

BELO HORIZONTE - MG  
JUNHO/2022

## RESUMO

O presente trabalho tem por finalidade estudar as vantagens e desvantagens do uso da geração de energia fotovoltaica, gerada através de placas solares, já que no futuro, a energia convencional poderá ser prejudicada, devido aos grandes períodos de seca que vêm ocorrendo cada vez mais.

**Palavras-chave:** Energia Fotovoltaica. Placas solares. Energia limpa.

## **ABSTRACT**

The purpose of the present work is to study the advantages and disadvantages of the use of photovoltaic energy generation, generated through solar plates, since in the future, conventional energy may be harmed due to the great periods of drought that have been occurring more and more.

Keywords: Photovoltaics. Solar plates. Clean energy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Geração de energia elétrica mundial por fonte (%) em 2018.....	15
Figura 2 – Tarifas Médias de Energia Elétrica em 2019 - Industrial.....	17
Figura 3 – Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil em 2020.....	18
Figura 4 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW) .....	18
Figura 5 – Órbita da Terra em torno do sol, com seu eixo N-S inclinado à 23,5° .....	20
Figura 6 – Coordenadas de orientação à superfície.....	21
Figura 7 – Trajetória dos raios de Sol na atmosfera e definição do coeficiente de Massa de Ar (AM) .....	23
Figura 8 – Gráficos das horas de sol pico.....	24
Figura 9 – Mapas de Radiação Solar 1.....	25
Figura 10 – Mapas de Radiação Solar 2.....	25
Figura 11 – Esquema de uma casa com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.....	29
Figura 12 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) .....	30
Figura 13 – Fluxo para aderir ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	31
Figura 14 – Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.....	32
Figura 15 – Ranking Estadual de Geração Distribuída em 2021.....	33
Figura 16 – Geração Distribuída Solar FV no Brasil por Classe de Consumo.....	34
Figura 17 – Análise com as elevações das diferentes posições do sol, nas diferentes estações do ano.....	39
Figura 18 – Posição do sol nas diferentes estações do ano.....	40
Figura 19 – Sistema conectado à rede.....	41
Figura 20 – Painel solar monocristalino.....	42
Figura 21 – Painel solar policristalino.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração hidrelétrica no mundo.....	16
Tabela 2 – Tarifas Médias por Classe de Consumo (R\$/MWh) .....	19
Tabela 3 – Geração solar no mundo - 10 maiores países em 2018 (TWh) .....	27
Tabela 4 – Preços médios totais da instalação de sistema fotovoltaico.....	45
Tabela 5 – Tarifas média por região.....	53

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Utilização do sistema fotovoltaico em 25 anos, sem o reajuste anual da tarifa.....	53
Gráfico 2 – Custo mensal da energia elétrica com reajuste anual.....	54
Gráfico 3 – Custo anual total da energia elétrica, com reajuste anual.....	54
Gráfico 4 – Utilização do sistema fotovoltaico em 25 anos, com o reajuste anual da tarifa.....	55

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABSOLAR – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

BEN – Balanço Energético Nacional

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CEO – Diretor executivo

CEP – Código de endereçamento postal

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética

CNPJ – Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica

CPF – Cadastro de Pessoas Físicas

EIA – U.S. Energy Information Administration

EMUC – Empreendimento de múltiplas unidades consumidoras

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

GD – Geração Distribuída

HSP – Horas de Sol a Pico

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

IEA PVPS – International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme

ISA – International Solar Alliance

MME – Ministério de Minas e Energia do Brasil

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

PERS – Programa de Energia Renovável Social

PL – Projeto de Lei

PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional

REN – Resolução Normativa

REN21 – Renewable Energy Policy Network for the 21st Century

SCEE – Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SWERA – Solar and Wind Energy Resource Assessment

TFPV – Células fotovoltaicas de película fina

## LISTA DE SÍMBOLOS

AM – Massa de Ar  
a-Si – Painel solar de silício amorfo  
CH<sub>4</sub> – Gás metano  
G – Irradiância solar  
GW – Giga Watt  
Hz – Hertz  
kW – Quilowatts.  
kWh – Quilowatt-hora.  
kWh/m<sup>2</sup> – Quilowatt-hora por metro quadrado.  
kWp – Quilowatt-pico.  
mc-Si – multi-cristalino  
mono-Si – Painel solar de silício monocristalino  
MW – Mega Watt  
MWh – Mega Watt hora  
n<sup>o</sup> – número  
p-Si – Polissilício  
R\$ – Real  
TWh – Tera Watt hora  
US\$ – Dólar  
US\$/W – Dólar por Watt  
V – Volt  
W/m<sup>2</sup> – Watt por metro quadrado  
δ – Declinação Solar  
γ – Ângulo de Incidência  
aw – Ângulo Azimutal de Superfície  
as – Ângulo Azimutal do Sol  
α – Altura Solar  
β – Inclinação

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Problema de pesquisa.....	12
1.2. Contexto do problema .....	12
1.3. Objetivos .....	13
1.3.1. Objetivo geral .....	13
1.3.2. Objetivos específicos .....	13
1.4. Justificativa .....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
2.1. Energia Elétrica .....	15
2.1.1. <i>Cenário Elétrico Mundial</i> .....	15
2.1.2. <i>Cenário Elétrico Brasileiro</i> .....	17
2.1.3. <i>Custo com a energia elétrica no Brasil</i> .....	19
2.2. Energia solar .....	19
2.2.1. <i>Radiação solar</i> .....	19
2.2.2. <i>Utilização da energia solar</i> .....	26
2.2.2.1. <i>Energia solar térmica</i> .....	26
2.2.2.2. <i>Energia solar heliotérmica</i> .....	26
2.2.2.3. <i>Energia solar fotovoltaica</i> .....	26
2.2.2.4. <i>As células fotovoltaicas</i> .....	27
2.2.2.5. <i>Módulos fotovoltaicos</i> .....	28
2.2.2.6. <i>Sistemas fotovoltaicos</i> .....	28
2.2.3. <i>A questão ambiental</i> .....	28
2.2.4. <i>Geração distribuída</i> .....	29
2.2.5. <i>Panorama nacional da utilização da energia solar fotovoltaica</i> .....	32
2.2.5.1. <i>Legislação brasileira</i> .....	35
2.3. A implantação do sistema de geração.....	38
2.3.1. <i>Tecnologias disponíveis no mercado</i> .....	42
2.3.1.1. <i>Painel solar fotovoltaico de silício monocristalino</i> .....	42
2.3.1.2. <i>Painel solar fotovoltaico de silício policristalino</i> .....	43
2.3.1.3. <i>Células de filme fino: tecnologia que reduz custos e materiais</i> .....	43
2.3.2. <i>Custo médio de implantação no brasil</i> .....	44
3. METODOLOGIA .....	46
3.1. Pesquisa quanto aos fins .....	46

3.2. Pesquisa quanto aos meios .....	47
3.3. Área em estudo .....	47
3.4. Formas de coleta e análise de dados.....	48
3.5. Limitação de pesquisa.....	49
4. PESQUISA .....	50
4.1. Vantagens e desvantagens da energia convencional (hidrelétrica).....	50
4.2. Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica .....	51
4.3. Comparação dos dados apresentados, apontado os melhores custos- benefícios e a viabilidade de implantação da energia solar fotovoltaica .....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6. REFERÊNCIAS .....	57

## **1. INTRODUÇÃO**

Com o crescimento da população mundial e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica, existe uma demanda crescente e uma expectativa global de investir na produção de energia limpa e renovável para reduzir os impactos e as agressões ao meio-ambiente.

Além disso, com a ameaça da escassez de água, recurso natural finito que é a principal fonte de energia elétrica utilizada no Brasil, existe um aumento progressivo do custo para geração e distribuição da eletricidade, que tem ocasionado um grande impacto econômico para a sociedade.

Uma vez que a radiação solar é uma fonte natural inesgotável, considerada a mais abundante dentre as outras, o interesse pela utilização deste recurso tem crescido bastante. Porém, é de conhecimento público que a implantação deste tipo de geração tem um alto custo, além de não ser possível, de modo satisfatório, a geração de energia em dias nublados ou durante a noite.

Assim, o presente projeto tem por objetivo identificar por meio de estudos, pesquisas, análises bibliográficas e normas regulamentadoras, quais são os impactos sociais, ambientais e econômicos ao se utilizar a energia solar fotovoltaica como fonte de geração de energia elétrica no ramo da construção civil, bem como fazer uma comparação em relação aos custos, capacidade e qualidade da geração deste tipo de energia com a utilização da fonte convencional (hidrelétricas).

### **1.1. Problema de pesquisa**

A Implantação da energia solar fotovoltaica no setor da construção civil é capaz de reduzir o alto custo da energia elétrica no Brasil, e ao mesmo tempo contribuir para o meio ambiente?

### **1.2. Contexto do problema**

A população atual deseja um meio alternativo de geração de energia que seja auto sustentável e com um custo relativamente inferior ao da energia elétrica convencional, visto que o Brasil ocupa atualmente uma das primeiras posições no ranking de energia elétrica mais cara do mundo.

### **1.3. Objetivos**

#### *1.3.1. Objetivo geral*

Comparar vantagens e desvantagens da utilização da energia solar fotovoltaica com a energia convencional usada no Brasil (hidrelétrica), em projetos residenciais e comerciais de construção civil para valorizar o empreendimento.

#### *1.3.2. Objetivos específicos*

- Apresentar as vantagens e desvantagens da utilização da energia solar fotovoltaica;
- Apresentar as vantagens e desvantagens da utilização da energia convencional (hidrelétrica);
- Comparar os dados apresentados, apontado os melhores custos-benefícios e a viabilidade de implantação, nos projetos de construção civil.

### **1.4. Justificativa**

Este projeto de pesquisa tem a finalidade de mostrar a importância de se pensar em soluções alternativas para geração de energia limpa como forma de contribuir para o desenvolvimento sustentável mundial e, ao mesmo tempo, gerar economia ao consumidor deste sistema.

Estudar a implantação deste tipo de energia nos projetos pode trazer grandes benefícios para a Engenharia Civil, pois o empreendimento se torna valorizado e atrativo, além de o projeto se destacar no mercado da construção.

Este trabalho também tem grande importância para o grupo de pesquisa, uma vez que a população mundial clama por sustentabilidade e economia, e este estudo leva a novas ideias para um futuro promissor e inovador.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Energia Elétrica

#### 2.1.1. Cenário Elétrico Mundial

Os combustíveis fósseis são a fonte primária da geração de energia elétrica dos países, segundo dados publicados pelo BEN – Balanço Energético Nacional 2021, ano base 2020. A Figura 1 mostra que a geração de energia elétrica mundial em 2018 foi um total de 25.474 TWh, e que 63,5% deste valor deriva de combustíveis fósseis, 10% das usinas nucleares, 16,3% das hidrelétricas e 10,2% de outras fontes renováveis. (EIA, 2017).

Tais informações revelam a enorme dependência por combustíveis fósseis, o que gera preocupação com a emissão dos gases de efeito estufa, levando um maior apoio e atenção às políticas de energia renovável.

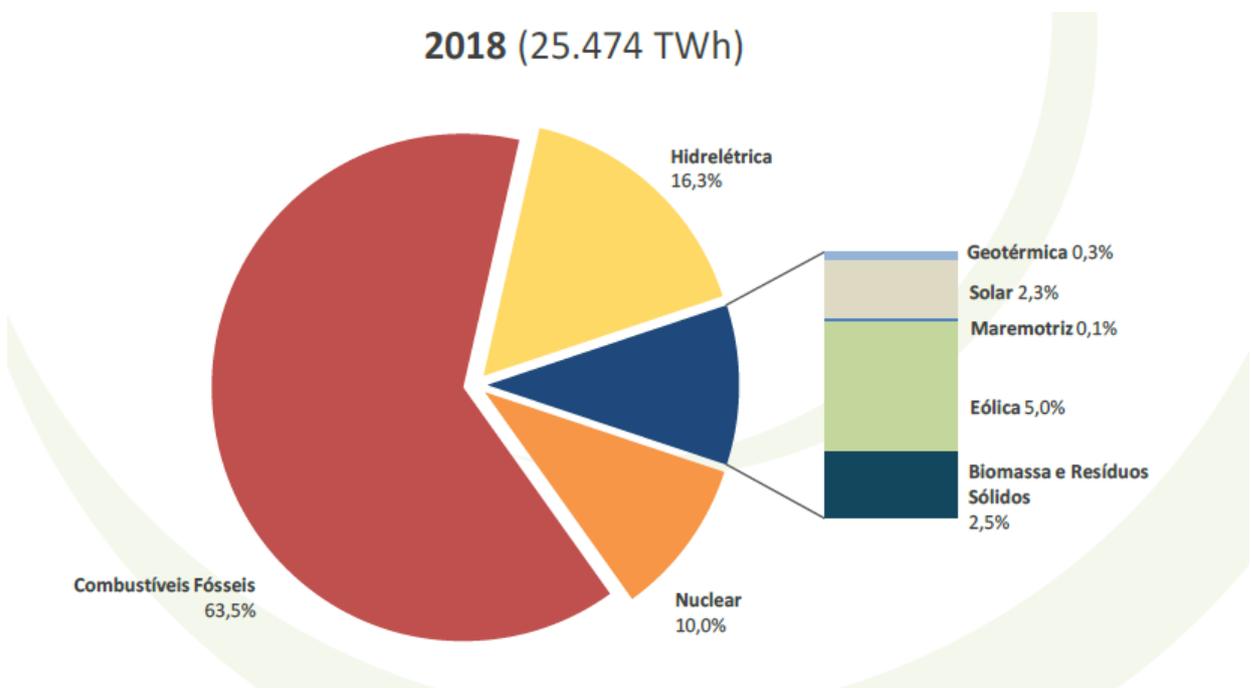


Figura 1 – Geração de energia elétrica mundial por fonte (%) em 2018.  
Fonte: BEN – Balanço Energético Nacional 2021; Elaboração EPE

Segundo o EIA (2018) (U.S. Energy Information Administration) o Brasil é o oitavo país com a maior geração de energia elétrica no mundo, responsável por 2,4% deste total. Além disso, é o terceiro país com a maior capacidade instalada de geração renovável, totalizando aproximadamente 137 GW (Balanço Energético Nacional – BEN 2021). Isto se deve à grande bacia hidrográfica brasileira, que faz com que o país seja a segunda maior nação a gerar eletricidade através de hidrelétricas, como descrito na Tabela 1 (Soares *et. al.*, 2021).

	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2017)	Part. % (2018)
<b>Mundo</b>	<b>1.169</b>	<b>1.204</b>	<b>1.242</b>	<b>1.268</b>	<b>1.288</b>	<b>1,6</b>	<b>100,0</b>
China	305	319	332	344	352	2,5	27,3
Brasil	89	92	97	100	104	3,8	8,1
Estados Unidos	102	102	103	103	103	0,1	8,0
Canadá	75	79	80	81	81	0,2	6,3
Rússia	51	51	52	52	53	2,6	4,1
Japão	50	50	50	50	50	0,1	3,9
Índia	41	43	48	49	50	1,1	3,9
Noruega	31	31	32	32	33	1,9	2,5
Turquia	24	26	27	27	28	3,7	2,2
França	26	26	26	26	26	0,3	2,0
Outros	375	384	397	405	409	1,0	31,7

Tabela 1 – Capacidade instalada de geração hidrelétrica no mundo.  
Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN 2021; Elaboração EPE

A Figura 2 mostra que em 2019 o Brasil era o nono país com a tarifa média industrial mais cara do mundo, segundo a IEA (Agência Internacional de Energia).



Figura 2 – Tarifas Médias de Energia Elétrica em 2019.  
 Fonte: Balanço Energético Nacional – BEN 2021; Elaboração EPE

Porém, no ano de 2020, o país passou a ocupar a segunda posição neste ranking, ficando atrás somente da Alemanha (IEA, 2022).

### 2.1.2. Cenário Elétrico Brasileiro

O sistema elétrico nacional é basicamente hidrotérmico, com forte predominância de usinas hidroelétricas (PEREIRA *et al.*,2017). Como citado na Figura 3 (Balanço Energético Nacional - BEN 2020), a fonte hidráulica representa 64% do total gerado, gás natural 9%, derivados do petróleo 1%, carvão 2%, nuclear 2%. Biomassa 9%, eólica 9%, solar 2%, outras 2%.

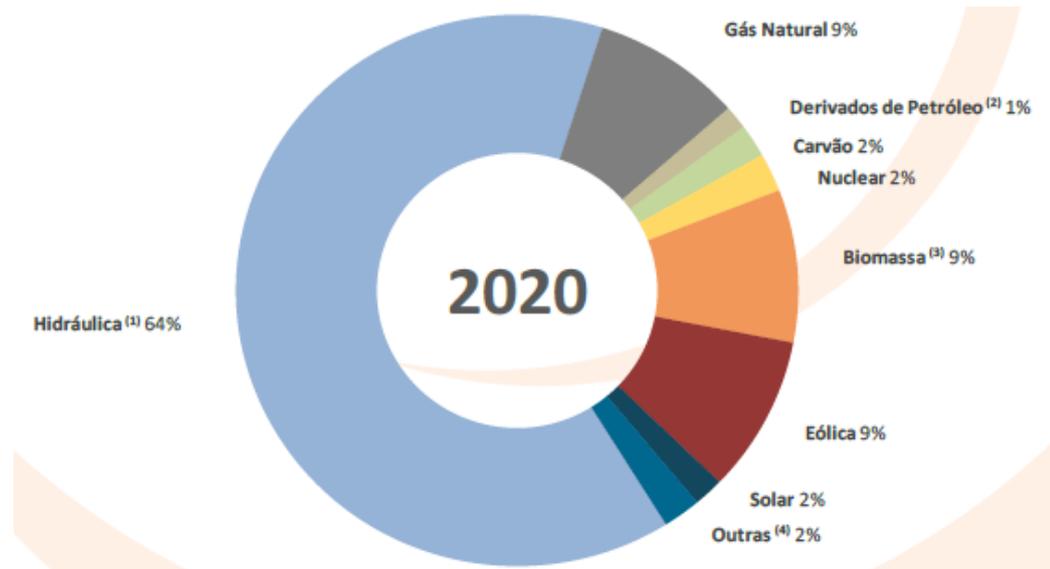


Figura 3 – Geração de Energia Elétrica por Fonte no Brasil em 2020  
 Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2020; Elaboração: EPE

A Figura 4 mostra a capacidade instalada de geração elétrica no Brasil em 2020, segundo a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN), a energia solar fotovoltaica sofreu um aumento de 187,1% em relação ao ano anterior, fazendo com que a micro e minigeração distribuída alcançasse 4.635 MW de potência instalada.

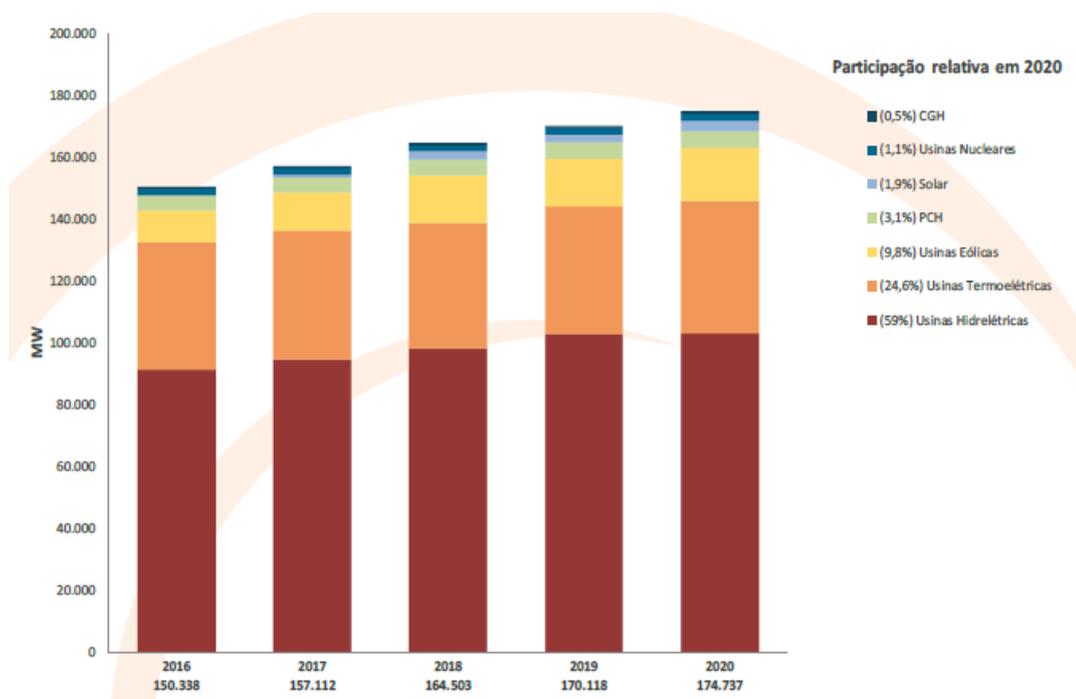


Figura 4 – Capacidade instalada de geração elétrica no Brasil (MW)  
 Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2020; Elaboração: EPE

### 2.1.3. Custo com a energia elétrica no Brasil

A atuação das hidrelétricas na matriz elétrica brasileira torna o sistema elétrico nacional distinto no que diz respeito às questões de impactos ambientais e emissões de gases de efeito estufa. Porém, a hidroeletricidade, apesar de ser uma fonte de energia renovável, está condicionada à interferência de fatores climáticos. Dessa forma, os níveis de água acumulada nos reservatórios em períodos de menor incidência de chuvas podem atingir valores críticos sob o ponto de vista da segurança energética. Com isso, a oferta de energia diminui, acarretando o crescimento do risco de falha no sistema energético e provocando elevação dos preços da energia no país. Além disso, nos períodos de escassez hídrica, ou seca, a utilização dessa água com o propósito de gerar energia, impacta criticamente no uso desse recurso para outros fins, tais como abastecimento da população ou agricultura. (PEREIRA et al.,2017)

Na tabela 2 são apresentadas as tarifas médias (R\$/MWh) por classe de consumo nos anos de 2016 a 2020.

	2016	2017	2018	2019	2020	Δ% (2020/2019)	Δ% (2020/2012)
Residencial	454,33	453,47	511,70	551,16	533,96	-3,1	60,1
Industrial	392,94	397,12	451,66	479,16	476,95	-0,5	85,3
Comercial	444,78	446,68	504,10	541,88	540,15	-0,3	75,6
Rural	307,13	313,70	348,71	386,48	394,76	2,1	93,0
Poder Público	455,18	457,91	516,23	552,52	553,49	0,2	67,9
Iluminação Pública	259,36	267,98	307,00	325,48	316,12	-2,9	73,2
Serviço Público	344,49	345,95	385,86	413,74	412,33	-0,3	86,6
Consumo Próprio	459,39	463,56	514,19	552,35	554,90	0,5	72,1

Tabela 2 – Tarifas Médias por Classe de Consumo (R\$/MWh)  
Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2020; Elaboração: EPE

## 2.2. Energia solar

### 2.2.1. Radiação solar

O planeta Terra se movimenta em uma órbita elíptica em torno do sol, gerando um eixo de rotação que forma um ângulo de  $23,5^\circ$  com o plano equatorial (Figura 5). Este ângulo é responsável pela variação da elevação do sol no horizonte à mesma hora anualmente, e conseqüentemente, pela duração do dia e da noite nas diferentes estações do ano (BRAGA, R. P., 2008).

O ângulo formado entre a posição do sol e o equador, ao meio dia solar, é chamada de Declinação Solar ( $\delta$ ) e varia de acordo com o dia do ano, com valores entre:

$$-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$$

Sendo:

- Positivo ao Norte
- Negativo ao Sul.

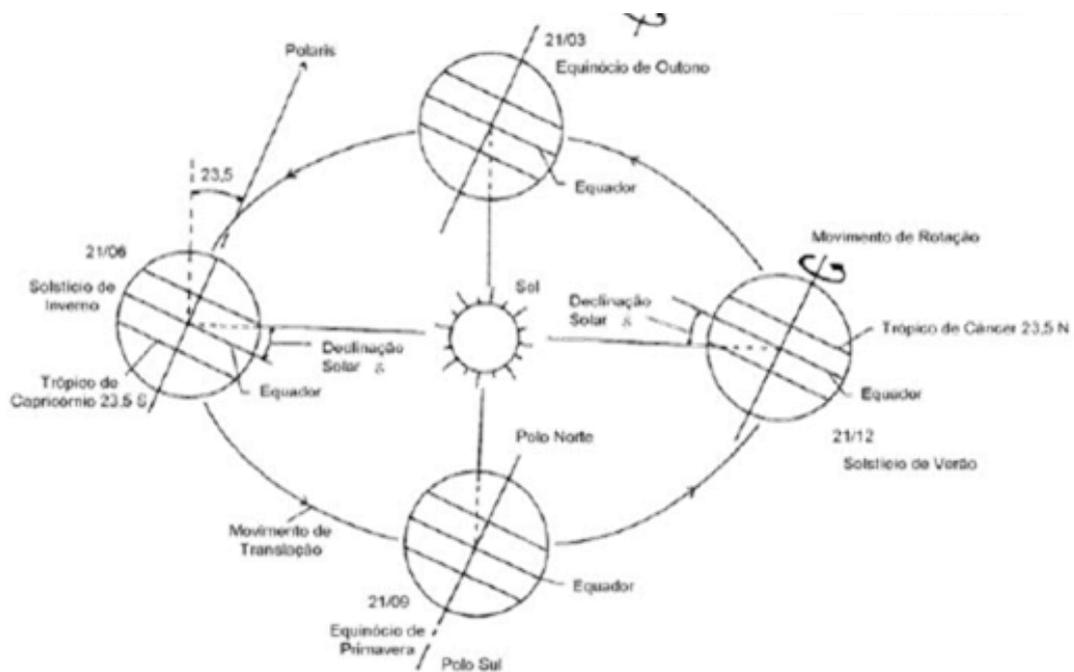


Figura 5 – Órbita da Terra em torno do sol, com seu eixo N-S inclinado à  $23,5^\circ$   
 Fonte: CRESESB, 2012

Através da latitude e da declinação de um local, é possível determinar a trajetória do sol no céu, para um dia específico.

Na Figura 6 é possível observar as relações geométricas entre os raios solares e a superfície da Terra. O conhecimento desses termos é extremamente importante para o aproveitamento de energia solar.

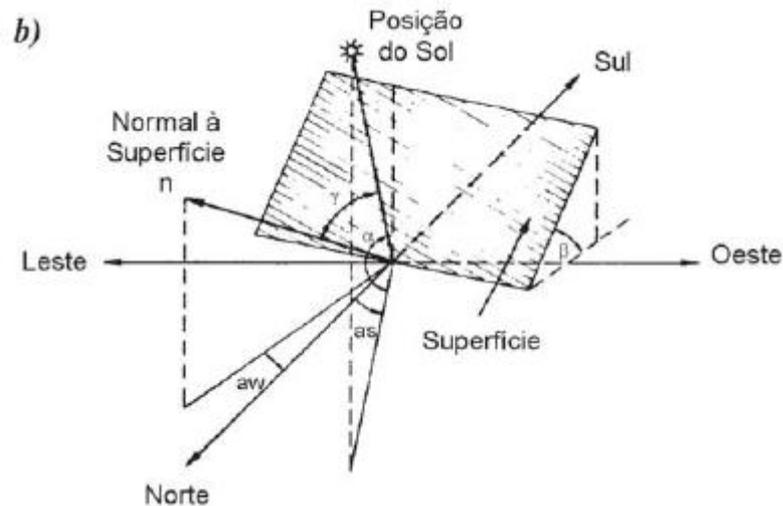


Figura 6 – Coordenadas de orientação à superfície  
Fonte: CRESESB, 2012

Estas relações geométricas (ângulos) variam de acordo com o movimento aparente do sol na abóbada celeste:

- Ângulo de Incidência ( $\gamma$ ): formado entre os raios solares e a projeção da normal à superfície de captação. Quanto menor esse ângulo, maior a energia captada.
- Ângulo Azimutal de Superfície ( $aw$ ): ângulo entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal e a direção norte-sul. É convencionalmente o azimute  $0^\circ$  como sendo o Sul, e o azimute  $180^\circ$  como sendo o Norte.  
O ângulo Azimutal de superfície estará entre:  $-180^\circ \leq aw \leq 180^\circ$
- Ângulo Azimutal do Sol ( $as$ ): ângulo formado entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção norte-sul. Os azimutes tem as mesmas convenções citadas acima.
- Altura Solar ( $\alpha$ ): ângulo entre os raios solares e a projeção do mesmo sobre um plano horizontal.
- Inclinação ( $\beta$ ): ângulo entre o painel solar e o plano horizontal.

Segundo a norma técnica brasileira ABNT NBR 10899:2006 a radiação solar é definida como a forma de transferência de energia proveniente do sol através da irradiação de ondas eletromagnéticas ou fótons, irradiação solar como a quantidade de radiação incidente em uma superfície durante um intervalo de tempo específico, e a irradiância solar é a densidade solar que incide em uma superfície por unidade de tempo, medida em watt por metro quadrado ( $W/m^2$ ) e tem como símbolo "G". Este é o parâmetro utilizado para estimar a quantidade de energia elétrica que um sistema fotovoltaico é capaz de produzir.

A energia proveniente do Sol anualmente é da ordem de  $1,5 \times 10^5$  kWh o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo período. Isto mostra que a radiação do sol é uma inesgotável fonte de energia, com enorme potencial de utilização (RÜTHER 2004) e é a maior fonte de energia para o planeta (J. PINHO e M. GALDINO, 2014).

A intensidade da radiação solar que alcança o solo no plano horizontal depende da localização geográfica, das condições atmosféricas e da estação do ano. A camada atmosférica, que age como um filtro, será mais ou menos espessa de acordo com a elevação do sol no momento da medição. Quanto mais espessa ela for, menor será a irradiância solar no chão. Essa espessura é medida através de um coeficiente conhecido como Massa de Ar (AM), e influencia através dos efeitos de absorção e dispersão (RAYLEIGH E MIE). A poluição atmosférica potencializa esses efeitos.

O valor da Massa de Ar (AM) pode ser encontrado através da seguinte equação:

$$AM = \frac{1}{\cos \theta} \quad \text{Equação (1)}$$

A Figura 7 ilustra a trajetória dos raios solares na atmosfera, além de definir o coeficiente de AM.

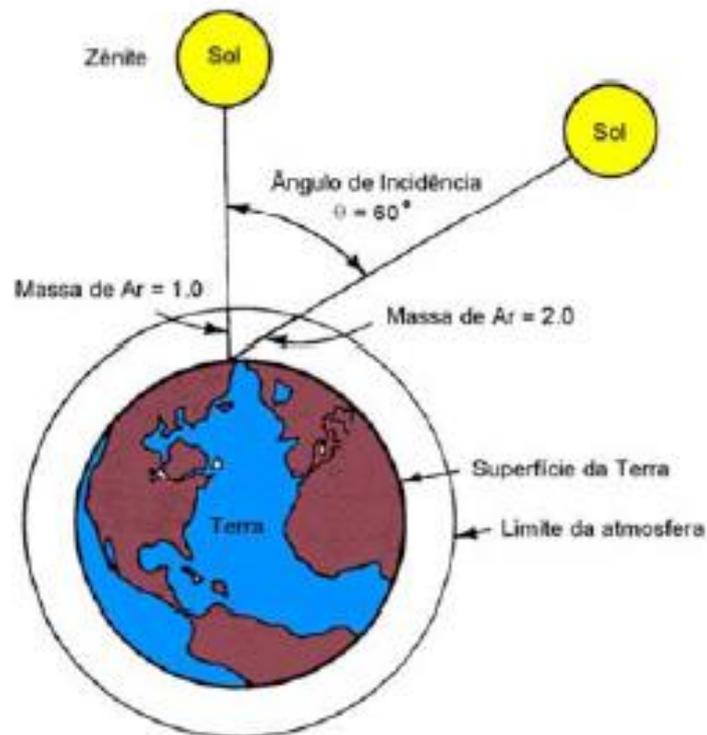


Figura 7 – Trajetória dos raios de Sol na atmosfera e definição do coeficiente de Massa de Ar (AM)  
 Fonte: CRESESB, 2012.

Radiação Direta é a radiação que vem diretamente do sol e a Radiação Difusa é aquela que vem da esfera celeste (abóbada). Além disso, temos também a Radiação de *Albedo*, que é a energia solar refletida da Terra por um corpo ou superfície. A soma dessas Irradiações é chamada de Irradiação Solar Total.

Radiação Direta é a radiação que vem diretamente do sol e a Radiação Difusa é aquela que vem da esfera celeste (abóbada). Além disso, temos também a Radiação de *Albedo*, que é a energia solar refletida da Terra por um corpo ou superfície. A soma dessas Irradiações é chamada de Irradiação Solar Total. (BLUESOL, 2016)

A Radiação do sol é variável durante o dia. A partir do momento em que o sol nasce no horizonte até quando ele se põe, a radiação vai do mínimo ao máximo (meio-dia solar) e de volta ao mínimo. O meio-dia solar ocorre quando os raios de sol estão projetados na direção Norte-Sul no meridiano local e na maioria das vezes esse horário será diferente do meio-dia no horário civil (BLUESOL, 2016).

A máxima Irradiância que chega à superfície da Terra é em torno de  $1.000 \text{ W/m}^2$  (PINHO, 2014).

Na Figura 8 é possível observar as horas em que a Irradiância é próxima ou igual a  $1000 \text{ W/m}^2$  e as horas de sol a pico (HSP), compreendidas entre duas e três horas antes e depois do meio-dia solar (em um dia médio) (CRESESB, 2012).

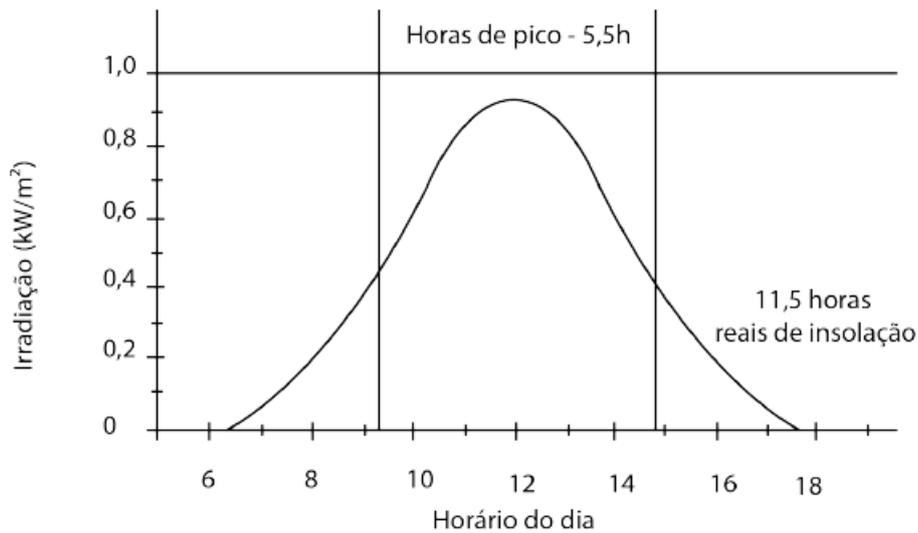


Figura 8 – Gráficos das horas de sol pico.  
Fonte: CRESESB, 2012.

Esses valores são importantes para o cálculo e o dimensionamento dos sistemas fotovoltaicos, pois assim é possível descobrir as horas que um painel fotovoltaico estará gerando o máximo de energia durante o dia. (CRESESB, 2012)

É importante mencionar que a presença das nuvens influencia na Irradiância Direta, o que pode fazer com que, mesmo ao meio-dia-solar, seja captada menos energia que no começo da manhã ou no fim de tarde.

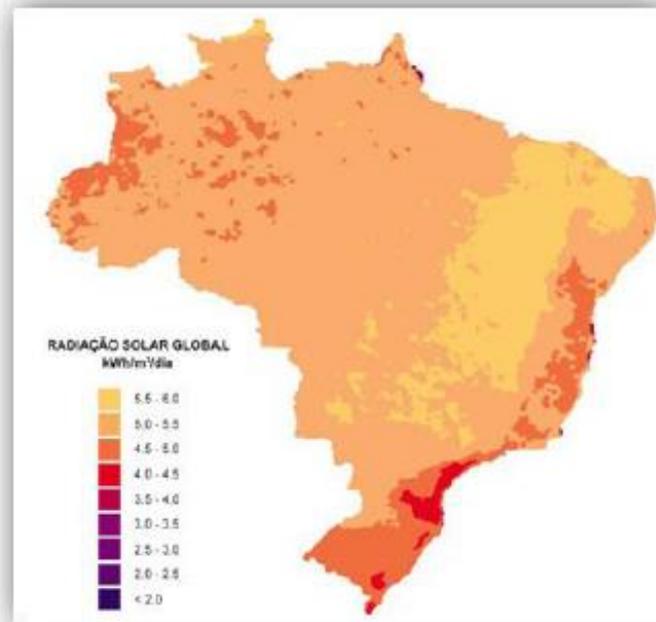


Figura 9 – Mapas de Radiação Solar 1  
Fonte: CRESESB, 2012.

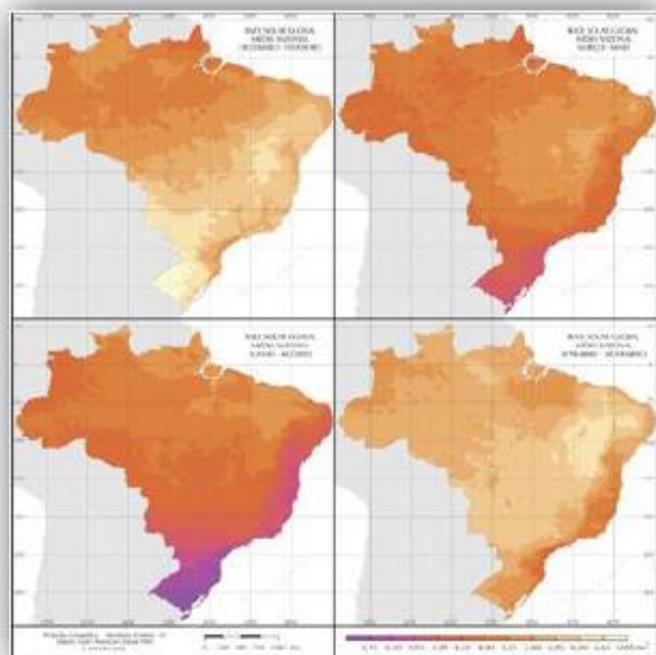


Figura 10 – Mapas de Radiação Solar 2  
Fonte: CRESESB, 2012.

O Atlas Brasileiro de Energia Solar (Figuras 9 e 10) – produzido pela Universidade Federal de Santa Catarina em conjunto/para com o Projeto SWERA apresenta os dados chamados de Horas de Sol Pico (HSP) ou Horas de Sol Pleno em kWh/m².

## 2.2.2. Utilização da energia solar

### 2.2.2.1. Energia solar térmica

Entende-se por energia solar térmica a energia que um corpo é capaz de absorver, em forma de calor, a partir da incidência da radiação solar sobre o mesmo. (J. PINHO e M. GALDINO, 2014). Para a obtenção desta energia, são utilizados os aquecedores de fluidos líquidos ou gasosos, popularmente conhecidos como coletores solares.

### 2.2.2.2. Energia solar heliotérmica

Entende-se por energia heliotérmica aquela que é gerada a partir de espelhos direcionados que refletem e concentram a irradiação solar em um ponto ou tubulação, por onde circula um fluido que é aquecido para produzir vapor em uma termelétrica. Este fluido aquecido pode ser armazenado, assim, sendo possível a geração de energia em horários de pouca insolação e alta demanda (BRITO, S. S, 1999).

Este tipo de geração ainda não é utilizado no Brasil, porém, existia no mundo em 2016, 4,8GW de capacidade instalada, sendo que a Espanha tem 2,3GW e os EUA 1,7GW deste total. (REN21, 2016).

De modo geral, somente locais com baixa nebulosidade e disponibilidade de irradiação solar anual acima de 2000 kWh/m<sup>2</sup> possuem potencial para geração heliotérmica (Schlecht e Meyer, 2012). No país esses valores anuais somente são encontrados na região do semiárido nordestino, como já foi detalhado por Velasquez *et al.* (2020).

### 2.2.2.3. Energia solar fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é produzida a partir da incidência da luz do sol, que é convertida em eletricidade através das células fotovoltaicas. (J. PINHO e M. GALDINO, 2014). De forma simplificada, um painel solar funciona permitindo que os fótons (partículas de luz) liberem os elétrons dos átomos, gerando um fluxo elétrico.

A energia solar fotovoltaica pode ser gerada em pequena escala nos telhados das residências (microgeração), ou em larga escala nas grandes usinas solares.

Conforme a Tabela 3, no mundo havia em 2018 um total 575 TWh de geração sendo a China a líder com 177 TWh, seguida pelos Estados Unidos com 93 TWh (BEN, 2021). No Brasil, o uso de energia solar fotovoltaica vem crescendo bastante, principalmente para microgeração, e os leilões de energia governamentais já contemplam essa fonte, sendo que em 2018 o Brasil teve 3 TWh gerados no total.

	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2017)	Part. % (2018)
<b>Mundo</b>	<b>202</b>	<b>263</b>	<b>345</b>	<b>461</b>	<b>575</b>	<b>24,6</b>	<b>100,0</b>
China	29	45	75	131	177	34,9	30,8
Estados Unidos	29	39	55	77	93	20,8	16,2
Japão	23	35	46	55	63	13,8	10,9
Alemanha	36	39	38	39	46	16,2	8,0
Índia	6	10	19	26	40	52,6	6,9
Itália	22	23	22	24	22	-7,3	3,9
Reino Unido	4	8	10	11	13	12,0	2,2
Espanha	13	13	13	14	12	-11,3	2,1
França	6	8	9	10	11	10,2	1,8
Austrália	4	5	6	8	10	23,0	1,7
Brasil (20 <sup>o</sup> )	0	0	0	1	3	316,9	0,6
Outros	29	39	52	65	88	35,1	15,4

Tabela 3 – Geração solar no mundo - 10 maiores países em 2018 (TWh)  
Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN) 2020; Elaboração: EPE.

#### 2.2.2.4. As células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são responsáveis pela conversão direta da luz do sol em eletricidade. As primeiras células produzidas possuíam um rendimento de apenas 2%, e custavam em média US\$ 600/W. Entretanto, nos dias atuais já é possível encontrar células com rendimento acima de 10% podendo alcançar até 18% dependendo do

material utilizado na fabricação e com custo médio de US\$ 0,60/W, tendendo a diminuir cada vez mais (GREENER, 2021). Elas podem ser fabricadas com diversos tipos de materiais semicondutores, porém as mais utilizadas são as de silício.

#### *2.2.2.5. Módulos fotovoltaicos*

Uma célula fotovoltaica fornece pouca energia elétrica, gerando uma baixa tensão (no máximo 0,4 volts) e corrente de saída. Para que seja possível obter os valores adequados é necessário fazer o agrupamento de várias células, formando um módulo fotovoltaico (ou painéis fotovoltaicos). O número de células agrupadas em um módulo e o tipo de arranjo dependerão da tensão de utilização e a potência desejada (BRAGA, R. P., 2008).

#### *2.2.2.6. Sistemas fotovoltaicos*

Um sistema fotovoltaico de geração de energia é composto por módulos fotovoltaicos (conjunto de células fotovoltaicas) e por um grupo de equipamentos complementares, como baterias, controladores de carga, inversores e outros equipamentos de proteção. Esses componentes podem variar de acordo com a aplicação desejada (BRAGA, R. P., 2008).

#### *2.2.3. A questão ambiental*

É notório que a população mundial deseja e, acima de tudo, necessita de uma geração de energia limpa que, ao mesmo tempo em que preserva o meio ambiente, seja de uma fonte inesgotável, para que não haja crise de recursos futuramente. Diante disso a energia solar é, dentre outras fontes renováveis, uma ótima alternativa, em função da não emissão de gases de efeito estufa durante o funcionamento (MME/EPE, 2021).

Segundo o Ministério de Minas e Energia do Brasil e a Empresa de Pesquisa Energética (2020) estão previstos muitos avanços tecnológicos na produção de células e módulos, diminuição de área para instalação, diminuição da demanda de água para limpeza e diminuição e reciclagem dos materiais descartados. Isso faz com

que o setor fotovoltaico aumente a sua competitividade na matriz elétrica mundial e favorecendo diretamente a preservação do meio ambiente.

#### 2.2.4. Geração distribuída

Segundo Câmara (2011), a geração distribuída (GD) consiste na energia produzida diretamente nos locais de consumo ou próximo a eles. No caso da fotovoltaica, a energia elétrica é produzida através de módulos e chega à edificação por um inversor CC/CA interligado com a rede de distribuição em baixa tensão. A Figura 11 mostra um sistema fotovoltaico de geração distribuída de uma residência.

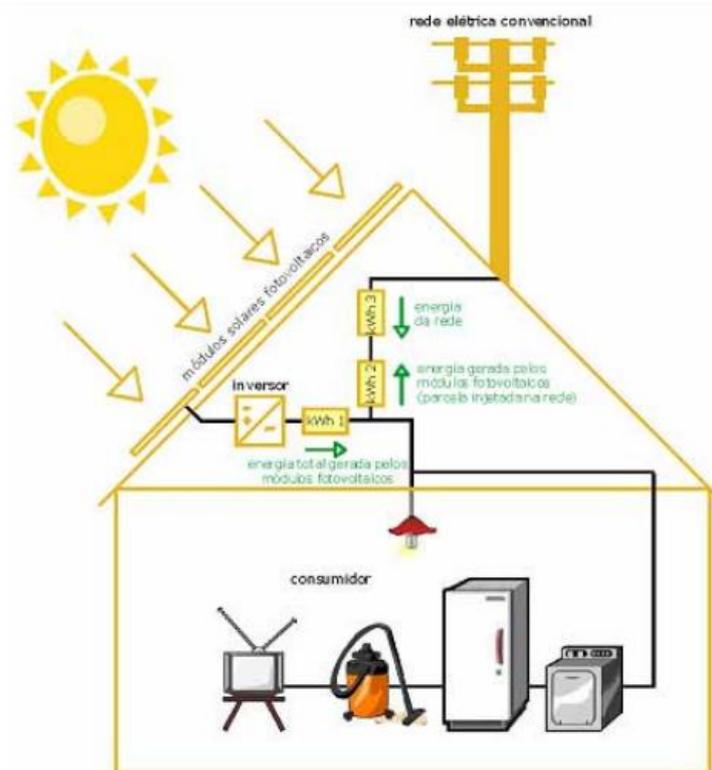


Figura 11 - Esquema de uma casa com sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica.  
Fonte: Câmara, 2011.

Desde a criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE em 2012, pela ANEEL, a energia elétrica gerada a partir de fontes renováveis foi regulamentada garantindo o acesso de micro e minigeradores distribuídos, e o excedente pode ser injetado na rede de distribuição convencional (ANEEL, 2016).

Microgeração e minigeração distribuídas podem ser entendidas como a produção de energia elétrica em pequenas centrais conectadas na rede de distribuição e

diferenciam-se pela potência instalada: até 75 kW para microgeradores e acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW para minigeradores (ANEEL, 2016).

Segundo a CEMIG (2021) a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é usada pelo consumidor abatendo o consumo da unidade e o excedente pode ser cedido à distribuidora, sendo devolvida ao consumidor, quando ele necessitar, num período de até 60 meses. Este crédito também poderá ser utilizado como abatimento em outro local de mesma titularidade e mesma área de concessão sendo caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios).

A Figura 12 ilustra como funciona o SCEE de uma residência. A ANEEL (2016) enfatiza que mesmo que o consumo seja inferior à quantidade de energia gerada, o consumidor do grupo B (baixa tensão) pagará, em reais, pelo custo de disponibilidade conforme o circuito: 30 kWh para monofásico, 50 kWh para bifásico ou 100 kWh para trifásico. E o consumidor do grupo A (alta tensão) pagará a parcela da fatura correspondente à demanda contratada.

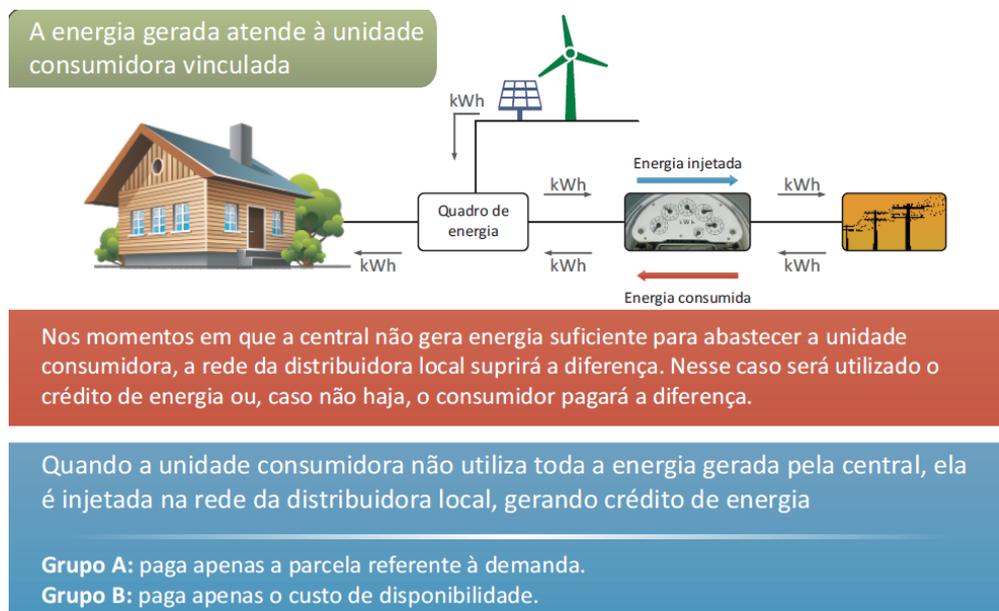


Figura 12 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE).  
 Fonte: ANEEL, 2016.

Para que o consumidor tenha direito ao SCEE, o mesmo deve seguir algumas etapas, conforme mostra a Figura 13, segundo a CEMIG (2021):

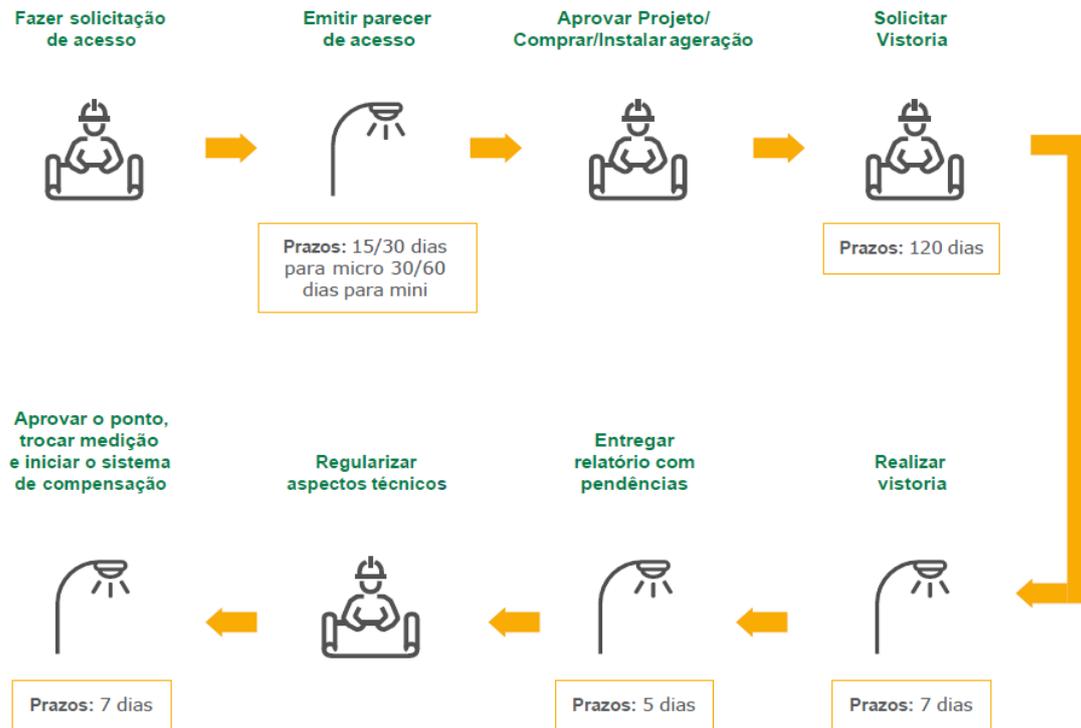


Figura 13 - Fluxo para aderir ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica  
 Fonte: CEMIG, 2021.

Para cumprir estas etapas, segundo a ANEEL (2016), o consumidor deve seguir o PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, módulo 3, estabelecidos pela Agência para solicitação de acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição.

Além disso, em Minas Gerais, para realizar este processo no sistema de distribuição da CEMIG o consumidor deve também seguir os fundamentos técnicos das normas da companhia (CEMIG, 2021):

- ND 5.3 - Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão Rede de Distribuição Aérea ou Subterrânea.
- ND 5.30 – Baixa tensão: Requisitos Para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEMIG D.
- ND 5.31 – Média tensão: Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da CEMIG D.

- ND 5.32 - Requisitos Para a Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição CEMIG – Conexão em Alta Tensão.

### 2.2.5. Panorama nacional da utilização da energia solar fotovoltaica

Com a criação do PRODEEM – Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, em 1994, em que o objetivo era estimular a aquisição de dos sistemas fotovoltaicos através de licitações internacionais, foram instalados 5 MW em todo o Brasil e, desde 2005, vem fazendo parte do Programa Luz para Todos, em locais onde o acesso à rede convencional é impossível (TORRES, 2012).

Por muitos anos o Brasil esteve atrasado no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica, conforme mostrado na figura 14, elaborado pela ABSOLAR (2021) juntamente com a ANEEL. A partir de 2017 nota-se que o setor começa a evoluir de forma significativa, dando um salto na geração centralizada (usinas geradoras), e em 2021 a geração distribuída passa a liderar o cenário de potência instalada, com 65% do total.

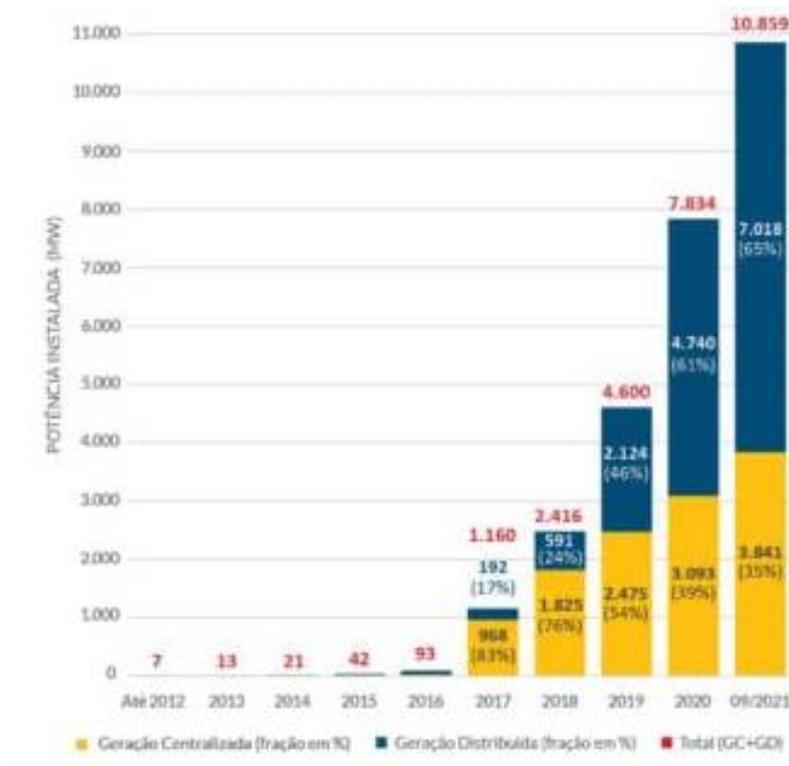


Figura 14: Evolução da Fonte Solar Fotovoltaica no Brasil.  
Fonte: ABSOLAR, 2021.

Observando os cenários de GD por Estado no Brasil, Minas Gerais lidera o ranking com 18,7% de potência instalada, seguida por São Paulo com 12,7% e Rio Grande do Sul com 12,1%, conforme mostra a figura 15.



Figura 15: Ranking Estadual de Geração Distribuída em 2021.  
Fonte: ABSOLAR, 2021.

Segundo ABSOLAR (2021), em Minas Gerais existem empresas que fazem projetos e instalações dos sistemas fotovoltaicos, com várias opções no mercado. Além disso,

o território mineiro é um dos melhores no cenário solarimétrico do Brasil, isso tudo explica a liderança no ranking.

A figura 16 mostra que grande parte dos sistemas de energia solar fotovoltaica instalada no Brasil são residenciais, assim como a geração da potência instalada (ABSOLAR, 2021), o que pode animar o setor da construção civil a investir nestas instalações em seus projetos residenciais.

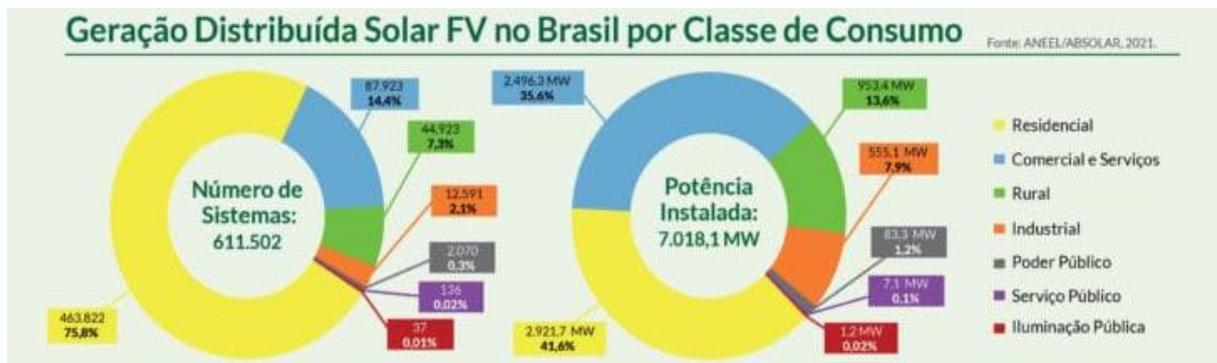


Figura 16: Geração Distribuída Solar FV no Brasil por Classe de Consumo.

Fonte: ABSOLAR, 2021.

Segundo um estudo feito pela ISA – *International Solar Alliance* (2020) o Brasil está entre os 4 países com as melhores condições para investimento em geração de energia solar, ao lado da Índia, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos, isso devido à alta irradiação solar, metas robustas de sustentabilidade, forte potencial e energia em desenvolvimento.

Entre os anos 2015 e 2019 a capacidade de geração solar instalada no Brasil aumentou em 259% (ISA, 2020). Isso explica o constante crescimento do setor de energia solar fotovoltaica no país.

Com isso o Brasil subiu para o 9º lugar no ranking mundial de capacidade solar fotovoltaica instalada em 2020, segundo levantamento da ABSOLAR (2021) com os dados do *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme* (IEA PVPS), a melhor posição até o momento. Os países com maior capacidade instalada estão na seguinte ordem: China, Estados Unidos, Vietnã, Japão e Alemanha.

Ainda segundo a ABSOLAR (2021), a tendência é que o Brasil cresça ainda mais no setor, principalmente após a aprovação do Projeto de Lei 5820/2019, convertido na Lei nº 14.300/2022, que cria o marco legal da geração própria de energia renovável. Com isto, segundo o CEO da ABSOLAR, Rodrigo Sauaia (2021), o Brasil tem grandes chances de se tornar uma liderança mundial no setor de energia solar fotovoltaica.

#### *2.2.5.1. Legislação brasileira*

Como a matriz energética brasileira ainda é movida grande parte pelas usinas hidrelétricas, é importante que existam algumas políticas para incentivar a energia fotovoltaica para que ocorra essa descentralização. Logo, com o crescimento da geração distribuída, a matriz energética ficaria mais diversificada (juntamente com outras fontes renováveis) e, assim, traria maior segurança para o setor elétrico, principalmente em períodos de crise hídrica.

A Resolução Normativa - REN nº 687 de 24 de novembro de 2015, da ANEEL, revisa a REN nº 482/2012 que define o sistema de compensação de energia elétrica produzida pelo consumidor permitindo que a energia excedente seja injetada na rede convencional e que, futuramente, possa ser usada por ele como crédito para abater no consumo ou fatura dos meses subsequentes (ANEEL, 2016).

Um exemplo de aplicação desta REN pode ser observado no estado da Bahia, em que foram instalados painéis fotovoltaicos em residências do Programa Minha Casa Minha Vida e a energia que é transferida para a rede elétrica convencional é paga para as famílias que dependiam da bolsa família, valor este que varia entre R\$ 60,00 e R\$ 300,00, dependendo da geração e do valor do MWh do mercado. Vários outros projetos estão sendo desenvolvidos com o intuito de colocar em prática os projetos sustentáveis que vem sendo discutidos para geração de energia elétrica provinda de fontes renováveis (NASCIMENTO, 2020).

É importante destacar que foi aprovada no Congresso Nacional e sancionada pelo Presidente da República, a Lei 14.300/22, publicada na data de 06/01/2022, que institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de

Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), bem como altera as Leis nºs 10.848/04 e 9.427/96 (BRASIL, 2022).

Com esta lei, todos os consumidores que já geravam a sua própria energia antes da publicação, ou seja, antes de 06/01/2022, ou protocolarem a solicitação de acesso até 12 meses após a publicação, vão manter as regras de compensação (de valoração dos créditos gerados) atuais até 31/12/2045. Isto é o chamado direito adquirido. A perda deste direito adquirido pode acontecer de 3 formas: encerramento da unidade consumidora (diferente de troca de titularidade), identificação de irregularidades no sistema de medição e quando houver ampliação do sistema, sendo incidentes as novas regras somente na parte ampliada (BRASIL, 2022).

Ainda segundo a Lei 14.300/22, em até 18 meses de sua publicação, serão calculados todos os benefícios e custos da geração própria de energia, ou seja, serão apurados todos os custos da geração distribuída, dos quais serão subtraídos todos os benefícios que essa geração distribuída traz para o setor elétrico como um todo. O resultado desse encontro de contas vai orientar a forma como serão valorados os créditos de energia após o período de transição. O encontro de contas será feito de duas formas:

- a) Em até 6 meses da publicação da lei, o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) irá publicar as diretrizes que serão seguidas;
- b) A partir dessas diretrizes, a ANEEL fará o cálculo, ouvindo a sociedade e todos os interessados.

Como já mencionado, todos os consumidores que protocolarem a solicitação de acesso em até 12 meses da publicação da lei, manterão as regras de valoração atuais até dezembro de 2045. Os consumidores que protocolarem a solicitação de acesso após o período de 12 meses não terão direito às regras de valoração atuais. Sendo assim, os consumidores com geração junto à carga, empreendimento de múltiplas unidades consumidoras – EMUC (condomínios), geração compartilhada, autoconsumo remoto com até 500kW ou de fontes despacháveis (usina que se consegue controlar quando irá gerar energia elétrica), irão remunerar a rede pagando de forma gradativa e escalonada, o que se chama de FIO B, que é a componente

tarifária que remunera as distribuidoras de energia. Já os consumidores com autoconsumo remoto acima de 500kW ou que tenham geração compartilhada em que um único consumidor (1 CPF ou 1 CNPJ) receba mais do que 25% dos créditos de energia de uma usina, irão pagar as seguintes componentes tarifárias: 100% do FIO B + 40% do FIO A (componente tarifária que remunera o serviço de transmissão) + tarifa de fiscalização + encargo de pesquisa e desenvolvimento (BRASIL, 2022).

O consumidor que protocolar a solicitação entre o 13º e o 18º mês de publicação da lei, ainda não saberá o resultado do encontro de contas. Sendo assim, este consumidor terá uma transição de 8 anos. Isso significa dizer que este consumidor ficaria em alguma dessas regras acima (a depender de sua categoria), durante 8 anos. Após esse período, serão aplicadas, então, as regras oriundas do encontro de contas. O consumidor que protocolar a solicitação de acesso após o 18º mês da publicação da lei, já saberá a regra do resultado do encontro de contas, e por isso este consumidor terá um período de transição de 6 anos, e não de 8. Ou seja, após 6 anos, este consumidor terá aplicada a regra do resultado do encontro de contas (BRASIL, 2022).

Conforme a referida lei, todas as usinas que tiverem uma capacidade instalada acima de 500kW, no momento que elas forem protocolar a solicitação de acesso, terão que prestar uma garantia de fiel cumprimento. Essa garantia será equivalente a: 2,5% do investimento do projeto para empreendimentos que tenham entre 500kW e 1MW ou 5% do investimento do projeto para empreendimentos que tenham acima de 1MW. Emitido o parecer de acesso, o consumidor terá até 90 dias para informar se seguirá adiante com o projeto ou não. Se ele desistir do projeto dentro desse período de 90 dias, ele recuperará o valor prestado em garantia. Se ele desistir do projeto após este prazo, ele perderá o valor da garantia. Se o consumidor decidir ir adiante com o projeto, ele vai desenvolver o projeto e construir a usina. Em até 30 dias da data em que a usina for conectada na rede da distribuidora, a garantia será devolvida na forma que foi prestada. Importante ressaltar que tudo isso ainda será regulamentado pela ANEEL (BRASIL, 2022).

Outro fato importante a ser citado é que foi aprovado pelo Senado, em 30/09/2021, o Projeto de Lei nº 2015/2021 que propõe o financiamento do sistema de energia solar fotovoltaica juntamente com o financiamento do imóvel. De acordo com este PL o valor do financiamento não poderá ultrapassar o valor de 10% da avaliação do imóvel ou R\$ 15.000,00 (quinze mil reais), o que for maior. Para imóvel rural não poderá ultrapassar o valor de 10% da avaliação do imóvel ou da reforma financiada (ABREU, 2021).

Visto que o acesso ao crédito para investimento em energia solar ainda é uma das maiores dificuldades para a adesão, caso este Projeto de Lei for aprovado irá favorecer muitos consumidores. Em paralelo também irá aquecer o mercado imobiliário uma vez que agrega valor ao imóvel na hora de sua avaliação (ABSOLAR, 2021). Com isto, a tendência é de o mercado de energia solar fotovoltaica crescer juntamente com a construção civil.

### **2.3. A implantação do sistema de geração**

O Sistema de Energia Solar permite que qualquer pessoa consiga produzir sua própria energia, seja para uso residencial, comercial ou industrial. Para isso, só é preciso instalar os painéis solares no telhado ou quintal. Esse sistema é uma fonte de energia limpa e renovável, que traz grandes benefícios para o meio ambiente e muita economia para aqueles que optam em fazer o uso desse recurso.

Mesmo a energia sendo gerada pelo Sol, é preciso conhecer todas as regras da ANEEL e as Normas da ABNT, voltadas para o sistema de geração de energia Fotovoltaica.

Após seguir todas as normas e resoluções, vem as etapas de definição dos grupos que serão definidas de acordo com os tipos de consumidores. “Grupo A – Consumidores de Alta Tensão (grandes empresas e indústrias) e Grupo B - Consumidores de Baixa Tensão (casas e estabelecimentos comerciais de pequeno porte) (ANEEL, 2012).

Nas etapas preliminares e finais, são analisados os seguintes fatores:

- Coleta de dados, que é a análise da demanda e histórico de consumo, onde será feito um estudo do consumo mensal em um período de um ano;
- Avaliação do recurso solar, ou seja, o local onde há o maior índice de radiação solar, com o mínimo de sombreamento possível.

Para um melhor resultado, tanto nos sistemas maiores, quanto nos menores, é importante evitar a projeção de sombras sobre o painel fotovoltaico, que podem ser geradas tanto pela posição do sol em relação àquela construção, quanto por árvores ou imóveis próximos. No caso das instalações menores, as sombras a serem evitadas são das árvores e edificações ao redor. Para que seja possível fazer o cálculo com relação a projeção das sombras durante o dia de forma precisa, é necessário conhecer a posição do sol em cada momento, em todas estações do ano (Figuras 17 e 18).

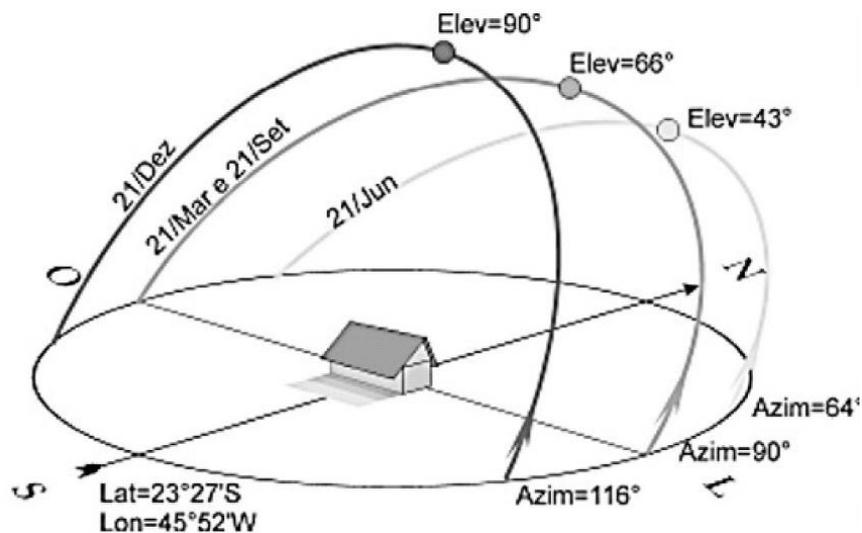


Figura 17: Análise com as elevações das diferentes posições do sol, nas diferentes estações do ano

Fonte: BLUESOL, 2016.

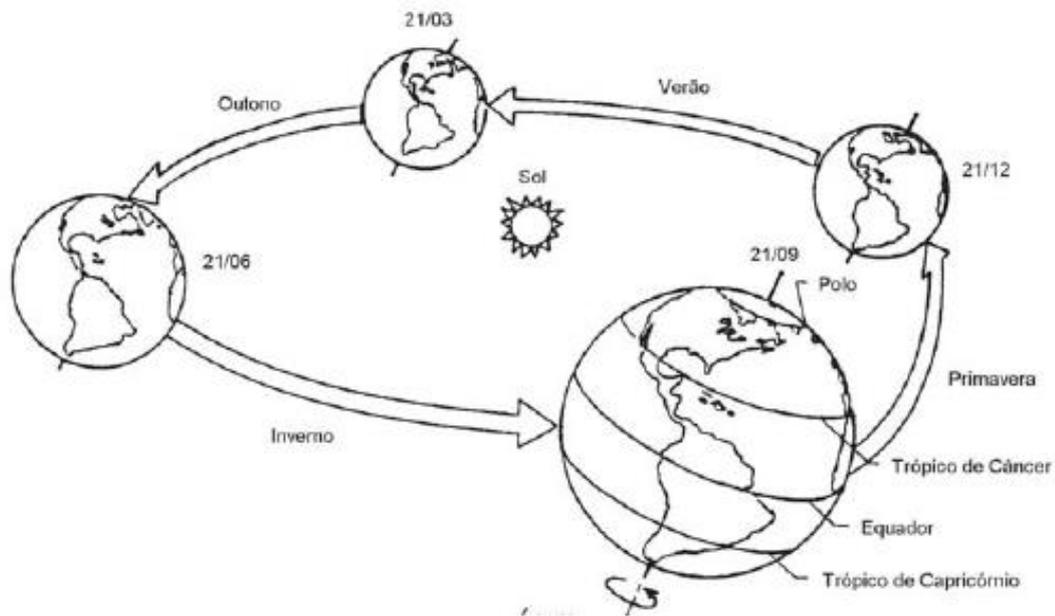


Figura 18: Posição do sol nas diferentes estações do ano  
 Fonte: CRESESB, 2012

Para cálculos de sombreamento mais sofisticados, é importante o uso de softwares específicos, que através de uma imagem digital, devidamente orientada, descrevem a trajetória do sol e as projeções de sombras (GREENPRO, 2004).

Para que o sistema fotovoltaico seja implantado, devem ser adotados os seguintes passos (PORAL SOLAR, 2021):

- a) Viabilidade: onde é feita uma avaliação técnica e econômica do projeto;
- b) Projeto: é a simulação de como será feita a geração da energia, incluindo o local de instalação dos painéis, os modelos adequados, a forma de conversão da corrente (CC) para corrente (CA) e a elaboração do projeto de instalação de acordo com as exigências da distribuidora local;
- c) Concessionária: envio de toda a documentação e projetos já aprovados para análise da concessionária de energia;
- d) A implementação e montagem do sistema solar deve ser feita por técnicos devidamente treinados, seguindo as NRs (em especial a NR-10 e a NR-35, respectivamente: “Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade”, e “Trabalho em Altura”), após homologação a instalação das placas junto a distribuidora local;

- e) Ligação na rede e geração da energia: deverão ser feitos os testes, incluindo vistoria do técnico responsável pela concessionária.

Respeitados todos os passos e após concluída a instalação, o consumidor passa a usufruir da energia gerada, sendo que todo excedente é ejetado na rede da concessionária e poderão ser utilizados posteriormente, em momentos em que a geração de energia fotovoltaica for inferior ao valor consumido pelo consumidor.

Na Figura 19, podemos observar como é instalado o sistema conectado à rede (*On-Grid*).

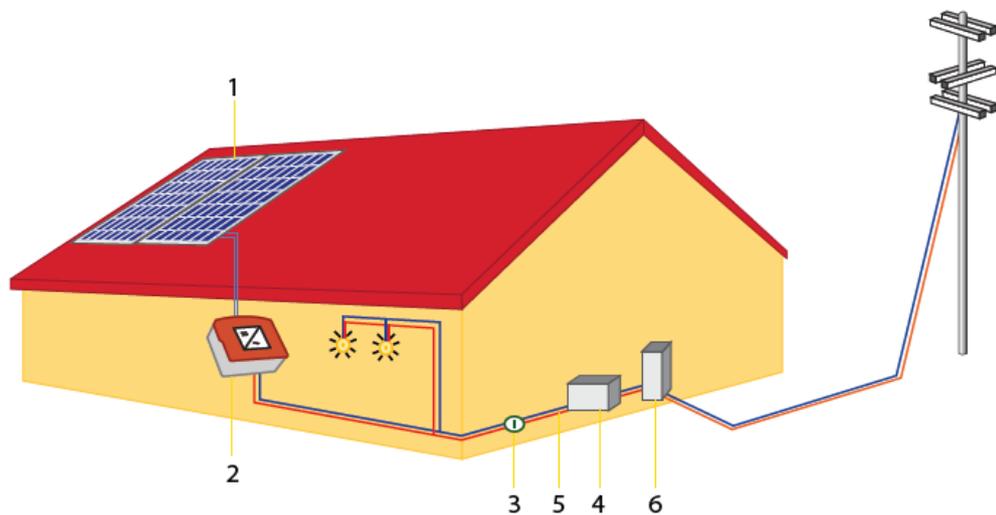


Figura 19: Sistema conectado à rede  
Fonte: BLUESOL, 2016.

- 1 – Módulos Fotovoltaicos
- 2 – Inversor Grid-Tie – Transforma a corrente contínua do painel em corrente alternada de 127V/220V e 60Hz, compatível com a eletricidade da rede.
- 3 – Interruptor de Segurança.
- 4 – Quadro de Luz - distribui energia para casa.
- 5 – A eletricidade alimenta os utensílios e eletrodomésticos
- 6 – O excedente volta para a rede elétrica através do medidor fazendo-o rodar ao contrário, reduzindo a tarifa de energia elétrica.

### 2.3.1. Tecnologias disponíveis no mercado

O desenvolvimento das tecnologias que vem promovendo o aproveitamento da energia solar é um passo importante em direção a um modo de produção mais sustentável e conivente com as demandas atuais do nosso planeta.

#### 2.3.1.1. Painel solar fotovoltaico de silício monocristalino.

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e possui a eficiência mais alta, entre 15% e 22%. Os painéis solares de silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis. Possuem os cantos tipicamente arredondados e uma cor uniforme, azul escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul acinzentado (sem antirreflexo), indicando silício de alta pureza (Portal Solar, 2021).

São produzidos a partir de um único cristal de silício ultrapuro de forma cilíndrica que é fatiado, gerando lâminas de silício individuais que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas.

O painel solar é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações de série e paralelo (Portal Solar, 2021).

Atualmente os painéis solares monocristalinos são os mais caros do mercado (Portal Solar, 2021).



Figura 20: Painel solar monocristalino  
Fonte: Portal Solar, 2021.

### 2.3.1.2. Painel solar fotovoltaico de silício policristalino.

De acordo com os estudos, os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram lançados no mercado em meados de 1981. Ambos são feitos de silício, sendo o método utilizado na fundição dos cristais a principal diferença entre as tecnologias. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco preservando a formação de múltiplos e, em seguida, fatiados em células assim como no monocristalino. Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais (One Sol, 2021).

Eles são semelhantes aos monocristalinos tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes (entre 14% e 20%). Como é possível ver na Figura 21, possui as cores uniformes, azul (com antirreflexo) ou cinza prateado (sem antirreflexo) (Portal Solar, 2021).

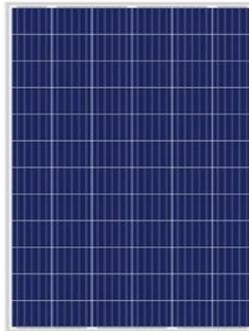


Figura 21: Painel solar policristalino  
Fonte: Portal Solar, 2021.

### 2.3.1.3. Células de filme fino: tecnologia que reduz custos e materiais

Entre os novos tipos de materiais usados no mercado, pode se destacar a utilização de filmes finos de semicondutores, também conhecidos como células fotovoltaicas de película fina (TFPV). Eles possuem eficiência energética média entre 7% e 13%, porém, algumas tecnologias já estão chegando em 16%, sendo similares a eficiência dos painéis Policristalinos.

São depositados uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato qualquer. Eles podem ser dispostos em materiais flexíveis, como plásticos ou têxteis nos telhados, reduzindo a utilização de suporte para posicionar os painéis, aumentando a variedade de aplicação (LIMA *et al.*, 2017).

Em 2015, os painéis fotovoltaicos que utilizam a tecnologia de filme fino representavam aproximadamente 20% do mercado mundial de painéis solares fotovoltaicos. Sendo a maioria de silício cristalino (Portal Solar, 2021).

### *2.3.2. Custo médio de implantação no Brasil*

Os custos envolvidos na implantação de um sistema fotovoltaico a serem considerados são: custo de projeto, dos materiais, da mão de obra e da manutenção e podem variar de acordo com o fornecedor, tamanho do projeto e modelo dos equipamentos utilizados (NEOSOLAR, 2022).

Ao pedir um orçamento, é importante que se tenha as seguintes informações:

- Gasto mensal aproximado com a conta de luz;
- CEP de instalação;
- Nome da concessionária de energia;
- Dimensão do local da instalação em metros quadrados (devido à quantidade de placas).

Na tabela 4 é possível observar o preço médio total da instalação do sistema fotovoltaico, considerando uma média de insolação de 4,93 HSP e uma média de perdas de 20%, na cidade de Belo Horizonte/MG.

<b>Valor de referência custo de energia mensal (conta de luz)</b>	<b>Consumo médio mensal</b>	<b>Potência do gerador solar</b>	<b>Preço médio R\$</b>
R\$ 170,00	180 kWh	1,07kWp	R\$ 7.464,95
R\$ 200,00	212 kWh	1,33 kWp	R\$ 9.285,98
R\$ 250,00	265 kWh	1,76 kWp	R\$ 12.320,45
R\$ 400,00	425 kWh	3,06 kWp	R\$ 15.605,83
R\$ 500,00	531 kWh	3,93 kWp	R\$ 20.030,49
R\$ 1000,00	1063 kWh	8,26kWp	R\$ 40.487,09
R\$ 2000,00	2127 kWh	16,93 kWp	R\$ 80.431,01

Tabela 4: Preços médios totais da instalação de sistema fotovoltaico  
Fonte: As autoras, simulador NEOSOLAR, 2022.

Esta tabela foi desenvolvida pelas autoras através de dados extraídos da empresa NEOSOLAR ENERGIA (2022).

### **3. METODOLOGIA**

Segundo Pereira et al. (2018), entende-se por metodologia de pesquisa um processo no qual são coletados dados a fim de realizar um estudo para comprovar um determinado assunto. “O método científico parte da observação organizada de fatos, da realização de experiências, das deduções lógicas e da comprovação científica dos resultados obtidos” (PEREIRA *et al.*, 2018, p.27). Esta coleta de dados tem grande importância para um projeto de pesquisa pois é ela que irá alimentar a execução do trabalho (SANTADE, 2020).

#### **3.1. Pesquisa quanto aos fins**

Segundo Gerhardt (2009), quanto à finalidade, as pesquisas podem ser classificadas como exploratória, descritiva e explicativa.

Na pesquisa exploratória busca-se explicar o problema de forma clara ou criar hipóteses, a fim de proporcionar maior familiaridade, e é realizada através de levantamentos bibliográficos, entrevistas com casos reais ou análises de exemplos sobre o tema. Desta forma tem-se uma pesquisa bibliográfica ou um estudo de caso (GERHARDT, 2009).

Já a pesquisa descritiva, segundo Gerhardt (2009), busca-se descrever os fatos e fenômenos sobre o tema através de estudo de caso ou análise documental, por exemplo. Ainda segundo o autor, este tipo de estudo pode descrever exatamente como o fato ocorreu sem a necessidade de um exame mais crítico por parte do pesquisador, gerando imprecisão nos resultados.

Por fim, a pesquisa explicativa “preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos” (GERHARDT, 2009, p. 35), é o que vai explicar a razão das coisas de forma mais detalhada.

Desse modo, a presente pesquisa pode ser definida como descritiva, uma vez que ela coleta informações das variadas fontes de pesquisa mencionados com o objetivo de gerar possíveis soluções aos principais problemas encontrados e apresentados.

### **3.2. Pesquisa quanto aos meios**

De acordo com Vergara (2007) e Moresi (2003), os tipos de pesquisa quanto aos meios podem ser definidos como estudo de campo, estudo de caso, pesquisa laboratorial, pesquisa documental, pesquisa bibliográfica e pesquisa experimental.

- a) Estudo de campo: é baseado na experiência que está sendo aplicada na investigação e é realizado exatamente no local onde estão sendo observados os fenômenos de estudo. Pode incluir pesquisas, aplicação de questionários e testes;
- b) Estudo de caso: é delimitado a amostras (poucas unidades) podendo ser um objeto, uma pessoa, uma família, um produto, uma empresa, um órgão público, uma comunidade ou até mesmo um país;
- c) Pesquisa laboratorial: realizada em local determinado e limitado, normalmente utilizada quando é impossível realizá-la em campo;
- d) Pesquisa documental: produzida através de análises em documentos de qualquer natureza, provenientes de órgãos públicos, privados ou de pessoas;
- e) Pesquisa bibliográfica: realizado através de estudo baseado em materiais publicados e que sejam disponibilizados ao público em geral. Eles fornecem instrumental analítico para qualquer tipo de pesquisa. Estas bibliografias podem ser livros, jornais, revistas, sites na internet;
- f) Pesquisa experimental: investigação empírica onde o pesquisador controla as variáveis e observa os resultados, produzindo novos objetos de estudo;

O presente trabalho foi produzido com base em vários textos e artigos encontrados em livros, revistas e sites na internet, e documentos provenientes de órgãos públicos e privados. Portanto, trata-se de uma pesquisa documental e bibliográfica.

### **3.3. Área em estudo**

Neste Trabalho de Conclusão de Curso foram estudados os benefícios e os desafios da implantação da energia solar fotovoltaica nas residências brasileiras. Através de diversos dados, como imagens e tabelas por exemplo, foram apresentados os cenários elétricos mundial e brasileiro, onde é possível perceber que a utilização da

energia solar fotovoltaica vem crescendo a cada ano. Esse fato se deve à crescente busca pela sustentabilidade e ao custo elevado com a energia elétrica convencional.

### **3.4. Formas de coleta e análise de dados**

De acordo com Lakatos e Marconi (2021), as formas de coleta de dados são um conjunto de regras ou processos utilizados por uma ciência, ou seja, corresponde à parte prática da coleta de dados.

Técnica é um conjunto de preceitos ou processos de que se serve uma ciência ou arte; é a habilidade para usar esses preceitos ou normas, a parte prática. Toda ciência utiliza inúmeras técnicas na obtenção de seus propósitos. (LAKATOS e MARCONI, 2021)

Durante a coleta de dados, diferentes técnicas podem ser usadas, as mais usuais são: a entrevista, o questionário, a observação e a pesquisa documental e Bibliográfica.

Na documental, a fonte de coleta de dados está restrita a documentos e são denominadas fontes primárias. Podem ser feitas quando o fato ou fenômeno ocorre, ou depois (LAKATOS e MARCONI, 2021). Podem ser arquivos públicos, particulares ou fontes estatísticas.

Já a bibliográfica, ou fontes secundárias, abrange toda documentação publicada em relação ao tema de estudo, como por exemplo, boletins, jornais, revistas, livros, pesquisas, monografias, teses, material cartográfico, rádio, gravações, filmes e televisão. “Sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo o que foi escrito, dito ou filmado sobre determinado assunto, inclusive conferências seguidas de debates que tenham sido transcritos por alguma forma, quer publicadas, quer gravadas” (LAKATOS e MARCONI, 2021). Além disso, "oferece meios para definir, resolver, não somente problemas já conhecidos, como também explorar novas áreas onde os problemas não se cristalizaram suficientemente" (MANZO, 1971, pag. 32) e tem o objetivo de permitir ao pesquisador "o reforço paralelo na análise de suas pesquisas ou manipulação de suas informações" (TRUJILLO, 1974, pag. 230).

A entrevista, segundo Lakatos e Marconi (2021), é uma reunião entre duas pessoas, com o intuito de que uma delas obtenha conhecimento sobre um determinado assunto, através de uma conversa face a face, de natureza profissional e metódica. Além disso, a entrevista "consiste no desenvolvimento de precisão, focalização, fidedignidade e validade de certo ato social como a conversação" (GOODE E HATT, 1969, pag. 237). Além do mais, alguns autores consideram a entrevista como o melhor instrumento da investigação social e, "é muitas vezes superior a outros sistemas de obtenção de dados" (BEST,1972, pag. 120).

A presente pesquisa busca estudar o uso da energia fotovoltaica como meio de sustentabilidade e usa dados encontrados em sites na internet, livros, revistas, e também documentos provenientes de órgão públicos, fazendo com que esta seja uma pesquisa documental e bibliográfica.

### **3.5. Limitação de pesquisa**

Por se tratar de um assunto pouco divulgado, houve grande dificuldade de encontrar livros e artigos específicos para consulta, fazendo com que fossem usadas várias fontes e referencias, aumentando o número de abordagens para alcançar o objetivo proposto.

## 4. PESQUISA

Tanto a energia solar fotovoltaica quanto a hidrelétrica são fontes que não poluem, são renováveis, limpas e sustentáveis e, como toda fonte de energia, possuem suas vantagens e desvantagens. Portanto, o intuito do presente estudo é apresentar de forma clara e objetiva quais são elas e compará-las entre si.

### 4.1. Vantagens e desvantagens da energia convencional (hidrelétrica)

A energia hidrelétrica atualmente possui mais desvantagens do que vantagens.

Como vantagens, para a produção de energia utiliza-se a água, um recurso natural renovável e inesgotável. É uma energia limpa e, atualmente, é a principal fonte energética do Brasil (Balanço Energético Nacional – BEN, 2020). Além disso, os custos operacionais das usinas hidrelétricas são considerados baixos e, logo, gera um custo relativamente baixo para o consumidor final, desde que sejam favoráveis os fatores climáticos.

Como desvantagens podem ser citados alguns fatores como os impactos ambientais devido à apropriação da área para a formação de grandes reservatórios de água, afetando o ecossistema local. Além disso, provoca a erosão de solos devido à intensa modificação do fluxo natural da água do rio, o que pode alterar os níveis de oxigênio na água e, conseqüentemente afetam a vegetação que cresce às margens. Também, nos períodos de estiagem das chuvas, a escassez hídrica faz com que a produção de energia diminua e entre em crise, gerando grandes transtornos à população, como o aumento do custo final e até a falta de fornecimento da energia elétrica. (PEREIRA *et al.*,2017).

Por fim, estudos indicam que, apesar das usinas hidrelétricas serem consideradas como fonte de energia limpa, elas também contribuem para o aquecimento global. Existe a emissão do gás metano (CH<sub>4</sub>) através de seus vertedouros, que agem com a intenção de oxigenar as águas e diminuir a morte dos peixes, assim como pelas

turbinas dos geradores de energia, instalados no fundo das barragens. (FEARNSIDE, 2015).

#### **4.2. Vantagens e desvantagens da energia solar fotovoltaica**

Na energia solar fotovoltaica os benefícios são muito maiores e mais numerosos, com relação à energia convencional (hidrelétrica).

Este tipo de energia está em expansão pelo mundo e pode-se esperar que nos próximos anos ocupará um grande espaço no mercado com a sua valoração e popularidade (SILVA E CARMO, 2017). Isso se deve à grande disponibilidade de luz solar, principalmente no território brasileiro, e às facilidades regulamentadas pela legislação do país (J. PINHO e M. GALDINO, 2014). Ainda dentre suas vantagens destacam-se a sua fácil e acessível manutenção, sua alta durabilidade (vida útil de aproximadamente 25 a 30 anos), sua economia de até 95% na conta de luz, e a expectativa de queda dos preços devido ao avanço da tecnologia e ao crescimento da concorrência no mercado.

Existem algumas desvantagens, dentre elas estão dois fatores mais relevantes: o alto custo de aquisição e a não geração de energia à noite.

Porém, o consumidor tem a opção de continuar conectado à rede elétrica pública, que fornece a energia à noite, através do sistema de compensação de energia elétrica (sistema *On-Grid*) (J. PINHO e M. GALDINO, 2014).

Inicialmente existe um custo relativamente alto para a instalação de um sistema solar fotovoltaico (BLUESOL, 2016). Porém, depois de instalado, este investimento é recomposto gradativamente ao longo dos anos, pois o sistema gera uma grande economia na conta de energia. Além disso, existem várias opções de financiamento destinado à instalação de energia solar fotovoltaica, o que estimula quem não possui capital inicial.

### **4.3. Comparação dos dados apresentados, apontado os melhores custos-benefícios e a viabilidade de implantação da energia solar fotovoltaica**

Tomando como base uma residência na cidade de Belo Horizonte/MG, em que o consumo elétrico médio mensal seria de 265 KW/h, aproximadamente R\$ 250,00 (duzentos e cinquenta reais) por mês, foi estimado um investimento de R\$ 10.560,39 (dez mil, quinhentos e sessenta reais e trinta e nove centavos) a R\$ 14.080,52 (quatorze mil, oitenta reais e cinquenta e dois centavos) para a instalação do sistema de geração distribuída (Neo Solar, 2022).

Para isto, seria necessário um sistema com 1,76 KWp, 6 módulos, ocupando uma área de 12,32 m<sup>2</sup> e pesando aproximadamente 167 kg. Em média, este tipo de instalação tem uma durabilidade de 25 a 30 anos.

Fazendo uma breve análise, e considerando que o custo da utilização da energia elétrica se mantenha o mesmo nos próximos 25 anos, a residência citada acima, sem a instalação do sistema fotovoltaico, teria um custo total de R\$ 75.000,00 (setenta e cinco mil reais) ao longo deste tempo.

Nas mesmas condições, ao analisar uma residência com a instalação do sistema fotovoltaico – GD (geração distribuída), considerando:

- Custo com investimento: custo médio de R\$ 12.320,45 (doze mil, trezentos e vinte reais e quarenta e cinco centavos). Foi realizada uma média simples entre os valores indicados acima.
- Custo de disponibilidade do sistema elétrico, taxa empregada pela concessionária (CEMIG) pela disponibilização da energia elétrica (conhecida como taxa mínima): R\$ 47,00 por mês, totalizando R\$ 14.100,00 ao longo de 25 anos.

O custo total para a implantação do sistema fotovoltaico nesta residência seria de R\$ 26.420,45 (vinte seis mil, quatrocentos e vinte reais e quarenta e cinco centavos).

Portanto, desconsiderando o reajuste anual das tarifas da concessionária, conforme o Gráfico 1, percebe-se uma economia de R\$ 48.579,55 (quarenta e oito mil, quinhentos e setenta e nove reais e cinquenta e cinco centavos) ao longo de 25 anos e o retorno do investimento em aproximadamente 8 anos e 10 meses.

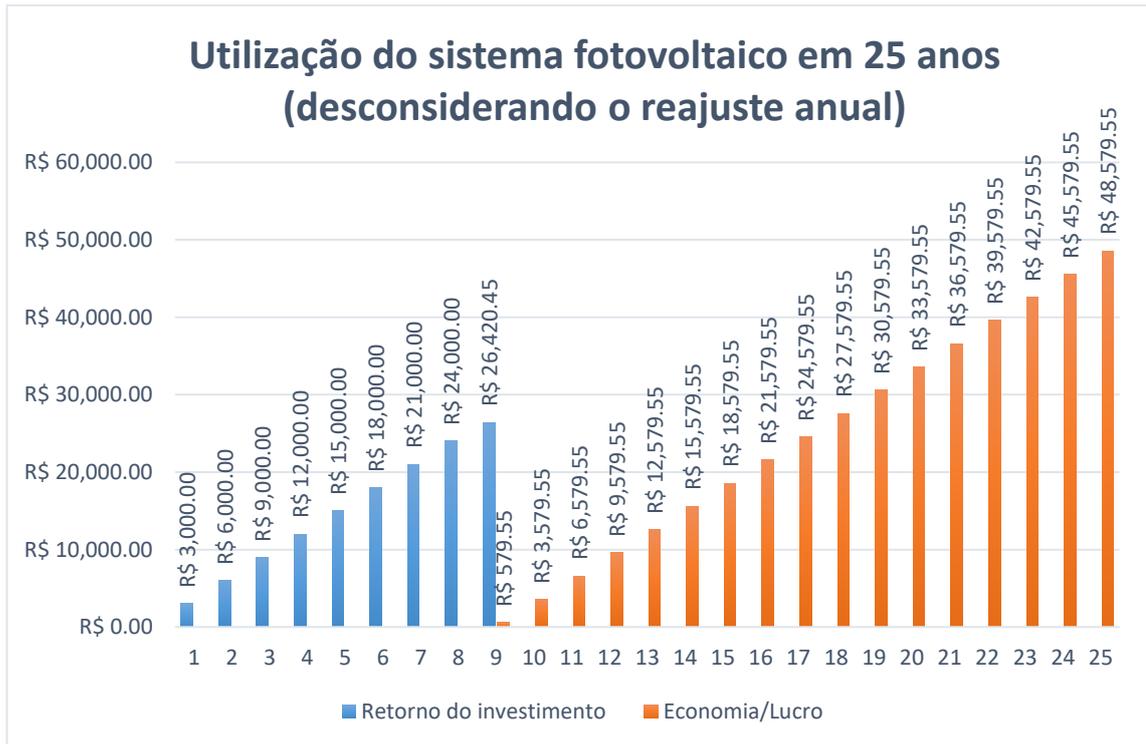


Gráfico 1 – Utilização do sistema fotovoltaico em 25 anos, sem o reajuste anual da tarifa.  
Fonte: as autoras, 2022.

Porém, se levarmos em consideração o reajuste anual da tarifa média, é possível fazer uma análise mais assertiva.

Conforme a Tabela 6, percebe-se que houve um reajuste de 71,8% da tarifa média brasileira entre os anos de 2012 e 2020, sendo 8,97% de reajuste por ano.

	2016	2017	2018	2019	2020	Δ% (2020/2019)	Δ% (2020/2012)
<b>Média Brasil</b>	<b>419,14</b>	<b>421,95</b>	<b>474,99</b>	<b>511,92</b>	<b>502,98</b>	<b>-1,7</b>	<b>71,8</b>
Norte	419,76	477,74	533,41	586,16	559,98	-4,5	74,4
Nordeste	367,44	394,89	450,99	478,17	469,19	-1,9	57,9
Sudeste	441,67	431,77	481,66	523,97	518,99	-1,0	76,1
Sul	415,39	403,28	456,43	488,24	474,65	-2,8	71,2
Centro-Oeste	419,38	426,95	489,37	519,49	511,44	-1,5	76,1

Tabela 5 – Tarifas média por região  
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2021.

Fixando um valor de 8% de reajuste anual e mantendo como base um consumo mensal de 265KW/h, é possível perceber no gráfico 2 que após 25 anos, o custo mensal com a energia elétrica desta residência, sem a instalação do sistema

fotovoltaico, seria R\$ 1.585,30 (mil quinhentos e oitenta e cinco reais e trinta centavos).

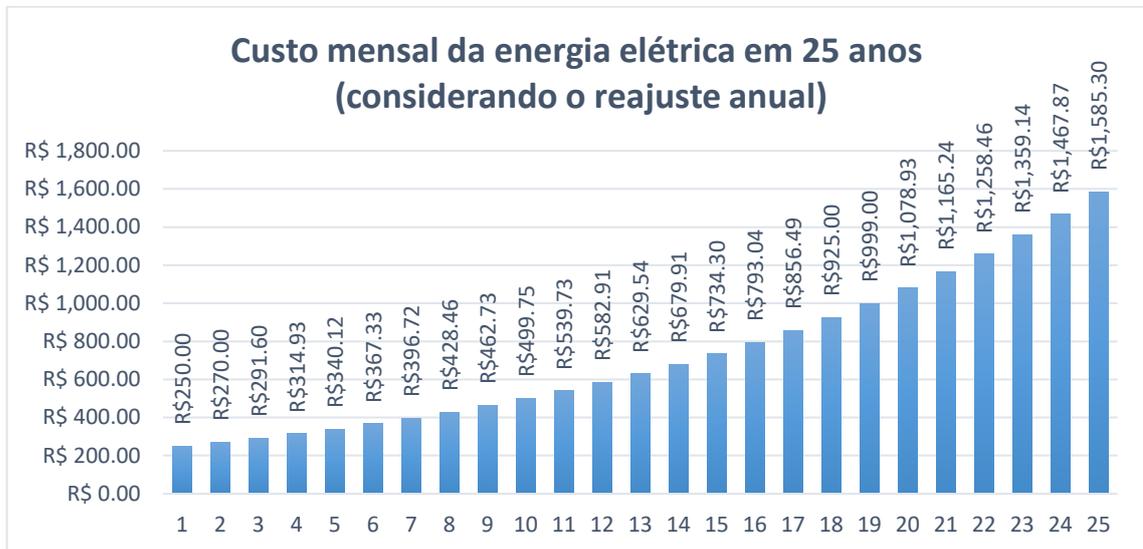


Gráfico 2 – Custo mensal da energia elétrica com reajuste anual.  
Fonte: as autoras, 2022.

Portanto, conforme indicado no gráfico 3, ao longo de 25 anos, essa residência teria um custo total de R\$ 219.317,82 (duzentos e dezenove mil, trezentos e dezessete reais e oitenta e dois centavos) com a utilização da energia elétrica.

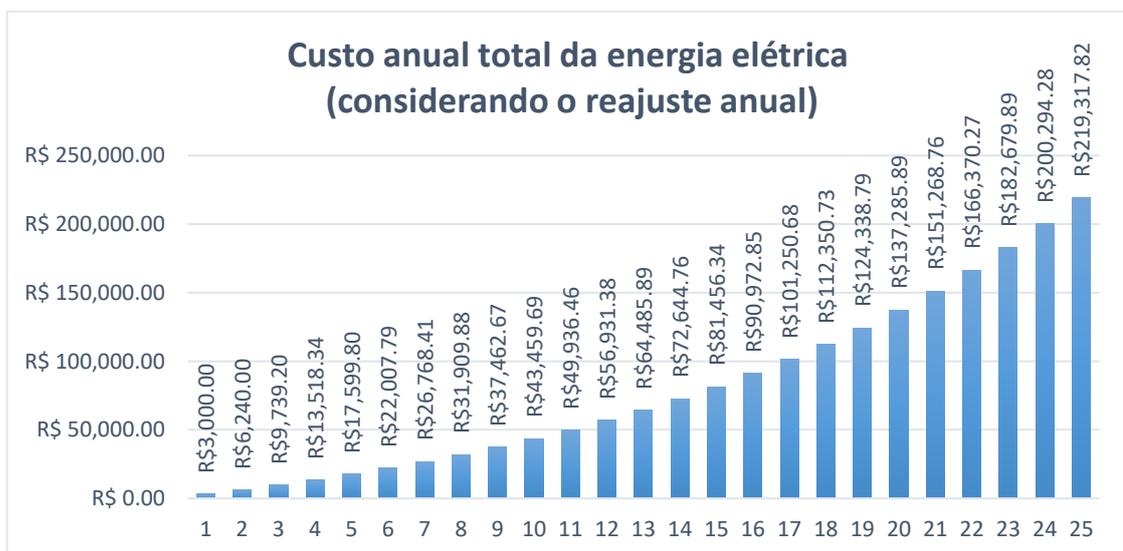


Gráfico 3 – Custo anual total da energia elétrica, com reajuste anual.  
Fonte: as autoras, 2022.

Sendo assim, conforme o Gráfico 4, com a utilização do sistema fotovoltaico, percebe-se uma economia de R\$ 192.897,39 (cento e noventa e dois mil, oitocentos e noventa

e sete reais e trinta e nove centavos) ao longo de 25 anos e o retorno do investimento em aproximadamente 6 anos e 11 meses.

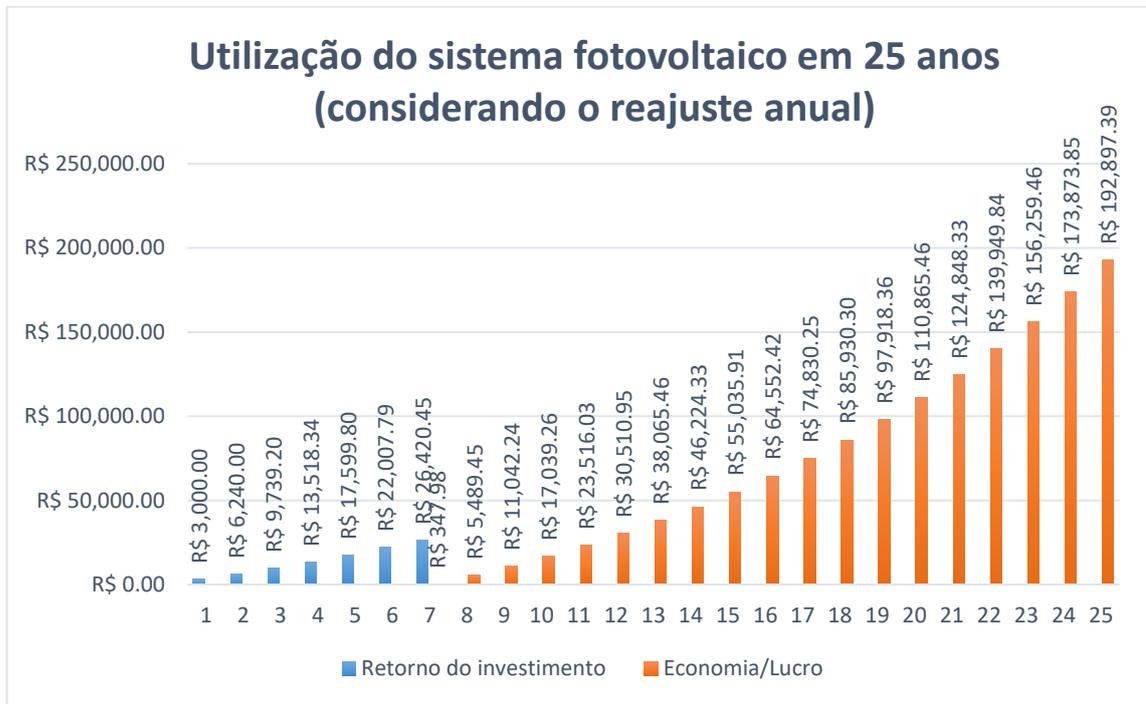


Gráfico 4 – Utilização do sistema fotovoltaico em 25 anos, com o reajuste anual da tarifa  
Fonte: as autoras, 2022.

Por fim, através dos dados apresentados, é possível perceber a economia e os benefícios trazidos pela utilização do sistema fotovoltaico em um empreendimento ao longo da vida útil do sistema.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em virtude dos fatos mencionados neste trabalho, a implantação do sistema de utilização da energia solar fotovoltaica torna-se viável pois conta com inúmeras vantagens. Estes benefícios são bastante impactantes, tanto em escala individual, para o usuário, quanto em escala global, na diminuição de impactos ambientais, além da valorização do imóvel, pois apresenta grande economia para o usuário, benefícios não vistos com o uso da energia elétrica convencional.

Pode-se dizer também que tem crescido cada vez mais o número de pessoas a implantar este sistema, porém esse crescimento só não é maior, devido à pouca divulgação com relação às condições oferecidas e a variedade de investimento. Espera-se que, com os programas de incentivo recentes, daqui a alguns anos esta realidade mude e este sistema se torne a principal fonte de geração de energia da matriz energética brasileira e, quem sabe, mundial.

## 6. REFERÊNCIAS

ABREU, Kátia. **Projeto de Lei nº 2015, de 2021**. Altera a Lei nº 4.380, de 21 de agosto de 1964, que institui o Sistema Financeiro da Habitação (SFH), e a Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021, que institui o Programa Casa Verde e Amarela, para incluir no financiamento imobiliário o valor referente à aquisição e à instalação de sistema de energia solar fotovoltaica. Brasília: Senado Federal, 1 de jun. 2021. Disponível em: <https://www.congressonacional.leg.br/materias/materias-bicamerais/-/ver/pl-2015-2021> Acesso em: 15 nov. 2021.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Brasil entra no top 10 de países que mais instalaram energia solar em 2020**. São Paulo, 26 maio 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/brasil-entra-no-top-10-de-paises-que-mais-instalaram-energia-solar-em-2020-2/> Acesso em: 17 out. 2021.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Panorama solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Infográfico nº 36**. São Paulo, 1 out. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/> Acesso em: 17 out. 2021.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Minas Gerais: potência em energia solar**. São Paulo, 15 jun. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/minas-gerais-potencia-em-energia-solar/> 17 out. 2021.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **PL deve aquecer os mercados imobiliário e de energia solar**. São Paulo, 3 ago. 2021. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticia/pl-deve-aquecer-os-mercados-imobiliario-e-de-energia-solar/> Acesso em: 17 out. 2021.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 2. ed – Brasília, 2016.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.** Rev 7. Brasília, 2017.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** Brasília, 2012.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída – Resolução Normativa nº 482/2012.** Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL. Versão nº 1. Brasília, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10899: Energia solar fotovoltaica – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma Regulamentadora 10 – NR 10: Segurança em Instalações e Serviços de Eletricidade.** 1ª Edição. São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Norma Regulamentadora 35 – NR 35: Trabalho em Altura.** 1ª Edição. São Paulo, 2012.

BEST, J. W. **Como investigar en educación.** 2. ed. Madrid: Morata, 1972.

BLUESOL. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica.** Livro digital, 2016. Disponível em: <https://bluesol.com.br/> Acesso em: 29 mai. 2022.

BRAGA, R. P. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos e aplicações.** Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BRASIL. **Lei nº 14.300 de 6 de janeiro de 2022.** Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia

Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, 2022. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm) Acesso em: 29 mai. 2022.

BRITO, S. S; **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. CRESESB - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA; CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR. Grupo de Trabalho de energia Solar. Rio de Janeiro, 1999.

CÂMARA, C. F. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**. 2011.68f. Dissertação (Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia) – Departamento de Engenharia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Mini e microgeração distribuída**. Belo Horizonte, 2021.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. **Manual de geração distribuída**. Belo Horizonte, 2021.

CRESESB - **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2012.

EIA - U.S. Energy Information Administration. **Total energy production 2018**. Washington DC, 2018.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Resenha Mensal: O consumo de eletricidade no Brasil em junho de 2021 apresentou avanço de 12,5% em relação ao mesmo mês de 2020**. Rio de Janeiro, 2021.

FEARNSIDE, P. M. **A hidrelétrica de Belo Monte como fonte de gases de efeito estufa: Desafios para midiáticação da ciência na Amazônia**. p. 287-294, 2015. *In*: Hidrelétricas na Amazônia: Impactos Ambientais e Sociais na Tomada de Decisões

sobre Grandes Obras. Vol. 1. Editora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 2015.

GREENER. **Estudo estratégico: mercado fotovoltaico de geração distribuída 1º semestre de 2021**. São Paulo, 2021.

GREENPRO. **Altener Programa Comunitário. Energia Fotovoltaica-Manual sobre tecnologias, projecto e instalação**. Europa: Comissão Europeia, 2004

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre, UFRGS, 2009.

GOODE, W. J.; HATT, P. K. **Métodos em pesquisa social**. 3. ed. São Paulo: Nacional, 1969.

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia). **Energy Prices Taxation Information**. Paris, 2022.

ISA, International Solar Alliance. **Ease of Doing Solar 2020 in ISA Member Countries**. Haryana (Índia), 2020.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2021.

LIMA, R. M. C. *et. al.* **Caracterização de células solares de filmes finos de CIGS**. Rio de Janeiro, 2017.

MANZO, Abelardo J. **Manual para la preparación de monografias: una guía para presentar informes y tesis**. 2. ed. Buenos Aires: Humanitas, 1973.

MIE, G. **Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen**. Annalen der physik ,1908

MME - Ministério de Minas e Energia, EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2021: Ano base 2020** / Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE, 2021.

MME - Ministério de Minas e Energia, EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2050** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2020.

MORESI, E. **Metodologia da Pesquisa**. Universidade Católica De Brasília – UCB, Brasília, 2003.

NASCIMENTO, F. L. **Painel Solar Fotovoltaica como Energia Alternativa e Sustentável para o Estado de Roraima-RR**. Boletim de Conjuntura (BOCA) ano II, vol. 1, n. 3, Boa Vista, 2020.

NEOSOLAR ENERGIA. **Calculadora solar**. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/simulador-solar-calculadora-fotovoltaica> Acesso em: 02 mar. 2022.

ONE SOL. **Módulos Fotovoltaicos – Monocristalino ou Policristalino**. Disponível em: <https://onesol.com.br/home/f/m%C3%B3dulos-fotovoltaicos-%E2%80%93-monocristalino-ou-policristalino>. Acesso em: 04 out. 2021.

PEREIRA, A. S. et al. **Metodologia da pesquisa científica**. 1. ed. Santa Maria, RS: UFSM, NTE, 2018. 119p.: il. (EBOOK). ISBN 978-85-8341-204-5.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos, 2017.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>. Acesso em: 12 out. 2021.

PORTAL SOLAR. **Como instalar energia solar: passo a passo**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-instalar-energia-solar.html>. Acesso em: 12 out. 2021.

REN21. **Energias renováveis 2016 - relatório da situação mundial**. Paris, 2016.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração de energia fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SANTADE, M. S. B. **A metodologia de pesquisa: instrumentais e modos de abordagem**. Interciência & Sociedade, v. 5, n. 2, 2020.

SCHLECHT, M.; MEYER, R. **Concentrating Solar Power Technology**. 2012

SILVA, R. G.; CARMO, M. J. **Energia solar fotovoltaica: uma proposta para melhoria da gestão energética**. International Scientific Journal, n. 2, v. 12- 8, April/June 2017.

SOARES, F. K.; SOUZA, L. S.; ALMEIDA, L. et al. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Brasília, 2020.

TORRES, R. C. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012.164f. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e Área de Concentração em Térmica e Fluidos) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

TRUJILLO, F.A. **Metodologia da ciência**. 3. ed. Rio de Janeiro: Kennedy, 1974.

VELASQUEZ, R.M.G. et.al. **Análise técnico-econômica comparativa das tecnologias de concentração heliotérmica em localidades brasileiras.** In: CIES2020: As Energias Renováveis na Transição Energética: Livro de Comunicações do XVII Congresso Ibérico e XIII Congresso Ibero-americano de Energia Solar. Helder Gonçalves, Manuel Romero (Ed.). Lisboa, Portugal, 2020.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 9 ed. São Paulo: Atlas, 2007.