

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**LARISSA CAMPOS TESIMA  
PEDRO PAULO YASUO CAETANO YAMAMOTO**

**O IMPACTO DE NOVAS TECNOLOGIAS E MATÉRIAS-PRIMAS NO  
DESENVOLVIMENTO E DIFUSÃO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL**

**CAMPO MOURÃO - PR**

**2022**

**LARISSA CAMPOS TESIMA  
PEDRO PAULO YASUO CAETANO YAMAMOTO**

**O IMPACTO DE NOVAS TECNOLOGIAS E MATÉRIAS-PRIMAS NO  
DESENVOLVIMENTO E DIFUSÃO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL**

**The impact of new technologies and raw materials on the development and  
diffusion of solar energy in Brazil**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Eletrônica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna.

**CAMPO MOURÃO - PR**

**2022**



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**LARISSA CAMPOS TESIMA  
PEDRO PAULO YASUO CAETANO YAMAMOTO**

**O IMPACTO DE NOVAS TECNOLOGIAS E MATÉRIAS-PRIMAS NO  
DESENVOLVIMENTO E DIFUSÃO DA ENERGIA SOLAR NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Eletrônica da  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Data de aprovação: 18/novembro/2022

---

Roberto Ribeiro Neli  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Gilson Junior Schiavon  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

---

Eduardo Giometti Bertogna  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**CAMPO MOURÃO - PR  
2022**

Dedico esta pesquisa, bem como todas as investigações feitas as quais auxiliaram a elaboração do trabalho, a minha família.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, a minha família, e todos àqueles que ajudaram este trabalho se concretizar.

## RESUMO

A matriz elétrica brasileira, composta em sua maior parte por hidrelétricas, depende de um nível estável de chuvas para manter seus reservatórios a níveis satisfatórios. Entretanto, o Brasil possui um ótimo potencial solar para geração de energia elétrica quando comparada, principalmente, com países que já possuem a energia solar fotovoltaica inserida de forma consistente em sua matriz energética, como a Alemanha. Desde 2012, após a resolução N° 482 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), uma pessoa física pode injetar eletricidade na rede brasileira, se a energia é produzida por fontes renováveis, o que motivou a indústria a desenvolver tecnologia nessa área. Porém, instalar um sistema fotovoltaico ainda é caro, e a eficiência da maior parte dos módulos comerciais é de apenas 18%. Em geral, esses módulos são de silício mono ou policristalino, chamadas de células de primeira geração. Existem também as células de silício amorfo, que possuem eficiência em torno de 11%. Essas são células de filme fino, ditas de segunda geração. Existem também as células de terceira geração que ainda estão em fase de pesquisa e não são encontradas no mercado, essas são as células orgânicas, como a célula de perovskita que apresentou eficiência em laboratório de 28%. As políticas de incentivos existentes no Brasil ainda têm que evoluir para que melhore a viabilidade desta forma de geração de energia. O investimento inicial elevado acaba inibindo a expansão principalmente nas unidades consumidoras do tipo residencial. O crescimento desta fonte de geração de energia também fica prejudicado devido aos obstáculos tributários e institucionais. Apesar disso, no Brasil esse sistema cresce gradativamente, o que proporciona um aumento pela demanda e a redução nos custos de aquisição e de instalação do mesmo. Por isso, este trabalho visa suprir parte da demanda por informações sobre a disponibilidade de energia solar no Brasil, incentivos governamentais, panorama da legislação vigente, bem como o impacto de novas tecnologias e matérias-primas no desenvolvimento e difusão desta fonte de energia.

Palavras-chave: energia solar fotovoltaica; energia renovável; geração de energia elétrica; energia solar.

## ABSTRACT

The Brazilian electrical matrix, composed mostly of hydroelectric plants, depends on a stable level of rainfall to maintain its reservoirs at satisfactory levels. However, Brazil has a great solar potential for electricity generation when compared, mainly, with countries that already have photovoltaic solar energy consistently inserted in their energy matrix, such as Germany. Since 2012, after ANEEL (National Electric Energy Agency) Resolution No. 482, an individual can inject electricity into the Brazilian grid, if the energy is produced by renewable sources, which motivated the industry to develop technology in this area. However, installing a photovoltaic system is still expensive, and the efficiency of most commercial modules is only 18%. In general, these modules are made of mono- or polycrystalline silicon, called first-generation cells. There are also amorphous silicon cells, which have an efficiency of around 11%. These are thin-film cells, called second-generation cells. There are also third generation cells that are still in the research phase and are not found on the market, these are the organic cells, such as the perovskite cell, which showed an efficiency of 28% in the laboratory. Existing incentive policies in Brazil still have to evolve in order to improve the viability of this form of energy generation. The high initial investment ends up inhibiting expansion, mainly in residential consumer units. The growth of this source of energy generation is also hampered due to tax and institutional obstacles. Despite this, in Brazil this system grows gradually, which provides an increase in demand and a reduction in acquisition and installation costs. Therefore, this work aims to supply part of the demand for information on the availability of solar energy in Brazil, government incentives, an overview of current legislation, as well as the impact of new technologies and raw materials on the development and diffusion of this energy source.

Keywords: photovoltaic solar energy; renewable energy; electricity generation; solar energy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Matriz Energética Brasileira 2021 .....	18
Figura 2 – Comparação da matriz energética do brasil com o mundo.....	19
Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira 2021 .....	19
Figura 4 – Comparação da matriz elétrica do brasil com o mundo.....	20
Figura 5 – Célula de Silício Monocristalino.....	21
Figura 6 – Célula de Silício Policristalino.....	22
Figura 7 – Célula de silício amorfo. ....	23
Figura 8 – Célula de Filme Fino.....	23
Figura 9 – Célula de Perovskita em produção. ....	24
Figura 10 – Camadas de um painel fotovoltaico.....	25
Figura 11 – Sistema solar fotovoltaico conectado à rede ( <i>on-grid</i> ).....	28
Figura 12 – Painel solar de silício monocristalino.....	33
Figura 13 – Painel Solar Policristalino.....	34
Figura 14 – Painel solar de silício amorfo. ....	35
Figura 15 - Filme Fino .....	37
Figura 16 – Painel solar de Perovskita. ....	38
Figura 17 - Inversor de frequência WEG .....	39
Figura 18 - Painel de silício monocristalino TRINA 510Wp.....	39
Figura 19 – Consumo e geração mensal de energia elétrica .....	40
Figura 20 – Economia anual.....	41
Figura 21 – Fluxo de caixa.....	41
Figura 22 – Produção de células de silício monocristalino x policristalino. ....	42
Figura 23 - Uso dos diferentes tipos de painéis e suas aplicações. ....	43



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Equipamentos.....	39
Quadro 2 – Parâmetros da viabilidade financeira.....	42
Quadro 3 - Planilha comparativa das novas tecnologias de energia solar no Brasil.....	43
Quadro 4 - Planilha comparativa de preços das novas tecnologias de energia solar no Brasil.....	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIE	Agência Internacional de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BRICs	Brasil, Rússia, Índia, China e África do sul
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CH <sub>4</sub>	Metano
ESL	Electron Selective Layer
EVA	Etil Vinil Acetato
GW	Gigawatt
kWh	Quilowatt-hora
kWp	Quilowatt-pico
m <sup>2</sup>	Metro quadrado
MPPT	Maximum Power Point Tracking
OPV	Organic Photovoltaic
PECVD	Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition
PRONOSOLAF	Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica
PWM	Pulse Width Modulation
Si	Silício
tep	Toneladas Equivalentes de petróleo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.1.1	Objetivos geral .....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Nascimento e fases da tecnologia solar</b> .....	<b>16</b>
2.1.1	Segunda Geração .....	17
2.1.2	Terceira Geração .....	17
<b>2.2</b>	<b>Matriz Energética e Elétrica Brasileira</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b>Elementos de um Sistema Fotovoltaico</b> .....	<b>20</b>
2.3.1	Células Fotovoltaicas .....	20
2.3.2	Painéis Fotovoltaicos.....	24
2.3.3	Inversor .....	25
<b>2.4</b>	<b>Controladores de Carga</b> .....	<b>26</b>
2.4.1	Baterias .....	26
<b>2.5</b>	<b>Sistema isolado da rede (<i>off-grid</i>)</b> .....	<b>27</b>
<b>2.6</b>	<b>Sistema conectado à rede (<i>on-grid</i>)</b> .....	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1</b>	<b>Legislação brasileira e incentivos</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Painéis de Silício Monocristalino</b> .....	<b>31</b>
<b>3.3</b>	<b>Painéis de Silício Policristalino</b> .....	<b>33</b>
<b>3.4</b>	<b>Painéis de Silício Amorfo</b> .....	<b>34</b>
<b>3.5</b>	<b>Painéis de Filmes Fino</b> .....	<b>35</b>
<b>3.6</b>	<b>Painéis de <i>Perovskita</i></b> .....	<b>37</b>
<b>3.7</b>	<b>Estudo de caso</b> .....	<b>38</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>41</b>
<b>4.1</b>	<b>Usos e custos dos diferentes tipos de placas fotovoltaica</b> .....	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>47</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética deve-se ao progresso tecnológico e estrutural da civilização, que se acredita serem os principais impulsionadores da aceleração das mudanças climáticas e ambientais observadas nas últimas décadas. Pesquisas recentes mostram que a demanda de energia está aumentando como resultado da recuperação econômica nos países em desenvolvimento. As tendências atuais de crescimento indicam que o consumo de energia nos países desenvolvidos provavelmente excederá o dos países em desenvolvimento nas próximas duas décadas deste século devido a melhorias nos parâmetros socioeconômicos nesses países (SANCHEZ-PANTOJA et al., 2018).

De acordo com dados da Agência Internacional de Energia (AIE) e Estatísticas de Energia Mundial, Brasil, Rússia, Índia, China e África do sul (BRICs) respondem por 32% da demanda mundial de energia. Entre eles, o destaque é a China com 2.417 milhões de tep (toneladas equivalentes de petróleo), o que corresponde a 19% da demanda mundial de energia. A Rússia vem em segundo lugar com 701 milhões de tep (6% da demanda mundial), em terceiro aparece a Índia com 692 milhões de tep (5%) e por último o Brasil com 265 milhões de tep (2%).

Embora a China apresente a maior demanda energética mundial, seu consumo per capita (1,81 tep / pessoa) está abaixo da média mundial (1,86 tep / pessoa). Da mesma forma, a Índia, mesmo atingindo 5% da demanda mundial, apresenta baixo consumo per capita (0,59 tep / pessoa). Por outro lado, a Rússia apresenta um consumo de energia per capita (4,95 tep / habitante) de país desenvolvido. O consumo brasileiro (1,36 tep / habitante) ocupa uma posição intermediária entre os BRICs (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul), ligeiramente abaixo do consumo chinês (JORNAL GGN, 2013).

O petróleo é a principal commodity da matriz energética brasileira, representando cerca de 60% do consumo total das fontes de energia, utilizadas principalmente para atender grande parte da demanda energética do setor de transportes. Também é importante denotar que cerca de 40% da energia provém do bagaço da cana-de-açúcar e da biomassa tradicional. Atualmente a hidrelétrica é a principal fonte de energia para geração de eletricidade no Brasil, respondendo por 62,44% da produção (EPE, 2022; HOLMGREN et al., 2018).

Embora a energia hidrelétrica seja considerada renovável e limpa, os impactos ambientais das inundações regionais em grande escala, a liberação de metano (CH<sub>4</sub>) proveniente da decomposição anaeróbia da matéria orgânica inundada pelas enchentes e a hidrologia regional, sua aplicação é essencial devido à sua dependência social. O Brasil tem, portanto, um grande potencial para o aproveitamento da energia solar durante todo o ano. O uso da energia solar traz benefícios de longo prazo para o país, permite o desenvolvimento de áreas remotas onde o custo da eletrificação por redes convencionais é muito alto em comparação com os benefícios econômicos e regula o fornecimento de energia em períodos de seca. O potencial de médio a longo prazo para o uso dessa abundante energia renovável é muito diversificado, desde pequenos sistemas fotovoltaicos autônomos até grandes sistemas com uso intensivo de energia solar (HOLMGREN et al., 2018).

Os sistemas fotovoltaicos, especialmente os integrados em edifícios municipais e ligados à rede de distribuição, oferecem várias vantagens para os sistemas elétricos. Muito disso envolve evitar custos que ainda não foram contabilizados ou quantificados, como:

- As perdas de transmissão e distribuição de energia são reduzidas porque a eletricidade é consumida onde é produzida;
- Redução do investimento em equipamentos de transmissão e distribuição de energia;
- Os edifícios com tecnologia fotovoltaica integrada não necessitam de uma área física dedicada;
- Quando distribuídos estrategicamente, os geradores solares oferecem capacidade de geração ociosa mínima para instalações de curto prazo, alto grau de modularidade e flexibilidade para aumentar a capacidade de geração.

No entanto, atualmente, essa energia ainda está incipiente na matriz energética brasileira. Muitos dos potenciais investidores e produtores do setor energético não possuem informação ou conhecimento, com o embasamento científico necessário, sobre as opções em fontes renováveis de energia e, por isso, tendem a evitar os riscos econômicos e financeiros associados ao desenvolvimento de projetos nesta área.

## 1.1 Objetivos

Nesta seção serão descritos os objetivos gerais e objetivos específicos do trabalho.

### 1.1.1 Objetivos geral

Este trabalho visa suprir parte da demanda por informações sobre a disponibilidade de energia solar no Brasil, incentivos governamentais, panorama da legislação vigente, bem como o impacto de novas tecnologias e matérias-primas no desenvolvimento e difusão desta fonte de energia renovável no Brasil.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o panorama da matriz energética e elétrica brasileira.
- Elaborar uma revisão teórica sobre os diferentes tipos de painéis fotovoltaicos.
- Comparar as vantagens e desvantagens das principais tecnologias de painéis fotovoltaicos, tais como, silício monocristalino, silício policristalino, silício amorfo, filme fino e *perovskita*.
- Estudar as regulações vigentes.

## 1.2 Justificativa

O Brasil tem um setor hidrelétrico e de energia renovável bem desenvolvido, respondendo por mais de 83% de sua oferta de eletricidade. No entanto, setores como eólico, solar e solar flutuante têm potencial. De fato, o Brasil é considerado um mercado muito atrativo para investimentos de baixo carbono. Um relatório do *Bloomberg Climatescope* classificou o Brasil como o terceiro mercado mais atraente do mundo, e o *Renewable Energy Country Attractiveness Index* classificou o Brasil em 11º lugar entre 40 países (o mais alto da América Latina).

O setor eólico recebeu a maior atenção dos investidores, com um potencial estimado atual de 300 GW. A capacidade de energia eólica aumentou 891% entre 2009 e 2014, atraindo 84% do investimento em energia renovável em 2014. O ano de 2015 encerrou com 281 usinas comissionadas com capacidade instalada de cerca de 7,1 GW. Comparado a outros países do BRICs (Brasil, Rússia, Índia, China

e África do sul), Índia (20 GW) e China (90 GW), o Brasil tem amplo espaço para crescimento e um potencial significativo não utilizado (MENEZES et al, 2018).

Apesar da abundância de matérias-primas renováveis, o Brasil enfrenta atualmente grandes desafios no que diz respeito ao fornecimento de energia. O aumento dos níveis de renda nos últimos anos trouxe melhorias significativas na qualidade de vida da sociedade brasileira. O aumento do acesso a serviços e aparelhos de energia modernos aumentou o consumo de energia doméstica, com o consumo de eletricidade residencial aumentando mais de 5% ao ano nos últimos cinco anos. Destaca-se a crescente posse de condicionadores de ar, o que contribui para um aumento significativo da demanda de eletricidade durante o verão. (ANTONIOLLI et al, 2018).

Do lado da oferta, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) estabeleceu um teto para o preço da eletricidade artificialmente baixo em uma série de leilões em 2013. Como resultado, muitos geradores foram forçados a sair do mercado regulado, atraídos por melhores níveis de preços no mercado à vista. Como resultado, as empresas de distribuição não conseguiram comprar energia suficiente para atender às suas necessidades e corriam o risco de desabastecimento. O verão de 2014 viu chuvas abaixo da média e intensificou as ondas de calor. A geração de energia hidrelétrica está em declínio, mas o consumo de eletricidade está aumentando significativamente (KEMERICH et al, 2016).

Infelizmente, a energia produzida ainda não atendeu à demanda depois que todas as usinas foram despachadas. Os distribuidores são obrigados a cobrir 100% de sua carga contratada e, se a produção de uma usina ficar aquém da meta, o mercado à vista é usado para compensar a diferença. Como resultado, as empresas de energia tiveram que comprar eletricidade a preços altos no mercado à vista. Os custos adicionais foram repassados aos consumidores por meio de aumentos nos preços da eletricidade, levando a uma forte reação pública (HEREZ et al., 2016).

A crise de energia brasileira de 2014 destacou a necessidade urgente de diversificar o portfólio de energia para reduzir a vulnerabilidade do sistema energético. A energia solar é considerada uma fonte de energia suplementar promissora em países tropicais com recursos solares abundantes. Além disso, regiões do Nordeste e de Minas Gerais, de maior potencial solar, são social e economicamente subdesenvolvidas. Iniciar novos projetos de energia solar nessas áreas pode servir como meio de estimular a economia local (HEREZ et al., 2016).

A energia solar é, portanto, uma fonte de energia com grande potencial para resolver o problema da matriz energética brasileira, principalmente na região Nordeste, onde a radiação solar é em média entre 5.700 e 6.100 kWh/m<sup>2</sup> por dia. A insolação média anual do país é de 1.200-2.400 kWh/m<sup>2</sup>/ano, que é um dos principais índices de energia solar e é superior à já estabelecida Alemanha, com uma insolação média anual de 900-1.250 kWh/m<sup>2</sup>. Apesar do alto custo inicial, os micros e minigeradores solares podem ser uma solução eficaz para os problemas enfrentados no acesso à energia nas regiões norte e nordeste (PAIXÃO; MIRANDA, 2018).



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas secções seguintes será realizado uma revisão bibliográfica.

### 2.1 Nascimento e fases da tecnologia solar

O sol atinge a Terra com 430 quintilhões de joules de energia a cada hora. Se toda essa energia pudesse ser usada como eletricidade, seria suficiente para atender às necessidades energéticas do mundo (COSTA et al., 2016).

Diante disso, o potencial para a tecnologia solar é enorme. Desde que Edmund Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico (PV, Photovoltaic) em 1839, estamos cientes de como os humanos podem usar a energia emitida pelo sol diariamente. Os painéis solares têm sido o principal meio de conseguir isso desde sua invenção em 1954, com vários graus de sucesso e eficiência. No entanto, nos últimos anos houve um aumento na pesquisa de tecnologias fotovoltaicas altamente eficientes e comercialmente viáveis. A humanidade está acelerando coletivamente o esgotamento dos recursos naturais para uso como fontes de energia, e as mudanças ambientais associadas ao uso desses recursos estão aumentando a necessidade de produção de energia sustentável (ASTOLFI et al., 2017).

Três processos específicos são necessários para que as células fotovoltaicas funcionem corretamente. Primeiro, a célula deve absorver os fótons do material semicondutor. Esses fótons excitam os portadores de carga no material semicondutor e são atraídos da célula para os eletrodos, criando uma corrente elétrica. Para converter essa energia em eletricidade, a corrente contínua (CC) gerada é enviada para um inversor e convertida em corrente alternada (CA) para consumo.

A primeira célula solar para capturar energia solar foi fabricada pela *Bell Labs* em 1954. Este painel converteu a luz solar em eletricidade com uma eficiência de 6%. Em outras palavras, apenas uma fração dos fótons que atingem o painel pode ser convertida em eletricidade. No entanto, marcou o nascimento da primeira geração da tecnologia solar. Os módulos solares de primeira geração normalmente consistiam em células baseadas em *wafers* fabricadas a partir de materiais como silício cristalino. O projeto geral desses painéis foi baseado em uma única junção p-n

na qual os materiais semicondutores positivos (p) e negativos (n) formam uma 'junção'. O material 'n-dopado' tem uma carga negativa e a camada 'p-dopada' tem uma carga positiva. Isso cria um campo elétrico na transição entre camadas que empurra os portadores de carga foto gerados para fora da junção p-n em direção ao eletrodo (COSTA et al., 2016).

### 2.1.1 Segunda Geração

A segunda geração continuou seu desenvolvimento no século 21, com uma célula solar em 1999 atingindo 33% de eficiência no laboratório. Uma segunda geração de tecnologia solar surgiu na década de 1980 e prometia superar algumas das limitações técnicas e físicas introduzidas há 30 anos (ASTOLFI et al., 2017).

Enquanto a primeira geração foi baseada principalmente em silício, esta nova geração de baterias usa uma ampla gama de materiais, desde baterias de silício amorfo até telureto de cádmio. Estas são células solares de filme fino porque sua forte absorção de luz em comparação com o silício permite que camadas finas desses materiais sejam depositadas em materiais de substrato, como vidro ou plástico.

É claro que a energia solar de segunda geração também tem limites práticos. Os materiais de substrato para módulos fotovoltaicos de 2ª geração ainda são inflexíveis e atualmente têm eficiências na faixa de 20% a 30%, exigindo uma área de superfície significativa dependendo da área ocupada e do material. Além disso, alguns dos materiais utilizados, como o cádmio, que é conhecido por ser cancerígeno para os seres humanos, podem formar subprodutos tóxicos quando reciclados ou sob certas condições ambientais, o que representa desafios para o projeto de painéis fotovoltaicos. Além de ser uma fonte de energia sustentável, idealmente os painéis solares devem ser ecologicamente corretos e não tóxicos para os seres humanos e o meio ambiente. Isso estimulou a pesquisa em energia fotovoltaica de terceira geração, que parece promissora (WANG et al., 2019).

### 2.1.2 Terceira Geração

A 3ª geração de tecnologia solar inclui diferentes tipos de tecnologia solar, especialmente células fotovoltaicas orgânicas (OPV, *Organic Photovoltaic*), que oferecem maior eficiência e reduzem o impacto ambiental geral dos painéis solares.

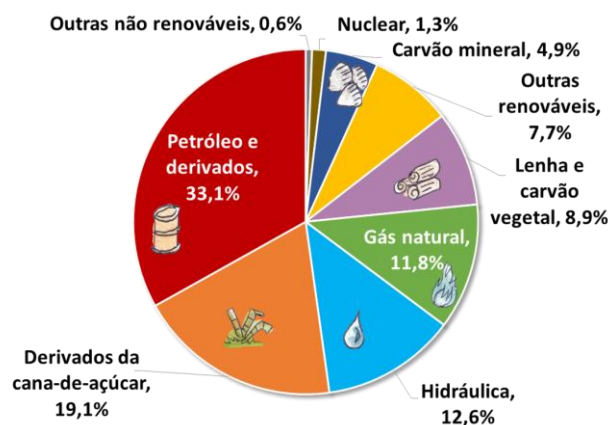
O resultado desta pesquisa é o *PolyPower*, que combina materiais orgânicos ecologicamente corretos para fornecer uma abordagem leve, flexível e potencialmente de baixo custo para aproveitar a energia solar. Essa tecnologia atinge essas propriedades ao mesmo tempo em que é robusta, aliviando os problemas associados às placas quebradiças.

*PolyPower* é nano-engenharia com transparência e flexibilidade, para que possa ser aplicado efetivamente como uma fina camada translúcida nas superfícies de edifícios, janelas e até mesmo tetos de veículos. Essas aplicações podem usar células solares de polímero orgânico como um recurso de design, para que possam ser carregadas independentemente de uma fonte de alimentação central quando usadas ao ar livre (WANG et al., 2019).

## 2.2 Matriz Energética e Elétrica Brasileira

A matriz elétrica representa as fontes de energia que são utilizadas exclusivamente para gerar energia elétrica, enquanto a matriz energética é mais inclusiva e representa todas as fontes de energia disponíveis (EPE, 2022). A Figura 1 mostra a distribuição da matriz energética brasileira.

**Figura 1 – Matriz Energética Brasileira 2021**



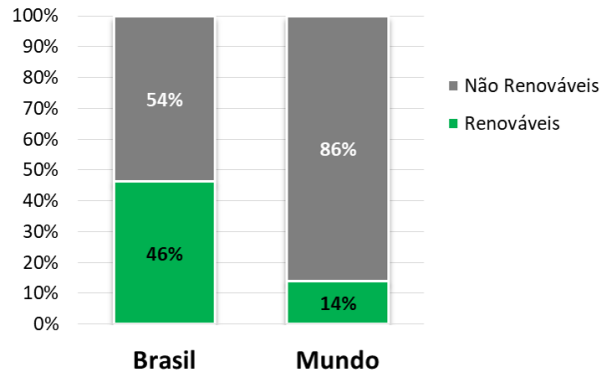
Fonte: BEN (2022) apud EPE (2022, p. 1).

Fontes de energias renováveis, como energia solar, eólica e geotérmica, juntas, correspondem a apenas 2% da matriz energética. Somando à energia hidrelétrica e biomassa, as energias renováveis representam cerca de 14%.

Embora o Brasil use principalmente fontes de energia não renováveis, seu uso de fontes de energia renovável ainda é maior do que em outras partes do

mundo, com lenha e carvão vegetal, energia hidrelétrica e fontes de energia derivadas da cana-de-açúcar, conforme mostrado na Figura 2, a participação de energia renovável é de 48,3%, quase metade da nossa matriz energética (EPE, 2022).

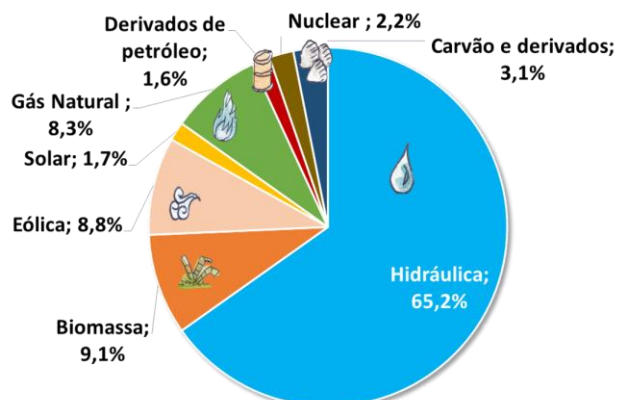
**Figura 2 – Comparação da matriz energética do Brasil com o mundo.**



Fonte: EPE (2022, p.1).

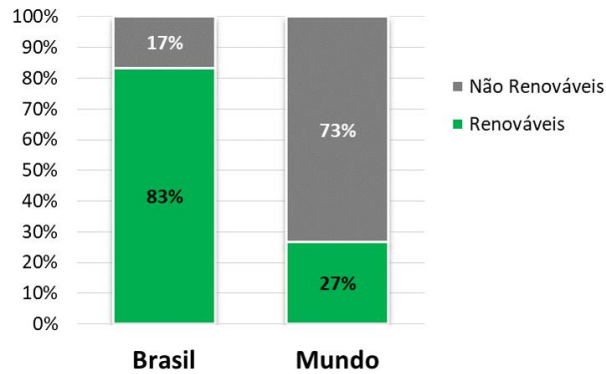
A matriz elétrica do Brasil é ainda mais renovável que a matriz energética, pois grande parte da eletricidade gerada no Brasil é proveniente de usinas hidrelétricas. A energia eólica também aumentou significativamente, contribuindo para a matriz energética amplamente renovável (EPE, 2022). A Figura 3 mostra a distribuição da matriz elétrica brasileira e a Figura 4 a comparação da matriz elétrica do Brasil com o mundo.

**Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira 2021**



Fonte: BEN (2022) apud EPE (2022, p. 1).

**Figura 4 – Comparação da matriz elétrica do Brasil com o mundo.**



Fonte: EPE (2022, p. 1).

### 2.3 Elementos de um Sistema Fotovoltaico

Sistemas conectados à rede (*on-grid*) e sistemas isolados (*off-grid*) possuem equipamentos específicos de aplicação, como controladores de carga e baterias em sistemas *off-grid*, mas módulos fotovoltaicos e inversores são comuns a ambos, independentemente da configuração do sistema (PORTAL SOLAR, 2022).

#### 2.3.1 Células Fotovoltaicas

Uma célula solar pode ser definida como a menor unidade de um sistema fotovoltaico, pois é a unidade básica que converte diretamente a energia solar em energia elétrica. Uma única célula produz uma pequena quantidade de energia, portanto, várias células devem ser combinadas para obter mais energia. O material semicondutor e a colocação das conexões elétricas determinam a eficiência do módulo solar (ALVES, 2016).

Conforme discute Assunção (2014), a produção de células solares é feita e comercializada principalmente com silício (Si), que se divide entre cristais de silício monocristalino, policristalino e amorfo. Esta produção foi descrita no manual de engenharia fotovoltaica como:

“Usamos silício ultrapuro como matéria-prima. Podemos usar o mesmo material da indústria eletrônica (*chips*), o chamado silício de grau eletrônico (Si-gE). Com pureza de 99,9999999%, podemos produzir 9N (nove-noves) ou silício grau solar (Si-gS), com 99,9999(6N)”. No entanto, outros materiais também estão sendo testados para esta aplicação, sendo um exemplo as baterias de película fina, que

são menos eficientes em termos energéticos do que o silício tradicional, mas o processo de fabricação é menos dispendioso (NASCIMETO, 2004).

Amplamente classificados, monocristalino e policristalino são as duas formas mais básicas e amplamente utilizadas de tecnologia de cristal. Em comparação com todos os outros tipos de tecnologia fotovoltaica, a tecnologia de silício cristalino tem a mais alta eficiência econômica.

Os principais tipos de células fotovoltaicas são apresentados a seguir:

- Silício Monocristalino: é assim chamado por causa de sua estrutura homogênea por toda parte, conforme mostrado na Figura 5. As células monocristalinas são o tipo de célula comercial mais eficiente, atingindo eficiências na faixa de 18-25%, mas são as mais caras de fabricar. As células são duras e quebradiças, por isso devem ser montadas em módulos para melhorar sua resistência mecânica (VILLALVA; GAZOLI, 2012; PORTAL SOLAR, 2022).

**Figura 5 – Célula de Silício Monocristalino.**

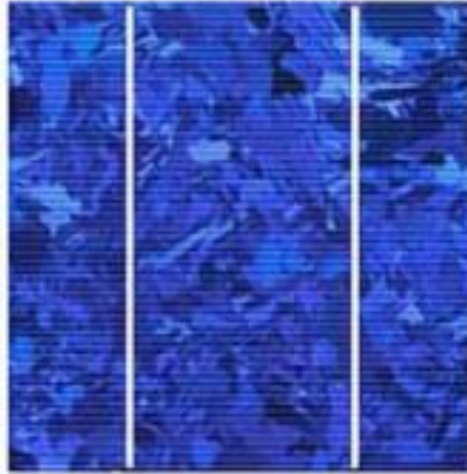


**Fonte: ADAPTADO de MME (2012).**

- Silício policristalino: ao contrário das células de silício monocristalino, "as células de silício policristalino não passam pelo processo *Czochralski*, no qual o policristalino é formado pelo resfriamento de silício líquido do tipo p de alta pureza. Uma junção p-n é formada através do mesmo processo de dopagem de fósforo que o silício monocristalino". (MACHADO, MIRANDA, 2015). A célula pode ser vista na Figura 6.

Este processo forma uma estrutura policristalina com interfaces entre os cristais (NASCIMETO, 2004). Desta forma, os átomos não são organizados em monocristais. As células policristalinas têm eficiências comerciais de cerca de 16-22%, mas são mais baratas de fabricar do que as células monocristalinas (VILLALVA; GAZOLI, 2012; PORTAL SOLAR, 2022).

**Figura 6 – Célula de Silício Policristalino.**



**Fonte: ADAPTADO de MME (2012).**

- Silício Amorfo (A-Si): o silício amorfo é o silício alotrópico e não cristalino mais comumente desenvolvido. Mais popular na tecnologia de filmes finos, mas propenso à degradação, que é sua principal fraqueza. A esse respeito, Rodrigues (2017) discorreu: “durante os 12 primeiros meses de funcionamento, ocorre uma degradação induzida pela luz solar, conhecida como o ‘Efeito *StaeblerWronski*’. Após esse período passa a ter um valor estável”. Uma técnica comumente utilizada para aumentar a eficiência do A-SI é o empilhamento de camadas Tipo-P e N mesclado com diferentes materiais, como o a-SiGe (silício-germânio amorfo), que permite o aumento na captação de radiação solar por parte do silício amorfo em detrimento ao aumento do custo de produção (PORTAL SOLAR, 2022). A célula pode ser vista na Figura 7.

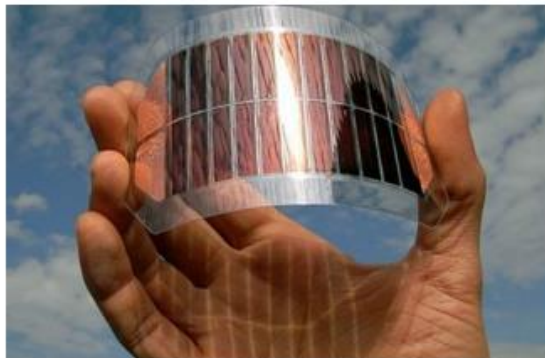
**Figura 7 – Célula de silício amorfo.**



**Fonte: Portal Energia (2019, p. 1).**

- Filme fino: Uma camada de material semicondutor na forma de um plasma sobre uma superfície flexível ou rígida (vidro) que atua como base ou suporte para o material semicondutor. O acabamento é feito com um material transparente, como uma tampa de vidro (PORTAL SOLAR, 2022). Essa configuração corresponde ao módulo de filme fino conforme Figura 8.

**Figura 8 – Célula de Filme Fino**



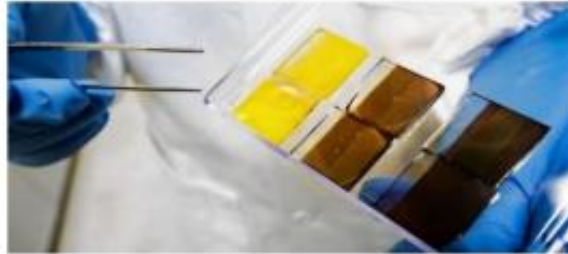
**Fonte: Portal Solar (2022, p. 1).**

- Célula de *perovskita*: As células híbridas de *perovskita* de haleto metálico (PSCs) são processadas em baixas temperaturas e possuem excelentes propriedades de absorção de luz (bom desempenho em luz baixa e difusa). Os PSCs podem ser flexíveis, leves e translúcidos. Notavelmente, filmes finos de *perovskita* também podem ser impressos, permitindo fabricação escalável e de alto rendimento, e um PSC rolo a rolo impresso recentemente alcançou uma eficiência



de 12,2%, a mais alta entre os PSCs impressos (COLLADOS et al., 2016). Notavelmente, os materiais combinados de *perovskita* e Si-PV mostraram uma eficiência recorde de até 28% em condições de laboratório, conforme demonstrado por Oxford PV. A célula pode ser vista na Figura 9.

**Figura 9 – Célula de Perovskita em produção.**



**Fonte: Portal Energia (2022, p. 1).**

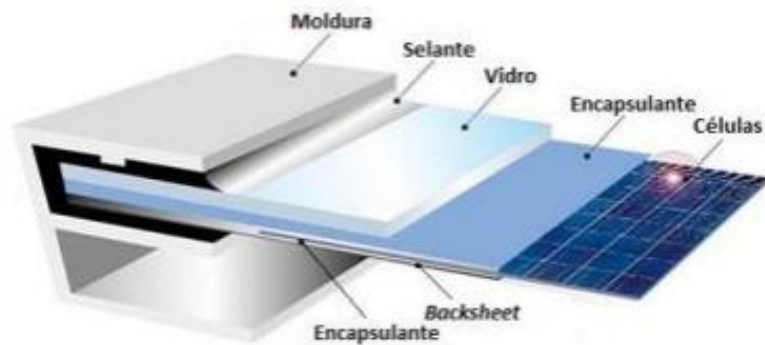
### 2.3.2 Painéis Fotovoltaicos

Um painel solar consiste em um grande número de células solares que podem ser ligadas entre si para permitir arranjos modulares para aumentar a capacidade de geração de energia. Cerca de 80% das células solares são feitas de silício cristalino e 20% usam filmes finos (SILVA, 2015). A estrutura básica do módulo fotovoltaico é apresentada na Figura 10 (TOLMASQUIM, 2016).

- **Moldura:** geralmente feito de alumínio, corresponde à parte externa do módulo e é responsável pela sua montagem.
- **Selante:** composto adesivo utilizado para adesão entre as camadas internas do módulo e a moldura. Tem como finalidade impedir a entrada de umidade e gases, bem como proteger o interior de choques mecânicos e vibrações.
- **Vidro:** ele é projetado para proteger as células e fios do ambiente com uma camada externa dura, permitindo a penetração da luz que é convertida em eletricidade. Um vidro especial com baixo teor de ferro, uma superfície estruturada e um revestimento antirreflexivo é usado para evitar a reflexão da luz incidente através do vidro.
- **Encapsulante:** compatível com o filme que envolve as células, não apenas otimiza a condução elétrica, mas também protege as células de objetos estranhos e umidade. O material mais utilizado para este fim é o *Etil Vinil Acetato* (EVA).
- **Células Fotovoltaicas:** componentes eletrônicos que convertem energia eletromagnética diretamente em energia elétrica.

- **Backsheet:** incorporado na parte inferior do módulo, ele protege as células de influências externas e entrada de umidade e também fornece isolamento elétrico adicional. A inclinação ideal de um painel fotovoltaico pode ser determinada de acordo com a latitude do local do projeto, e a configuração do sistema fotovoltaico, conectado à rede (*on-grid*) ou isolado (*off-grid*), afeta a forma como a inclinação é calculada. Para sistemas conectados à rede, inclinações menores que a latitude absorve mais radiação solar perto do solstício de verão, aumentando a produção de energia (FADIGAS, 2020).

**Figura 10 – Camadas de um painel fotovoltaico.**



Fonte: TOLMASQUIM (2016, p. 334).

### 2.3.3 Inversor

Um inversor é um dispositivo eletrônico que converte energia elétrica em corrente alternada (CA) a partir de uma fonte de energia elétrica de corrente contínua (CC) (PINHO; GALDINO, 2014). A energia de corrente contínua pode ser obtida, por exemplo, de módulos solares, baterias ou células de combustível. A carga que alimenta deve receber uma tensão de saída CA de frequência, conteúdo harmônico e amplitude apropriados. Os sistemas conectados à rede devem sincronizar a tensão de saída do inversor com a tensão da rede (CRESESB, 2014).

Os inversores em sistemas off-grid funcionam retirando energia de bancos de baterias, por meio dos quais convertem a energia CC fornecida pelas baterias em energia CA, alimentando diretamente os dispositivos de consumo. Esses inversores não podem ser utilizados em sistemas vinculados à rede, pois não são projetados para receber a energia CA presente na rede (TONIN, 2017).

Os inversores *on-grid* são projetados para serem permanentemente conectados à rede. Como tal, deve ser capaz de fornecer energia CA e detectar anomalias que ocorrem na rede, como flutuações de tensão e frequência, especialmente quedas de energia. Em caso de falta de energia da rede, o dispositivo se desligará automaticamente para não comprometer os serviços de manutenção (TONIN, 2017).

## 2.4 Controladores de Carga

Também conhecido como reguladores de carga, este componente é normalmente usado em sistemas *off-grid*, ou seja, sistemas onde as baterias são usadas para armazenamento de energia. A principal função do controlador de carga é proteger o acumulador, ou bateria, da sobrecarga do sistema. Além disso, quando devidamente afinado, garante que o sistema funcione com a máxima eficiência (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

Uma das principais funções do controlador de carregamento é evitar a sobrecarga da bateria monitorando o valor da tensão nos terminais da bateria e impedindo que a bateria continue a carregar quando a tensão de carregamento for atingida. Para evitar sobrecarga, o controlador de carga desconecta o painel solar do sistema quando a bateria atinge seu nível máximo de carga. Existem dois tipos de controladores de carga:

O PWM (*Pulse Width Modulation*) e MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), o controlador PWM não alimentará o banco de baterias a partir do ponto de potência máxima do painel solar, o que afetará o desempenho do sistema. O ponto de potência máxima é alcançado, resultando em eficiência quase perfeita do sistema (TONIN, 2017).

Para sistemas fotovoltaicos *off-grid*, a principal preocupação é que a corrente que fornece potência máxima ao módulo fotovoltaico não exceda a corrente de potência máxima do controlador de carregamento se os reguladores forem dimensionados para a mesma tensão (PORTAL SOLAR, 2022).

### 2.4.1 Baterias

As baterias de armazenamento são necessárias para fornecer energia constante aos consumidores quando a quantidade de geração de energia é baixa

como à noite ou durante o tempo chuvoso ou nublado. A bateria armazena parte da energia gerada pelo módulo durante o dia e atende a demanda no restante da noite (PINHO; GALDINO, 2014).

Agrupadas, as baterias podem formar bancos. Uma conexão em série resulta em uma tensão mais alta, enquanto uma conexão em paralelo pode armazenar mais energia ou entregar mais corrente na mesma tensão (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

As baterias mais recomendadas são baterias estacionárias, normalmente usadas para funções que exigem corrente moderada por longos períodos de tempo, em vez de sobrecarregar por alguns segundos (MACHADO; MIRANDA 2016).

## **2.5 Sistema isolado da rede (*off-grid*)**

Os sistemas isolados (*off-grid*) estão disponíveis com ou sem armazenamento. No primeiro caso a energia é utilizada diretamente pelo dispositivo conectado, enquanto no segundo caso a energia gerada é armazenada em uma bateria que garante o fornecimento em períodos sem sol. (NASCIMENTO, 2019).

Simplificando, um sistema de energia solar isolado consiste em quatro componentes:

Painéis solares, controladores de carga, inversores e baterias (NASCIMENTO, 2019). Neste sistema, os painéis solares geram energia elétrica em corrente contínua e fornecem energia as baterias que armazenam energia elétrica para ser utilizada quando não há sol e nenhuma outra fonte de energia está disponível. Para garantir o fornecimento correto da bateria e evitar sobrecarga e descarga completa, deve-se usar um controlador de carga e um inversor que converta corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA) (MACHADO; MIRANDA, 2016).

## **2.6 Sistema conectado à rede (*on-grid*)**

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*) são sistemas que não utilizam baterias ou controladores de carga porque operam em paralelo à rede elétrica. Nesse sistema, além da função tradicional de converter corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA), o inversor tem a função de sincronizar o sistema com a rede pública (BOHN, 2019).

Como os sistemas vinculados à rede não possuem dispositivos de armazenamento de energia (baterias), toda a energia excedente (não consumida por residências e empresas) é enviada de volta à rede elétrica convencional (BOHN, 2019). Como na Figura 11.

Outro aspecto é que um sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*), atende ao sistema de compensação estabelecido pela resolução 482/2012 da ANEEL e modificado pela resolução 687/2015 da ANEEL, deve ser dimensionado com base na consideração de que o excedente da energia gerada será injetado na rede de energia elétrica local (ANEEL, 2012; ANEEL, 2015).

Apesar do uso das redes tradicionais de energia pelas residências, apenas a diferença entre consumo e geração é paga como recompensa, obtendo economia em sua conta. Outra vantagem é que os créditos obtidos podem ser utilizados por outras entidades consumidoras desde que sejam de propriedade do mesmo titular e façam parte da mesma rede de distribuição (CAMARA, 2022; INTELBRAS,2022).

**Figura 11 – Sistema solar fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*)**



Fonte: ADAPTADO de Portal Solar (2022).

### 3 METODOLOGIA

O objetivo da pesquisa exploratória é aproximar o objeto de estudo de uma maior clareza, e o desenho desse tipo de pesquisa deve ser flexível para levar em conta os mais diversos aspectos do fenômeno. tornar-se sendo estudado.

A revisão de literatura em nível exploratório foi escolhida como metodologia para este ensaio. Tentamos coletar o maior número possível de referências atuais em nosso indexador virtual. Também coletamos livros de referência que levantam dúvidas sobre os detalhes do trabalho. Para analisar os tipos de novas tecnologias que podem ser utilizadas no desenvolvimento da geração de energia solar, este ensaio realiza uma pesquisa bibliográfica no Google Acadêmico, Google Livros, banco de dados Scielo e bancos de dados de teses de mestrado e doutorado da Universidade Federal. Para aprofundar o seu conhecimento dos muitos detalhes do tema.

#### 3.1 Legislação brasileira e incentivos

No Brasil, a legislação voltada para o setor fotovoltaico abrange apenas os sistemas de geração de energia para mini ou microgeração descentralizada e distribuída, com a Resolução Normativa nº 482 (2012) e a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) porém, o governo federal tem realizados leilões específicos para implementação de usinas fotovoltaicas no país em larga escala (SILVA, 2015).

As Resoluções 482 e 687 listam as formas de geração de energia solar permitidas no Brasil. De acordo com a lei, os mais importantes são (CANAL SOLAR, 2022; CAMARA, 2022; INTELBRAS, 2022):

- **Microgeração distribuída:** Usinas de energia com uma potência de 75 kW ou menos.
- **Minigeração distribuída:** Uma usina de energia usada em energia renovável, fotovoltaica, inferior a 5 MW.
- **Sistema de compensação de energia elétrica:** Ao gerar energia excedente, os consumidores podem fornecer energia excedente à rede pública para crédito, tanto no caso de micro como de minigeração.

- **Empreendimento com múltiplas unidades consumidoras:** Geração para múltiplos consumidores, se os consumidores estiverem nas mesmas instalações ou em instalações vizinhas.
- **Geração compartilhada:** reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa.
- **Autoconsumo remoto:** Geração de energia em unidades localizadas em diferentes regiões onde a energia é consumida se os locais forem todos de propriedade da mesma pessoa.

Em 2018, a lei brasileira introduziu o PRONASOLAR (Política Nacional de Energia Solar Fotovoltaica). Este programa visa ampliar o uso de fontes de energia renovável no país, com foco na geração de energia solar.

Os benefícios desta lei incluem o estabelecimento de linhas de crédito para energia solar.

Para ajudar a proteger o meio ambiente, a instalação de módulos fotovoltaicos em residências, indústrias e comércio para geração de energia solar facilitará o acesso ao crédito. Os juros e as condições de pagamento serão mais favoráveis. Em 6 de janeiro de 2022 deste ano, o Presidente da República aprovou o Projeto de Lei PL5829/19. Este se tornou o novo marco regulatório solar brasileiro através da Lei 14.300/22 (CANAL SOLAR, 2022; CAMARA, 2022; INTELBRAS, 2022).

A nova lei trouxe muitas mudanças para o setor de energia solar, confira (CANAL SOLAR, 2022; CAMARA, 2022; INTELBRAS, 2022):

- Aquele que já possui o sistema solar instalado e quem instalar o novo sistema solar até final deste ano, terá os créditos de energia sem alterações até final de 2045 (1kWh de crédito para cada 1 kWh injetado na rede).
- Maior segurança jurídica, Resolução Normativa 482/12 poderia ser alterada a qualquer momento pela Aneel.
- Permissão para instalar sistemas híbridos com baterias de forma legal, item ainda em análise para regulação pela ANEEL.
- Permissão para venda dos créditos de energia para concessionária, item ainda em análise para regulação pela ANEEL.

- Não haverá mais cobrança em duplicidade da taxa mínima.
- Maior possibilidade de criação de usinas solares compartilhadas.
- Mais facilidade para distribuir créditos de energia, o prazo para alterações reduziu de 60 para 30 dias.
- Permite o abatimento de créditos entre concessionárias e permissionárias de energia.
- Benefícios ambientais dos sistemas solares serão valorados e remunerados, a partir de março de 2022.

### **3.2 Painéis de Silício Monocristalino**

Este modelo de painel fotovoltaico é uma tecnologia mais antiga, a eficiência do silício monocristalino fica em torno de 15 e 22%, comercialmente falando se levando em consideração os policristalinos e de silício amorfo, além disso, esses painéis ocupam menos espaço e têm capacidade de gerar a mesma quantia de energia. No entanto, esteja preparado para gastar mais com esse tipo de tecnologia, pois usa silício de alta pureza, que é caro em comparação com outros painéis solares. Os painéis solares de silício monocristalino são mostrados na Figura 12. Assim, eles são facilmente reconhecíveis porque têm cor uniforme (geralmente azul escuro ou cinza) que indica silício de alta pureza e geralmente possui cantos arredondados. Eles são compostos de cristais únicos de silício de alta pureza com uma estrutura cristalina única e organização molecular uniforme, portanto, possuem propriedades brilhantes e uniformes (PORTAL SOLAR, 2022; HCC ENERGIA SOLAR, 2022).

O silício é fatiado para produzir finas bolachas de silício puro, chamadas de *wafers*, contendo suas características fotovoltaicas. Eles recebem impurezas em sua superfície e passam por vários processos químicos que formam as camadas de P e N subjacentes para a função das células solares. A célula solar possui 'quatro lados' que foram cortados para otimizar a estrutura do módulo e melhorar o aproveitamento de sua área. Um painel solar consiste em um conjunto de células solares em série e em paralelo, dependendo da aplicação da configuração.

Existem muitas vantagens em usar esse tipo de painel, entre elas podemos citar (PORTAL SOLAR, 2022):



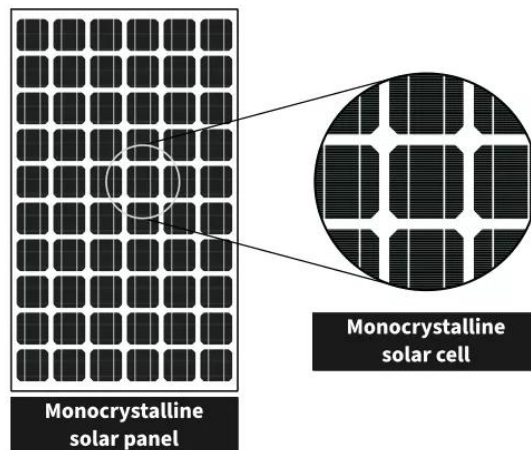
- Vida útil de mais de 25 anos, melhorando consideravelmente a durabilidade.
- Supera outros painéis em condições de pouca luz.
- Ocupa menos espaço e produz a mesma quantidade de energia.
- E têm uma alta eficiência de cerca de 15,2%.
- 

No entanto, a utilização deste tipo de painel também apresenta algumas desvantagens. Entre eles estão (MINHA CASA SOLAR, 2022; PORTAL SOLAR, 2022):

- Este painel normalmente tem um custo inicial maior devido ao uso de materiais ultrapuros em sua construção.
- O processo de fabricação que coloca cortes específicos na placa significa que a maior parte do silício original é desperdiçado. No entanto, sua eficiência permanece a mesma.
- Quando as células solares são encapsuladas durante a montagem do painel solar, a luz que chega à superfície das células solares é filtrada pelo vidro e EVA (material de encapsulamento) na parte superior do módulo, tornando o painel menos eficiente.

Este painel é mais caro, mas ainda é uma ótima opção de painel solar. Sua funcionalidade, eficiência e vida útil extremamente longa comprovam isso.

Figura 12 – Painel solar de silício monocristalino.



Fonte: Solar Sena (2022, p. 1).



### 3.3 Painéis de Silício Policristalino

As tecnologias monocristalinas e policristalinas usam silício como matéria-prima. A principal diferença entre essas técnicas é o método de fusão dos cristais.

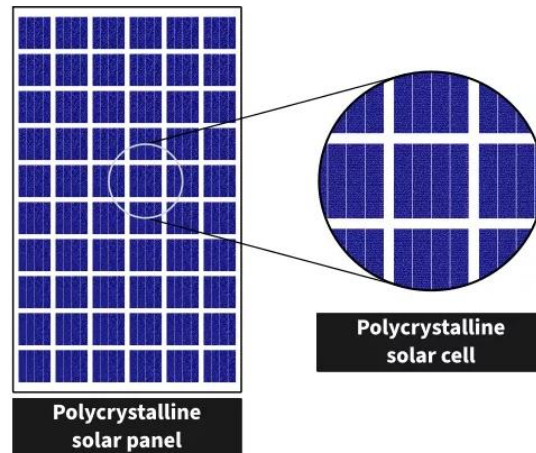
O silício policristalino é obtido pela fusão do silício em um molde que mantém a formação de múltiplos cristais. O processo de fabricação é muito mais barato e econômico que o silício monocristalino. Tem uma aparência incomum, geralmente encontrada em azul claro a cinza prateado, mas essa cor depende do tratamento antirreflexivo utilizado, conforme Figura 13. A irregularidade da cor pode ser vista dependendo do tipo de silício usado. São serrados em blocos quadrados e fatiados em células assim como o monocristalinos. Sua eficiência de 14% a 20%, devido à baixa pureza do silício policristalino, é menor se levado em comparação ao monocristalino, são mais fáceis de produzir, pois não são exigidos a fidelidade com o grau de pureza (SOLA VISTA ENERGY, 2022; PORTAL SOLAR, 2022).

A utilização deste tipo de painel tem as seguintes vantagens:

- Reduz a quantidade de resíduos gerados ao cortar células solares
- Tendem a ser um pouco mais baratos que os módulos monocristalinos
- Mesma vida útil dos módulos solares monocristalinos.

A sua principal desvantagem é o uso de maior área para poder obter a mesma produção de energia.

**Figura 13 – Painel Solar Policristalino.**



Fonte: Solar Sena (2022, p. 1).



### 3.4 Painéis de Silício Amorfo

A estrutura das células de silício amorfo difere de sua contraparte cristalina em um alto grau de desordem atômica. O silício amorfo é considerado um alótropo do silício sem orientação cristalográfica, produzido pelo processo PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*), que deposita o material em uma câmara de vácuo contendo um plasma (substrato formado através da eletrização de uma mistura gasosa de silano e hidrogênio).

Essas células são obtidas depositando uma camada muito fina de silício sobre uma superfície de vidro ou metal. O silício amorfo tem a menor eficiência de 7-12% e, portanto, é o mais barato. Também é conhecido como filme fino porque é depositado na forma de múltiplas camadas finas de elementos em um substrato. Sua aparência é mais suave, como mostrado na Figura 14 (PORTAL SOLAR, 2022).

Existem algumas vantagens em utilizar esse tipo de painel, entre elas podemos citar (PORTAL SOLAR, 2022).

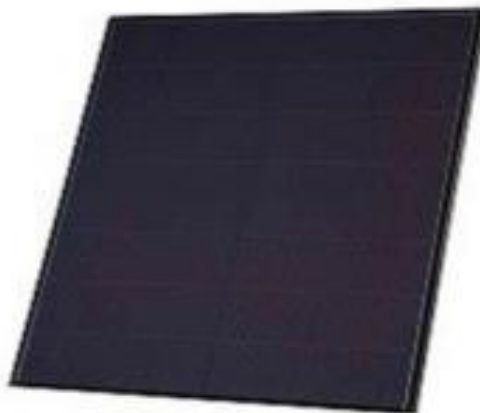
- Desempenho ligeiramente melhor em condições de pouca luz, comparado as células de silício monocristalino e policristalino.
- O preço por watt desta tecnologia é ligeiramente inferior ao do silício monocristalino.

- Menos energia elétrica é necessária para sua produção.
- Reduz os custos de fabricação usando 100 vezes menos silício do que os modelos monocristalino e policristalino.
- Eles podem ser flexíveis quando fabricados em substratos desse tipo, como as “lonas fotovoltaicas” para coberturas.
- Eles possuem menos perda de eficiência em temperaturas mais elevada.

As principais desvantagens são:

- Eficiência muito baixa, tipicamente, a metade da eficiência de um painel solar monocristalino ou policristalino, para condições de alta luminosidade.
- Pouca durabilidade, entre 10-15 anos.
- Processo de produção extremamente sujo, devido a utilização de produtos químicos tóxicos, como o cádmio.
- Custo mais alto de instalação, devido a baixa densidade de potência é necessários mais tempo e hardware de montagem.

**Figura 14 – Painel solar de silício amorfo.**



Fonte: Sola Vista Energy (2022, p. 1).

### **3.5 Painéis de Filmes Fino**

Os painéis de filme fino são constituídos de outros materiais como por exemplo o Silício Amorfo (a-Si), o Talureto de Cádmio (CdTe) e o Disseleneto de

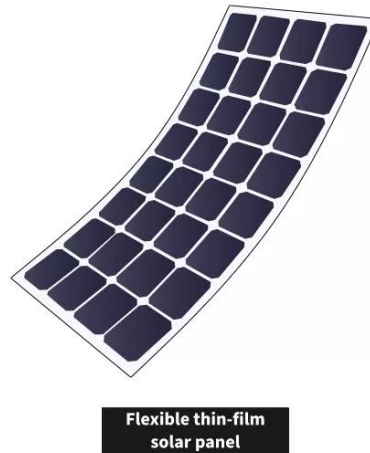
Cobre Índio (CIS), Figura 15. Possuem a vantagem de serem mais leves do que as tecnologias anteriores, porém são menos eficientes e possuem vida menor do que os painéis de silício, sua eficiência fica entre 7% e 13%. A facilidade de fabricação torna esses painéis baratos. No entanto, é menos eficiente, resultando em menor eficiência por metro quadrado. Devido a esta propriedade, este tipo de painel deve ser instalado sobre uma grande área. Eles também possuem metade da vida útil dos módulos monocristalinos e policristalinos, são mais baratos, mas podem aumentar seu valor final com grandes instalações (HCC ENERGIA SOLAR, 2022; PORTAL SOLAR, 2022).

Filmes finos são feitos de células solares orgânicas. Essas células são polímeros semicondutores orgânicos que absorvem a luz solar. Eles, portanto, carregam a carga para o conversor onde a eletricidade é produzida pelo efeito fotoelétrico.

Este material é fabricado através de um processo conhecido como "*roll-to-roll*". Este processo imprime células orgânicas em um substrato leve, flexível e transparente. Essa flexibilidade torna o filme fino mais adaptável a diferentes superfícies.

No entanto, painéis de filme fino são uma tecnologia promissora. Se a eletrônica orgânica puder melhorar a eficiência energética desse material, será útil para uso em fachadas residenciais, industriais e de estacionamentos (SOLA VISTA ENERGY, 2022; PORTAL SOLAR, 2022).

Figura 15 - Filme Fino



Fonte: Solar Sena (2022, p. 1).

### 3.6 Painéis de *Perovskita*

A *perovskita* é um mineral supercondutor que converte a radiação solar em eletricidade, já está sendo considerada o futuro da tecnologia fotovoltaica.

Em menos de cinco anos de pesquisa, as *perovskitas* alcançaram eficiências que levaram 30 anos para outros materiais alcançarem. Pesquisas apontam para um aproveitamento de 22% da radiação solar, índice igual ao de alguns tipos de células solares já à venda. A *perovskita* é mais barata que o silício, mineral que atualmente responde por 90% do mercado (NOCTULA, 2022).

As células solares de *perovskita* são baseadas em camadas de minúsculos cristais, cada um cerca de 1.000 vezes mais fino que um fio de cabelo humano. Estes são materiais fotossensíveis baratos.

As *perovskitas* podem ser misturadas com líquidos para criar uma espécie de "tinta solar" que pode ser impressa em vidro, plásticos e outros materiais com o processo de impressão a jato.

Para gerar eletricidade, os elétrons excitados pela energia solar devem ser extraídos do cristal e levados a fluir através de um circuito elétrico. A extração ocorre em uma camada especial chamada camada seletiva de electrão (ESL, *Electron Selective Layer*) (NOCTULA, 2022; PORTAL SOLAR, 2022).

Um dos principais desafios no desenvolvimento de células solares de *perovskita* é criar um bom ESL. Hairen Tan e sua equipe projetaram uma nova reação química que permite a geração de ESLs a partir de nanopartículas em solução diretamente em eletrodos. Embora o calor seja necessário, o processo é mantido abaixo de 150°C, abaixo do ponto de fusão de muitos plásticos.

As novas nanopartículas são revestidas com uma camada de átomos de cloro que ajudam a se ligar à camada de *perovskita* no topo da célula, permitindo a extração eficiente de elétrons (PORTAL SOLAR, 2022). O painel pode ser visto na Figura 16.

**Figura 16 – Painel solar de Perovskita.**



Fonte: THEECOEXPERTS (2022, p. 1).

### 3.7 Estudo de caso

Indicadores para análise de viabilidade econômico-financeira de projetos depende das características do projeto, diferentes tipos de indicadores de viabilidade econômico-financeira podem ser utilizados. Neste estudo, que objetiva analisar a viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica serão analisados o payback simples e o retorno sobre investimento (ROI).

Foi utilizado uma proposta de projeto e execução para micro geração pela empresa SQI Energia - segurança, qualidade e inovação, para a implementação de um sistema fotovoltaico *on-grid* em uma auto peças e mecânica no município de Três Lagoas no estado do Mato Grosso do Sul, onde o proprietário cedeu informações para a realização do estudo.

O projeto consistiu em um gerador fotovoltaico de 26,52 kWp. Para isso foram utilizados 2 inversores WEG de 10kW SIW200 M100, conforme Figura 17, e 52 módulos TRINA de 510Wp, conforme Figura 18, células de silício monocristalino, conforme Quadro 1. O valor total do gerador ficou orçado em R\$ 141.600,00, onde já está incluso todo o custo dos equipamentos e a mão-de-obra para instalação.

**Figura 17 - Inversor de frequência WEG**



Fonte: Portal Solar (2022, p. 1).

**Figura 18 - Pannel de silício monocristalino TRINA 510Wp**



Fonte: Grupo Khronos (2022, p. 1).

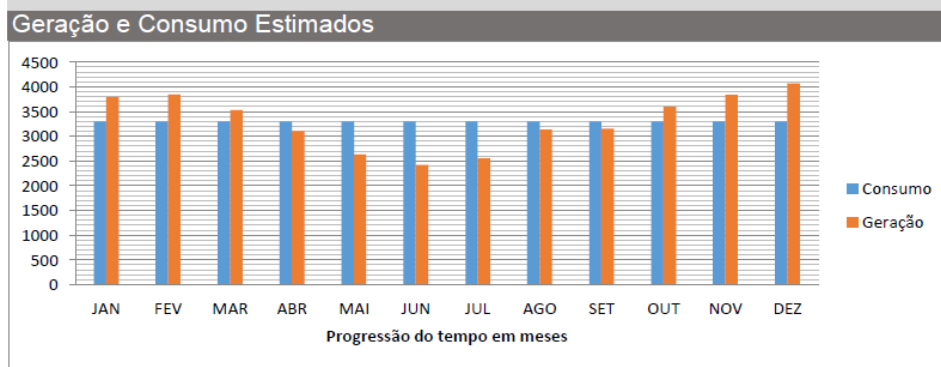
**Quadro 1 - Equipamentos**

Quantidade	Descrição	Potência
2	Inversor de frequência	10 kW
52	Módulos fotovoltaicos	510 Wp

Fonte: Autoria própria (2022).

A produção média de energia ficou em torno de 3306 KWh/mês, como pode ser visto na Figura 19.

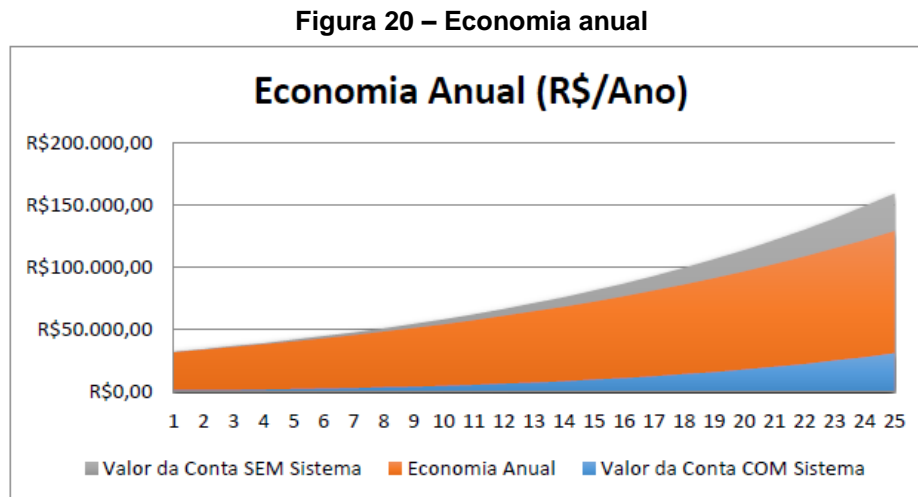


**Figura 19 – Consumo e geração mensal de energia elétrica**

**Fonte: Autoria própria (2022).**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

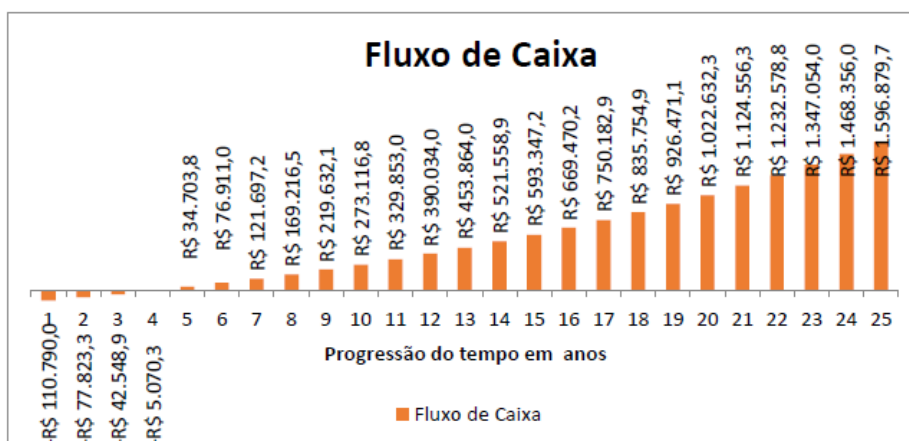
Conforme Figura 20, podemos observar que o sistema apresenta uma economia significativa a partir do 4º ano.



Fonte: Autoria própria (2022).

Conforme a Figura 21 podemos ver o fluxo de caixa durante os 25 anos. O projeto se paga a partir do 4º ano, a partir daí o projeto apresenta economia financeira.

**Figura 21 – Fluxo de caixa**



Fonte: Autoria própria (2022).

No Quadro 3 podemos ver um resumo dos parâmetros do projeto.

**Quadro 2 – Parâmetros da viabilidade financeira**

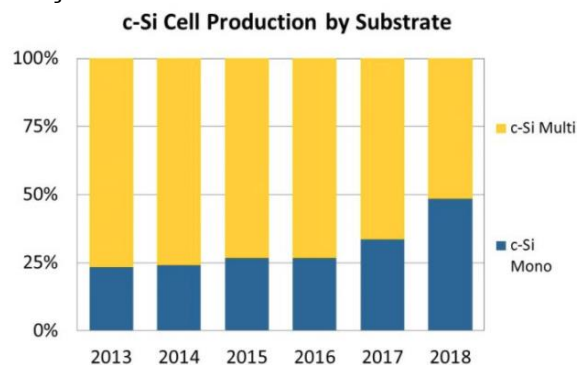
Fator	Valor
Valor do investimento	R\$ 141.600,00
Reajuste Anual de Energia	7%
Vida útil do sistema fotovoltaico	25 anos
Payback (Tempo de Retorno de Investimento)	4 anos
Retorno sobre Investimento (ROI)	11 vezes

Fonte: Autoria própria (2022).

#### 4.1 Usos e custos dos diferentes tipos de placas fotovoltaica

Os módulos policristalinos dominaram o mercado de células solares por pelo menos uma década. No entanto, a partir de 2018, a produção de monocristalinos aumentou significativamente e os policristalinos estão começando a cair em desuso.

Até agora, os módulos monocristalinos têm sido usados apenas por quem deseja mais eficiência e está menos preocupado com o preço. Os avanços tecnológicos e as melhorias de eficiência de custos associadas lideraram em 2019 no volume de produção em comparação com os módulos policristalinos, conforme Figura 22 (ECOENERGIAS, 2020).

**Figura 22 – Produção de células de silício monocristalino x policristalino.**

Fonte: ECOENERGIAS (2020, p. 1).

De um modo amplo, a escolha do tipo de painel irá depender onde ele será instalado, a Figura 23 mostra algumas possíveis escolhas de painéis para determinadas aplicações.

**Figura 23 - Uso dos diferentes tipos de painéis e suas aplicações.**



**Fonte: ADAPTADO de Solar Sena (2022).**

O Quadro 4 apresenta um compilado de vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias de painéis fotovoltaico.

**Quadro 3 - Planilha comparativa das novas tecnologias de energia solar no Brasil.**

Tipo de painel	Vantagens	Desvantagens
Monocristalino	<p>Maior Eficiência</p> <p>Mais Compacto se comparado aos concorrentes</p> <p>Melhor desempenho em ambientes com pouca luz se comparado com o Policristalino</p>	<p>Preço mais elevado em relação ao Policristalino</p> <p>Maior criação de dejetos descartáveis</p>
Policristalino	<p>Preço mais competitivo no mercado</p> <p>Maior representatividade no mercado</p> <p>Comercialmente mais viável</p> <p>Menor criação de dejetos descartáveis</p>	<p>Menor eficiência, se comparado ao Monocristalino</p> <p>Menos compacto</p>
Amorfo	<p>Mais flexível em suas aplicações</p> <p>Maior resistência a temperaturas mais baixas</p> <p>Taxa de absorção de luz 40 vezes maior se comparado ao silício monocristalino</p> <p>Maior utilidade com dispositivos de baixa</p>	<p>Eficiência muito baixa</p> <p>Alta taxa de degradação</p>

	energia	
Filmes Finos	Produção em massa comercialmente mais viável se comparado com a tecnologia cristalina Possibilidade de ser produzido de forma mais flexível Maior resiliência a altas temperaturas e outros fenômenos naturais	Menos capacidade de compactação Menos eficiente Degrada mais rapidamente
Perovskita	Requer tecnologia mais simples dentro do âmbito de produção em larga escala Custo de produção reduzido Design mais fino, processamento em baixa temperatura e excelentes propriedades de absorção de luz semi-transparente	Contém chumbo, considerado um elemento químico altamente tóxico Apresenta, em seus vértices, a molécula de catião de metilamônio, tornando-o menos resistente ao passar do tempo Baixa estabilidade e durabilidade

Fonte: Portal Solar (2022).

O Quadro 5 apresenta uma comparação de preços dos diferentes tipos de tecnologias de painéis fotovoltaicos.

**Quadro 4 - Planilha comparativa de preços das novas tecnologias de energia solar no Brasil.**

Tipo de Painel	Potência	Valor (R\$)	R\$ / W
Monocristalino	275 W	R\$ 457,00	R\$ 1,66
Policristalino	360 W	R\$ 860,00	R\$ 2,38
Filmes Finos	100 W	R\$ 889,00	R\$ 8,89
Amorfo	3 W	R\$ 63,00	R\$ 21,00
<i>Perovskita*</i>	-	-	-

Fonte: Portal Solar (2022).

\*Devido ao recente desenvolvimento das Células Solares de *Perovskita*, a mesma ainda não possui valor comercial.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo visou demonstrar as principais tecnologias de células fotovoltaicas e novas tecnologias emergentes, assim como mostrar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição de baixa tensão.

Analisando os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que o retorno financeiro do investimento é viável. O payback é de médio prazo, podendo ser alcançado no quarto ano da instalação. Ao final da vida útil do gerador, o lucro poderá ser onze vezes maior que o investimento inicial.

Porém, o investimento inicial para dispor de um sistema fotovoltaico residencial é relativamente alto, podendo ser um empecilho para sua popularização. Apesar do crescimento do número de geradores previsto para os próximos anos no Brasil, o valor elevado dos componentes pode fazer com que o sistema não seja acessível a todas as camadas da população.

Apesar disso, é importante analisar também os ganhos ambientais provocados pela instalação do sistema, como a geração de energia limpa, renovável, através de um recurso natural e abundante.

A energia solar já percorreu um longo caminho em uma década. Em 2010, o mercado global era pequeno e altamente dependente de regimes de subsídios em países como Alemanha e Itália. Até o fechamento do presente ensaio acadêmico, a estimativa é de mais de 115 gigawatts (GW) de energia solar instalada em todo o mundo, o que é mais do que todas as outras tecnologias de geração juntas. Também é cada vez mais barato, especialmente em regiões mais ensolaradas, onde já se tornou a forma de nova geração de eletricidade de menor custo.

Nos próximos anos, as melhorias tecnológicas garantirão que a energia solar se torne ainda mais barata. É bem possível que, em 2030, a energia solar se torne a fonte de energia mais importante para a produção de eletricidade em grande parte do mundo. Isso também terá um impacto positivo sobre o meio ambiente e as mudanças climáticas. No futuro, a indústria solar tem roteiros de redução de custos muito claros, que devem reduzir os custos da energia solar pela metade até 2030. Já existe um movimento em direção a módulos de maior eficiência, que podem gerar 1,5 vezes mais energia do que os módulos existentes de tamanho semelhante hoje

usando uma tecnologia chamada células tandem de silício. Isso terá um grande impacto no futuro.

Além disso, há inovações de produção em andamento que reduzirão a quantidade de materiais caros como prata e silício usados na fabricação de células solares, bem como inovações como módulos bifaciais que permitem que os painéis capturem energia solar de ambos os lados. A outra inovação importante é sobre a melhor forma de integrar a energia solar em nossas casas, empresas e sistemas de energia. Isso significa melhor eletrônica de potência e maior uso de tecnologias digitais de baixo custo.

O que isso significa é que a energia solar atingirá, em muitas partes do mundo, um custo nivelado de energia que a tornará imbatível em comparação com os combustíveis fósseis. Dado que a energia solar é tão fácil e rápida de instalar, para não dizer flexível - afinal, a energia solar pode ser usada para alimentar algo tão pequeno como um relógio ou tão grande como uma cidade.

## REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, J. **Matriz Energética Brasileira: da crise à grande esperança**. Rio de Janeiro: Mauad, 2003.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 08 ago. 2022.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº687, de 24 de novembro de 2015**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2022.

ANTONIOLLI, A. F *et al.* Análise de serviço de energia solar fotovoltaica compartilhada no brasil. **Revista Empreender e Inovar**, v. 1, p. 104-116, 2018.

ASSUNÇÃO, H. D. **Degradação De Módulos Fotovoltaicos de Silício Cristalino Instalados no DEE – UFC**. 2014. Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014. Disponível em: <http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2014.1/H%C3%89LIO%20DELGADO%20ASSUN%C3%87%C3%830.pdf>. Acesso em 15 set. 2022.

ASTOLFI, M *et al.* A synergic integration of desalination and solar energy systems in stand-alone microgrids. **Desalination**, v. 419, p. 169-180, 2017.

BOHN, C. A. **Influências na geração de energia elétrica em módulos fotovoltaicos revestidos por policarbonato alveolar e compacto**. 2019. 162 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

CAMARA. **Lei institui marco legal da micro e minigeração de energia**. 2022. Disponível em: [https://www.camara.leg.br/noticias/843782-LEI-INSTITUI-MARCO-LEGAL-DA-MICRO-E-MINIGERACAO-DE-ENERGIA#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%20deira%20\(7\)](https://www.camara.leg.br/noticias/843782-LEI-INSTITUI-MARCO-LEGAL-DA-MICRO-E-MINIGERACAO-DE-ENERGIA#:~:text=O%20presidente%20Jair%20Bolsonaro%20sancionou,sexta%20deira%20(7)). Acesso em: 20 set. 2022.

CANAL SOLAR. **Energia solar no brasil: o que diz a legislação e qual sua importancia**. 2022. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/energia-solar-no-brasil-o-que-diz-a-legislacao-e-qual-a-sua-importancia/>. Acesso em: 05 ago. 2022.

COLLADOS, M. V; CHEMISANA, D; ATENCIA, J. Holographic solar energy systems: The role of optical elements. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 130-140, 2016.

COSTA, S. C; DINIZ, A, S; KAZMERSKI, L. L. Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012–2015. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 63, p. 33-61, 2016.



CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. 2014. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 01 out. 2022.

ECOENERGIAS. **Tecnologia cristalina: entenda as principais características dos painéis monocristalinos e policristalinos**. 2020. Disponível em: <https://ecoenergias.com.br/tecnologia-cristalina-paineis-fotovoltaicos-monocristalinos-policristalinos/#:~:text=Os%20m%C3%B3dulos%20policristalinos%20s%C3%A3o%20feitos,bloco%20%C3%BAnico%20cristalino%2C%20mais%20puro>. Acesso em: 20 ago. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Matriz energética e elétrica**. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. 2022. Acesso em: 12 set. 2022.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia solar fotovoltaica: fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica**. GEPEA – Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, p. 71, 2020. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod\\_resource/content/2/Apostila\\_solar.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/56337/mod_resource/content/2/Apostila_solar.pdf). Acesso em: 13 set. 2022.

GRUPO KHRONOS. **Modulo fotovoltaico monocristalino 510Wp trina**. 2022. Disponível em: <https://loja.grupokhronos.com.br/modulo-fotovoltaico-monocristalino-510wp-trina/p>. Acesso em: 11 set. 2022.

HCC ENERGIA SOLAR. **Conheça os tipos de painéis solares e suas principais diferenças**. 2022. Disponível em: <https://hccenergiasolar.com.br/conheca-os-tipos-de-paineis-solares-e-suas-principais-diferencas/>. Acesso em: 05 out. 2022.

HEREZ, A *et al.* Short review on solar energy systems. *In: AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC, 2016. p. 030041.

HOLMGREN, W. F.; HANSEN, C. W.; MIKOFSKI, M. A. pvlib python: A python package for modeling solar energy systems. **Journal of Open Source Software**, v. 3, n. 29, p. 884, 2018.

INTELBRAS. **Lei da energia solar: entenda mudanças para consumidores e profissionais do setor**. 2022. Disponível em: <https://blog.intelbras.com.br/nova-lei-energia-solar-saiba-mais/#:~:text=A%20Lei%2014.300%2C%20sancionada%20em,mais%20a%20pena%2C%20pelo%20contr%C3%A1rio>. Acesso em: 11 set. 2022.

JORNAL GGN. **A energia dos BRICs**. 2013. Disponível em: <https://jornalggm.com.br/economia/energia-economia/a-energia-dos-brics/>. Acesso em: 12 ago. 2022.

KEMERICH, P. D *et al.* Paradigmas da energia solar no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 241-247, 2016.

MACHADO, C.; MIRANDA, F. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma breve revisão.** Outubro 2016.

MENEZES, H. R *et al.* ENERGIA SOLAR: AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE INFORMAÇÃO SOBRE O USO DA ENERGIA SOLAR E SUA UTILIZAÇÃO NO BRASIL. **Revista Científico**, v. 18, n. 38, p. 47-60, 2018.

MINHA CASA SOLAR. **Painel Monocristalino.** 2018. Disponível em: <http://blog.minhacasasolar.com.br/painel-monocristalino>. Acesso em: 18 set. 2022.

MME - Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.** 2015. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256627/-+Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2015/\\_b6795ba5-2d05-4a27-aafe-cd671b963761](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1256627/-+Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+El%C3%A9trico+-+Janeiro-2015/_b6795ba5-2d05-4a27-aafe-cd671b963761). Acesso em: 20 ago. 2022.

NASCIMENTO, C. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica.** Lavras – Minas Gerais: UFLA. 2004. Disponível em: [http://www.solenerg.com.br/files/monografia\\_cassio.pdf](http://www.solenerg.com.br/files/monografia_cassio.pdf). Acessado em: 25 ago. 2022.

NASCIMENTO, M. E. C do *et al.* **Avaliação econômica de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para empreendimentos do agronegócio.** 2019.

NOCTULA. **Novas células solares de perovskite, podem ser o futuro da tecnologia fotovoltaica.** 2022. Disponível em: <https://noctula.pt/novas-celulas-solares-de-perovskita-mineral-considerado-o-futuro-da-tecnologia-fotovoltaica/#:~:text=Uma%20c%C3%A9lula%20solar%20de%20perovskita,solar%20para%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20eletricidade>. Acesso em: 26 ago. 2022.

PAIXÃO, M. A. S; MIRANDA, S. H. G. Um comparativo entre a política de energia renovável no Brasil e na China. **Pesquisa & Debate. Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Economia Política.**, v. 29, n. 1 (53), 2018.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. Curso técnico instalador de energia solar p. Porto: Publindústria, 2011.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf). Acesso em: 30 set. 2022.

PORTAL ENERGIA. **Painéis solares mais eficientes.** 2020. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/paineis-solares-mais-eficientes/>. Acesso em: 11 out. 2022.

PORTAL ENERGIA. **Energias renováveis**. 2020. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/celulas-solares-fotovoltaicas-perovskita-148130/>. Acesso em: 04 mai. 2022.

PORTAL ENERGIA. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares**. 2019. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituintes-de-paineis-solares/>. Acesso em: 04 mai. 2022.

PORTAL SOLAR. **Como funciona a energia solar**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-energia-solar.html>. Acesso em: 06 out. 2022.

PORTAL SOLAR. **Vantagens e desvantagens do painel solar de filme fino**. 2022. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/vantagens-e-desvantagens-do-painel-solar-de-filme-fino>. Acesso em: 10 out. 2022.

PORTAL SOLAR. **Eficiência de célula fotovoltaica de perovskita bate novo recorde**. 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/equipamentos-fv/eficiencia-de-celula-fotovoltaica-de-perovskita-bate-novo-recorde>. Acesso em: 10 out. 2022.

PORTAL SOLAR. **Pesquisadores brasileiros avançam no desenvolvimento de células solares mais baratas**. 2020. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/pesquisadores-brasileiros-avancam-no-desenvolvimento-de-celulas-solares-mais-baratas.html>. Acesso em: 11 out. 2022.

RODRIGUES, E. J. **Setor Elétrico Brasileiro: estrutura, funcionamento, instituições e perspectivas para o controle**. Ed. São Paulo: Biblioteca 24 horas, 2011.

SÁNCHEZ-PANTOJA, N; VIDAL, R; PASTOR, M. C. Aesthetic impact of solar energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 98, p. 227-238, 2018.

SILVA, R. M. **Energia solar no brasil: dos incentivos aos desafios**. 2015. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td166>. Acesso em: 12 set. 2022.

SOLA VISTA ENERGY. **Tipos de painéis solares conheça eles**. 2022. Disponível em: <https://www.solavistaenergy.com.br/tipos-de-paineis-solares-conheca-eles>. Acesso em: 12 ago. 2022.

SOLAR SENA. **Different types of solar panels**. 2022. Disponível em: <https://solarsena.com/different-types-of-solar-panels/>. Acesso em: 09 out. 2022.

THEECOEXPERTS. **Solar panels and the potencial of perovskite**. 2022. Disponível em: <https://www.theecoexperts.co.uk/solar-panels/the-potential-of-perovskite>. Acesso em: 13 ago. 2022.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. EPE: Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-172/Energia%20Renov%C3%A1vel%20-%20Online%2016maio2016.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

TONIN, F. S. **Caracterização de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica na Cidade de Curitiba**. 2017. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Curitiba – PR. 2017. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT\\_PPGSE\\_M\\_Tonin%2C%20Fabianna%20Stumpf\\_2017.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2876/1/CT_PPGSE_M_Tonin%2C%20Fabianna%20Stumpf_2017.pdf). Acesso em: 26 set. 2022.

VILLALVA, M. G; GAZOLI, J.R. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2012. 37,38,49,56,65.

WANG, K *et al.* Technoeconomic assessments of hybrid photovoltaic-thermal vs. conventional solar-energy systems: Case studies in heat and power provision to sports centres. **Applied Energy**, v. 254, p. 113657, 2019.