

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA  
SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Leandro Ferreira Maia dos Santos

**POWER PURCHASE AGREEMENT E SEU IMPACTO NA MATRIZ  
ENERGÉTICA RENOVÁVEL**

Campinas - SP

2021

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA  
SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DE ENERGIA E  
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Leandro Ferreira Maia Dos Santos

**POWER PURCHASE AGREEMENT E SEU IMPACTO NA MATRIZ  
ENERGÉTICA RENOVÁVEL**

Trabalho de Graduação apresentado por Leandro Ferreira Maia Dos Santos, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Gestão de energia e eficiência energética da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação do(a) Prof.(a). Fábio Mazzariol Santiciolli.

Campinas – SP

2021

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca**

S237p

SANTOS, Leandro Ferreira Maia dos.  
Power Purchase Agreement e seu impacto na matriz energética renovável.  
Leandro Ferreira Maia dos Santos. Campinas, 2021.  
65 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Gestão de Energia e Eficiência  
Energética – Faculdade de Tecnologia de Campinas.  
Orientador: Prof. Dr. Fabio Mazzariol Santiciolli.

1. Energia solar. 2. Power Purchase Agreement. 3. Renováveis. I. Autor. II.  
Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 621.3

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG GEEE 21.2

## LEANDRO FERREIRA MAIA DOS SANTOS

### Power purchase agreement e seu impacto na matriz energética renovável

Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão de Energia e Eficiência Energética pelo CEETEPS/Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 04 de dezembro de 2021.

#### BANCA EXAMINADORA



---

Prof Fabio Mazzariol Santiciolli  
Fatec Campinas



---

Prof Henrique Antonio Mielli Camargo  
Fatec Campinas



---

Prof Francisco Del Moral Hernandez  
Fatec Campinas



A Faculdade de Tecnologia por me acolher durante esses anos e me proporcionar um  
aprendizado de alto nível, e a meus amigos e colegas que estiveram presentes nesse  
caminho

## **AGRADECIMENTOS**

A FATEC Campinas pelo aprendizado ensinado a mim ao longo desses 3 anos.

Aos professores por compartilharem seu conhecimento

Aos meus amigos e colegas por estarem ao meu lado durante esses anos

A todos que me acompanharam no caminho durante esse processo.

Obrigado.

*“Sem sonhos, a vida não tem brilho. Sem metas, os sonhos não tem alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!*

*Augusto Cury*

## Lista de ilustrações

Figura 1 - A estação de cruzamento do funicular do monte Pilatus, cerca de 1930 - antes da eletrificação.....	13
Figura 2 – Eletricidade .....	14
Figura 3 - Demanda de energia.....	15
Figura 4 - Fluxo da demanda na pandemia.....	16
Figura 5 - Demanda de energia a óleo .....	16
Figura 6 - Matriz energética Coreana .....	18
Figura 7 - Energia Solar em Seoul.....	18
Figura 8 - Crescimento de fontes de energia .....	19
Figura 9 - Emissão de gases poluentes na usina .....	20
Figura 10 - Fontes renováveis de energia .....	22
Figura 11 - Órbita da terra em torno do sol .....	23
Figura 12 - Distribuição espectral da radiação solar .....	24
Figura 13 - Balanço energético da terra.....	25
Figura 14 - Residência com coletor solar .....	26
Figura 15 - Energia Fotovoltaica .....	28
Figura 16 - Sistema on-grid .....	29
Figura 17 - Sistema Off-grid .....	30
Figura 18 - Arranjo de um sistema FV .....	30
Figura 19 - Células mono e policristalinas .....	31
Figura 20 - Células Monocristalinas.....	32
Figura 21 - Módulo Policristalino .....	32
Figura 22 - Módulo de silício amorfo.....	33
Figura 23 - Telureto de cádmio .....	33
Figura 24 - Sistema ON-Grid .....	34
Figura 25 - Sistema OFF-Grid.....	35
Figura 26 - String.....	35
Figura 27 - MicroInversor Solar .....	36
Figura 28 - Inversor Solar Central .....	36
Figura 29 - Potencial instalado no mundo .....	38
Figura 30 - Fontes Renováveis EUA .....	38
Figura 31 - Evolução da energia solar fotovoltaica .....	39
Figura 32 - Eletrobrás Procel.....	40
Figura 33 - Localização Usinas pereira Barreto .....	41
Figura 34 - Terreno de instalação Pereira Barreto.....	42
Figura 35 - Usina Fotovoltaica Pereira Barreto .....	42
Figura 36 - Layout Usina Pereira Barreto.....	43
Figura 37 - Energia Solar em tempos de COVID .....	44
Figura 38 - PD Financiado.....	44
Figura 39 - PD à vista .....	45
Figura 40 - PD à vista durante covid .....	46
Figura 41 - PD financiado durante covid.....	46
Figura 42 - Purchase .....	47
Figura 43 - PPA Físico .....	49
Figura 44 - Estrutura de um VPPA.....	49

Figura 45 - Fifth Third Bank VPPA .....	50
Figura 46 - Locais aderentes ao RE100.....	52
Figura 47 - RE100 no Brasil.....	53
Figura 48 - Mercado europeu PPA .....	55
Figura 49 - PPA Corporativo.....	56
Figura 50 - Empresas e suas fontes renováveis .....	60

## **Lista de Abreviaturas**

**ABSOLAR** – Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica

**IRENA** – International renewable energy agency (Agência internacional de energia renovável)

**IEA** – International Energy Agency (Agência de Energia Internacional)

**kWh** – Kilowatt - Hora

**PPA** – Power Purchase Agreement

**VPPA** – Virtual Power Purchase Agreement

**MWh** – Megawatt - Hora

**ABGD** – Associação Brasileira de Geração Distribuída

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

## RESUMO

Visando o aumento gradativo dos problemas ambientais causados pela poluição e seu forte vínculo com a geração e energia elétrica através de fontes não renováveis e o constante interesse em novas fontes renováveis, fez com que o aluno elaborasse um projeto voltado aos contratos de Power Purchase Agreement, acordos de longo termo com enfoque em produção de eletricidade através de fontes renováveis, afim de trazer um termo comum no meio interno das renováveis ao conhecimento geral, com o intuito de implementar uma nova visão positiva em meio econômico e socioambiental. As fontes de geração renováveis estão em constante crescimento e avanço de suas tecnologias, esses contratos visam impulsionar investimentos e a implementação de novos projetos com baixa emissão de poluentes na matriz energética ao redor do mundo. Os sistemas de geração através da energia fotovoltaica são focados nesse projeto, por trazer uma fácil adaptação através de uma fonte de comum acesso e capacidade ampla, o sol. Seus pontos positivos e os motivos de ser uma das fontes cotadas a ter um crescimento exponencial no futuro estão citadas ao longo do documento incentivando que o investimento na mesma seja realizado de forma astuta, a fim de propiciar a melhor condição existente para realizar esse projeto renovável, por ambas as partes do acordo, agravando, cada vez mais, ao desuso das fontes combustíveis emissoras de gases poluentes.

**Palavras Chave:** Energia solar, Power Purchase Agreement e renováveis

## **Abstract**

Aiming at the gradual increase of environmental problems caused by pollution, and its strong link with the generation of electricity through non-renewable sources and the constant interest in new renewable sources, made the student develop a project focused on the Power Purchase Agreement contracts, long-term agreements focused on electricity production through renewable sources, in order to bring a common term in the internal environment of renewable energy to general knowledge, in order to implement a new positive vision in economic and socio-environmental environment. The sources of renewable generation are constantly growing and advancing their technologies, these contracts aim to boost investments and the implementation of new projects with low emission of pollutants the energy matrix around the world. The systems of generation through photovoltaic energy are focused on this project, for bringing an easy adaptation through a source of easy access to everyone and broad capacity. Its positive points and the reasons for being one of the sources quoted to have an exponential growth in the future are cited throughout the file, encouraging the investment in it to be made in an astute way, in order to provide the best existing condition to carry out this renewable project, by both parties to the agreement, aggravating, more and more, the disuse of fuel sources that emit polluting gases.

**Key words:** Solar energy, Power Purchase Agreement, Renewable

## Sumário

1.	Introdução.....	13
2.	Energia Elétrica.....	14
2.1	Eletricidade.....	14
2.2	Demanda mundial de energia.....	15
2.2.1.	O Impacto do COVID na energia.....	15
2.2.1.1.	Demanda de óleo.....	16
2.2.1.2	Energias renováveis.....	17
2.3	Geração de energia elétrica.....	18
3	Efeitos da energia elétrica no meio ambiente.....	19
4	Energias renováveis.....	21
5	Energia Solar.....	22
5.1	Radiação solar.....	22
5.2	Captação e conversão.....	23
5.3	Energia solar térmica.....	25
5.4	Energia solar fotovoltaica.....	27
5.5	Geração de energia fotovoltaica.....	27
5.5.1	Sistemas On-Grid e Off-Grid.....	28
5.5.1.1.	Sistemas On-Grid.....	29
5.5.1.2.	Sistemas Off-Grid.....	29
5.5.2	Módulos fotovoltaicos.....	30
5.5.3	Célula fotovoltaica.....	31
5.5.3.1.	Silício Cristalino.....	31
5.5.3.1.1.	Células monocristalinas.....	31
5.5.3.1.2.	Células policristalinas.....	32
5.5.3.1.3.	Silício Amorfo.....	33
5.5.3.1.4.	Célula de filme fino.....	33
5.5.3.1.5.	CdTe.....	33
5.5.3.1.6.	Seleneto de cobre gálio índio (CIGS).....	34
5.5.4	Inversores.....	34
5.5.4.1.	Inversor On Grid.....	34
5.5.4.2.	Inversor Off Grid.....	35
5.5.4.3.	Inversor Solar string.....	35
5.5.4.4.	Micro inversor.....	36
5.5.4.5.	Inversor Solar Central.....	36

5.5.5	Baterias .....	37
5.5.5.1.	Baterias OPzS.....	37
5.5.5.2.	Baterias de Gel .....	37
5.5.5.3.	Baterias Estacionárias Comuns .....	37
6.	Energia Solar Mundial.....	38
7.	Energia solar no Brasil .....	39
7.3.	Usinas fotovoltaicas .....	40
7.1.1	Usina de Pereira Barreto .....	41
7.2	Cenário Fotovoltaico no período de COVID .....	43
7.2.1	Período Pré Covid.....	44
7.2.2	Período durante Covid .....	45
8.	Power Purchase Agreement (PPA) .....	47
8.1	Definição de um PPA.....	48
8.1.1	PPA físico .....	48
8.1.2.1	VPPA Fifth Third Bank.....	50
8.1.2.1.1	SunEnergy .....	51
8.1.3	PPA conectado diretamente.....	51
8.2	Características de um PPA/VPPA .....	52
8.2.1	Formação de preço.....	52
8.2.1.1	O preço da certificação de energia renovável aplicável na área de concessão dos projetos.....	52
8.2.1.1.1	RE100.....	52
8.2.2	Prazo .....	54
8.2.3	Mercado de energia .....	54
8.3	Benefícios de um PPA .....	56
8.4.	Riscos de um PPA.....	57
8.4.1	Risco de precificação.....	57
8.4.2	Risco de Liquidez .....	57
8.4.3	Risco de Volume .....	58
8.4.4	Risco de crédito .....	58
8.4.5	Risco de mal funcionamento .....	58
8.5	Como escolher um PPA .....	59
8.5.1	Volume Contratado.....	59
8.5.2	Estrutura da Industria.....	59
8.5.3	Objetivos renováveis da empresa .....	59

9. Conclusão.....	60
10. Referências Bibliográficas. ....	62

## 2. Introdução

É de conhecimento geral a importância da energia elétrica no dia a dia, ainda mais com a evolução contínua da tecnologia com o tempo. Desde os primórdios da revolução industrial, a energia vem sendo uma grande aliada na rotina do ser humano, permitindo a mecanização das indústrias e o contínuo processo nos avanços tecnológicos. Os benefícios dela cooperam para uma vida mais fácil e mais bem estruturada. Porém, como todas as coisas que facilitam a sobrevivência e as atividades desenvolvidas pelo humano, a energia elétrica também tem seus lados negativos, lados que são extremamente prejudiciais ao meio ambiente, provenientes do processo de produção da energia elétrica, que, felizmente, estão sofrendo um processo de transição a fim de reduzir cada vez mais esses danos ecológicos que são causados. Seguindo esse processo de transição de energia comumente proveniente de combustíveis, novas formas renováveis de produção de energia vêm se popularizando com a evolução da tecnologia. As principais hoje conhecidas são: Solar, eólica etc., porém, são diversas as maneiras de produção renovável que encontramos nos dias de hoje.



*Figura 1 - A estação de cruzamento do funicular do monte Pilatus, cerca de 1930 - antes da eletrificação.*

Fonte: Keystone, 2018.

### 3. Energia Elétrica

A energia elétrica é um dos principais conceitos na ciência, além de ser, também um dos principais bens hoje possuídos pela humanidade, estando presente em todos os processos realizados na humanidade, sendo um dos pilares da evolução industrial e tecnológica dos últimos tempos. Eletricidade é o resultado do fluxo de elétrons de uma determinada matriz, ou seja, obtida através de uma fonte primária de geração como o carvão, petróleo, gás natural, água, sol etc. A energia elétrica é considerada uma fonte secundária de energia, porém, também é considerada uma energia operadora, pois pode ser convertida em outras formas, como a mecânica ou a térmica



*Figura 2 – Eletricidade*  
Fonte: Newatlas, 2020

A fim de aprofundar as diversas diretrizes de geração e energia elétrica, é necessário ter consciência da parte científica da energia elétrica e como é sua obtenção.

#### 2.1 Eletricidade

A energia elétrica é obtida no átomo, através do fluxo de elétrons. Os elétrons são encontrados na camada de um átomo e esses são fortemente atraídos com os prótons que estão presentes no núcleo, isso se dá por conta da atração de dois corpos de cargas opostas. Essa atração faz com que os elétrons sejam puxados para fora de suas orbitas, aplicando

uma força capaz de fazer com se movimentem. Essa movimentação dos elétrons é comumente conhecida como eletricidade.

## 2.2 Demanda mundial de energia

A demanda mundial de energia teve forte reverberação em 2021 e continuará seu crescimento ao longo de 2022, isso se dá por conta da queda de aproximadamente 1% que ocorreu no ano de 2020. Grande parte da energia demandada toma localização na Ásia, com maior foco na China, o país com maior índice de consumo de eletricidade em todo o planeta.

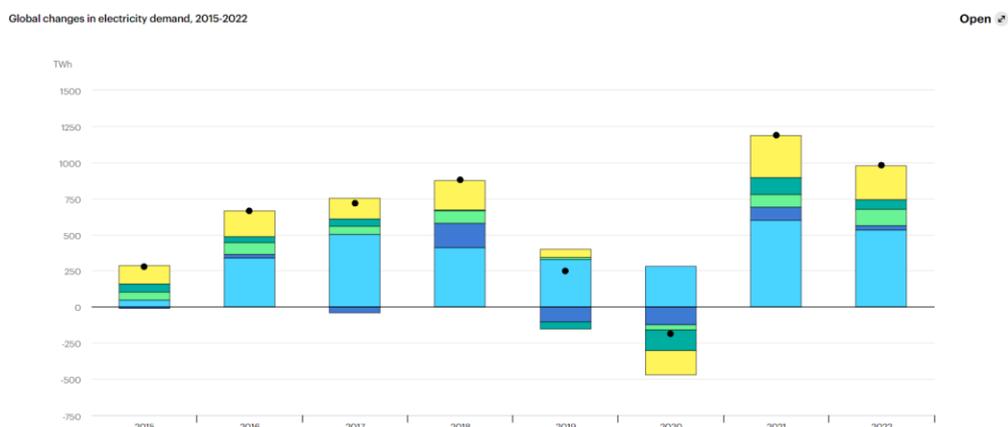


Figura 3 - Demanda de energia  
Fonte: IEA, 2021

### 2.2.1. O Impacto do COVID na energia

Nos anos de 2020 e, atualmente, no ano de 2021 o mundo foi abalado com a proliferação em massa do Coronavírus, atingindo, além das pessoas e suas famílias, diretamente as relações sociais e econômicas em todos os setores ao redor do globo. Criou a maior crise global nas gerações, enviando ondas de choque nos setores da saúde, economia, sociais e etc.

O setor da eletricidade também foi gravemente afetado por essa crise, a que agravou no atraso do transporte, troca e atividades relacionadas, causando uma diminuição drástica na demanda nos países.

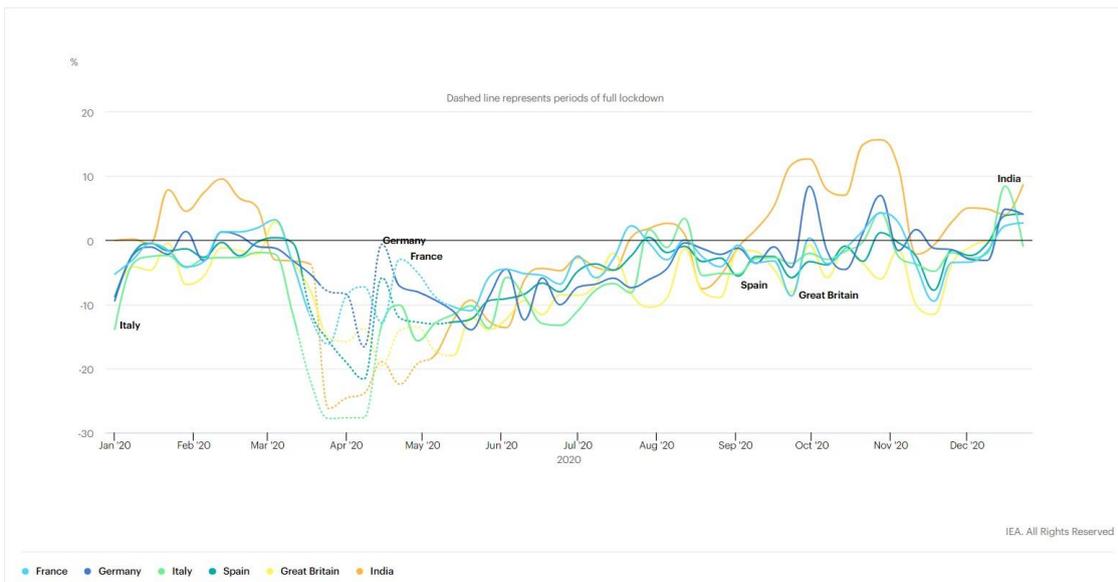


Figura 4 - Fluxo da demanda na pandemia

Fonte: IEA

### 2.2.1.1. Demanda de óleo

Com a pandemia atingindo todos os setores ao redor do globo, o setor do óleo foi gravemente atingido. O Consumo foi reduzido em cerca de 16 milhões de barris por dia, e a produção também foi drasticamente reduzida.

Enquanto o óleo é uma das principais fontes de combustível no setor energético ao longo do globo, seu maior impacto foi a restrição na mobilidade. A indústria aeronáutica sofreu um declínio trágico, por conta da quantidade de voos cancelados ao meio do tempo para que vidas fossem preservadas e que restrições para combate ao vírus fossem implantadas.

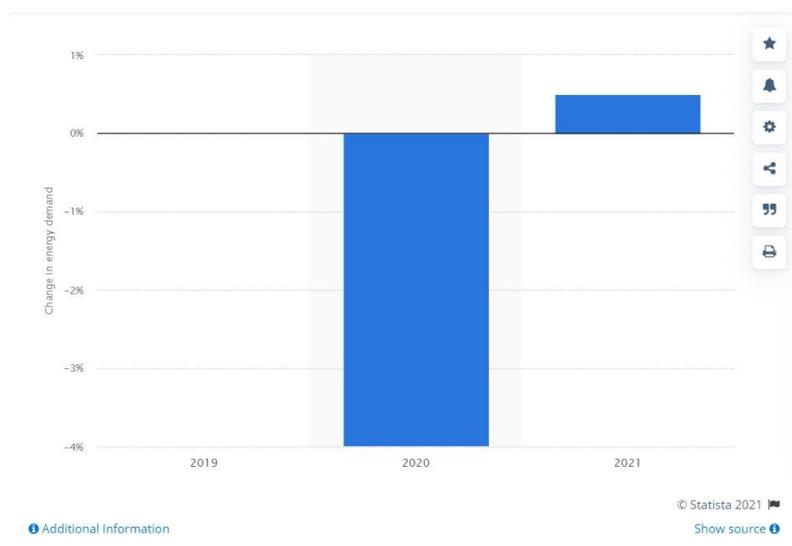


Figura 5 - Demanda de energia a óleo

Fonte: Statista, 2021

### **2.2.1.2 Energias renováveis**

O grave cenário encontrado com a pandemia do coronavírus trouxe um estado de tensão no setor de energias renováveis. O impacto no setor é consideravelmente alto, pois atrasou projetos em construção, atraso na entrega de materiais, aumento do preço de construção, compra e manutenção.

Apesar do choque vivido nesses tempos, segundo a IEA, é possível se observar um retorno maior nos investimentos em fontes de energia renovável. Isso se deu pois os investidores se encontraram mais atraídos em possuírem fontes de geração de energia de maneira própria, potencializando os projetos de pequena, média e larga escala. O setor global em energia renovável teve um acréscimo de 3%, fortemente dirigidos por projetos de energia fotovoltaica e energia eólica (IFC, 2021). A resiliência do setor de renováveis perante essas circunstâncias trouxe otimismo para o crescimento do setor e o aumento na demanda e procura por investimentos energia fotovoltaica.

As fontes de energias renováveis tiveram seu futuro acelerado com a pandemia, pois ganhou um acréscimo relativo na sua procura em relação a queda da demanda nas demais fontes combustíveis. Apesar da COVID ter trazido a insegurança nos consumidores em investirem seu capital em novos desafios, não é evidenciada essa questão nos setores renováveis, como pelo contrário, mostrou que o investimento em ERs ficou mais atraente. Uma transição para a energia renovável pode auxiliar as economias a se reestruturarem de forma limpa, contribuindo diretamente ao meio ambiente, além de aplicar diretamente em tecnologia e na geração de empregos.

A Ásia apresentou diversos projetos em inclinação à transição para as fontes de energia renovável. Cerca de 800 projetos com um fundo potencial de investimento de mais de 36 Bilhões de Dólares.

Países como a Malásia, Vietnã e Coréia do Sul apresentaram um comissionamento qualitativo na procura por energia solar. Outros países do continente anunciaram suas ambições na transição para a sustentabilidade.

### Korea capacity mix, December 2020

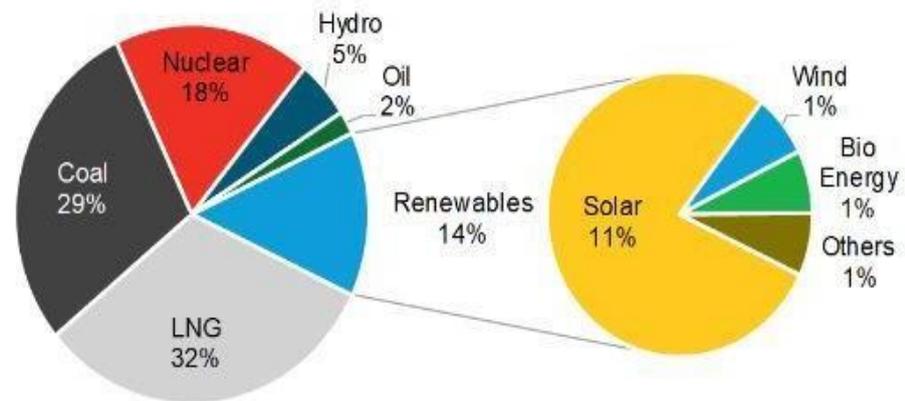


Figura 6 - Matriz energética Coreana  
Fonte: BNEF, 2021



Figura 7 - Energia Solar em Seoul  
Fonte: Green Queen, 2019

### 2.3 Geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica pode ocorrer de diversas maneiras, a mais comum é através da conversão de energia mecânica em energia elétrica, um processo baseado em magnetismo e eletricidade. A Geração de energia através de fontes renováveis tem crescimento contínuo, porém, no cenário atual, não conseguem acompanhar o aumento da demanda de eletricidade ao redor do globo. As energias renováveis cresceram cerca de 7% durante 2020, teve uma estatística de crescimento de cerca de 8% em 2021 e está

previsto ter um crescimento de aproximadamente 6% em 2022 (IEA, 2020). Porém, mesmo com esse aumento gradativo de fontes alternativas de geração, as energias renováveis são previstas para abastecerem apenas, aproximadamente, metade da energia demandada projetada para crescimento entre 2021 e 2022. As energias naturais provenientes de combustíveis fósseis permanecerão sendo as principais fontes geradoras de energia

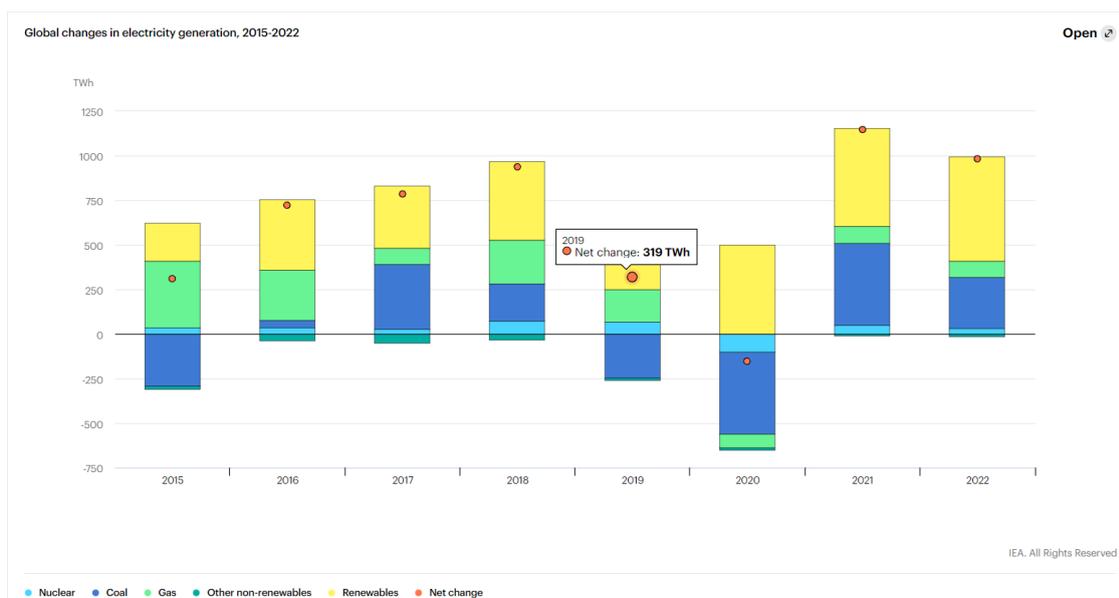


Figura 8 - Crescimento de fontes de energia  
Fonte: IEA, 2021

As mudanças climáticas influenciam diretamente a geração de energia elétrica, independente em qual seja seu campo e fonte de combustível. Atualmente os eventos de extrema alteração trazem perigo ao fornecimento dos combustíveis primários, seja por calor ou frio extremo, além de enchentes, secas e diversos outros fenômenos que atingem diretamente na produção, distribuição e transmissão de energia elétrica.

As principais fontes de geração de energia elétrica são compostas por corrente de água, turbinas, rotores, ou algum outro equipamento semelhante capaz de transformar a energia mecânica em elétrica. São encontradas, também, usinas de combustão a gás, aerogeradores etc. Esse documento irá aprofundar na energia solar fotovoltaica, fonte de geração de energia renovável tendo o sol como seu combustível.

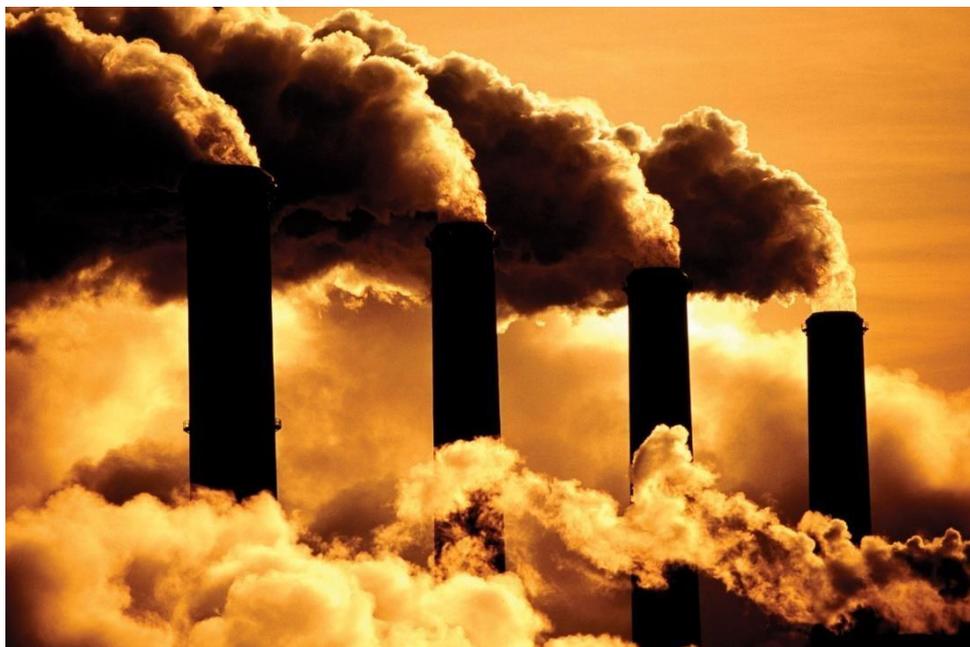
### 3 Efeitos da energia elétrica no meio ambiente

Ao analisar o processo evolutivo do homem, é visto uma grande busca em maneiras para otimizar processos e criar ferramentas ou mecanismos afim de atender e

suprir nossas necessidades. Podemos ver isso com o fogo, automóveis, máquinas, e, também, na eletricidade. Por conta disso, as usinas de geração de energia elétrica se tornaram um meio necessário para o progresso e desenvolvimento da sociedade como um todo, principalmente devido às relações socioeconômicas.

Contudo, muito dos processos para geração de energia são provenientes de fontes não renováveis de energia, como é o caso dos combustíveis fósseis (Petróleo, carvão mineral e gás natural), usinas de energia nuclear e etc. São extremamente nocivas para a atmosfera e ao meio ambiente por conta do grande índice de emissão de gases poluentes, causadores e potencializadores do efeito estufa, além do desmatamento e obstrução ao território para obtenção dos combustíveis, e, também, o descarte de produtos que se tornaram utilizáveis após o processo de geração, como, por exemplo, materiais radioativos. Esses e outros diversos fatores ocasionam diversos agravantes à qualidade de vida do planeta, degradando o ecossistema e a atmosfera, causando alterações climáticas, poluição (Sonora, visual, radioativa etc.) dentre outros.

Segundo a Our World In Data (OUD, 2019) a produção de energia é responsável por 87% da emissão dos gases causadores pelo efeito estufa. A emissão de CO<sub>2</sub> cresceu rapidamente e alcançou números inimagináveis, 36.6 bilhões de toneladas em 2018.



*Figura 9 - Emissão de gases poluentes na usina*  
Fonte: Hypescience, 2017

#### **4 Energias renováveis**

Ao avanço da tecnologia, diversas soluções potenciais para os problemas ambientais causados pela emissão de gases poluentes provenientes da geração de energia elétrica evoluíram, sendo uma delas a produção através de fontes renováveis.

Com o crescimento contínuo dos danos ao meio ambiente, muitos países consideraram que o sol, vento e outras fontes renováveis são vistas como as chaves para um futuro energético sustentável, investindo no desenvolvimento e uso dessas tecnologias. Essas tecnologias são atrativas pois realizam a conversão de fenômenos naturais para energia elétrica que pode ser comercializada. Fontes de energia renovável que são provenientes dos impactos da irradiação solar no planeta terra, seja ele de forma direta ou indireta (Energia solar, ventos, queda d'água, crescimento de plantas etc.) como também o calor existente no núcleo da terra (Geotermal).

Apesar das dificuldades encontradas na conversão desses fenômenos naturais em energia elétrica, a pesquisa e o desenvolvimento das mesmas tiveram uma expansão vigorosa nos últimos anos. Atualmente o progresso dessas tecnologias renováveis é feita por:

- Aumento na eficiência da captação e conversão desses fenômenos naturais
- Diminuição de custos de obtenção e manutenção
- Aumento nas aplicações

Além disso, um outro ponto que faz com que os países tenham interesse no desenvolvimento dessas tecnologias renováveis é no benefício de manter o capital, ao invés de exportar o capital para realizar a importação de combustíveis fósseis. Diversas fontes de energia limpa estão com um custo competitivo às fontes de combustível fóssil; porém, investimentos em tecnologias renováveis devem ter um planejamento de longo prazo, pois a competição com os preços de combustível fóssil se tornará mais impactantes com a amortização deles.



*Figura 10 - Fontes renováveis de energia*  
Fonte: European comission, 2020

## 5 Energia Solar

A energia solar é a principal fonte de energia para o planeta, tanto como fonte de calor, como fonte de luz; sendo indispensável para a existência da vida na Terra, bem como o ponto de partida para os processos químicos e biológico. A energia do sol pode ser aproveitada por meio de diferentes tecnologias, como para aquecimento térmico, energia solar fotovoltaica, energia solar hipotérmica e estratégias de arquitetura solar. Dada as preocupações perante mudanças climáticas, é fato de que a utilização de energia solar representa uma alternativa sustentável, em consideração aos combustíveis fósseis, não apresentando poluição ao ar ou a água, nenhum potencializador ao aquecimento global, nenhuma emissão de gases poluentes, além de não apresentar nenhuma ameaça a saúde pública

### 5.1 Radiação solar

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, elétrica etc.). Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito fotovoltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como células fotovoltaicas. Estas células são componentes optoeletrônicos que convertem diretamente a radiação solar em eletricidade. São

basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado.

## 5.2 Captação e conversão

O nosso planeta, em seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajetória elíptica um plano que é inclinado de aproximadamente 23,5 graus com relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data, como pode ser visto na figura. A posição angular do Sol, ao meio-dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar ( $\delta$ ). Este ângulo, que pode ser visto na figura 2.1.1, varia, de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites:  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$ . A soma da declinação com a latitude local determina a trajetória do movimento aparente do Sol para um determinado dia em uma dada localidade na Terra.

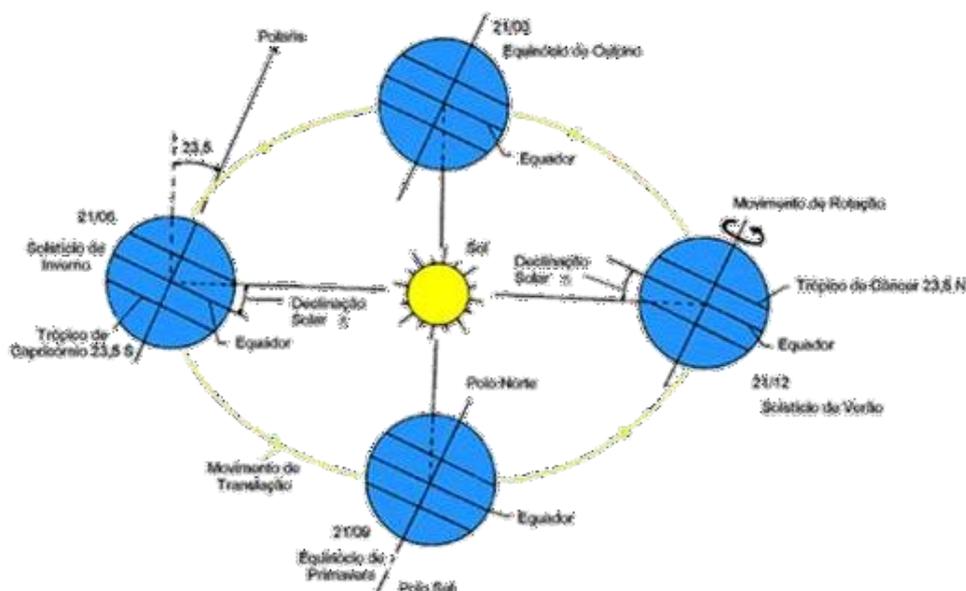


Figura 11 - Órbita da terra em torno do sol  
Fonte: CRESESB 2014

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar que é uma camada tênue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem de 5800 K. Porém, esta radiação não se apresenta como um modelo de regularidade, pois há a influência das camadas externas do Sol (cromosfera

e coroa), com pontos quentes e frios, erupções cromos feéricas etc. Apesar disto, pode-se definir um valor médio para o nível de radiação solar incidente normalmente sobre uma superfície situada no topo da atmosfera. Dados recentes da WMO (World Meteorological Organization) indicam um valor médio de  $1367 \text{ W/m}^2$  para a radiação extraterrestre. Fórmulas matemáticas permitem o cálculo, a partir da “Constante Solar”, da radiação extraterrestre ao longo do ano, fazendo a correção pela órbita elíptica. A radiação solar é radiação eletromagnética que se propaga a uma velocidade de  $300.000 \text{ km/s}$ , podendo-se observar aspectos ondulatórios e corpusculares. Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de  $0,1 \mu\text{m}$  a  $5 \mu\text{m}$ , tendo uma máxima densidade espectral em  $0,5 \mu\text{m}$ , que é a luz verde. É através da teoria ondulatória, que são definidas para os diversos meios materiais, as propriedades na faixa solar de absorção e reflexão e, na faixa de  $0,75$  a  $100 \mu\text{m}$ , correspondente ao infravermelho, as propriedades de absorção, reflexão e emissão.

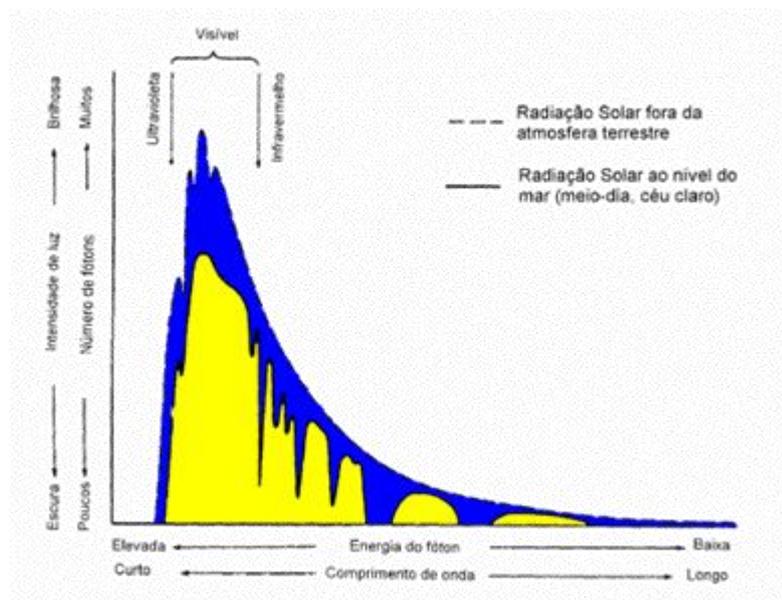


Figura 12 - Distribuição espectral da radiação solar  
Fonte: CRESESB, 2014

A radiação solar incidente no meio material pode ser refletida, transmitida e absorvida. A parcela absorvida dá origem, conforme o meio material, aos processos de fotoconversão e termoconversão

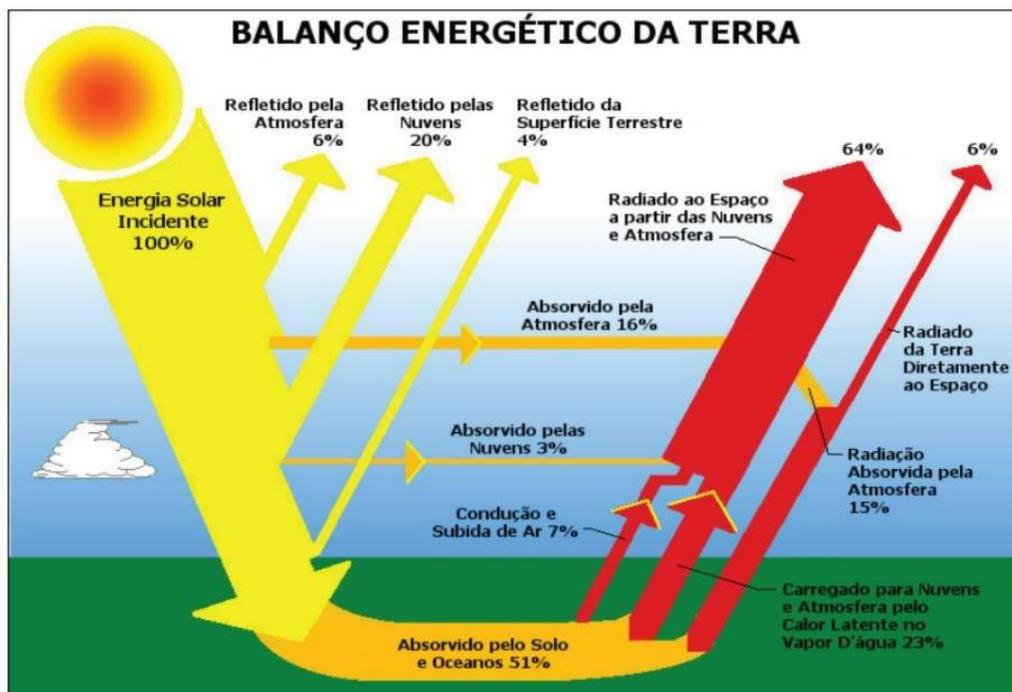


Figura 13 - Balanço energético da terra  
Fonte: GeoDesign, 2019

### 5.3 Energia solar térmica

A utilização da radiação solar incidente pode ser convertida e utilizada de diversas maneiras. Uma das principais formas de conversão de energia provenientes do sol é a solar térmica, uma de suas principais características é o aquecimento da água para uso humano, mas tendo diversas outras características

A energia solar térmica consiste na capacidade que um corpo tem de captar o calor incidente em si. Possui a menor complexidade ao relacionar com os diversos tipos de aproveitamento dos raios solares, e, por conta disso, são os mais comumente encontrados em residências, hotéis e empresas com o intuito de aquecimento de água para os chuveiros, piscinas, processos industriais etc.

Os materiais que compõem os sistemas de energia solar térmica são aquecedores de fluídos (líquidos ou gasosos), sendo o coletor solar e o reservatório térmico seus componentes mais conhecidos e visados, já que são responsáveis por absorver a radiação solar incidente em seu corpo e propagá-la em forma de calor para a água passando no sistema; líquido que ficará armazenado no reservatório



*Figura 14 - Residência com coletor solar*  
Fonte: Cotanet, 2018

O benefício desse sistema é a existência de um componente capaz de armazenar o líquido aquecido para uso em outros horários, trazendo uma eficiência maior em sua instalação.

Autilizar um protótipo de aquecedor solar feito de materiais recicláveis e montado na região de Curitiba, constatou que após várias leituras durante o dia todas as temperaturas da água foram superiores a temperatura ambiente, mesmo com a diminuição da temperatura externa a temperatura da água se manteve constante. Segundo Veigh (1977, p. 39) estudos e utilizações de placas para aquecer a água de banho e da cozinha já vêm de muitas décadas, sendo que os principais trabalhos de pesquisa com coletores planos foram realizados em 1947, pelo já falecido professor Harold Heywood. As ligações dos coletores podem ser realizadas segundo Bezerra (1990) de duas formas série ou paralelo, sendo a ligação em série para aquecer mais a água, sendo possível uma ligação mista série paralelo, usado em grandes volumes de água. Podem-se encontrar comercialmente vários coletores de energia solar, de várias formas e tamanhos, quando adquirido pronto deve-se observar, desde o seu revestimento que deve possuir um elevado poder de absorção dos raios solares e o baixo coeficiente de emissão de raios caloríficos. Segundo Cometta (1990, p.43) o rendimento ou eficiência de um coletor solar é a relação entre quantidade útil de calor recolhido num dado período e a irradiação total no mesmo tempo.

Outro fator a ser levado em conta na escolha de um sistema de aquecimento utilizando os coletores de painéis solares é seu custo de instalação e manutenção e esse fator deve ser primordial para a escolha adequada do sistema de aquecimento. O custo da instalação solar pode ser superior ao consumo gasto para outro sistema com isso deve-se compreender a amortização e os juros do capital investido. As piscinas são bastante utilizadas nas residências dos brasileiros, sendo para aliviar calor nos dias intensos de verão, para o lazer das pessoas ou uma opção para a realização de atividades esportivas. Em Algumas regiões do Brasil onde as temperaturas e o clima seguem as estações do ano o uso das piscinas nas épocas de frio é inviável para o ser humano, sendo que as mesmas são utilizadas apenas no verão, ou seja, poucos meses durante o ano. Para o uso contínuo é de fundamental importância a instalação de sistemas de aquecimento. Conforme Adir (1985) o Brasil se estende desde 5° norte até 32° sul, situado em uma região privilegiada em relação a disponibilidade de energia solar, possui a maior extensão territorial entre outros países, conclui-se que é o país que possui maior potencialidade relativa para o aproveitamento da energia solar. Em particular a região nordeste do Brasil possui uma potencialidade máxima para o aproveitamento da energia solar.

#### **5.4 Energia solar fotovoltaica**

A forma mais comum de conversão dos raios solares incidentes em energia é através do sistema solar fotovoltaico. Esse método consiste na absorção e conversão direta da energia solar para energia elétrica que é capaz de ser consumida pelos equipamentos integrantes do sistema, armazenada em baterias ou transferida.

#### **5.5 Geração de energia fotovoltaica**

Edmond Becquerel observou, em 1839, que ao mergulhar placas metálicas num eletrólito era produzida uma corrente elétrica<sup>1</sup>. A primeira célula solar fotovoltaica foi inventada em 1877 por dois inventores norte-americanos, W.G. Adams e R. E. Day, que fizeram uso de propriedades condutoras do selênio<sup>2</sup>. Porém, apenas em 1954, foi postado o primeiro artigo sobre células solares em silício – registrando uma célula com eficiência de 4,5% publicado por D.M Chapin e seus colaboradores, do Bell Laboratory, empresa estadunidense.

O principal material presente na célula fotovoltaica é o silício cristalino que tem como característica principal sua abundância no planeta, além de não ser tóxico e

apresentar vantagens técnicas, como por exemplo o seu baixo coeficiente de segregação de metais, além de ser um particular hiato apropriado à radiação solar.

A conversão de energia solar em eletricidade, ou comumente conhecida como energia fotovoltaica, é uma fonte de energia limpa que não emite gases poluentes ou apresenta outros males indesejáveis ao meio ambiente por fazer uso de uma fonte renovável de um bem natural inesgotável, o sol.

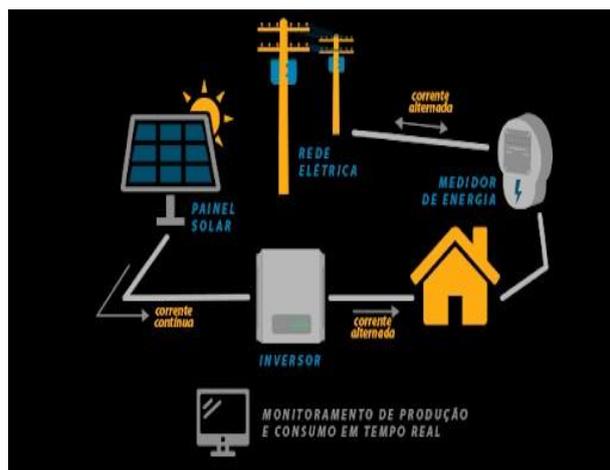


Figura 15 - Energia Fotovoltaica  
Fonte: UFPR, 2017

O efeito fotovoltaico acontece por conta da excitação de elétrons que ocorre em presença da luz solar. A conversão de energia solar em elétrica garante grande confiabilidade, baixo índice de manutenção além de um alto tempo estimado de vida útil, além de ser modular, o que permite um sistema flexível de geração e de integração à sistemas tanto em construções de grande porte como em territórios com pequena demanda de geração.

### 5.5.1 Sistemas On-Grid e Off-Grid

No processo de instalação de sistemas fotovoltaicos em residências devemos analisar primeiramente se elas possuem condições para serem instaladas na rede de energia elétrica local. Contudo, muitos agricultores pequenos não possuem ou apresentam um acesso restrito ao abastecimento de energia elétrica, forçando-os a recorrerem a sistemas isolados da rede elétrica. Desta forma, conforme a situação de abastecimento do consumidor a instalação do sistema se torna possível através de sistemas On-Grid e Off-Grid.

### 5.5.1.1. Sistemas On-Grid

A principal definição de um sistema On-Grid é um sistema que se encontra conectado à rede elétrica.

Nesse sistema, toda a produção de energia que exista em alguma residência (por sistemas fotovoltaicos, por exemplo) é enviada a concessionária, que por sua vez, abate o valor da sua fatura de energia por diferentes sistemas de créditos. Contudo, não é possível ficar isento de faturas de energia uma vez que nela estão inclusos distintos tributos voltados a manutenção da rede elétrica e outros serviços.



*Figura 16 - Sistema on-grid*

Fonte: Universal automação residencial, 2019

Para a adequação a esse tipo de sistema é necessário a implementação de alguns componentes no conjunto fotovoltaico, como o caso de um inversor energético, responsável por transformar a corrente contínua em corrente alternada. Além disso é necessário instalar um relógio bidirecional, que irá fazer a medição tanto da energia consumida da distribuidora quanto da energia gerada na residência.

### 5.5.1.2. Sistemas Off-Grid

Em sistemas Off-Grid, ou mais conhecidos como sistemas isolados, os meios de geração de energia fotovoltaica não se encontram conectados à rede elétrica. Desta forma, temos a presença de bancos de bateria, que servem para armazenar toda a energia gerada pelo sistema, dependendo exclusivamente do sistema fotovoltaico para atender a demanda instalada na unidade.

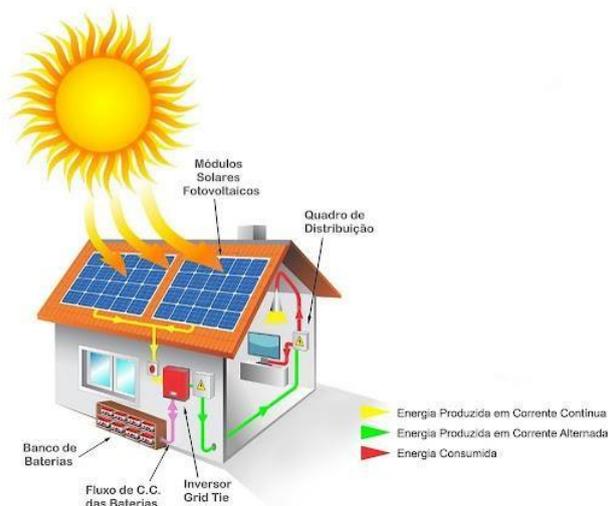


Figura 17 - Sistema Off-grid  
 Fonte: Universal automação residencial, 2018

O sistema Off-Grid é altamente indicado tanto para locais remotos cujo fornecimento de energia é considerado inacessível ou precário, como também em locais que possuem altos níveis de incidência de luz solar

### 5.5.2 Módulos fotovoltaicos

O módulo fotovoltaico é encarregado por realizar a conversão da energia solar proveniente da irradiação em energia elétrica num processo limpo e silencioso. O efeito fotovoltaico é o efeito de um semicondutor que, ao receber os raios solares em suas células, causará o movimento dos elétrons.

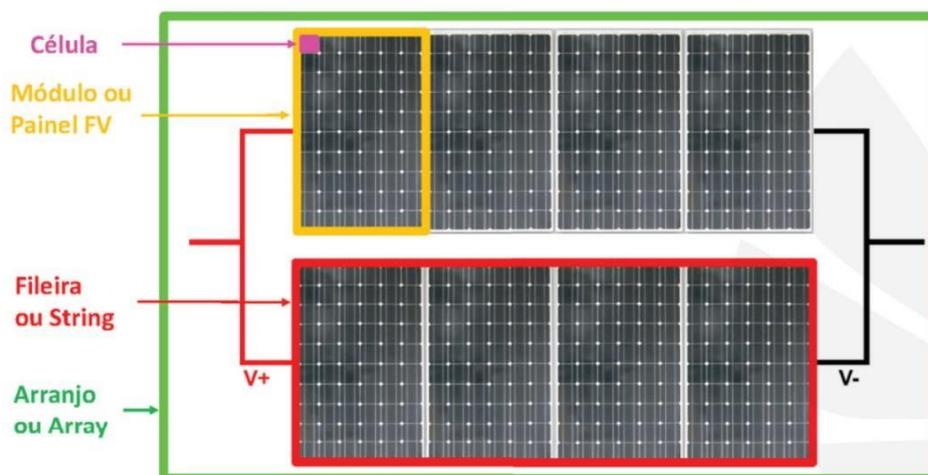


Figura 18 - Arranjo de um sistema FV  
 Fonte: Huawei, 2021

Um módulo é constituído por células fotovoltaicas, seja ela de silício cristalino, monocristalino, policristalino e silício amorfo. Essas células são interligadas em série, instaladas em duas camadas de acetato e vinil, sobre uma cobertura de fluoreto de polivinila.

### 5.5.3 Célula fotovoltaica

A célula fotovoltaica é mais comumente constituída de silício, existem tecnologias emergindo de células orgânicas que são obtidas através de polímeros, mas ainda não são totalmente comercializadas.

As tecnologias celulares mais comuns no meio fotovoltaico são descritas nas seções seguintes:

#### 5.5.3.1. Silício Cristalino

Os módulos são feitos de células monocristalino, policristalinas. Os mono são, geralmente, as mais eficientes, mas tem um custo de produção maior. Esse tipo consiste na conexão das células que são encapsuladas entre um vidro transparente e um outro material de apoio.

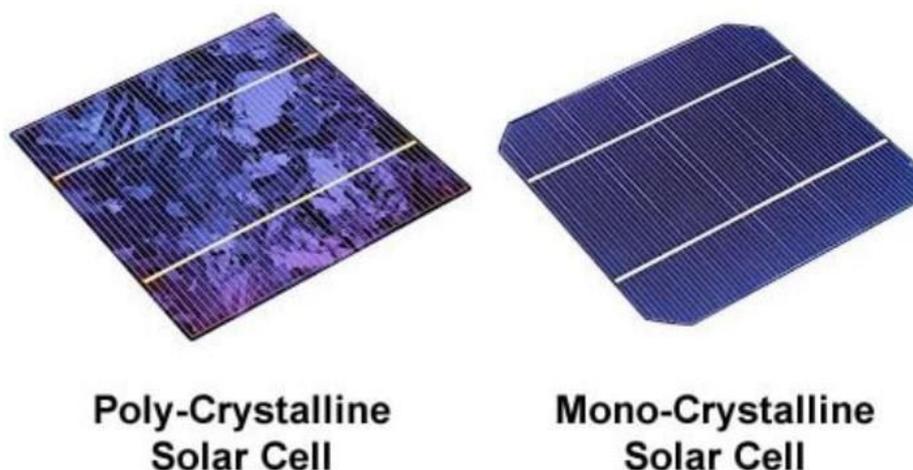
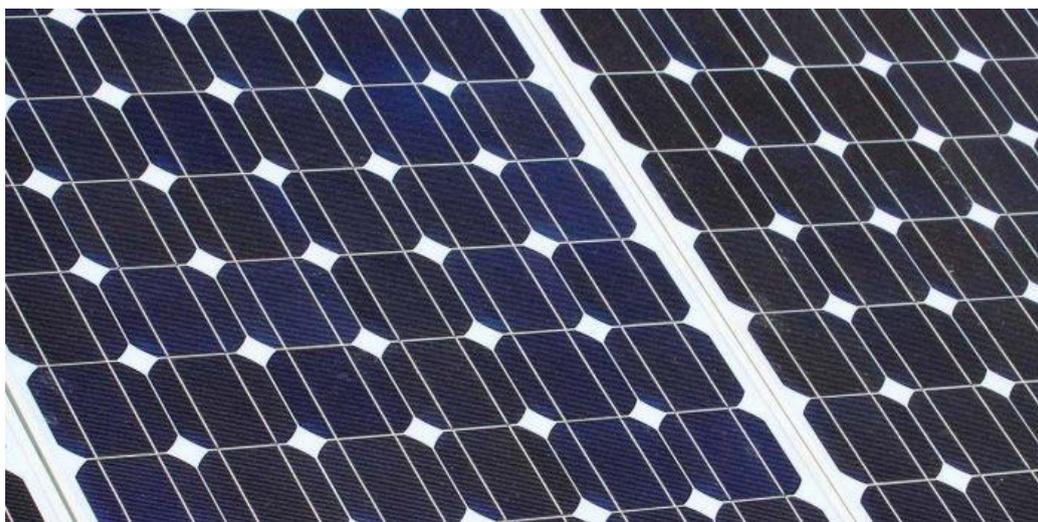


Figura 19 - Células mono e policristalinas  
Fonte: Canal Solar, 2019

#### 5.5.3.1.1. Células monocristalinas

São de fácil identificação por conta de sua coloração mais escura. São feitas de silício puro, sendo, assim, o material mais eficiente na conversão de irradiação solar em energia elétrica. Além de sua maior eficiência, essas células são as que possuem maior

longevidade dentre as constituintes de silício, podendo ter garantia de 25 anos em seus sistemas. Porém, em consideração ao preço ela já não é mais a principal dentre as de mesma produção, isso se dá, pois, as células de monocristalino são as mais caras entre todas, pois são produzidas de um grande único cristal de silício, num processo relativamente caro.



*Figura 20 - Células Monocristalinas*  
Fonte: Casa eco sustentável, 2019

#### **5.5.3.1.2. Células policristalinas**

Foram as primeiras células desenvolvidas pela indústria fotovoltaica. Sua produção possui um custo-benefício superior em comparação as monocristalinas pois o silicone é derretido e colocado num molde quadricular, criando o formato do policristalino. Seu principal benefício é seu custo, possuem um valor consideravelmente baixo, porém, em proporção, são menos eficientes em comparação às monocristalinas.



*Figura 21 - Módulo Policristalino*  
Fonte: Genyx Solar Power, 2020

#### 5.5.3.1.3. Silício Amorfo

Não possuem um formato específico. O silício não tem estrutura e nem é cristalizado. Possuem uma eficiência menor que as outras células de silício, porém sua produção e seu desenvolvimento fazem com que a sua aplicação seja mais flexível, causando que a instalação e o transporte tenham menos risco. Sua flexibilidade faz com que sejam capazes de serem instalados em superfícies curvadas, tendo aplicações quase ilimitadas.



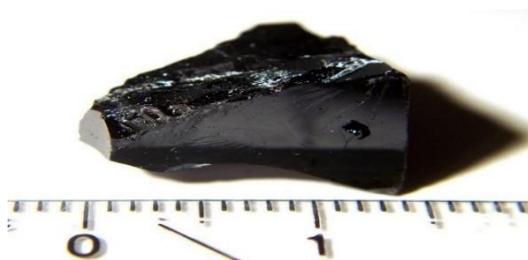
*Figura 22 - Módulo de silício amorfo*  
Fonte: IndiaMART, 2021

#### 5.5.3.1.4. Célula de filme fino

Placas semicondutoras de silício fornecem uma alta eficiência no processo fotovoltaico, porém, em contraparte, possuem alto custo em sua produção. Já essas células de filme-fino são mais de menor custo, porém, em proporcionalidade, com uma menor eficiência. Uma célula de filme fino possui o silício amorfo como principal forma, além de utilizar, também, o Telureto de Cádmio (CdTe) Seleneto de cobre gálio índio (CIGS)

#### 5.5.3.1.5. CdTe

É um composto de Cádmio e telúrio, que consiste no filme semicondutor empilhado depositado num condutor de vidro revestido de óxido. Módulos de CdTe produzem uma grande quantidade de energia elétrica em uma ampla gama de condições climáticas.



*Figura 23 - Telureto de cádmio*  
Fonte: Scielo, 2018

#### 5.5.3.1.6. Seleneto de cobre gálio índio (CIGS)

É um semicondutor composto de cobre, índio, gálio e selênio. Esse composto absorve a luz de maneira mais eficiente, porém necessitam de um filme mais fino do que uma célula de silício amorfo. A produção comercial desses módulos está nos seus primórdios de desenvolvimento, porém possuem o potencial de oferecer a maior eficiência na conversão de todos os módulos fotovoltaicos de filme fino.

### 5.5.4 Inversores

Para um sistema de geração fotovoltaica conectada ao sistema elétrico se faz necessária a utilização de um inversor. Esse equipamento converte a energia gerada em corrente contínua (c.c.) para energia em corrente alternada (c.a.) que é utilizada pela maioria dos aparelhos encontrados em residências (TV, Geladeira, Micro-ondas etc.), com níveis de frequência e amplitude determinados com adequação as cargas que serão alimentadas no local.

A quantidade de inversores existentes no mercado é vasta, isso se dá por conta das diversas aplicações que podem existir, sendo as principais:

#### 5.5.4.1. Inversor On Grid

Esse tipo de inversor é interage com a rede em que estão conectados, interagindo especificamente com ela; são designados de fornecer corrente alternada na melhor forma, além de detectar qualquer distúrbio de qualidade dela que apareça em sua rede. Por estar conectado permanentemente, quando detecta uma queda de tensão ele deve desligar automaticamente, evitando o risco da manutenção no local.



Figura 24 - Sistema ON-Grid  
Fonte: Portal Solar, 2018

#### 5.5.4.2. Inversor Off Grid

Inversores off grid são utilizados em sistemas remotos, onde sua função será de alimentar diretamente as cargas, fornecendo a energia elétrica em corrente alternada aos aparelhos consumidores instalados na unidade. Esses não podem ser instalados a rede pois não interagem com os sinais apresentados, o que acaba resultando numa irrupção do equipamento.



*Figura 25 - Sistema OFF-Grid*  
Fonte: Sustainable electrotech, 2018

#### 5.5.4.3. Inversor Solar String

O inversor solar string é conectado com uma linha de módulos fotovoltaicos que irão funcionar como um painel maior. Esse modelo de inversor é um dos mais utilizados no mercado de energia solar, apresentando a possibilidade de se conectar à duas ou mais linhas independentes. São de potência reduzida e suportam entre uma a três séries de módulos.



*Figura 26 - String*  
Fonte: Elysia Energia Solar, 2017

#### 5.5.4.4. Micro inversor

Esse tipo de inversor converte a energia elétrica gerada em corrente contínua para corrente alternada em todos os painéis a ele conectado, desta maneira pode ser utilizado para trabalhar com uma única placa fotovoltaica ou com uma quantidade elevada. Tem as mesmas definições de um inversor string, porém tem a potência reduzida.



*Figura 27 - MicroInversor Solar*  
Fonte: Elysia energia solar, 2017

#### 5.5.4.5. Inversor Solar Central

O Inversor solar central é utilizado principalmente para grandes construções como em usinas solares, edifícios de grande porte e indústrias com sistemas fotovoltaicos. Como o inversor solar central apresenta as mesmas características ao inversor solar string, podendo ser considerado como sendo sua versão maior.



*Figura 28 - Inversor Solar Central*  
Fonte: ArchiExpo, 2021

### **5.5.5 Baterias**

Com a maior procura de armazenamento de cargas, as baterias a serem implantadas em sistemas fotovoltaicos passaram a se tornar cada vez mais acessíveis, possibilitando até mesmo sua autonomia. O banco de baterias possibilita aos usuários se desconectarem das redes elétricas convencionais, possibilitando assim, sua implementação em locais onde não há distribuição de energia elétrica.

À medida que não for apresentada incidência solar de forma que proporciona a geração de energia elétrica através do sistema fotovoltaico, o banco de baterias previamente carregadas a partir do excedente de energia gerada, garantem o fornecimento de eletricidade ao sistema. No mercado existem diferentes modelos de baterias, dentre elas podemos citar:

#### **5.5.5.1. Baterias OPzS**

Possuindo uma longa vida útil, maior que dez anos, são utilizadas com mais frequência em sistemas de energia alternativa e por serem baterias chumbo-ácidas apresentam um custo elevado.

Para sua utilização em uma instalação, alguns fatores devem ser levados em conta, como por exemplo o seu local de armazenamento, estas baterias liberam gases inflamáveis que podem causar explosões, desta maneira é necessário que sua instalação seja feita em ambientes abertos. Além disso é necessária a reposição de água em seu interior periodicamente.

#### **5.5.5.2. Baterias de Gel**

Possuindo uma vida útil superior a dez anos e geralmente utilizadas em embarcações, essas baterias são seladas com gel de forma que não liberam gases, permitindo sua instalação em ambientes fechados.

#### **5.5.5.3. Baterias Estacionárias Comuns**

Sendo mais econômicas e indicadas a sistemas pequenos, essas baterias possibilitam o fornecimento de grandes descargas. Tendo uma vida útil de aproximadamente quatro a cinco anos.

## 6. Energia Solar Mundial

As grandes potências mundiais vêm investindo no avanço tecnológico das energias renováveis há um tempo, sendo a energia solar uma das mais fortes, com maior estabilização no mercado das novas fontes de geração. A preferência pela conversão da irradiação solar em energia elétrica é por conta do seu avanço rápido e, de acordo com a National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2018) o sol nunca vai parar de brilhar, tendo uma estimativa de mais de 6,5 bilhões de Anos de vida. Em proporção a essa análise da NASA, a energia solar está em constante evolução, a ponto de competir com fontes convencionais de geração de energia em alguns países.

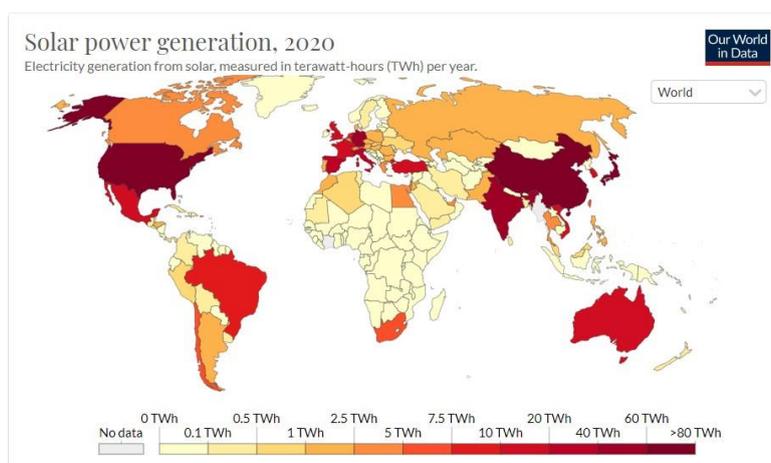


Figura 29 - Potencial instalado no mundo

Fonte: Our world in data, 2020

Nos últimos anos notou-se um vasto crescimento nos índices de energias renováveis ao longo do mundo. Nos Estados Unidos, uma das principais potências mundiais, as fontes limpas de produção aumentaram mais de 100% nos últimos 20 anos (C2ES, 2018). A energia solar é projetada para se tornar grande parte da matriz energética renovável no país norte americano, de 11% em 2017 para 48% em 2050.

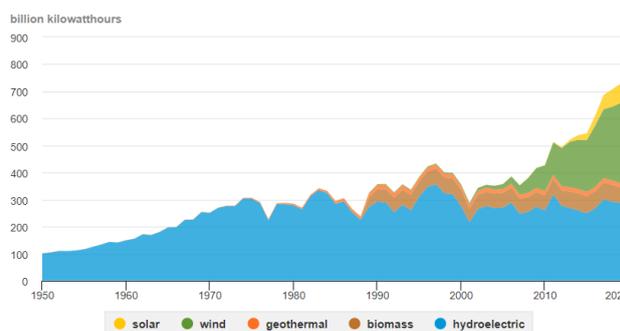


Figura 30 - Fontes Renováveis EUA

Fonte: EIA, 2020

## 7. Energia solar no Brasil

De acordo com a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecedores (ABRAVA, 2012), o Brasil tem um grande potencial de aproveitamento da energia solar. A Alemanha, um dos líderes em aproveitamento da energia solar para geração de energia fotovoltaica, tem na sua região mais ensolarada 40% menos insolação do que a região menos ensolarada do Brasil. Segundo o Atlas Brasileiro de energia solar, diariamente incide entre 4.500 Wh/m<sup>2</sup> a 6.300 Wh/m<sup>2</sup> no país. Foi somente nos anos de 1970, que o mercado brasileiro de aquecimento solar teve início, seguindo exemplos de outros países, devido à crise do petróleo e consequentemente com o seu aumento. Mostrando assim, o quanto a sociedade é dependente de combustíveis fósseis e quanto se deve investir em tecnologia (ABRAVA, 2012). Assim é que muitas empresas especializadas no setor de equipamentos para aquecimento solar de água surgiram nos anos setenta, três delas ainda em atividade em 2017, que é o caso da Tuma Industrial (1971), a Patho (1976) e a Colsol (1976), sendo as duas primeiras localizadas em Belo Horizonte (MG) e a terceira, em Indaiatuba (SP) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO. AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECEDORES, 2017). Mesmo com as taxas baixas de crescimento do segmento, a partir da década de 1980, constatou-se uma maior especialização do setor com o surgimento de novas empresas especializadas no sistema de aquecimento solar de água. Na década seguinte foi criado na ABRAVA, o Departamento Nacional de Aquecedores Solar (Dasol), que passou a acompanhar o desenvolvimento técnico, comercial e profissionalização do setor de aquecedores.

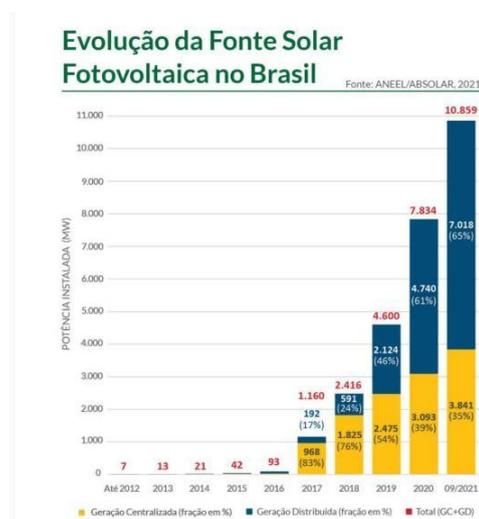


Figura 31 - Evolução da energia solar fotovoltaica  
Fonte: Absolar, 2021

Com o aumento de empresas especializadas no setor, foi necessária a implantação de controle de qualidade para a produção de coletores no país. Assim em 1997, foi criado o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) de Coletores Solares Planos, resultado do esforço conjunto do governo brasileiro, representado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), da Eletrobrás Procel, da Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) e da Abrava. Nos anos 2000, a Eletrobrás Procel passou a conceder aos coletores o Selo Procel Eletrobrás de Economia de Energia a categoria. O Brasil, de acordo com o Sindicato das Indústrias de Aparelhos Elétricos, Eletrônicos e Similares do Estado de Minas Gerais (2017) em 2017 se tem aproximadamente 150 empresas atuando no segmento, 25 só no estado de Minas Gerais empregando algo em 17 torno de 30 mil pessoas, e das suas linhas de montagem hoje saem 500 mil coletores por ano, na qual parte de sua produção é exportada para 10 países.



*Figura 32 - Eletrobrás Procel*  
Fonte: Inee, 2017

### **7.3. Usinas fotovoltaicas**

As usinas fotovoltaicas são comumente encontradas em regiões com uma maior incidência de irradiação solar, como o Nordeste, sudeste e centro-oeste do Brasil. Porém, é de conhecimento a necessidade de investimentos em fontes de geração de energia renovável, visando isso, as diversas regiões territoriais brasileiras estarão adentrando ao meio fotovoltaico de produção, com usinas distribuídas pela extensão territorial. Uma usina referência nas atualidades é a nova localizada em Pereira Barreto, vindo como uma oportunidade e meio de suprir a consolidação da energia renovável no setor energético brasileiro.



Figura 33 - Localização Usinas pereira Barreto  
Fonte: Eib, 2021

### 7.1.1 Usina de Pereira Barreto

O projeto da usina de Pereira Barreto é um investimento na geração de energia elétrica a partir de uma fonte renovável, constituindo uma atividade de baixo impacto ambiental, sem emissão de gases poluentes. Seu principal efeito ao meio ambiente seriam as intervenções e alterações no meio ambiente para instalação do sistema no território, porém, essas alterações serão compensadas em plantios para recomposição da vegetação. Não será necessária nenhuma alteração na topografia do terreno, já que os painéis serão instalados sobre hastes fixadas diretamente ao solo, assim, o entorno não sofrerá danos sobre os aspectos bióticos e abióticos.



*Figura 34 - Terreno de instalação Pereira Barreto*  
Fonte: EIB, 2021

Como possível visualizar na figura 29, a usina de Pereira Barreto é constituída por 9 projetos de 30 MWN, tendo uma capacidade máxima instalada de 270 MWN, e cada uma dessas unidades é dividida em 30 blocos de 1 MWN cada. Existe um inversor para cada uma dessas unidades, com um transformador de 1000kVa para elevar a tensão de saída do inversor de 20kV, com 120600 módulos por bloco de 1 MW. O custo de investimento, segundo a SOLATIO ENERGIA, está contabilizado em aproximadamente R\$70.000.000,00



*Figura 35 - Usina Fotovoltaica Pereira Barreto*  
Fonte: Megawhat energy, 2021

Esse projeto em Pereira Barreto mostra ser um empreendimento de baixo impacto ambiental, já que possui como principal matéria-prima a irradiação solar, fonte renovável, inesgotável e de fácil acesso. Não causará poluição atmosférica, sonora ou em seu terreno. Servirá de pavimento a consolidação do uso de energia renovável na matriz energética Brasileira, garantindo o equilíbrio dos fatores ecossistêmicos; os materiais geradores de sucata serão destinados adequadamente e dispostos em lotes para empresas de sucateamento devidamente licenciadas, esses materiais residuais são caracterizados não perigosos, com referência a sucata de materiais ferrosos, não ferrosos e outros resíduos não ferrosos.

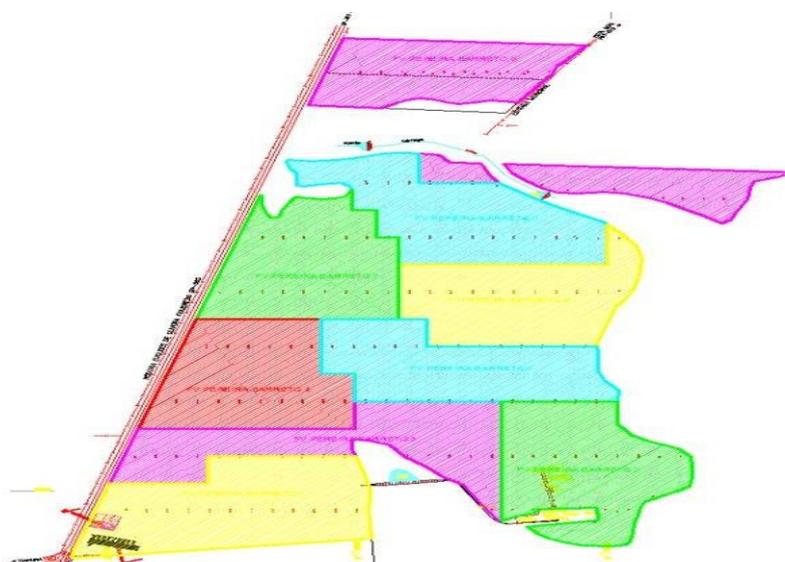


Figura 36 - Layout Usina Pereira Barreto  
Fonte: EIB, 2021

## 7.2 Cenário Fotovoltaico no período de COVID

É de conhecimento comum que o cenário mundial atual está acometido pela presença de uma pandemia pelo novo coronavírus (COVID-19). Esse período de choque mundial afetou todos os setores socioeconômicos, sendo um deles o setor de eletricidade, tanto do lado da oferta e da demanda. Por conta da incerteza que percorria todos os consumidores, muitos não se sentiam seguros para realizar investimentos a longo prazo, porém, apesar de todas as contrariedades, esse período mostra ser um bom cenário para investimento no setor fotovoltaico.



Figura 37 - Energia Solar em tempos de COVID  
Fonte: MIT News, 2021

Nesse período foram feitos comparativos para visualizar a viabilidade econômica no investimento em sistemas fotovoltaicos para classes residenciais, em tempos pré e durante pandemia, considerando todos os custos em relação a eletricidade e radiação, analisando um sistema de mesma potência nessas temporadas.

### 7.2.1 Período Pré Covid

O período escolhido para analisar a viabilidade econômica foi através dos dados de dezembro de 2019, período sem indícios de casos no País e sem a existência de medidas preventivas. Para realizar as comparações entre as datas escolhidas o método escolhido foi através do tempo de Payback descontado, ou seja, estimativa de prazo para retorno de um investimento descontando o fluxo de caixa. O PD foi distribuído nas diversas capitais brasileiras, sendo possível verificar uma estimativa de quantos anos seriam necessários para obter o retorno do sistema fotovoltaico, retorno que possui uma diferença quando o pagamento é feito a vista ou a prazo.

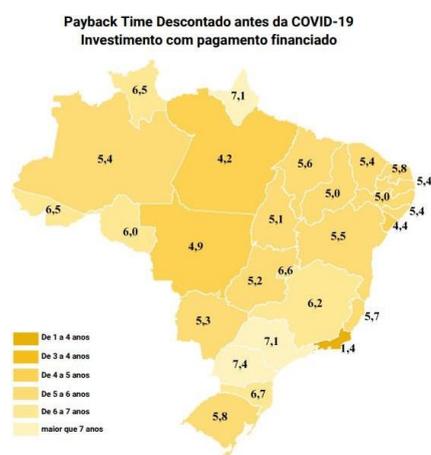
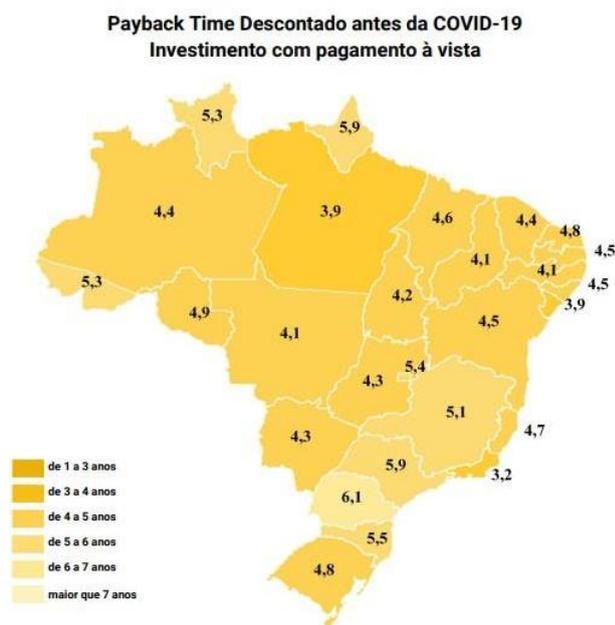


Figura 38 - PD Financiado  
Fonte: SolarMap, 2021

Na figura acima podemos visualizar a estimativa de tempo para ocorrer um Payback descontado no investimento do sistema fotovoltaico quando o pagamento do sistema é feito a prazo, ou seja, com pagamento financiado.



*Figura 39 - PD à vista*  
Fonte: SolarMap, 2021

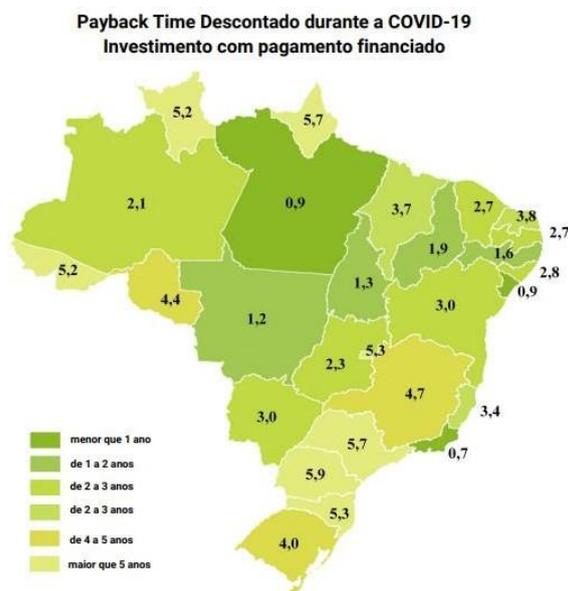
Na figura 39 visualiza-se a estimativa de tempo para realizar a concretização do Payback descontado no investimento quando o pagamento é realizado a vista. Apresentou uma ligeira rapidez no retorno econômico, porém é importante ressaltar que a decisão de financiar ou pagar à vista é uma consideração do investidor, levando em conta diversos fatores, tais como a momento financeiro, valor em caixa no momento da aquisição, assim como o que aparenta ser mais atraente ao cliente no momento. Independente do modo de pagamento, o investimento apresenta-se favorável, apresentando um retorno financeiro positivo em poucos anos.

### 7.2.2 Período durante Covid

O período escolhido para analisar a viabilidade econômica foi através dos dados de abril de 2021, momento crítico na pandemia no Brasil, acometido por diversos impactos financeiros causados pelo Coronavírus, como alta taxa de inflação, tarifas de eletricidade, e aumento no consumo básico dos Brasileiros.



*Figura 40 - PD à vista durante covid*  
Fonte: SolarMap, 2021



*Figura 41 - PD financiado durante covid*  
Fonte: SolarMap, 2021

Apesar de ser um cenário de choque no Brasil, pode ser um momento de oportunidade para investimento em sistemas de geração fotovoltaica, sendo um dos períodos de maior viabilidade econômica. O aumento drástico dos impostos e das tarifas de eletricidade tornam o investimento mais atrativo, visto que as cooperativas de

instalação de sistemas fotovoltaicos diminuíram suas taxas, trazendo uma visão mais aprazível ao consumidor.

É previsto de que o setor elétrico continue sofrendo diversas alterações contratuais e aumento nos valores custeados até o ano de 2022, devido a condições climáticas, como a falta de chuva para abastecimento dos reservatórios das hidrelétricas

O PD para sistemas fotovoltaicos diminuiu drasticamente com o passar dos anos, contribuindo para o avanço acelerado no número de sistemas instalados no Brasil desde 2015. Quanto menor o tempo para recuperação do capital de investimento, menor é o risco do investidor e maior é o interesse do mesmo, gradualmente.

## 8. Power Purchase Agreement (PPA)

Como dito anteriormente, o investimento em tecnologias renováveis é comumente visado e realizado a longo prazo, uma forma de contrato para essas fontes de geração limpa é o PPA, contratos de compra e venda de energia limpa num longo período de tempo, entre um desenvolvedor de energia renovável e um aspirante a consumidor.

Esse tipo de contrato consiste na venda de um projeto e seus atributos ambientais, permitindo ao desenvolvedor tomar decisões de investimentos sob uma série de critérios, como por exemplo:

- Rentabilidade x risco
- Obtenção do financiamento para execução do projeto.

Os PPAs visam a viabilização dos investimentos para a construção de novas usinas e a entrega da energia nos anos posteriores, porém, apresenta uma certa complexidade por conta de demandar uma equipe de profissionais de diversos setores, tornando a decisão de prosseguir com o projeto.



Figura 42 - Purchase  
Fonte: Banco BC, 2019

A busca por esse método contratual vem crescendo cada vez mais por conta do interesse das empresas em formas de redução no impacto ambiental, além da redução do preço gasto com energia elétrica, propiciando a sustentabilidade de seus negócios. A importância desses contratos para as empresas acabou potencializando a criação de setores determinados a gestão dos mesmos, para visualizar e analisar as melhores opções contratuais deste novo mercado em ascensão, sua dinâmica de preços. No Brasil a importância e vontade em investir nesse método de compra e venda de energia se intensificou por conta da redução da capacidade de armazenamento das hidrelétricas e um aumento na volatilidade do mercado de renováveis.

O PPA traz uma situação em que o cliente consumidor não necessita mais ter uma dependência forte no valor flutuante da eletricidade ou dos preços de combustíveis quando existe uma alta demanda, isso se dá por conta do acordo fechado junto ao seu desenvolvedor onde não vai sofrer nenhuma alteração de preço pago para poder obter essa energia, direta ou indiretamente.

## **8.1 Definição de um PPA**

Um PPA é o contrato primário entre o setor público e o setor privado. Usualmente ocorre entre um consumidor privado de energia e um comprador de setor público (Normalmente uma estatal do setor de energia), denominado como off-taker. É um acordo financeiro onde o desenvolvedor irá realizar o projeto, permuta, financiamento e instalação do sistema fotovoltaico na propriedade do consumidor com um custo mínimo, ou até sem custo. O desenvolvedor venderá a energia gerada ao consumidor num custo de venda fixo, normalmente o valor é menor que o faturado pelas concessionárias locais, servindo de intuito ao investimento e potencialização do interesse das empresas na aquisição desse tipo de contrato.

### **8.1.1 PPA físico**

Nos termos de um PPA físico, o off-taker corporativo entrará num PPA de longo prazo com um gerador de energia renovável para obter toda ou uma parcela da energia gerada pela usina, com quantidades definidas e um preço de venda fixo por MWh. A energia é fornecida diretamente por meio da rede elétrica, de forma “física”



Figura 43 - PPA Físico  
Fonte: Pexapark, 2019

O PPA contém divisões para a compra e obtenção da eletricidade, e a alocação de qualquer aplicação de benefícios provenientes de energias renováveis, e provisões governando a venda e a obtenção. Em algumas nações essas provisões incluem obrigações de medição e regulação das atividades que só podem ser empreendidas por distribuidoras licenciadas de energia.

### 8.1.2 PPA Virtual

Um PPA Virtual (VPPA) é um instrumento puramente financeiro. Nenhuma energia flui do projeto de energia renovável para o comprador, seja esse projeto uma usina fotovoltaica ou uma usina de geração eólica. No entanto, a eletricidade produzida pelo projeto irá fluir diretamente a rede elétrica local.

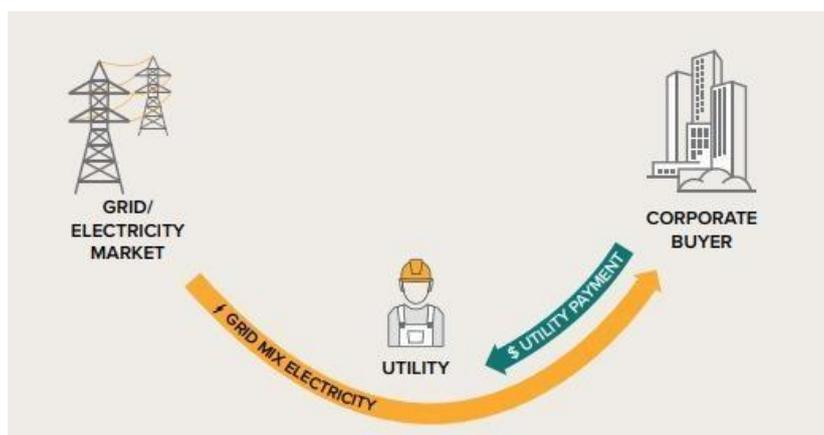


Figura 44 - Estrutura de um VPPA  
Fonte: RMI, 2019

Os VPPAs são facilmente escaláveis e proporcionam aos compradores a opção de satisfazer uma porção dos seus objetivos sustentáveis com um número menor de acordos.

Um exemplo disso é o Fifth Third Bank, um banco norte-americano, que atingiu 100% do seu objetivo de energias renováveis com apenas um VPPA

#### 8.1.2.1 VPPA Fifth Third Bank

Como mencionado anteriormente, o Fifth Third Bank foi capaz de atingir 100% de suas metas renováveis com apenas um contrato virtual de compra e venda de energia. A usina foi desenvolvida pela produtora de energia renovável SunEnergy1, com localização na Carolina do Norte. Essa usina é capaz de gerar energia limpa capaz de abastecer todo o uso do Banco norte-americano no ano, o suficiente para eliminar 143.000 toneladas métricas de gases causadores do efeito estufa, como também é capaz de alimentar aproximadamente 25.000 residências.



*Figura 45 - Fifth Third Bank VPPA*  
Fonte: Yale Climate connections, 2020

Esse contrato VPPA foi anunciado em março de 2018, trazendo a possibilidade de trazer 100% de abastecimento renovável num único projeto fotovoltaico. O PPA facilitou a construção da usina garantindo um preço fixo pela eletricidade gerada, e, ao mesmo tempo, garantindo que a SunEnergy1 fosse capaz de fundar e construí-la. Esse projeto trouxe diversos benefícios relacionados ao meio ambiente, como também, ao mercado, tendo uma quantidade aproximada de 1000 funcionários trabalhando em sua construção e manutenção.

A usina Aulander Holloman Solar Facility é um dos maiores projetos fotovoltaicos nos Estados Unidos, com um sistema com mais de 350.000 painéis solares com a tecnologia tracking, além de mais de 2000 inversores e subsistemas relativos. É

avaliado em 80 Megawatt (MW) em corrente alternada capaz de ser transferido a rede de energia elétrica a qualquer momento. A usina é capaz de gerar aproximadamente 202.000 MWh de eletricidade ao longo do ano. Os painéis serão instalados em um terreno de 1400 acres de terra, cerca de 5.665.800 m<sup>2</sup>.

#### **8.1.2.1.1 SunEnergy**

A empresa responsável pela projeção e instalação dessa usina foi a SunEnergy1, uma empresa Norte-Americana topo de linha no setor de tecnologia fotovoltaica, dona de projetos de usinas com mais de 1 Gigawatt instalado.

Pioneiros na energia solar de larga escala a SunEnergy1 é uma empresa de tecnologia fotovoltaica top 5 nos Estados Unidos. Por quase uma década vem desenvolvendo projetos quebradores de recordes. Essa empresa controla todos os estágios de um projeto solar, desde a aquisição do território destinado a instalação, até o projeto, instalação, e manutenção do mesmo. Esse modelo de trabalho faz com que o preço e os termos de acordo sejam flexíveis, assegurando sempre o melhor preço aos compradores e aqueles interessados em adquirir um PPA ou VPPA.

#### **8.1.3 PPA conectado diretamente**

Esse tipo de PPA é contratado quando a usina de geração de energia limpa é produzida já no terreno de destino da unidade consumidora, assim, recebendo a energia elétrica diretamente da usina geradora, sem necessitar de que essa eletricidade contratada seja distribuída pela rede da concessionária. Esse tipo de contrato é o menos requisitado entre os três mencionados, pois o consumidor investidor necessita obter um terreno com uma capacidade de espaço o suficiente para projetar e instalar uma usina de geração renovável.

As vantagens desse tipo de contrato são:

O desenvolvedor pode acordar num preço fixo maior pelo seu MWh do que os outros tipos de contrato, sendo um benefício aos produtores de energia. Além disso, ambos os membros desse contrato terão uma disponibilidade de mercado maior diante de si. Sua flexibilidade de preços e local de instalação, complementando o acordo realizado entre o desenvolvedor e o consumidor.

## 8.2 Características de um PPA/VPPA

Como mencionado, um Power Purchase Agreement tem como principal característica a possibilidade de realizar um contrato a longo termo com investimento em energias renováveis, propiciando uma geração de energia limpa sem risco de poluir ou danificar o meio ambiente. Com o avanço da tecnologia, essas fontes limpas baratearão seu custo de instalação, aumentando cada vez mais a busca e interesse de compradores para esse tipo de contrato.

### 8.2.1 Formação de preço

O quesito de precificação de um PPA é um dos principais pontos atrativos para os investidores, porém, para que a mesma aconteça e consolide um valor atrativo para os consumidores é necessário ter uma série de itens em consideração, tais como:

#### 8.2.1.1 O preço da certificação de energia renovável aplicável na área de concessão dos projetos

Uma Característica importante dos contratos de compra e venda de energia renovável é a certificação de energia renovável do projeto. Esse ponto é dependente do local em que o projeto será instalado, isso se dá por conta das diversas legislações e regulamentos impostos pelas diferentes nações ao longo do território mundial. Em mercados sazoados isso existem regimes regulatórios que permitem e apoiam tais reivindicações renováveis sob o Padrão RE100

##### 8.2.1.1.1 RE100

O padrão RE100 é uma iniciativa global que incentiva reunir as economias mais influentes ao longo do globo para realizarem a transição para 100% de energia renovável



Figura 46 - Locais aderentes ao RE100  
Fonte: There100, 2020

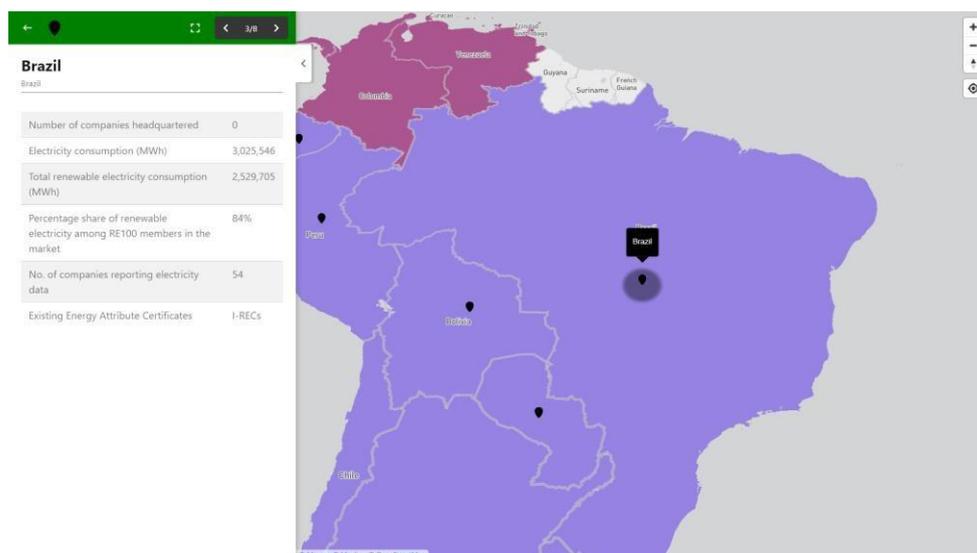


Figura 47 - RE100 no Brasil  
Fonte: There100, 2020

O RE100 tem como objetivo alcançar 100% do abastecimento da rede por fontes de energia renováveis até 2040, sem nenhuma fonte de eletricidade proveniente do carbono. Para isso os membros desse grupo tomam as seguintes medidas para suportar e incentivar a adequação para energias renováveis:

- - Criar um campo em que as fontes renováveis de energia tenham um preço de compra com capacidade de combater aos custos da eletricidade proveniente de combustível fóssil, refletindo na competitividade de custos da energia renovável.
- - Remover bandeiras regulatórias e implementar estruturas estáveis para facilitar aos desenvolvedores de energia de fonte renovável.
- - Criar uma estrutura de mercado de energia que permite a troca direta entre os compradores corporativos de todos os tamanhos e os desenvolvedores de energia renovável.
- - Trabalhar com Estatais ou fornecedores privados de energia para proverem opções corporativas de fontes renováveis.
- - Promover investimentos diretos em projetos de energia renovável on-site e off-site
- - Suportar um sistema transparente para rastreamento e certificação de preços competitivos de certificados de atributo ambiental (EAC)

Mesmo com o mundo vivendo momentos drásticos em tempos de pandemia, mais de 60 companhias ingressaram ao grupo RE100, interessados na busca para o crescimento na utilização e geração de fontes renováveis de energia.

Além da certificação o preço reflete no custo do financiamento do projeto, qualidade, custo para conversão da fonte renovável em energia elétrica etc. O preço é um dos maiores influentes no acordo de PPA.

### **8.2.2 Prazo**

O Prazo é um dos pontos considerados quando realizado o acordo entre as duas partes no PPA pois é o período acordado entre o consumidor e o desenvolvedor da fonte de energia renovável. É o termo especificado entre ambos para compromissar o pagamento e a distribuição da energia contratada. Esse período tende a ser fixo, porém pode ser variável dependendo de algumas condições contratuais acordadas entre as partes.

O período de negociação varia de acordo com as condições encontradas, porém, em média, para chegar num acordo leva-se entre 6 a 12 meses de análise e verificação entre as partes.

### **8.2.3 Mercado de energia**

Além do preço e do prazo, um ponto impactante no investimento é a consolidação do mercado de energia, gerando um aumento na demanda de energia renovável. O crescimento populacional é um dos principais causadores do aumento da demanda e consumo de energia, e, proporcional a isso, é um causador na procura por fontes de energias renováveis por conta do avanço em relação a preocupações ambientais, mudanças climáticas, esgotamento das fontes fósseis e a sustentabilidade dos recursos naturais.

Essa estruturação em torno de fontes renováveis trouxe um impacto positivo nos projetos e contratos de compra e venda de energia, o aumento gradativo de fontes renováveis e suas diversas aplicações possíveis fazem com que a possibilidade de instrumentos financeiros e o aperfeiçoamento das tecnologias atuais de geração,

viabilizando os negócios. A tratativa é dada com uma perspectiva regulatória e contábil, podendo influenciar o mercado.

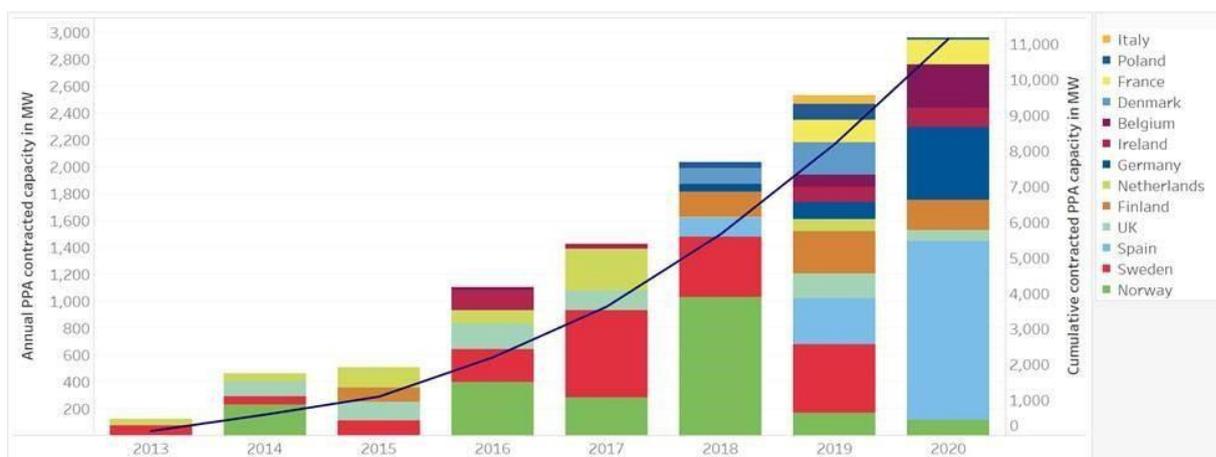


Figura 48 - Mercado europeu PPA  
Fonte: Renewable Market watch, 2020

A demanda por energias renováveis se estende por toda a Europa com PPAs assinados em até 13 países diferentes: Itália, Polônia, França, Dinamarca, Bélgica, Irlanda, Alemanha, Holanda, Finlândia, Reino Unido, Espanha, Suécia e Noruega. Em termos de volume de projeto, 73% dos PPAs renováveis assinados na Europa têm origem eólica, com uma projeção de crescimento voltada para a energia solar.

A estrutura do mercado na América do Sul é defasada pois existe uma série de diferenciações existentes nos países do continente, como por exemplo:

O potencial renovável dos países tem grande divergência. No Brasil podemos verificar uma grande variedade e capacidade de geração de energia renovável de diversas fontes, porém, esse potencial se encontra nas áreas menos populosas do país, longe dos grandes centros comerciais, empresariais e industriais. Pode-se encontrar esse problema, também, no Chile.

A principal fonte de geração de energia no continente é através de hidrelétricas. As precipitações que ocorrem anualmente, variando seu nível e capacidade do reservatório podem impactar diretamente no VPPA, causando uma grande volatilidade no seu preço em relação a outros mercados mais estruturados.

O mercado sul-americano, na prática, está limitado aos contratos PPA físicos, assim, tendo a energia distribuída através de redes para o seu consumidor final. Além disso, o continente sofre com uma alta taxa de inflação, em comparação aos mercados

mais estruturados como os dos EUA e da Europa, fazendo com que a estrutura do preço flutue de acordo com o mercado.

### 8.3 Benefícios de um PPA

O investimento em contratos de energia a longo termo podem ser atrativos pois trazem diversos pontos capazes de cativar futuros compradores/investidores. As vantagens mais importantes de um PPA para os compradores são:

- Fornecimento de energia limpa e rastreável
- Adicionalidade
- Energia a preço competitivo
- Eletricidade a preço fixo ao longo do termo acordado
- Possibilidade de receber certificados de energias renováveis

Além desses diversos pontos positivos que atraem o comprador a realizar o investimento em um contrato PPA, os benefícios existentes aos produtores de energia também fazem com que o acordo seja benéfico para todas as partes existentes, tais como:

- Investimento em novos ativos
- Financiamento para poder realizar a instalação desses projetos
- Relações a longo prazo com os clientes
- Receita fixa durante o período de acordo entre as partes

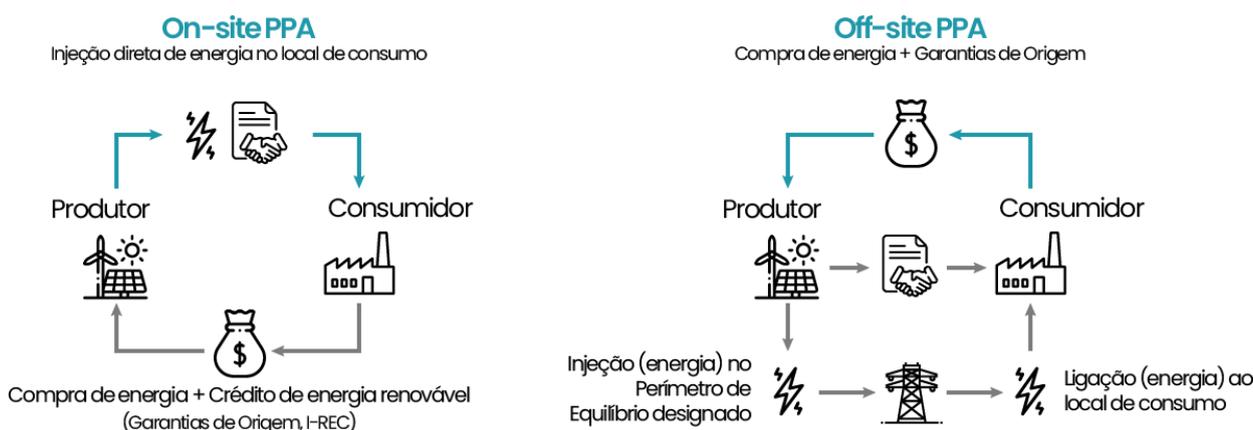


Figura 49 - PPA Corporativo  
Fonte: Voltalia. 2020

Além desses benefícios, é importante ressaltar que o consumidor estará investindo no livre mercado de energia, portanto, existirá uma variedade de opções de desenvolvedores onde pode ser realizado esse acordo, proporcionando a escolha entre o

que o melhor convém. O PPA também oferece uma das maneiras mais simples de ganhar acesso ao mercado de energia solar na atualidade, e, também, permite com que o investidor atinja seus objetivos relacionados a geração renovável sem se preocupar com todo o processo de geração de energia solar e sua distribuição, visto que o desenvolvedor proverá de todos esses pontos.

O Investidor não terá posse do sistema de geração, portanto, não será atarefado de realizar as manutenções regulares obrigatórias ou de monitorar a performance do sistema a empresa desenvolvedora que realizou o acordo se responsabilizará de todos esses encargos.

#### **8.4. Riscos de um PPA**

Apesar de apresentar diversos pontos positivos e que atraem seus clientes consumidores, o PPA apresenta alguns desafios para os produtores e consumidores durante todo o processo do contrato, desde o início do período do acordo entre as duas partes como durante todo o tempo de produção e entrega da energia, tais como:

##### **8.4.1 Risco de precificação**

Um dos benefícios cotados para o PPA é a sua viabilidade e relação ao preço fixo, assim, não sofrendo o risco de ter alterações por conta da inflação e preço da eletricidade. Porém, esse benefício tem uma pequena margem de se tornar um risco. Caso o preço da eletricidade atinja níveis baixíssimos no mercado, menor que o valor considerado no acordo do PPA, porém essa possibilidade é considerada durante toda a precificação do projeto o que causa essa vertente praticamente dispensável.

Alguns contratos PPA possuem um preço mínimo e máximo acordado, para controlar e diminuir a chance de o consumidor sofrer com alterações no valor da eletricidade a um ponto em que, de certa forma, saia perdendo com o contrato. Porém, esse uso de preço mínimo acaba apresenta um risco aos desenvolvedores dos projetos.

##### **8.4.2 Risco de Liquidez**

A facilidade de obtenção do contrato e de atingir os objetivos renováveis é unanime com o PPA. Porém, o risco da liquidez é existente nesse meio. Esse tipo é caracterizado como quando a eletricidade não pode ser transferida de maneira rápida e direta, a fim de evitar uma mudança no valor, determinado no item acima.

### **8.4.3 Risco de Volume**

Em contrato existe uma quantidade pré-acordada referente a quantidade de energia que a usina terá instalada, além do valor definido que o consumidor irá receber dessa geração. Porém, por ser uma fonte renovável totalmente dependente de condições climáticas, caso tenha alguma alteração que não proporcione a geração ideal considerada no início do projeto, existe a possibilidade de a usina não gerar o máximo que foi projetada no seu design, por conta dessas perdas. Esse valor perdido nessas variações pode causar uma divergência na quantidade distribuída pela usina aos distribuidores.

### **8.4.4 Risco de crédito**

O contrato de PPA tem como principal benefício o preço fixo pago pelo consumidor durante todo o termo do contrato. Mesmo com a precificação fixa existe a probabilidade de o investidor não se encontrar em condições financeiras estáveis em um determinado ponto do acordo, assim, podendo atrasar ou deixar de realizar um pagamento. Um outro risco crediário seria da parte do desenvolvedor, quando o projeto chega a falência antes de entregar toda a quantidade energética acordada.

### **8.4.5 Risco de mal funcionamento**

Além das diversidades citadas acima que podem acometer uma parte mais administrativa e empresarial do projeto, é importante lembrar que um dos principais riscos que os consumidores e desenvolvedores correm é o mal funcionamento. A parte técnica do projeto tem total dependência da operação ideal dos equipamentos que constituem a sina geradora de fonte renovável. Um pequeno problema é capaz de acometer parcialmente a instalação. Módulos fotovoltaicos, quando conectados em série, podem prejudicar toda a geração dos equipamentos conectados em seu array.

Apesar de pequena, existe a possibilidade de uma variação climática no local causar um problema geral instalação, como uma tempestade com ventos consideravelmente fortes causarem danos as estruturas e módulos. Recentemente, no Brasil, foram testemunhadas tempestades de areia em algumas regiões, essa quantidade exacerbada de terra irá causar o acúmulo de sujeira nos painéis, fazendo com que a eficiência seja prejudicada e a geração seja menor do que a capacidade instalada e média estipulada mensal.

## **8.5 Como escolher um PPA**

O processo de escolher o tipo de PPA viável para a produção de energia limpa e atingir os objetivos relacionados ao desenvolvimento sustentável para as empresas é demanda de uma certa dificuldade, visando as demais características e vertentes variantes desse contrato.

Os investidores devem analisar uma série de pontos que são ponderados durante todo o processo de análise e acordo de um contrato de compra e venda de energia limpa, tais como:

### **8.5.1 Volume Contratado**

O volume contratado no PPA é um dos principais pontos que o consumidor deve considerar, uma maior quantidade de MWh contratado trará maior visibilidade ao seu projeto, impulsionando seu nome no meio de energias renováveis, atingindo seus objetivos de abastecimento através de energias renováveis. Porém, quanto maior a fração de energia gerada contratada pelo investidor, o valor pago será proporcionalmente maior.

### **8.5.2 Estrutura da Indústria**

As indústrias tendem a ter um custo de eletricidade elevado, por conta da quantidade de equipamentos instalados em seu espaço. O investimento em um PPA pode trazer uma nova fonte energética renovável para integrar sua matriz de energia, além de incentivar o pagamento com um preço fixo pré-determinado em contrato, com a possibilidade de sofrer pequenas variações já acordadas com o desenvolvedor.

### **8.5.3 Objetivos renováveis da empresa**

Os contratos trazem uma facilidade maior em inserir uma nova fonte de energia renovável à matriz energética da empresa, visto que após de ser feito o investimento, uma outra empresa provedora dessas fontes de energia se responsabilizará por todo o processo burocrático, de design da planta, de projeção e instalação da usina. É uma opção simples e fácil para as empresas que desejam atingir seus objetivos a nível energeticamente renovável. Pode-se verificar tal ato realizado pela Fifth Third bank, como mencionado anteriormente nesse documento, que realizaram um acordo VPPA para atingir sua meta de 100% de abastecimento proveniente de fontes renováveis.

DATE	COMPANY	CAPACITY (MW)	RESOURCE	LOCATION	PARTNER / DEVELOPER	DEAL TYPE*	TERM/YEARS
February 8	amazon	380	Offshore wind	Netherlands	Crosswind Consortium	PPA	
March 29	f	203	Solar + Battery	Kentucky	Tennessee Valley Authority & Silicon Ranch	Utility Program	
March 5	Home Depot	220	Wind	Nebraska	Orsted	PPA	
March 4	f	200	Solar + Battery	Mississippi	Tennessee Valley Authority & Oris	Utility Program	
March 17	AT&T	160	Wind	Oklahoma	Duke Energy Renewables	VPPA	15 years
March 5	Target	160	Solar	Texas	Savion LLC	VPPA	
February 11	intel	138	Solar	Oregon	Portland General Electric & Avangrid	Utility Program	
March 16	Akamai, Synopsys	111	Wind	Texas	Enel Green Power	PPA	
January 15	pepsi	108	Wind	Texas and Nebraska	Orsted	VPPA	10 years
March 3	Kellogg's	100	Wind + Battery	Texas	Enel Green Power	VPPA	
February 10	Home Depot	100	Wind	Oklahoma	ALLETA Clean Energy		
March 24	NUCOR	100	Wind	Texas	Orsted	PPA	10 years
March 15	amazon	62	Solar	Singapore	Sunseap Group		
January 27	Celanese	45	Solar	Texas	Calpine Energy Solutions		15 years
	<b>TOTAL**</b>	<b>2087</b>					

Figura 50 - Empresas e suas fontes renováveis  
Fonte: GreenBiz, 2020

## 9. Conclusão

É indispensável o conhecimento de que fontes renováveis se tornarão os principais combustíveis abastecedores das usinas de geração de energia elétrica. Visando esse objetivo da sociedade em proliferar novas maneiras mais sustentáveis às atividades humanas, é imprescindível a necessidade de investimento em novas formas de geração solar provinda de passíveis investidores com grande capacidade de capital. Projetos de PPA fazem parte das principais formas de adesão a esse propósito de uma implementação energeticamente renovável as matrizes mundiais, trazem diversos benefícios para ambas as partes do projeto.

Dado o exposto foi possível verificar a necessidade mundial em novas fontes de energias renováveis, e, além disso, o quão importante é difundir a importância de assumir visões positivas acerca dos projetos de fonte limpa. Além dos benefícios econômicos a longo termo que trazem ao investidor, sua baixíssima emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa, prezando a questão socioambiental vivenciada no momento, com alterações climáticas causando diversas mudanças radicais a fauna e a flora ao redor do globo.

O investimento na fonte renovável é imprescindível e deve permanecer em constante aumento ao decorrer do tempo. Esses contratos e suas derivações facilitam ao investidor de atingir objetivos renováveis de maneira imparcial. Visto a importância do

tema, é conclusivo a relevância dos contratos de compra e venda de energia no setor energético renovável, trazendo uma facilidade de aderência ao setor renovável, além do incentivo.

## 10. Referências Bibliográficas.

ABRAVA. Apresentação: O Sistema de Aquecimento Solar e a Realidade Energética (Fatos e Oportunidade). Marcelo Mesquita, 2010.

ARCHIEXPO. Inversor Solar AE 500TX. Disponível em: <https://www.archiexpo.com/pt/prod/advanced-energy/product-125695-1277475.html>. Acesso em: 28 de maio de 2021.

BLOOMBERGNEF. Solar Power to Retain Lead in South Korea's Green plans. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/solar-power-to-retain-lead-in-south-koreas-green-plans/>. Acesso em: 17 de agosto de 2021.

CANAL SOLAR. Silício Mono ou policristalino: Quem vence o duelo? Disponível em: <https://canalsolar.com.br/silicio-mono-ou-policristalino-quem-vence-o-duelo/> Acesso em: 23 de agosto de 2021

CEBDS. Guia para Power Purchase Agreements (PPA) corporativos de energia renovável. Disponível em: <https://cebds.org/publicacoes/guia-para-power-purchase-agreements-ppa-corporativos-de-energia-renovavel/#.YYMP3G3MJPZ>. Acesso em: 23 de julho de 2021

COTANET. Empresa de coletor solar. Disponível em: <http://energia.cotanet.com.br/coletores-de-energia-solar/empresa-de-coletor-solar> Acesso em: 17 de julho de 2021

CRESESB. Radiação Solar. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301). Acesso em: 14 de abril de 2021.

ELYSIA. Tipos de inversor solar. Disponível em: <https://elysia.com.br/tipos-de-inversor-solar/>. Acesso em: 10 de julho de 2021.

ENERGY BRAINPOOL. Power Purchase Agreements: Financial model for renewable energies. Disponível em: PPA (energybrainpool.com). Acesso em: 15 de agosto de 2021.

EUROPEAN COMMISSION. In Focus: Renewable Energy in Europe. Disponível em: [https://ec.europa.eu/info/news/focus-renewable-energy-europe-2020-mar-18\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/focus-renewable-energy-europe-2020-mar-18_en). Acesso em: 24 de julho de 2021.

GEODESIGN. Conhecimento Básico sobre o recurso solar. Disponível em: [http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol\\_Rad\\_Basic\\_RS.html](http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html). Acesso em: 18 de abril de 2021.

GREEN QUEEN. Seoul: 1 Million Homes & Public Buildings To Be Solar Powered By 2022. Disponível em: <https://www.greenqueen.com.hk/seoul-1-million-homes-public-buildings-to-be-solar-powered-by-2022/>. Acesso em: 19 de agosto de 2021

HYPESCIENCE. Aquecimento global é real e perigoso, mas sua origem não é só o CO2. Disponível em: <https://hypescience.com/aquecimento-global-e-real-e-perigoso-mas-sua-origem-nao-e-so-o-co2/>. Acesso em 12 de abril de 2021.

IBERDROLA. Você sabe o que é um PPA e quais são as suas principais vantagens? Disponível em: <https://www.iberdrola.com/quem-somos/acordos-ppa-energia> Acesso em: 17 de maio de 2021

INDIAMART. Amorphous silicon Solar Panel. Disponível em: <https://www.indiamart.com/proddetail/amorphous-silicon-solar-panel-15367487930.html>. Acesso em: 19 de julho de 2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Global Energy Review. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>. Acesso em: 29 de maio de 2021

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Covid-19 Impact on electricity. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/covid-19-impact-on-electricity>. Acesso em: 17 de setembro de 2021.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION. Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants. Disponível em: [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report\\_Web+\\_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kZePD](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVID=kZePD) PG. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

IOP SCIENCE. Exploring the market for third-party-owned residential photovoltaic systems: insights from lease and power-purchase agreement contract structures and costs in California. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2015ERL....10b4006D/abstract> Acesso em: 09 de agosto de 2021.

MEGAWHAT. EDP inaugura complexo solar Pereira Barreto; UFVs devem iniciar a geração neste mês. Disponível em: <https://megawhat.energy/news/144294/edp-inaugura-complexo-solar-pereira-barreto-usinas-devem-iniciar-geracao-ainda-neste-mes>. Acesso em: 09 de outubro de 2021.

Naum Fraidenraich, Francisco Lyra - “Energia Solar - Fundamentos e Tecnologias de Conversão Heliotérmoeleétrica e Fotovoltaica”. MONTEZAANO 2014.CRESESB. Disponível em: [http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&lang=pt&cid=301](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&lang=pt&cid=301)> Acesso em: 24 abr. 2021

NEW ATLAS. New Zealand’s wireless power transmission: your questions answered. Disponível em: <https://newatlas.com/energy/wireless-power-transmission-emrod-interview/> Acesso em: 27 de abr. 2021

NEXT. What is a PPA (Power Purchase Agreement). Disponível em: <https://www.nextkraftwerke.com/knowledge/ppa-power-purchase-agreement>. Acesso em 16 de agosto de 2021.

PEREIRA, E. M. D; SOUZA. Aquecimento solar como medida de eficiência energética. In: VASCONCELLOS, Luiz Eduardo Menandro de; LIMBERGER, Marcos Alexandre Couto (Org.). Energia Solar para aquecimento de água no Brasil: Contribuições da Eletrobrás, Procel e Parceiros. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2012. p 71-76.

PORTAL SOLAR. O que é Energia Solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar-.html>. Acesso em: 06 abr 2021.

SAMPAIO

PORTAL SOLAR. Inversor Grid Tie. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/inversor-grid-tie.html>. Acesso em: 18 de julho de 2021.

PROCEL - CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. Aquecimento solar de água. Disponível em: <http://www.procel.gov.br/main.asp?view={ec4300f8-43fe-4406-8281-08ddf478f35b}>>. Acesso em: 09 abr. 2021.

RENEWABLE WATCH MARKET – Re – Source 2020 – The European PPA Market – An overview. Disponível em: <https://renewablemarketwatch.com/news-analysis/345-re-source-2020-the-european-ppa-market-an-overview#:~:text=The%20demand%20for%20renewable%20energies,%2C%20Spain%2C%20Sweden%20and%20Norway>. Acesso em: 22 de junho de 2021

SUSTAINABLE ELECTROTECH. Your investment in sustainable Technologies. Disponível em: <https://www.sustainableelectrotech.com/>. Acesso em: 18 de julho de 2021.

STATISTA. Global Oil Demand change following covid. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1103851/global-oil-demand-change-following-covid-19/>. Acesso em: 15 de Setembro de 2021

THE WORLD BANK. Power Purchase Agreements (PPAs) and Energy Purchase Agreements (EPAs). Disponível em: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/sector/energy/energy-power-agreements/power-purchase-agreements>. Acesso em 07 de agosto de 2021.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente de Contratação Livre: Uma análise regulatório-institucional a partir dos contratos de compra e venda de energia elétrica. Gerusa de Souza Côrtes Magalhaes. Disponível em: Microsoft Word - Gerusa\_Magalhaes\_-\_Dissertacao\_2009.doc (usp.br). Acesso em: 21 de agosto de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado a rede elétrica no município de Curitiba-PR. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/56444/R%20-%20E%20-%20BRUNA%20MAYUMI%20TOMITA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 de agosto de 2021