



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E DE PRODUÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

ANDREIA VERAS CORTEZ

**ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN
2020) E BALANÇO COVID-19, COM FOCO NO DESENVOLVIMENTO DA
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

FORTALEZA

2021

ANDREIA VERDAS CORTEZ

ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN 2020) E
BALANÇO COVID-19, COM FOCO NO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Energias Renováveis do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheira de Energias
Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. Francisco
Nivaldo Aguiar Freire.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C858a Cortez, Andreia Veras.

Análise dos relatórios do balanço energético nacional (BEN 2020) e balanço COVID-19, com foco no desenvolvimento da energias solar fotovoltaica / Andreia Veras Cortez. – 2021.
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2021.
Orientação: Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire.

1. Setor energético brasileiro. 2. Balanço Covid-19. 3. Energia solar fotovoltaica. I. Título.

CDD 621.042

ANDREIA VERAS CORTEZ

ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN 2020) E
BALANÇO COVID-19, COM FOCO NO DESENVOLVIMENTO DA ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICA.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Energias Renováveis do Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheira de Energias
Renováveis.

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Nivaldo Aguiar Freire (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Maria Alexandra de Sousa Rios
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Fabiola Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, aos meus pais, Natanael e
Ana Cristina.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus pela força e direcionamento durante todo esse tempo de graduação, apesar de todos os desafios no percurso, ele sempre me mostrou que o caminho certo nem sempre é o caminho mais fácil.

A minha família, meus pais e irmãos, por não deixarem de acreditar no meu potencial e na minha capacidade de finalizar um ciclo tão importante da minha vida. Por me incentivarem a não desistir. Por me ensinarem o valor da educação e por me proporcionarem o suporte necessário para alcançar meus objetivos em meio a tantas mudanças no caminho.

Aos meus amigos de curso e de vida por vivenciarem tantos momentos importantes dentro e fora da universidade. Muitos serviram de exemplo para mim como profissionais e como pessoas, mostrando-me uma melhor versão de mim com o passar do tempo.

A todos os professores e mentores que eu tive o prazer de conhecer e de aprender com seus ensinamentos ao longo desses anos dentro da Universidade.

Aos professores participantes da banca examinadora Prof.^a Fabiola e Prof.^a Maria Alexandra e ao meu orientador Prof. Francisco Nivaldo Aguiar Freire pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade analisar o relatório do Balanço Energético Nacional (BEN) 2020 de ano base 2019, contextualizando com o relatório do Balanço Covid-19 com base no primeiro semestre de 2020. Serão analisados dados da matriz energética nacional, que por sua vez, é composta por fontes renováveis e não renováveis. A análise será feita através de dados coletados de gráficos e tabelas, que são base para o planejamento estratégico energético nacional, desenvolvidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Esses relatórios mostram as alterações de percentuais na composição da matriz energética brasileira. São notórios as mudanças na matriz nesse período e o avanço da energia renovável nos últimos anos, onde surge a participação da energia solar fotovoltaica na matriz energética, que nos anos seguintes a 2018 teve sua participação ampliada de forma significativa, chegando a dobrar a cada ano posterior. O ano de 2020 foi diferenciado, pois sofreu com o avanço da pandemia do Coronavírus para relatar esse novo cenário, foi desenvolvido pela EPE o relatório Balanço Covid-19, que de forma emergencial mostra dados da matriz energética do primeiro semestre de 2020. Esse relatório apresenta as variações dos percentuais da composição energética no cenário pandêmico vivido pelo Brasil no primeiro semestre, devido às adoções de medidas restritivas. Assim conclui-se que apesar do grande destaque analisado nesse trabalho, o surgimento da Energia Solar fotovoltaica se deu, timidamente, apenas a partir dos últimos 10 anos nos balanços. Foi a partir do BEN 2020 que a energia solar fotovoltaica teve destaque com + 1% dentro da matriz energética nacional.

Palavras-chave: Setor energético brasileiro. Balanço Covid-19. Energia solar fotovoltaica.

ABSTRACT

This study aims to analyze the report of the National Energy Balance (BEN) 2020 of base year 2019, contextualizing it with the report of the Covid Balance-19 based on the first semester of 2020. Data from the national energy matrix will be analyzed, which in turn, is made up of renewable and non-renewable sources. The analysis will be done through data collected from graphs and tables, which are the basis for the national strategic energy planning, developed by the Energy Research Company (EPE). These reports show the percentage changes in the composition of the Brazilian energy matrix. There are notorious changes in the matrix in this period and the advancement of renewable energy in recent years, where the participation of photovoltaic solar energy in the energy matrix emerges, which in the years after 2018 had its participation significantly expanded, reaching double each year later. The year 2020 was different, as it suffered from the advancement of the Coronavirus pandemic to report this new scenario, the report was developed by EPE the Covid-19 Balance report, which in an emergency way shows data on the energy matrix of the first half of 2020. This report reports the variations in the percentages of energy composition in the pandemic scenario experienced by Brazil in the first half, due to the adoption of restrictive measures. Thus it is concluded that despite the great prominence analyzed in this work, the emergence of photovoltaic Solar Energy occurred, timidly, only from the last 10 years on the balance sheets. It was after BEN 2020 that photovoltaic solar energy stood out with + 1% within the national energy matrix.

Keywords: Brazilian Energy Sector. Balance report Covid-19. Photovoltaic Solar Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz Energética Mundial (2018).....	17
Figura 2 – Matriz Energética Brasileira (2019).....	17
Figura 3 - Matriz Elétrica Mundial (2018).....	18
Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira (2019).....	18
Figura 5 - Radiação solar no Brasil global diária, média anual.....	21
Figura 6 - Tipos de energia solar direta.....	22
Figura 8 – Ilustração de uma composição convencional de um painel fotovoltaico.....	23
Figura 9 - Sistema fotovoltaico ligado à rede.....	23
Figura 11 – Sistema solar fotovoltaico residencial ligado à rede.....	25
Figura 12 – Esquema da cadeia de produção, transmissão e distribuição da energia solar fotovoltaica.....	26
Figura 13 - Diagrama de uma configuração básica de Sistema Fotovoltaico Isolado – <i>Off-grid</i>	28
Figura 14 – Ilustração do fluxo da energia em um Sistema Fotovoltaico On-Grid em uma unidade consumidora convencional.....	29
Figura 15 - Diagrama que exemplifica um Sistema Híbrido.....	30
Figura 16 - Ilustração de um Sistema Híbrido que combina os dois sistemas: <i>on-grid</i> e <i>off-grid</i>	31
Figura 17 – Etapas do processo energético da Matriz Balanço Energético.....	35
Figura 18 – Matriz Elétrica Brasileira anos 2018 e 2019.....	36
Figura 19 – Participação das fontes de energias na Matriz Energética.....	37
Figura 20 – Participação de energias renováveis na matriz elétrica ¹	38
Figura 21 – Oferta interna de energia elétrica em 2019.....	38
Figura 22 – Repartição da oferta de energia no Brasil em 2019.....	39
Figura 23 – Repartição de outras renováveis.....	39
Figura 24 – Variação da oferta de energia 2019/2018.....	41
Figura 25 – Capacidade instalada ¹ das energias não emissoras de gases do efeito estufa no Brasil.....	42
Figura 26 - Produção de Energia Primária.....	43
Figura 27 – Geração de eletricidade por fonte.....	43
Figura 28 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica no Brasil.....	44
Figura 29 – Micro e Minigeração Distribuídas ¹	45

Figura 30 – Micro e Minigeração Distribuídas ¹ relacionando a energia solar e outras fontes renováveis.....	45
Figura 31 – Expansão da capacidade instalada ¹ 19/18 (MW).....	46
Figura 32 – Capacidade instalada – Micro e Minigeração Distribuídas ¹ Solar por UF (MW)	46
Figura 33 – Consumo na rede mensal (TWh e %) do Brasil do ano de 2020 em relação a 2019	47
Figura 34 – Consumo na rede no 1º semestre (TWh) do Brasil do ano de 2020 em relação a 2019	48
Figura 35 – Geração nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MWmed).....	49
Figura 36 – Geração térmica nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MWmed).....	50
Figura 37 – Variação na geração nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (%).....	51
Figura 38 – Comparação da geração em Março, Abril e Maio de 2019 e 2020 (%).....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
MME	Ministério de Minas e Energia
SIN	Sistema Interligado Nacional

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo Geral	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Matriz Energética e Matriz Elétrica	16
3.2 Energia Solar – Conceitos e definições	19
3.2.1 Radiação Solar	19
3.2.2 Tipos de Energia Solar	21
3.2.3 Energia Solar Fotovoltaica	23
3.2.4 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	27
4 RELATÓRIO DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL	32
4.1 A Empresa de Pesquisa Energética.....	32
4.2 O BEN 2020	33
4.2.1 Divisão do Relatório Final BEN 2020	33
4.3 Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional.....	34
4.4 Oferta Interna de Energia	35
4.4.1 Oferta Interna de Energia Elétrica.....	35
4.5 Participação das Fontes Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira	37
4.6 Avanço da Energia Solar na Matriz Energética e Elétrica Nacional	42
5 Relatório Balanço Covid-19: Contextualizando os impactos da pandemia na matriz energética Nacional	46
5.1 Impactos da COVID-19 em 2020 na geração elétrica FV no Brasil	48
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

O cenário energético mundial e brasileiro está fornecendo indícios a algum tempo de esgotamento de recursos, levando a procura por fontes alternativas para geração de energia.

Essa energia tem como origem um conjunto de fontes que fazem parte da matriz energética, que corresponde ao agrupamento das fontes à disposição de um país, estado ou mundo, que supri as demandas de energia. O conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica compõe a matriz elétrica, que também faz parte da matriz energética. A matriz energética brasileira é composta por fontes não renováveis, como o carvão, petróleo e gás natural e por algumas fontes renováveis como água (hidroelétricas), solar, eólica e geotérmica.

A diversificação das matrizes energéticas é algo cada vez mais abordado nas discussões sobre planejamentos energéticos e desenvolvimentos socioambientais. Nesse contexto, destaca-se o investimento e aproveitamento cada vez maior de fontes renováveis, trazendo destaque para o aproveitamento do sol com grande potencial energético, fonte direta de calor e luz, como opção promissora para geração de energia, juntamente ao desenvolvimento social sustentável, causando menos danos ao meio ambiente e com maior viabilidade socioeconômica.

Segundo Novais (2015), a radiação solar pode ser aproveitada de diversas formas, tais como: (i) Fonte de energia térmica para aquecimento de ambientes e de fluidos, (ii) Fonte de energia térmica para geração de potência mecânica ou elétrica, (iii) Fonte de energia elétrica, convertida diretamente por meio de materiais termoelétricos e fotovoltaicos

O Brasil vem desenvolvendo estratégias para a utilização das energias renováveis, buscando uma renovação em sua matriz energética. Apesar de nossa matriz energética ter percentual maior de participação das fontes não renováveis, a matriz elétrica nacional tem destaque por ter em sua maioria a participação de fontes renováveis provinda em sua maior parte da produção de energia em hidroelétricas.

Porém, o crescimento da Energia Solar Fotovoltaica é notado, atualmente, pela consolidação do desenvolvimento de pesquisas e tecnologias da área. Assim permitindo a abertura de portas para novos negócios, o que vem proporcionando a aproximação do cliente à tecnologia de geração e a redução, considerável, dos custos dos equipamentos e instalação nos últimos anos.

Segundo o Balanço Nacional de Energia (BEN, 2019), elaborado e apresentado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e

Energia (MME) do Brasil, o aumento entre os anos de 2017 e 2018 foi destaque para a fonte solar dentre as fontes de geração de energia renovável. A geração fotovoltaica terminou o ano de 2018 somando 3.461 GWh, o que resultou em um aumento significativo de 316%. Essa ampla ascensão continuou nos anos seguintes, segundo o Balanço Covid-19, relatório do balanço energético do primeiro semestre de 2020, a fonte solar teve, também, um aumento, significativo, de geração no comparativo do primeiro trimestre dos anos 2019 e 2020.

A escolha desse tema tem como justificativa a importância que a diversificação da matriz energética tem para o crescimento de uma sociedade, destacando o desenvolvimento e aproveitamento de fontes alternativas. Além disso, é destacado o quanto a energia solar fotovoltaica tem contribuído, de maneira significativa, nessa diversificação da matriz brasileira e a importância de serem analisados os dados dessa fonte alternativa e renovável. Sua ascensão é destaque de forma positiva seja pela preservação das fontes tradicionais de energia ou pela economia de combustíveis fósseis. Sabe-se, porém, que esse desenvolvimento é, ainda, lento, mas que a geração fotovoltaica já ganhou muito espaço e obteve conquistas sociais, financeiras e legislativas dentro do Brasil.

O presente trabalho realizou uma análise qualitativa e descritiva do Balanço Energético do Brasil de 2019 e contextualizou os impactos da Covid-19 na matriz energética em 2020, com foco na energia solar fotovoltaica, através de dados extraídos dos seguintes documentos: BEN 2020 e o Balanço Covid-19.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar e contextualizar o relatório do Balanço Energético Nacional (BEN) 2020 e o relatório Balanço Covid-19 com ênfase no desenvolvimento da energia solar fotovoltaica.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Descrever um breve estudo teórico sobre matriz energética, energia solar e suas particularidades de geração;
- b) Contextualizar a matriz energética brasileira de 2019 com base no relatório final do BEN 2020;
- c) Apresentar a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira em 2019 de acordo com o BEN 2020;
- d) Destacar a participação e desenvolvimento da energia solar fotovoltaica em relação às outras fontes de energias em 2019 com base no BEN 2020;
- e) Contextualizar os impactos relevantes da pandemia no primeiro semestre de 2020 sobre o mercado de energias renováveis com foco em energia solar fotovoltaica no Brasil com base no relatório do Balanço covid-19.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), toda a energia disponível a atender a demanda de energia de um determinado país, estado ou até mesmo o mundo é chamada de matriz energética. Essa energia tem como origem um conjunto de fontes que fazem parte da matriz energética, que corresponde ao agrupamento das fontes à disposição de um país, estado ou mundo, que supri suas demandas de energia.

O conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica compõe a matriz elétrica, que também compõem a matriz energética.

Em 2002 o Brasil conseguiu destaque no desenvolvimento sustentável com a aprovação da Lei n. 10.438/2002, que criou um programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica, conhecido nacionalmente como PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica). Esse programa é de extrema importância para todo o desenvolvimento das fontes renováveis até então. Inicialmente tinha como objetivo principal promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica nacional. (MME, 2014; ELETROBRAS, 2014).”

3.1 Matriz Energética e Matriz Elétrica

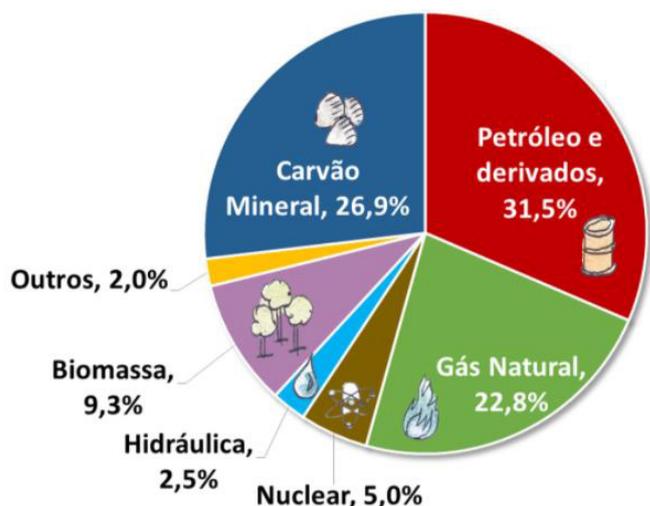
A Matriz Energética representa todas as fontes energéticas disponíveis, distribuídas e comercializadas com o intuito de atender as necessidades dos setores econômicos de um país. Essa matriz energética é composta por energias não renováveis, como os combustíveis fósseis: petróleo, carvão mineral e vegetal, o gás natural, e renováveis, como a hidráulica, eólica, solar e geotérmica. Dentro de uma matriz energética encontra-se, também, a matriz elétrica, composta por fontes energéticas prioritariamente para a produção de eletricidade (NASCIMENTO, 2019)

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, a Matriz Energética Brasileira, apesar de diversificada, ainda apresenta uma maior participação no consumo de energia de fontes não renováveis, como os combustíveis fósseis. Mas no cenário mundial, o Brasil utiliza uma maior participação de fontes renováveis que o restante do mundo.

Como é possível visualizar na Figura 01, a Matriz Energética Mundial destaca maior participação das fontes não renováveis (carvão, petróleo e gás natural). As fontes renováveis somadas se dão em torno de 14% da matriz energética.

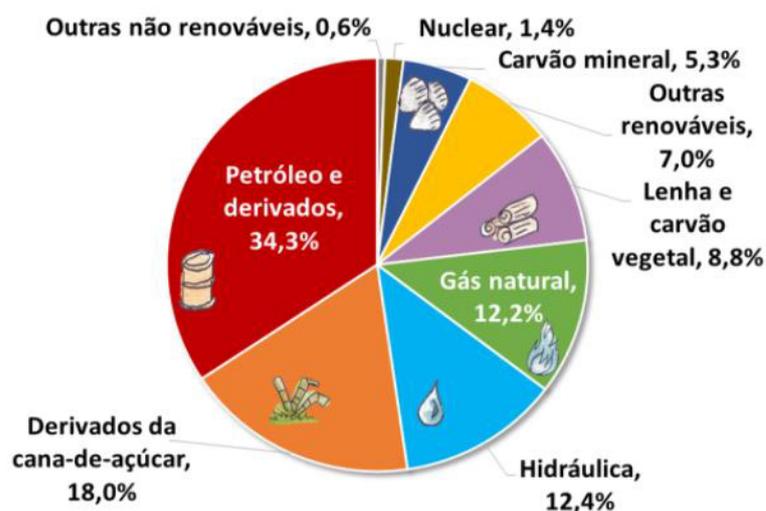
Na Matriz Energética Brasileira (Figura 02) existe um maior consumo energético por fontes não renováveis, porém é visível o destaque das fontes renováveis (derivados da cana-de-açúcar, hidráulica, lenha e carvão vegetal, outras renováveis), somando quase 50% da matriz.

Figura 1 – Matriz Energética Mundial (2018)



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2020).

Figura 2 – Matriz Energética Brasileira (2019)

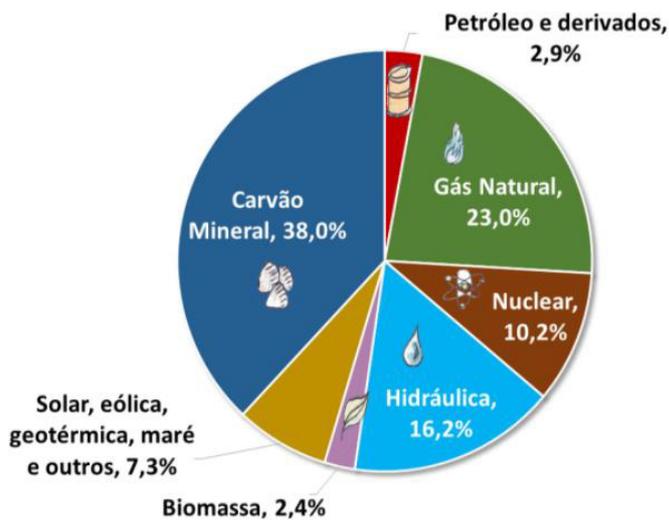


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2020).

Em paralelo, ao abordar a Matriz Elétrica, o Brasil se diferencia mais ainda em relação ao restante do mundo. É possível analisar que a Matriz Elétrica Mundial (Figura 03) destaca os combustíveis fósseis como principais representantes em sua composição (carvão, gás natural, termelétricas) para a geração de eletricidade, similar a composição geral da matriz energética.

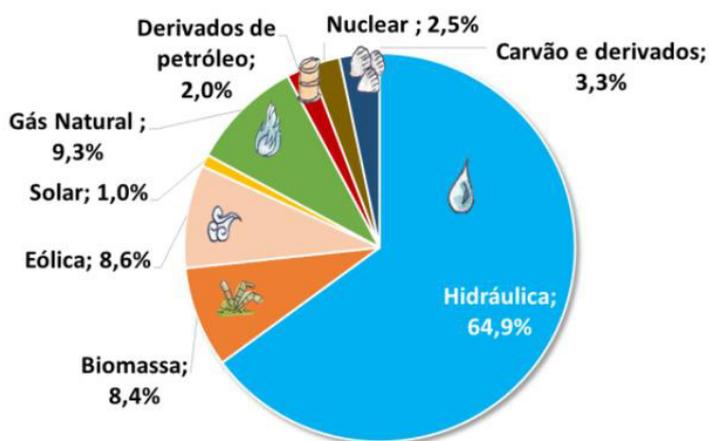
Porém, a Matriz Elétrica Brasileira (Figura 04) tem característica mais renovável que a Matriz Energética Brasileira, pois o Brasil possui grande dependência da produção de eletricidade por usinas hidrelétricas. A energia eólica, solar e biomassa estão em desenvolvimento e ajudam a matriz elétrica a ter maior percentual renovável, como observado na Figura 3.

Figura 3 - Matriz Elétrica Mundial (2018)



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2020).

Figura 4 - Matriz Elétrica Brasileira (2019)



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2020).

3.2 Energia Solar – Conceitos e definições

3.2.1 Radiação Solar

Segundo Carvalho (2014), o Sol pode oferecer cerca de 5×10^{20} J (joules) em apenas uma hora, o que corresponde a quantidade de energia necessária consumida pela humanidade durante um ano. Além disso, é possível que em 40 horas de emissão, essa estrela, possa liberar a energia equivalente às reservas estimadas de petróleo disponíveis no planeta Terra.

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol possui destaque por alguns motivos. Essa fonte energética é inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, não poluidora e acessível a quase toda a humanidade. Hoje, pode ser considerada, uma das alternativas energéticas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia na Terra. Em outras palavras, as fontes de energia têm, em última instância, em sua maioria, origem na energia do Sol. (PINHO *et al.*, 2014).

Entender o conceito de Radiação Solar que incide na Terra é fundamental para auxiliar no desenvolvimento de diversas atividades humanas como, por exemplo, a agricultura, a arquitetura. Além disso, a radiação solar constitui uma opção limpa e renovável de produção de energia, sendo seu conceito importante para áreas como a eficiência energética e o planejamento energético humano.

Entende-se por Radiação Solar como o fluxo de energia emitida pelo Sol e transmitida sob a forma de radiação eletromagnética. As medidas de radiação são denominadas como Irradiância Solar Total (TSI - Total Solar Irradiance) e Irradiância Solar Espectral (SSI - Solar Spectral Irradiance). A Irradiância Solar Total é definida como a potência total da energia proveniente do Sol por unidade de área a 1 UA (distância entre o Sol e a Terra conhecida como Unidade Astronômica) (Gómez *et. al.*, 2018).

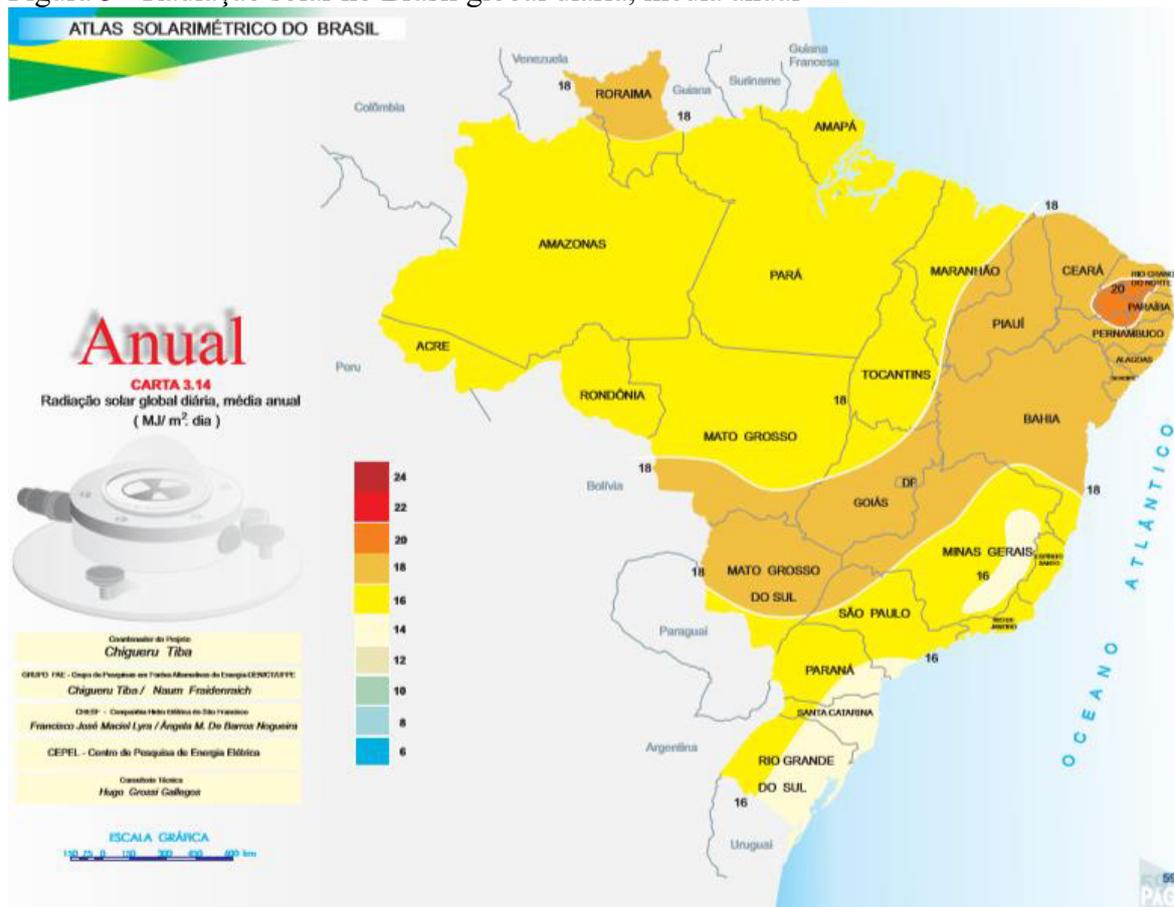
Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2011), a disponibilidade de radiação solar ou quantidade de energia total incidente sobre a superfície terrestre varia de acordo com o dia do ano e com a hora de cada dia. Essas variações são consequências diretas da inclinação do eixo de rotação da Terra em relação à eclíptica - o plano que contém a órbita terrestre ao redor do Sol - e dos movimentos rotacional (giro em torno do seu próprio eixo) e translacional (órbita ao redor do Sol) do globo.

Através do Atlas Solarimétrico do Brasil elaborado no ano 2000, no Brasil, é possível verificar que a radiação global média diária pode variar de $14 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$ para regiões localizadas ao Sul e Sudeste do país até $20 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$ para o interior do Nordeste.

Ao analisar a Figura 5, pode-se observar:

- Apesar das diferenças climáticas, a média anual de radiação global é considerada alta, visto que o Brasil um país localizado em uma região intertropical, e praticamente uniforme em toda região do país, apresentando, dessa forma, expressivo potencial para geração de energia a partir da radiação solar. É preciso afirmar, porém, que os valores de radiação global média diária não são constantes e podem variar de acordo com as estações do ano, como explicado anteriormente;
- A região Nordeste apresenta os melhores valores de radiação global média diária, em torno de $18 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$, que equivale a $5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia}$, considerados ótimos valores para a geração de energia através do sol, ou seja, a região tem potencial para gerar aproximadamente $1,8 \text{ MWh/m}^2$ em um ano.

Figura 5 - Radiação solar no Brasil global diária, média anual



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

3.2.2 Tipos de Energia Solar

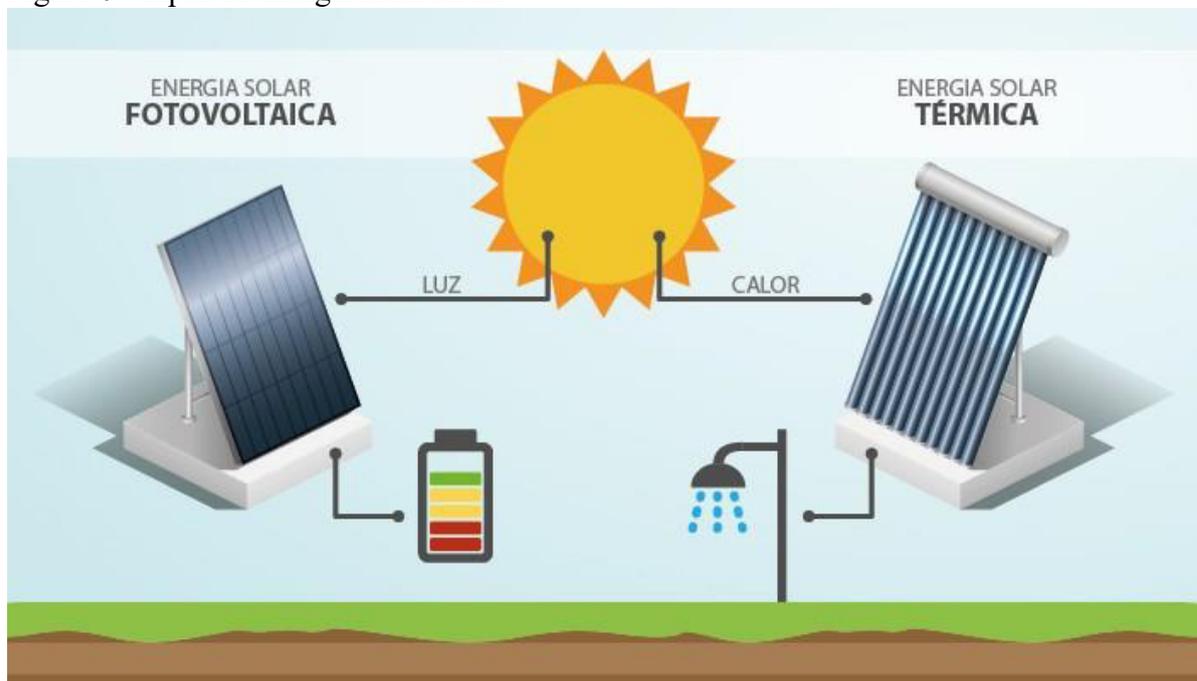
A energia solar é uma fonte imensamente ampla, visto que o Sol é o maior meio de obtenção energética do planeta Terra, seja através do ciclo das águas (hidrelétricas), indução de circulação de massas de ar (energia eólica), fotossíntese, ou seja, alimento para desenvolvimento de matéria orgânica (biocombustível ou queima de biomassa), e ainda formação de combustíveis fósseis através de matéria orgânica em decomposição. (PINHO *et al.*, 2014). Desse modo, a energia do sol é absorvida indiretamente pelo planeta e convertida em outras formas, podendo ser aproveitada como fonte de calor para aquecimento ou para a produção de eletricidade.

Por sua vez, a energia solar direta (Figura 6), utiliza tecnologias para aproveitamento direto da energia do sol. Segundo Novais (2015), a radiação solar pode ser aproveitada de diversas formas, tais como: fonte de energia térmica para aquecimento de ambientes e de fluidos, fonte de energia térmica para geração de potência mecânica ou elétrica, fonte de energia elétrica, convertida diretamente por meio de materiais termoeletrônicos

e fotovoltaicos.

A Energia solar fotovoltaica é definida como a energia obtida a partir da conversão direta da luz em eletricidade, através do efeito fotovoltaico, possuindo como componente básico a célula fotovoltaica, dispositivo que é fabricado com material semicondutor, fundamental para que ocorra a conversão. A radiação do sol ao incidir sobre materiais semicondutores é convertida diretamente em corrente contínua. Para realizar a conversão das correntes e utilização da energia no sistema elétrico destaca-se outro dispositivo importante no processo, os inversores, que transformam a corrente contínua em corrente alternada para consumo final. (PINHO *et al.*,2014).

Figura 6 - Tipos de energia solar direta



Fonte: Ocaenergia.com.

De acordo com o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), a Energia Solar Térmica possui interesse na quantidade de energia que determinado corpo é capaz de absorver, pela forma de calor, a partir da radiação captada pelo mesmo. O aproveitamento da radiação solar pode ser feito em baixa, média e alta temperatura. Os sistemas termo solares são utilizados, comumente, para o aquecimento de piscinas, aquecimento de água em edificações, secagem, arrefecimento, produção de vapor industrial, entre outros.

3.2.3 Energia Solar Fotovoltaica

A Energia Solar Fotovoltaica é a transformação direta da energia do sol, ou radiação solar, em eletricidade através do efeito fotovoltaico, fenômeno descoberto por Edmond Becquerel, em 1939, decorrente da excitação de elétrons de materiais semicondutores, gerando diferença de potencial e a consequente circulação de elétrons, resultando na geração de corrente elétrica.

Conceitualmente, Novais (2015) afirma que no efeito fotovoltaico, a radiação solar incide sobre materiais semicondutores e, então, é transformada, diretamente, em energia elétrica em corrente contínua. Para essa conversão dos fótons solares em energia elétrica são utilizadas células solares. A união de células solares conectadas em arranjos para produzir tensão e corrente formam os painéis fotovoltaicos ou módulos fotovoltaicos (Figura 8), que possuem esse nome por atuarem sob o efeito fotovoltaico como descrito anteriormente.

Figura 7 – Ilustração de uma composição convencional de um painel fotovoltaico



Fonte: Blog Blue Sol.

A Figura 9 mostra a ilustração de uma célula fotovoltaica, um painel fotovoltaico, do arranjo de painéis e de todo o sistema fotovoltaico interligado a rede.

Figura 8 - Sistema fotovoltaico ligado à rede



Fonte: Blog Portal Solar.

Segundo Villalva e Gazoli (2012), existem duas camadas de material semicondutor em uma célula fotovoltaica, onde uma delas possui deficiência de elétrons, chamada camada P, e a outra possui excesso de elétrons, nomeada camada N. Ao ser exposta a radiação solar, a célula fotovoltaica recebe a incidência dos fótons e ocorre a formação de uma diferença de potencial nos terminais dessas estruturas e, caso haja um circuito fechado acoplado a esses terminais, uma corrente elétrica é produzida.

Para fabricação das células fotovoltaicas destaca-se a utilização do silício (Si) cristalino. O silício (Si) é um elemento químico em abundância, que com o passar do tempo teve seus custos reduzidos, visto o seu processamento em larga escala e o aprimoramento dos processos produtivos. Esse minério pode ser constituído por cristais amorfo, monocristalino e policristalino para matéria base da indústria de semicondutores e células solares.

Segundo Novais (2015), mais de 80% da fabricação de células fotovoltaicas tem como base principal o elemento químico silício. Outra tecnologia utilizada e bastante estudada são os filmes finos que possuem cerca de 20% de participação na fabricação de células solares e está em constante desenvolvimento tecnológico.

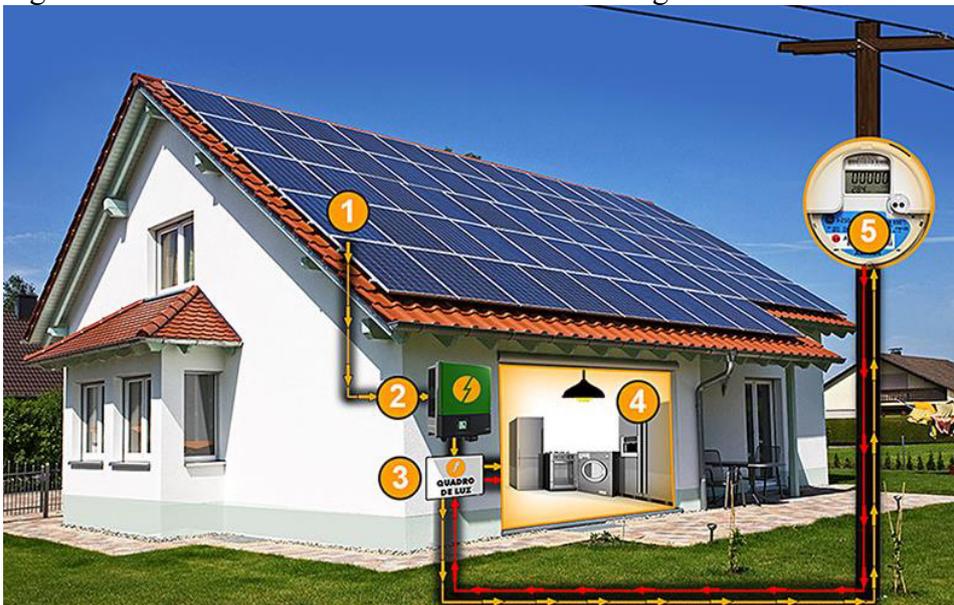
O que difere esses dois tipos de tecnologia para a fabricação de células fotovoltaicas são os custos, a facilidade de acesso ao material e a eficiência de conversão.

Além do painel fotovoltaico que realiza a conversão da radiação solar em energia elétrica em corrente contínua, um sistema solar fotovoltaico convencional é constituído, também, pelo quadro de energia da unidade consumidora, pela estrutura de suporte os painéis,

por toda fiação elétrica que interliga o sistema a unidade consumidora e por inversores, que realizam a conversão da energia em corrente contínua (cc) para corrente alternada (ca), de forma a garantir a utilização dessa energia para as unidades consumidoras, além de gerar dados para o acompanhamento e monitoramento do desempenho da geração e serem responsáveis por garantir parte da segurança do sistema.

A Figura 11 mostra a ilustração de um Sistema Solar Fotovoltaico convencional ligado à rede em uma unidade consumidora residencial.

Figura 9 – Sistema solar fotovoltaico residencial ligado à rede



Fonte: Blog Portal Solar.

Como abordado acima, um dos grandes benefícios da energia solar fotovoltaica, atualmente, é a possibilidade acessível de geração própria individual, através de sistemas residenciais, como da Figura 11, chamada de geração distribuída. O conceito de geração distribuída é dado pelo Portal Solar como geração de energia elétrica no local de consumo ou próxima a ele. No Brasil, a geração distribuída é regulamentada por meio de resoluções normativa, REN 482, criadas, modificadas e atualizadas por meio da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (Portal Solar, 2020).

Outra forma de geração de energia fotovoltaica no Brasil é a chamada geração centralizada através de usinas solares fotovoltaicas ou parques solares. Esse modelo de geração é um sistema de energia solar de grande porte, projetado para a produção e venda de energia elétrica para distribuição nas concessionárias de energia. As usinas solares são responsáveis por fornecer energia em alta tensão para distribuição.

Como nos sistemas residenciais, os painéis solares produzem eletricidade, que passa por um inversor solar para converter essa energia em corrente alternada. Porém, essa energia é transmitida pelas redes de transmissão de energia e distribuída posteriormente, Os inversores entregam a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos em até 380 Volts. Nesse caso a energia passa pelas linhas de transmissão de alta tensão e, por essa razão, é necessário uma tensão mais alta que 380 Volts, portanto, nesse tipo de geração é necessária a utilização de transformadores para elevar a tensão para 13.800 Volts, 69.000 Volts, 138.000 Volts e até acima de 230.000 Volts. Só assim a eletricidade produzida pela usina de energia solar será transmitida pelas redes de transmissão de energia e distribuída pelas distribuidoras de energia para o uso da sociedade local (Figura 12) (Portal Solar, 2020).

Figura 10 – Esquema da cadeia de produção, transmissão e distribuição da energia solar fotovoltaica



Fonte: Blog Portal Solar.

Segundo a WWF-Brasil em parceria com a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR, 2020) e elaborado pela LCA Consultores (2015), a energia solar fotovoltaica tem inúmeras vantagens do ponto de vista elétrico, ambiental e socioeconômico.

Ao analisar o ponto de vista do setor elétrico, a energia solar fotovoltaica exerce um papel complementar às hidrelétricas e outras fontes, diversificando a matriz energética, além de aliviar o aumento do pico da demanda de energia durante algumas horas do dia. Através de alguns tipos de geração é possível, ainda reduzir a necessidade de novas linhas de transmissão, aumentando a segurança no fornecimento, reduzindo as perdas e os custos das distribuidoras de energia.

Além disso, no âmbito socioeconômico, a energia solar fotovoltaica possibilita o acesso à energia elétrica a comunidades isoladas, levando desenvolvimento para regiões remotas e sua população local, propicia a geração de empregos, aumenta os investimentos no

país e, assim, aumenta a arrecadação fiscal.

Os benefícios ambientais são inúmeros, visto que a geração fotovoltaica é isenta das emissões de gases poluentes durante a sua geração e dispensa o uso de combustíveis e de água em seus processos de geração de energia.

3.2.4 Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

A geração de energia solar fotovoltaica pode ser classificada a partir do tipo de sistema. Por conta de diferentes aplicações, disponibilidade de recursos e pelas diferenças técnicas, os sistemas podem ser divididos entre conectados à rede, isolados da rede e híbridos, que combinam a geração fotovoltaica com outro tipo de geração através de outra fonte de energia ou que combinam os outros dois tipos de sistemas. (SANTANA, 2014).

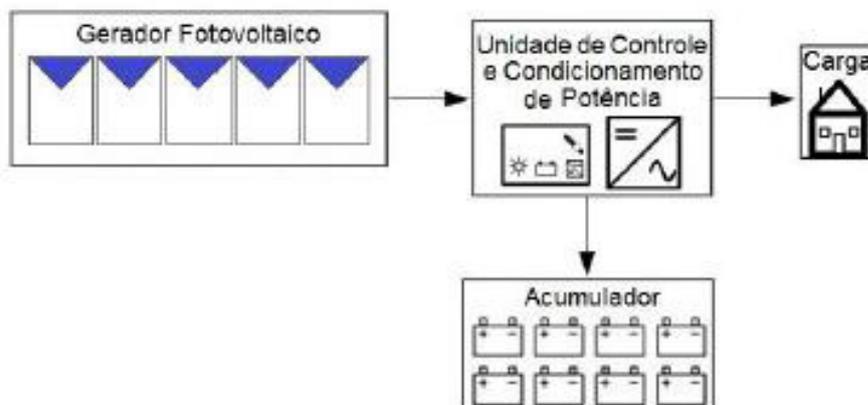
Os sistemas isolados, também conhecidos como *off-grid* (Figura 13), são caracterizados por não estarem interligados à rede de energia elétrica coordenada por uma concessionária de energia. Segundo Santana (2014), esse tipo de sistema necessita de um bloco de armazenamento de energia.

Ao ser realizada a captação da radiação solar pelas placas fotovoltaicas e a geração de energia elétrica de corrente contínua, o inversor atua na conversão para corrente alternada e a utilização é feita pela unidade consumidora.

Porém, a energia que não for consumida é transferida para um controlador de carga, responsável pelo gerenciamento da carga do banco de baterias e, algumas vezes, gerencia a carga utilizada pelos aparelhos consumidores. A energia não utilizada pela unidade consumidora deve ser armazenada em um sistema de armazenamento, normalmente formado com um banco de baterias.

Dessa forma, a unidade consumidora consegue armazenar energia para o consumo em horários que não existirem geração fotovoltaica. Uma característica importante desse tipo de sistema é que o mesmo, por ser isolado, não necessita de autorizações da concessionária de energia elétrica para a sua operação.

Figura 11 - Diagrama de uma configuração básica de Sistema Fotovoltaico Isolado – *Off-grid*



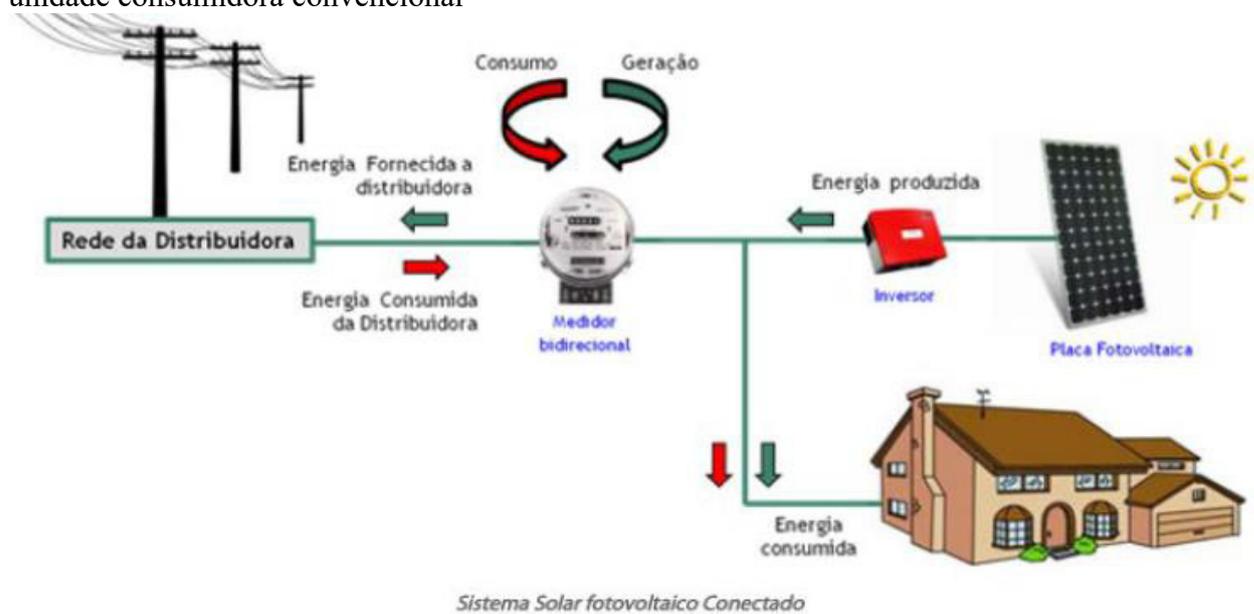
Fonte: Manual de Engenharia de Energia Solar Fotovoltaica.

Para di Souza (2016), os sistemas isolados da rede são uma opção relevante e tem extrema importância para o desenvolvimento de regiões subdesenvolvidas e suas comunidades, onde, ainda, não existe o acesso à energia elétrica como desertos, floresta amazônica, cidades interioranas, ilhas ou para manter algum equipamento fora da rede operando mesmo em momentos de falta de energia elétrica pela concessionária, em substituição aos geradores elétricos convencionais.

Para os sistemas conectados à rede, conhecidos como *on-grid*, di Souza (2017) afirma que podem ser classificados como aqueles sistemas que operam em parceria com a rede de energia elétrica, ou seja, com a concessionária local e com o Sistema Interligado Nacional (SIN), que concilia o sistema de produção e transmissão de energia elétrica no Brasil. Dessa forma, esse tipo de sistema segue as regulamentações dispostas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em sua resolução 482 e suas atualizações.

Uma característica importante desse tipo de sistema, e que o diferencia dos sistemas isolados, é que o sistema *on-grid* (Figura 14) possibilita a troca de energia entre a unidade geradora e a rede, garantindo o fornecimento de energia em horários sem geração e não necessitando da utilização de sistema de armazenamento.

Figura 12 – Ilustração do fluxo da energia em um Sistema Fotovoltaico *On-Grid* em uma unidade consumidora convencional



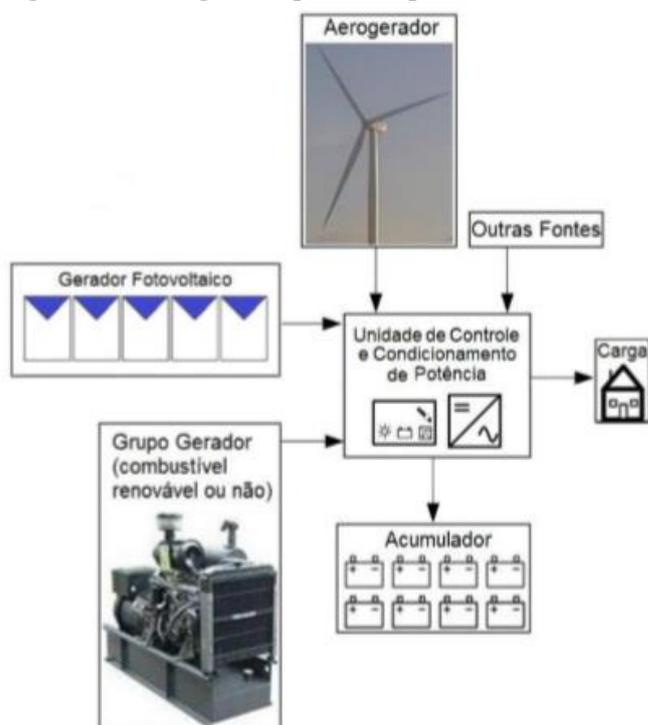
Fonte: ANEEL.

Após instalação e início da geração, a energia gerada é transformada pelo inversor e injetada no quadro geral da unidade consumidora. Em casos onde a potência gerada no momento é maior que a potência utilizada pela unidade consumidora, o sistema possibilita injetar energia na rede elétrica.

Tudo isso pode proporcionar abatimentos na fatura de energia elétrica do consumidor, quando o consumo for menor que a geração e isso ocorre de acordo com o dimensionamento de geração, garante independência de consumo e reduz custos de transmissão e perdas da concessionária de energia local. É importante ressaltar que o medidor da unidade consumidora deverá ser bidirecional, substituído pela distribuidora local, com a capacidade de mensurar a energia elétrica fluindo nos dois sentidos. Todo esse procedimento caracteriza a geração conhecida como Geração Distribuída.

De acordo com Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos (2014), os sistemas híbridos (Figura 15) são aqueles em que existe mais de uma forma de geração de energia, com por exemplo: grupo gerador a diesel, aerogeradores e geradores fotovoltaicos. Esses sistemas são complexos e precisam de um controle técnico e especial para integrar todos os tipos de geração e otimizar a operação.

Figura 13 - Diagrama que exemplifica um Sistema Híbrido



Fonte: Manual de Engenharia de Energia Solar Fotovoltaica.

De acordo com di Souza (2017), um sistema híbrido caracteriza-se por conciliar os dois tipos de sistemas fotovoltaicos: *on-grid* e *off-grid* (Figura 16). Esse tipo de sistema possui aplicações para localidades onde existe ligação a rede, porém existe muitas quedas de energia, linhas de transmissão defeituosas. Também são indicados para unidades consumidoras que não podem ter quedas frequentes de energia ou ficar sem abastecimento elétrico por nenhum momento. Esse tipo de sistema gera segurança para as unidades consumidora, porém necessita de um investimento maior, visto a necessidade de uma unidade de armazenamento.

Figura 14 - Ilustração de um Sistema Híbrido que combina os dois sistemas: *on-grid* e *off-grid*



Fonte: Blog Blue Sol.

A energia solar fotovoltaica começou a ter uma maior atuação no mercado, a partir do momento que foram promovidas ações políticas e econômicas voltadas para o incentivo do acesso a mesma. Além disso, passou a ser investido e falado nas tecnologias disponíveis no mercado para a geração fotovoltaica, o que consolidou a confiança dos pequenos consumidor-geradores e passou a serem aplicadas tecnologias de produção. Em meados de 2010 a energia solar fotovoltaica começou constar nos balanços energéticos anuais da matriz energética brasileira.

4 RELATÓRIO DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL

O Brasil possui a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que elabora e publica anualmente o relatório do Balanço Energético Nacional (BEN), que apresenta a contabilização relativa à oferta e ao consumo de energia no Brasil.

4.1 A Empresa de Pesquisa Energética

A Empresa de pesquisa energética – EPE é uma empresa pública federal, financiada pelo Orçamento Geral da União e presta serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME), com estreito relacionamento com outras agências importantes para o setor energético como Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis – ANP, Agência Nacional de Águas – ANA, Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS e com a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE.

A EPE foi criada com o objetivo de resgatar a responsabilidade constitucional do Estado nacional em assegurar as bases para o desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética nacional. Sua criação se deu por meio de medida provisória convertida em lei pelo Congresso Nacional - Lei 10.847, de 15 de Março de 2004. E a efetivação se deu em um decreto de agosto de 2004 (EPE, 2020).

Essa empresa de pesquisa energética nacional tem papel fundamental no planejamento do setor energético nacional. Sua finalidade é a realização de estudos e pesquisas destinados a subsidiar e direcionar o desenvolvimento e planejamento do setor energético brasileiro, envolvendo abordagens tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral e as fontes energéticas renováveis.

A EPE publica anualmente inúmeros estudos e relatórios para análise de agências federal. O relatório abordado nesse trabalho é publicado anualmente pela EPE, sendo de suma importância para setor energético nacional. A empresa publica uma planilha referente aos dados da matriz energética nacional, o relatório geral do balanço energético nacional (BEN) e o Relatório Síntese que apresenta um resumo dos dados a cerca da contabilização da oferta, transformação e consumo final de produtos energéticos no Brasil. Esses dados são publicados no ano posterior ao ano base de análise.

O BEN contempla as atividades de extração de recursos energéticos primários, sua conversão em formas secundárias, importação e exportação, a distribuição e o uso final da energia e é utilizado como orientação para setor energético. Além disso, contém dados

referentes a contabilidade relativa de oferta e consumo de energia do país e tem grande importância para estudos de planejamento energético nacional.

4.2 O BEN 2020

4.2.1 Divisão do Relatório Final BEN 2020

A divisão do BEN 2020 é feita por assuntos e está dividido em oito capítulos e dez anexos, abaixo são listados os capítulos e anexos com seus respectivos assuntos. Nesse trabalho será abordado basicamente assuntos ligados a oferta de fontes energéticas, produção e composição da matriz elétrica, Capacidade instalada por fonte no país, descritos entre o Capítulo 1 e 2 e no Anexo I.

- **CAPÍTULOS**

Capítulo 1 – Análises Energéticas e Dados Agregados, apresenta os destaques da energia no ano de 2019 e dados consolidados de produção, consumo, dependência externa de energia, a composição setorial do consumo de energéticos e o resumo da oferta interna de energia do país;

Capítulo 2 – Oferta e Demanda de Energia por Fonte, apresenta a contabilização, por fonte de energia, da produção, importação, exportação, variação de estoques, perdas, ajustes e consumo total desagregado por setores da economia no país no ano de 2019;

Capítulo 3 – Consumo de Energia por Setor, apresenta o consumo final de energia classificado por fonte primária e secundária, para cada setor da economia do país para o ano de 2019;

Capítulo 4 – Comércio Externo de Energia, traz os dados das importações e exportações de energia e da dependência externa de energia;

Capítulo 5 - Balanços de Centros de Transformação, apresenta os balanços energéticos dos centros de transformação, incluindo as suas perdas;

Capítulo 6 - Recursos e Reservas Energéticas, contempla os dados dos recursos e reservas das fontes primárias de energia, incluindo notas metodológicas;

Capítulo 7 - Energia e Socioeconômica, tem por conteúdo a comparação dos parâmetros energéticos, econômicos e populacionais, os consumos específicos, os preços e os gastos com importação de petróleo;

Capítulo 8 - Dados Energéticos Estaduais, exhibe, segmentado por estados da

federação, os dados de produção das principais fontes de energia, o consumo residencial de eletricidade e gás liquefeito de petróleo, instalações energéticas e reservas e potencial hidráulico.

- **ANEXOS**

Anexo I - Capacidade Instalada, apresenta a capacidade instalada de geração elétrica, capacidade instalada da usina hidroelétrica de Itaipu e capacidade instalada de refino de petróleo;

Anexo II – Autoprodução de Eletricidade, apresenta os dados desagregados da geração própria de eletricidade, considerando as fontes e setores produtores;

Anexo III - Dados Mundiais de Energia, apresenta os principais indicadores energéticos de produção, importação, exportação e consumo, por área energética e região;

Anexo IV – Balanço de Energia Útil, apresenta análises energéticas com base na energia útil, critério especialmente importante para compreensão do aumento da eficiência energética do país;

Anexo V - Estrutura Geral do BEN, expõe a conceituação e composição do Balanço Energético Nacional;

Anexo VI - Tratamento das Informações, lista as fontes de dados do BEN e particularidades metodológicas no seu tratamento;

Anexo VII – Unidades, apresenta as tabelas de conceituação e conversão das unidades de mensuração dos dados do BEN, e comentários pertinentes;

Anexo VIII – Fatores de Conversão, são apresentados os valores das diferentes unidades utilizadas no BEN e critérios para sua conversão;

Anexo IX - Balanços Energéticos Consolidados, tem como conteúdo as matrizes consolidadas do BEN, contendo os fluxos de energia expressos em tep - tonelada equivalente de petróleo;

Anexo X – Balanço Energético 2017 (Unidades Comerciais), apresenta os valores apurados para o BEN, relativos ao ano base da publicação (2016), expressos em unidades comerciais e em estrutura ampliada para 47 colunas.

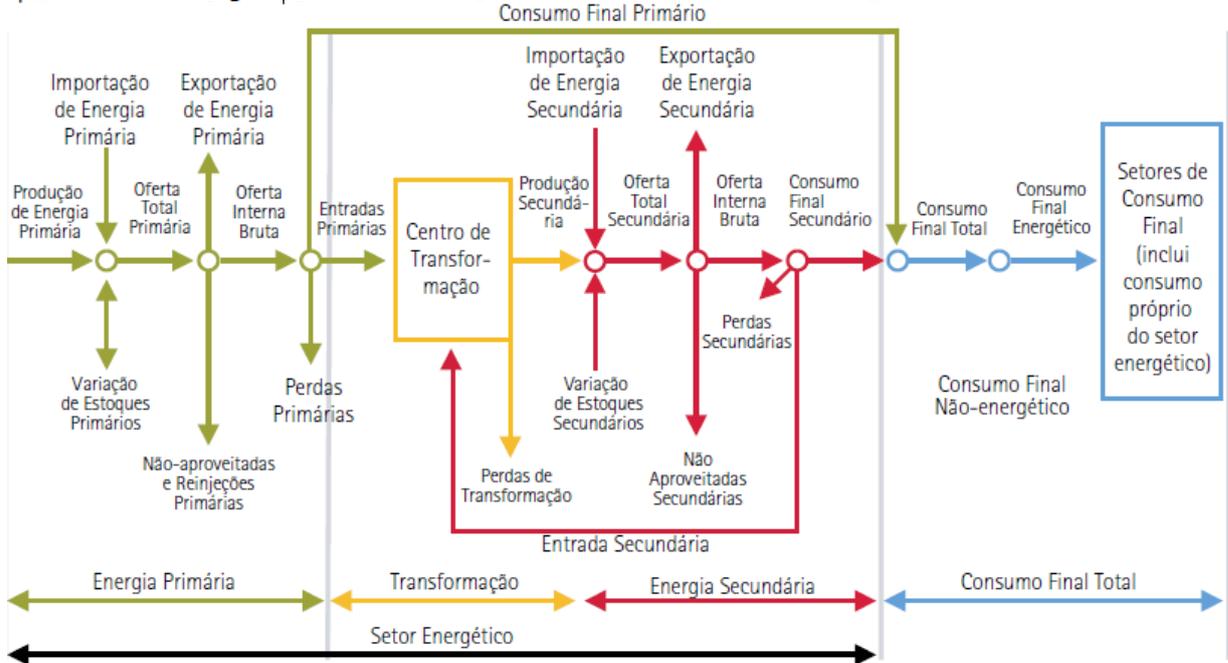
4.3 Estrutura Geral do Balanço Energético Nacional

O BEN é elaborado de acordo com a metodologia que propõe uma estrutura energética, de modo geral, de forma a permitir a obtenção de adequada configuração das

variáveis físicas próprias do setor energético.

A Matriz Balanço Energético (Figura 17) expressa o balanço global de todas as etapas do processo energético: produção, transformação e consumo.

Figura 15 – Etapas do processo energético da Matriz Balanço Energético



Fonte: BEN, 2020.

4.4 Oferta Interna de Energia

O total de energia disponibilizada no país é chamado de oferta interna de energia. De acordo com dados do BEN 2020, o Brasil no ano de 2019 teve um aumento em sua oferta interna, em relação ao ano anterior, de 1,4%, chegando a 294,0 Mtep (unidade baseada em tonelada equivalente de petróleo).

Esse valor é explicado devido ao incremento das fontes eólicas e solar na geração de energia elétrica em conjunto com o aumento da oferta de biomassa da cana e biodiesel, que também contribuíram para que o país se mantivesse com sua matriz energética em um nível de energia renovável muito superior ao observado no mundo. (BEN 2020 - Relatório Síntese - ano base 2019, 2020).

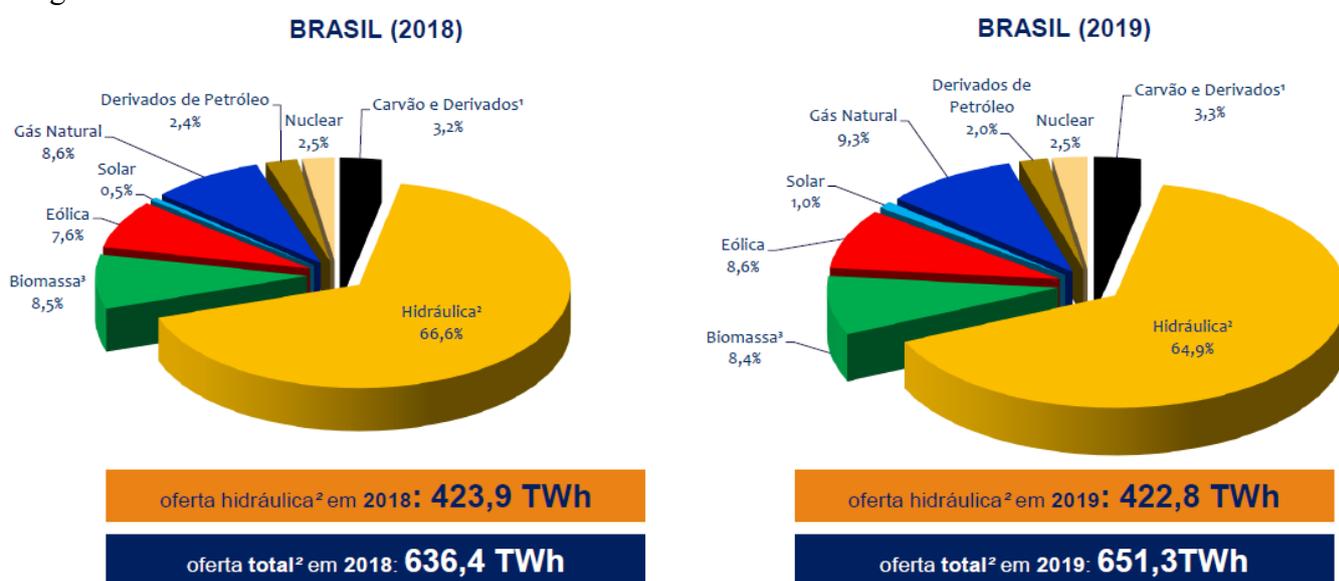
4.4.1 Oferta Interna de Energia Elétrica

A oferta de energia elétrica no Brasil no ano de 2019 de acordo com o BEN 2020

teve um aumento de 14,9 TWh, um incremento de 2,3% em relação ao ano anterior. A participação das fontes renováveis na matriz elétrica foi 83,0%, onde a energia eólica conseguiu atingir 56,0 TWh, um aumento de 15,5% ao ano de 2018, com uma potência instalada nacional de 15.378 MW, uma expansão de 6,9% na potência instalada interna. (BEN 2020 - Relatório Síntese - ano base 2019, 2020).

A Figura 18 mostra a relação dos anos de 2019 e 2018 da Matriz Elétrica Brasileira de acordo com o BEN 2020.

Figura 16 – Matriz Elétrica Brasileira anos 2018 e 2019



¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

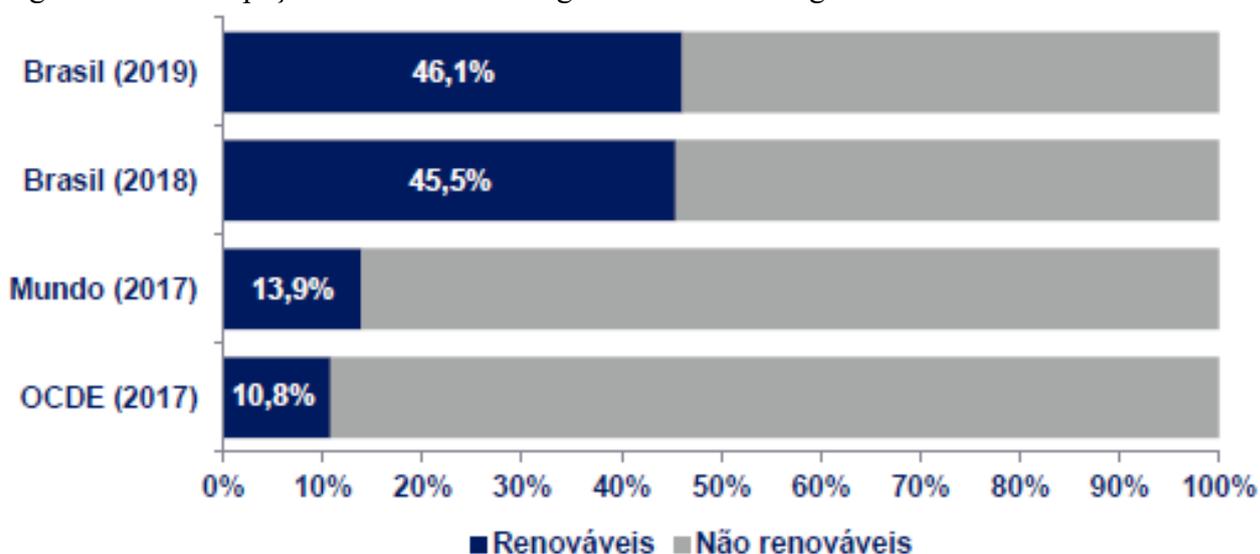
³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia, biodiesel e outras fontes primárias.

Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

De acordo com Figura 18 é possível ver a importância da energia hidráulica, como também o aumento da participação da energia eólica e duplicação da oferta da energia solar.

De acordo com o BEN 2020, as fontes de energias renováveis contribuíram de forma significativa com o aumento de 1,4% da oferta de energia do ano de 2019 em relação ao ano anterior, mostrando assim um crescimento da participação dessa fonte de energia na matriz energética nacional e manteve o país com um patamar de fonte renovável superior ao resto do mundo (Figura 19).

Figura 17 – Participação das fontes de energias na Matriz Energética



Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

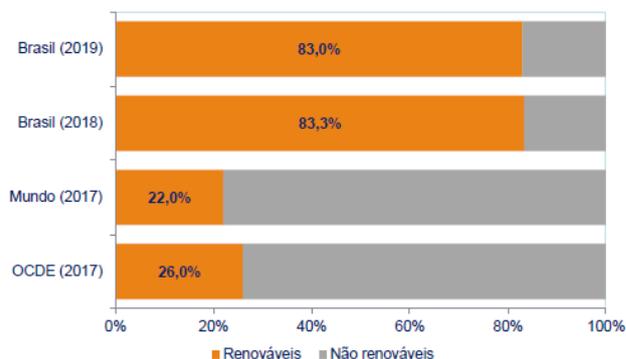
De acordo com o BEN 2020 - Relatório Síntese - ano base 2019 (2020), o aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira se deve pelas seguintes contribuições:

- Aumento da geração hidráulica, solar e eólica;
- Aumento da oferta da biomassa da cana e biodiesel;
- A redução da oferta de carvão mineral, explicado pela diminuição de 9% da produção de aço bruto no Brasil.

4.5 Participação das Fontes Renováveis na Matriz Elétrica Brasileira

Outro documento muito importante para o estudo foi o Balanço Covid-19 (2020), que é abordado no decorrer do trabalho. De acordo com o Balanço Covid-19 (2020), no ano de 2019 mais de 85% da oferta de energia elétrica foram de fontes não emissoras de gases de efeito estufa, incluindo fontes renovável e nuclear.

Figura 18 – Participação de energias renováveis na matriz elétrica¹



¹ A renovabilidade é calculada com base na Oferta Interna de Energia Elétrica.



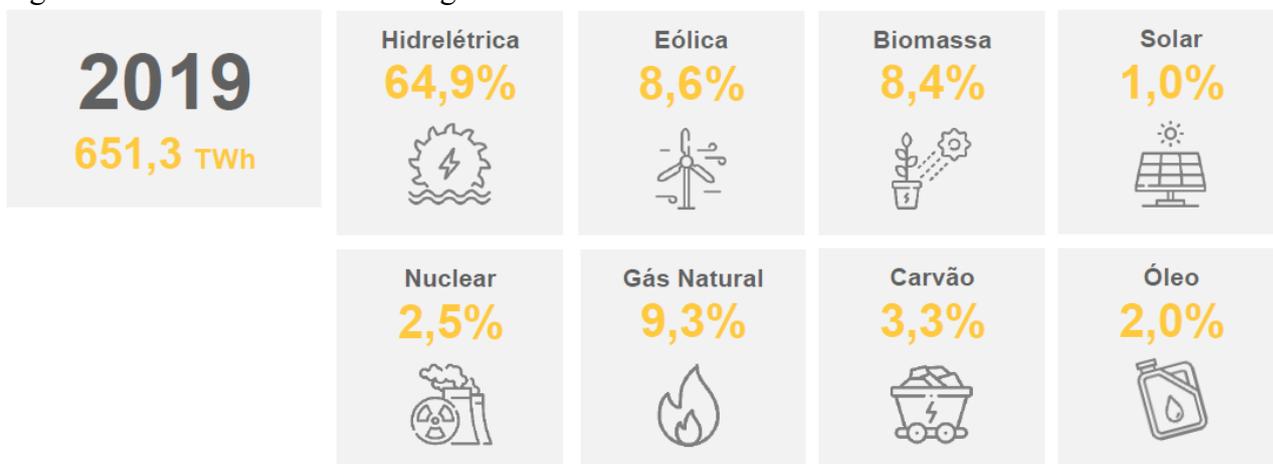
Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

De acordo com a Figura 20, o Brasil tem uma maior participação das fontes renováveis do que as não renováveis em relação ao mundo.

A Figura 21 mostra a oferta de energia elétrica no Brasil no ano de 2019

Figura 19 – Oferta interna de energia elétrica em 2019

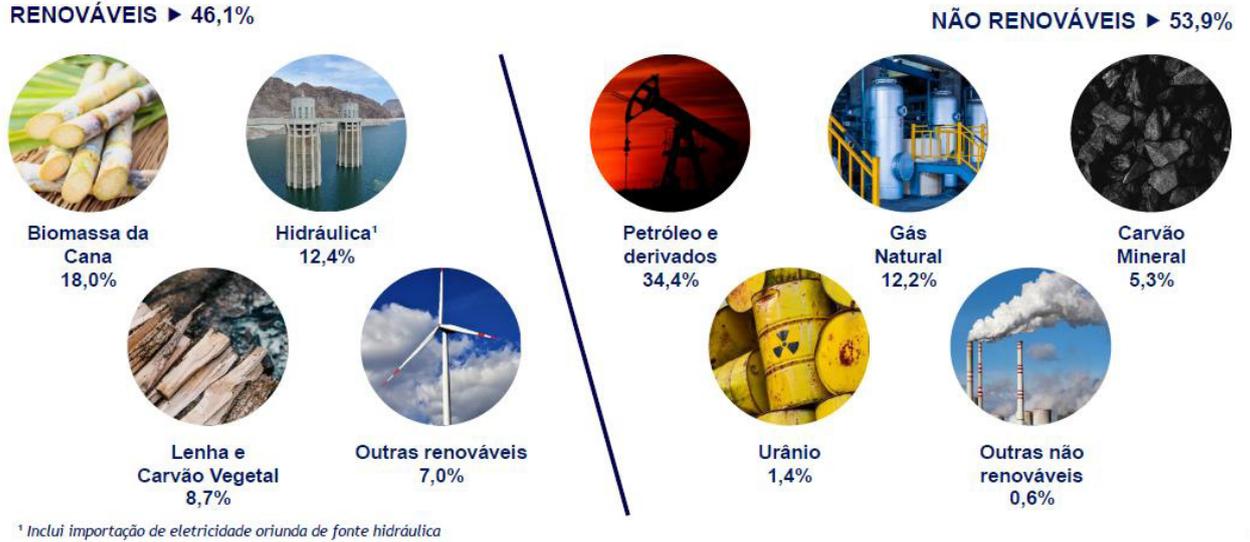


Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

É observado na Figura 21 que a fonte hidrelétrica tem um maior percentual de contribuição (64,9%), seguida pelo gás natural (9,3%), eólica (8,6%) e biomassa (8,4%). Apesar de a energia solar ter apenas 1% de participação, pode-se considerar uma participação expressiva comparado a anos anteriores.

A Figura 22 mostra a participação das fontes de energia utilizadas no Brasil de acordo com dados do BEN 2020.

Figura 20 – Repartição da oferta de energia no Brasil em 2019



Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

É observado na Figura 22 que as fontes não renováveis têm uma maior contribuição na oferta de energia, com os derivados de petróleo liderando com 34,4% da oferta de energia, seguido pelo gás natural com 12,2%. Já as fontes renováveis com 46,1% têm como maiores contribuintes a biomassa da cana com 18% e a hidráulica com 12,4%.

A Figura 23 mostra a repartição de outras renováveis da Figura 22.

Figura 21 – Repartição de outras renováveis



Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

É observado na Figura 23 que a lixívia tem uma maior contribuição na

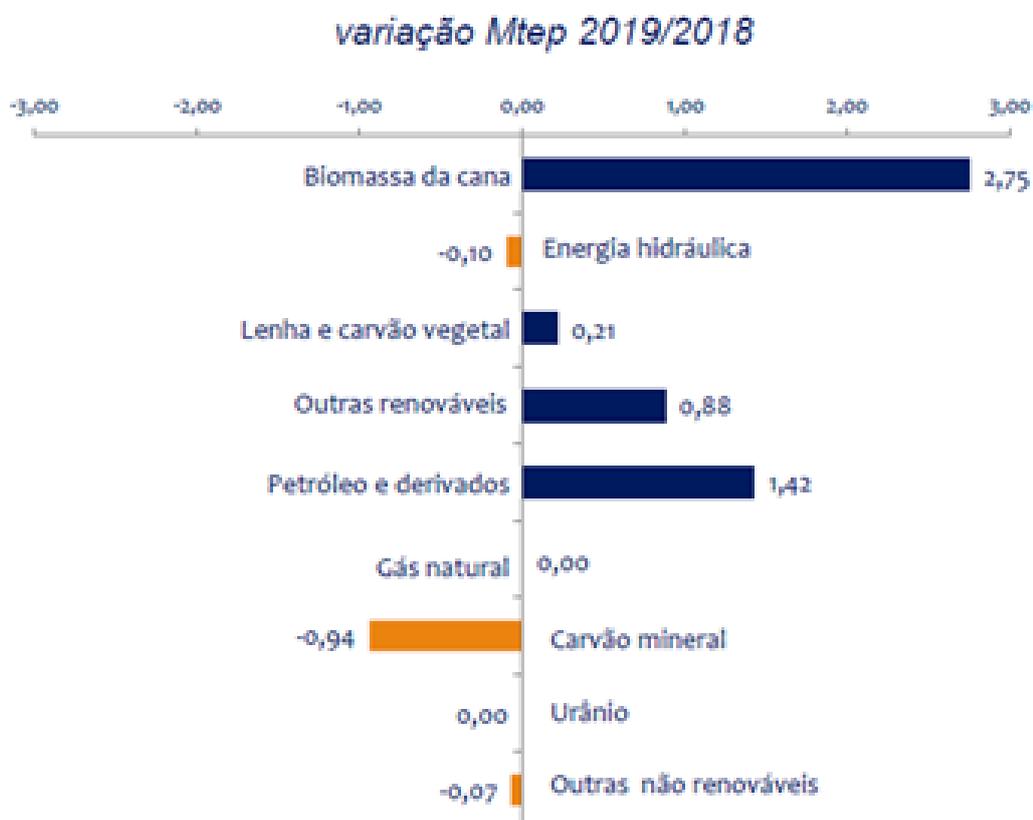
participação das outras renováveis, seguida pelo biodiesel (23,6%) e eólica (23,2%), mesmo com uma redução de 6,3%, já o biodiesel e a eólica tiveram um aumento de 11,1% e 15,5% respectivamente. E a energia solar teve um aumento de 92,2%, o maior percentual registrado, o que mostra um aumento do mercado para esse tipo de energia, que praticamente dobrou.

A Figura 24 mostra a variação da oferta de energia de 2019 ao ano de 2018, baseado em tonelada equivalente de petróleo (Mtep).

Figura 22 – Variação da oferta de energia 2019/2018

Fonte (Mtep)	2018	2019	Δ 19 / 18
RENOVÁVEIS	131,9	135,6	2,8%
Biomassa da cana	50,1	52,8	5,5%
Energia hidráulica ¹	36,5	36,4	-0,3%
Lenha e carvão vegetal	25,5	25,7	0,8%
Outras renováveis	19,8	20,7	4,4%
NÃO RENOVÁVEIS	158,0	158,4	0,2%
Petróleo e derivados	99,6	101,1	1,4%
Gás natural	35,9	35,9	0,0%
Carvão mineral	16,4	15,5	-5,7%
Urânio (U ₃ O ₈)	4,2	4,2	0,0%
Outras não renováveis	1,8	1,8	-3,7%

¹ Inclui importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica



Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

Pode se observar na Figura 24 um aumento maior das fontes renováveis (2,28%) no comparativo dos anos 2018 e 2019 de acordo com dados do BEN 2020.

4.6 Avanço da Energia Solar na Matriz Energética e Elétrica Nacional

A Figura 25 mostra a relação entre a capacidade instaladas das fontes renováveis no Brasil dos anos 2019 e 2018.

Figura 23 – Capacidade instalada¹ das energias não emissoras de gases do efeito estufa no Brasil

<i>Fonte (MW)</i>	<i>2018</i>	<i>2019</i>	<i>Δ 19/18</i>
Hidrelétrica	104.139	109.058	4,7%
Térmica	40.523	41.219	1,7%
Eólica	14.390	15.378	6,9%
Solar	1.798	2.473	37,5%
Nuclear	1.990	1.990	0,0%
Capacidade disponível	162.840	170.118	4,5%

¹ Não inclui micro e minigeração distribuídas.

Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019 (Adaptado pelo autor).

De acordo com a Figura 25 percebe se o grande avanço da energia solar, registrando um aumento de 37,6% de sua capacidade instalada no país, mostrando assim um de aquecimento do mercado solar no país.

A Figura 26 mostra a Produção de Energia Primária, detalhando as fontes não renováveis e renováveis, do período de 2010 até 2019.

Figura 24 - Produção de Energia Primária

Fontes	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Não renovável	53,1	54,8	54,7	54,2	56,4	57,9	58,5	59,2	57,9	59
Petróleo	42,1	42,5	41,7	40,6	42,8	44	44,2	44,8	43,5	44,2
Gás Natural	9	9,3	9,9	10,8	11,6	12,2	12,8	13,1	13,1	13,6
Carvão vapor	0,8	0,8	1	1,3	1,1	0,9	0,9	0,6	0,7	0,7
Carvão Metalúrgico	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Urânio	0,7	1,6	1,5	0,9	0,2	0,2	0	0	0	0
Outras Não Renováveis	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Renovável	46,9	45,2	45,3	45,8	43,6	42,1	41,5	40,8	42,1	41
Energia Hidráulica	13,7	14,4	13,9	13	11,8	10,8	11,1	10,5	10,8	10,5
Lenha	10,3	10,1	10	9,5	9,1	8,7	7,8	8,1	8,4	8
Produtos da Cana-de-Açúcar	19,3	16,9	17,6	19,1	18,1	17,6	17,2	16,4	16,5	16,2
Eólica	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,6	1	1,2	1,4	1,5
Solar	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,2
Outras Renováveis	3,6	3,7	3,7	3,9	4,2	4,3	4,4	4,5	5	4,7
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: BEN 2020, Relatório do ano base de 2019 (Adaptado).

De acordo com a Figura 26, percebe-se uma redução da participação das fontes renováveis, em 2010 estava com 46,9% e em 2019 com 41%, pode-se notar que a energia hidráulica e lenha tiveram um papel importante nessa redução, em contra partida a eólica teve um aumento desse período de 1,4%, saindo de 0,1 em 2010 a 1,5 em 2019. A energia solar aparece com uma participação de 0,1% em 2018 e 0,2% em 2019.

A Figura 27 mostra uma tabela de geração de eletricidade por fonte para o Brasil, sendo mostrado por estado e região também.

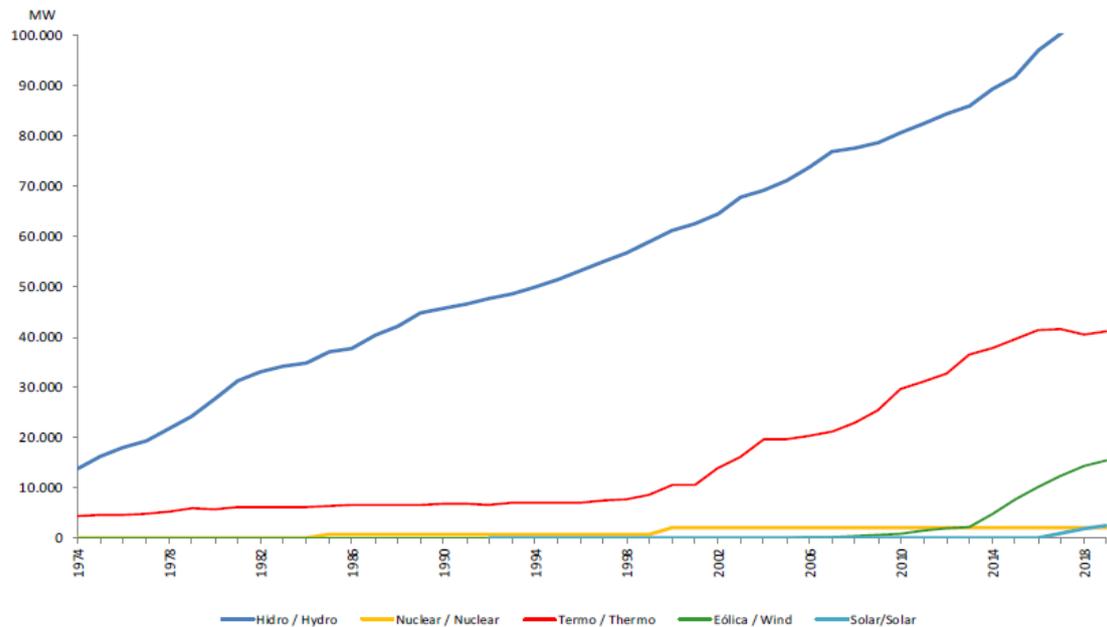
Figura 25 – Geração de eletricidade por fonte por região (GWh)

ESTADO	Geração total Total Generation	Hidro Hydro	Eólica Wind	Solar Solar	Nuclear Nuclear	Termo Thermal	Bagaço de cana Sugar Cane Bagasse	Lenha Firewood
BRASIL	626.328	397.877	55.986	6.655	16.129	149.682	36.827	2.274
NORTE	121.066	105.889		55		15.122	308	87
NORDESTE	108.119	23.614	50.072	3.578		30.854	2.399	137
SUDESTE	182.008	90.399	61	2.295	16.129	73.123	24.023	689
SUL	136.332	114.465	5.853	493		15.521	1.597	1.046
CENTRO OESTE	78.801	63.510		228		15.062	8.500	315

Fonte: BEN 2020, Relatório do ano base de 2019 (Adaptada pelo autor)

A Figura 28 mostra a capacidade instalada de geração elétrica no país de acordo com o BEN 2020.

Figura 26 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica no Brasil



Fonte: BEN 2020, Relatório do ano base 2019.

De acordo com a Figura 28 pode se observa uma avanço da capacidade instalada de geração elétrica da fonte solar.

As Figuras 29, 30 e 31 relatam informações importantes sobre a Micro e Minigeração Distribuídas no Brasil no ano de 2019 segundo dados do BEN 2020.

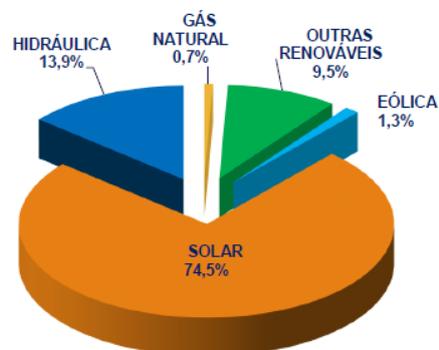
Observando a Figura 29 e segundo o BEN 2020 é possível analisar que a micro e mini geração distribuída de energia elétrica teve seu crescimento incentivado por ações regulatórias, tais como a que estabelece a possibilidade de compensação da energia excedente produzida por sistemas de menor porte. No ano analisado, 2019, a micro e mini geração distribuída atingiu 2.226 GWh com uma potência instalada de 2.162 MW. É importante destacar a fonte solar fotovoltaica, com 1.659 GWh e 1.992 MW de geração e potência instalada respectivamente.

Figura 27 – Micro e Minigeração Distribuídas¹
Em 2019, aumento de 169% na geração distribuída.

Geração total em GWh:

2018	2019
828	2.226

Participação de cada fonte na geração distribuída em 2019:



¹ Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

² Inclui biogás proveniente de resíduos agrícolas e urbanos, casca de arroz, gás de alto-forno (biomassa) e resíduos florestais.

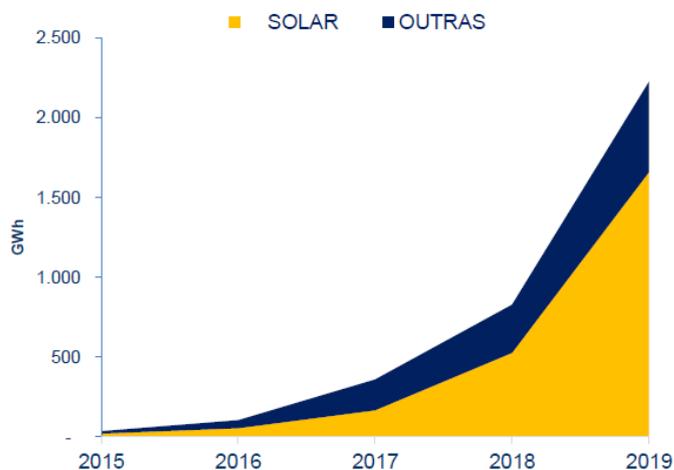
Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

Figura 28 – Micro e Minigeração Distribuídas¹ relacionando a energia solar e outras fontes renováveis

Geração total em GWh:

2015	2016	2017	2018	2019
35	104	359	828	2.226

Destaque para a fonte solar fotovoltaica, com 1.659 GWh e 1.992 MW de geração e potência instalada respectivamente.



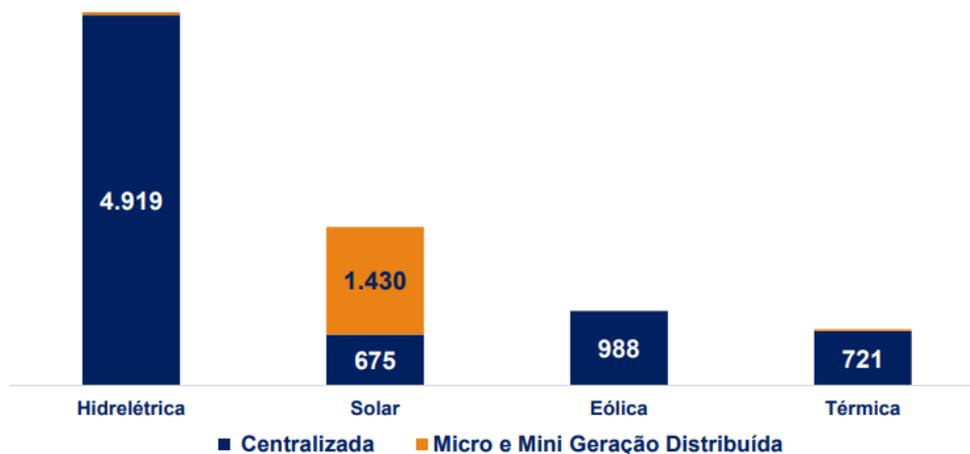
¹ Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

² Inclui biogás proveniente de resíduos agrícolas e urbanos, casca de arroz, gás de alto-forno (biomassa) e resíduos florestais.

Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

A Figura 31 mostra a expansão da capacitação instalada por fonte energética renovável.

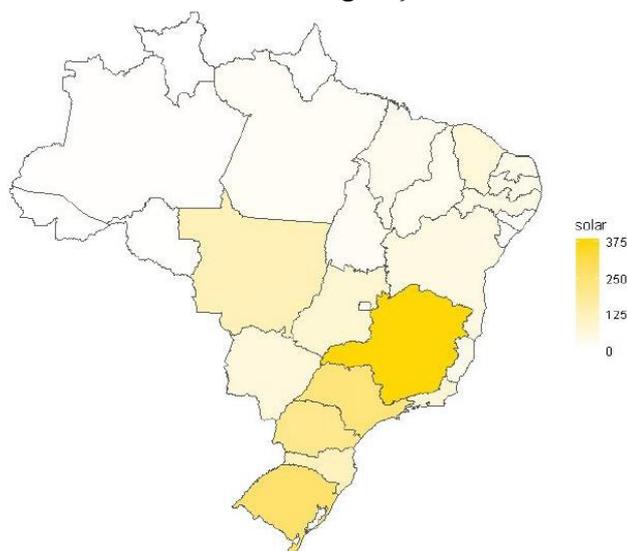
Figura 29 – Expansão da capacidade instalada¹ 19/18 (MW)



¹ Corresponde à expansão de potência instalada de geração centralizada e de micro e mini geração distribuída no Brasil.

Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

Figura 30 – Capacidade instalada – Micro e Minigeração Distribuídas¹ Solar por UF (MW)



¹ Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012

Fonte: BEN 2020, Relatório Síntese do ano base de 2019.

De acordo com as Figuras anteriores, pode-se observar um crescente aumento da participação da energia solar nesse cenário nos anos de 2018 e 2019.

5 Relatório Balanço Covid-19: Contextualizando os impactos da pandemia na matriz energética Nacional

A Covid-19 e o seu agravamento no Brasil no início de 2020, gerou grandes impactos na vida das pessoas e em vários setores da economia no país, afetando produções industriais, funcionamento do comércio, fortemente o setor da saúde e reduziu a circulação de

pessoas. O setor energético não saiu ileso dessa crise e foi afetado diretamente, dessa forma a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publicou um caderno com dados consolidados (Balanço Covid-19), que resumem alguns dados energéticos de 2019 e refletem as consequências do avanço da pandemia no setor energético em 2020. Este documento diferencia-se do BEN 2020 por trazer dados do primeiro semestre do ano de 2020.

Em linhas gerais, no acumulado dos seis meses analisados, segundo o relatório, o consumo da rede elétrica foi 4,5% inferior ao observado no mesmo período de 2019. Destaque para o mês de maio que teve uma redução mais severa, sendo 11% inferior ao mesmo mês do ano de 2019. Esse fato é explicado por meio do relatório com justificativa na paralização do funcionamento de parte da Indústria e do comércio em geral, setores esses que foram os mais afetados.

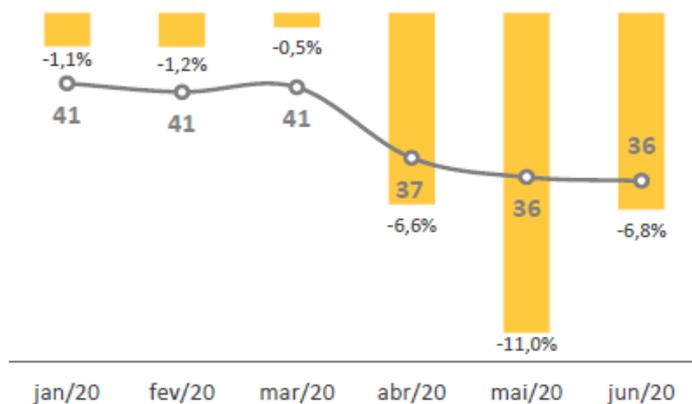
Segundo o Balanço Covid-19 a redução da demanda de energia e combustíveis se refletiram em termos de emissões de gases de efeito estufa no setor elétrico e nos transportes, ocasionando uma redução, significativa, das emissões em todo o mundo. Porém, o estudo prevê que esse efeito seja temporário. As possíveis políticas e investimentos no processo de retomada poderão influenciar a médio e longo prazo a trajetória de emissões, através da aceleração de produção ou até mesmo na busca por fontes energéticas mais baratas e, possivelmente, menos sustentáveis. Em contrapartida, existe o risco de novas ondas da doença influenciarem em novas fases de medidas de isolamento e restrições, o que pode continuar a dificultar essa retomada das atividades econômicas.

Pode-se observar nas Figuras 33 e 34 comparativos mensais e semestral do consumo energético da rede entre o ano de 2020 em relação ao ano anterior.

Figura 31 – Consumo na rede mensal (TWh e %) do Brasil do ano de 2020 em relação a 2019

¹ Variações % em relação a 2019

² Valores estimados para junho

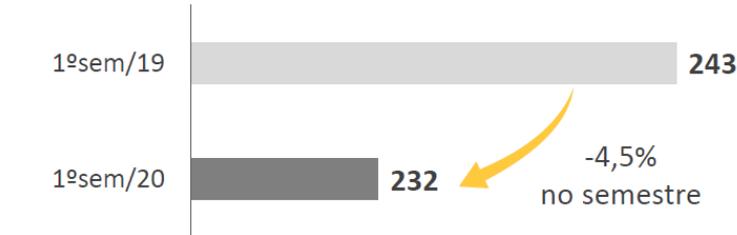


Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

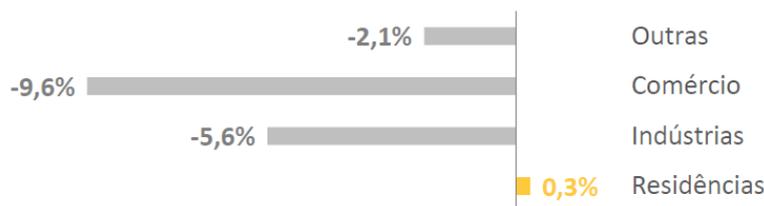
Pode se observar na Figura 34 uma redução de 6,6% e 6,8% respectivamente em abril e junho de 2020 em relação ao mesmo período de 2019 e uma redução ainda maior de 11,0% para o mês de maio de 2020 em relação a maio de 2019.

Figura 32 – Consumo na rede no 1º semestre (TWh) do Brasil do ano de 2020 em relação a 2019

(valores preliminares)



Brasil. Consumo na rede por classe (janeiro-maio)



Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

Pode se observar na Figura 34 uma redução de 4,5% entre o 1º semestre de 2020 e o ano anterior no mesmo período. No consumo de classes, a comercial e a industrial sofreram maiores reduções, a residencial teve um leve aumento, todas essas variações são reflexos das medidas de confinamento.

5.1 Impactos da COVID-19 em 2020 na geração elétrica FV no Brasil

No cenário de incertezas do primeiro semestre de 2020, houve uma redução da carga de modo expressivo, a geração elétrica nacional é influenciada, diretamente, pela disponibilidade dos seus respectivos recursos por período, dada sua matriz predominantemente renovável.

A Figura 35 mostra o gráfico comparativo da geração total de energia elétrica dos primeiros semestres dos anos de 2019 e 2020.

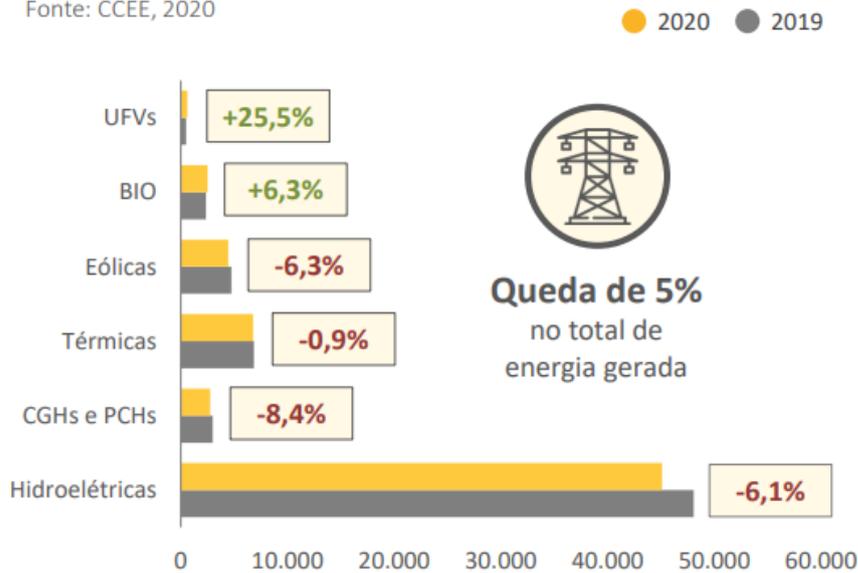
É possível verificar uma queda expressiva na geração em hidroelétricas de -6,1% e em CGHs e PCHs de -8,4% visto a um primeiro semestre com disponibilidade hídrica

desfavorável. Além disso, é possível observar uma redução de -6,3% da participação da geração eólica, sendo justificado por ventos muito abaixo da média no Nordeste nos primeiros meses de 2020.

Porém, é importante destacar o expressivo crescimento e destaque das Usinas Fotovoltaicas UFVs na participação da geração elétrica nacional com um aumento de quase 26%, influenciado por novas instalações realizadas com aumento de +800 MW.

Figura 33 – Geração nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MWmed)

Fonte: CCEE, 2020



FONTES RENOVÁVEIS SÃO DOMINADAS PELO RECURSO:

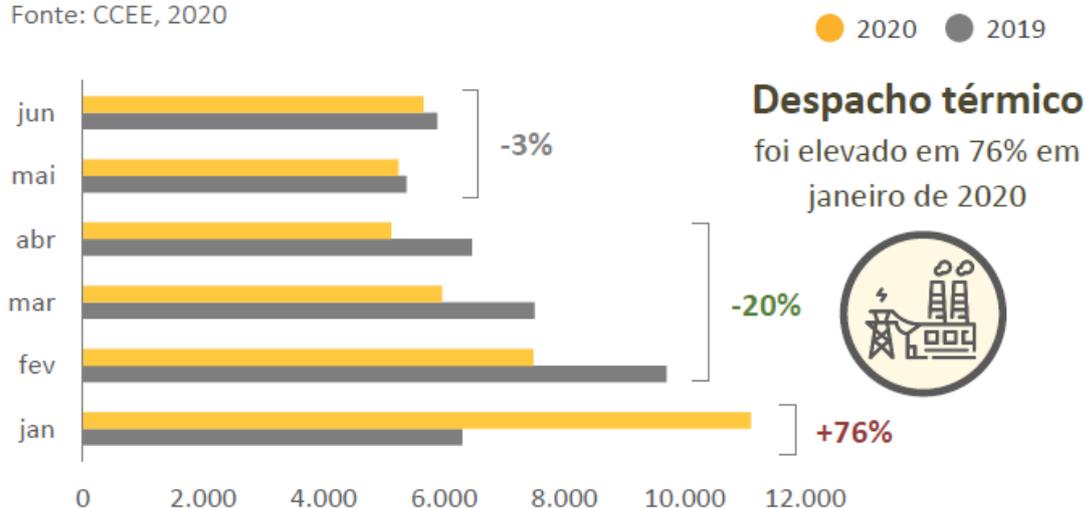
- UFV – instalação de +800 MW em novas usinas
- EOL – ventos muito abaixo da média no Nordeste no 1º tri
- PCH – hidrologia desfavorável no Sul

Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

A Figura 36 mostra o gráfico comparativo da geração térmica dos primeiros semestres dos anos de 2019 e 2020. Como comentado no parágrafo anterior, os primeiros meses de 2020 foi caracterizado por uma hidrologia baixa, ventos abaixo da média e um crescimento da contribuição da energia solar fotovoltaica. Porém, em janeiro de 2020 foi necessário recorrer as termelétricas de forma expressiva. É possível observar um alto despacho térmico, comparado a 2019. Isso não tem influencia da pandemia, mas sim da disponibilidade dos recursos de outras fontes energéticas como da geração eólica e geração por hidroelétricas (BALANÇO COVID-19, 2020).

Figura 34 – Geração térmica nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (MWmed)

Fonte: CCEE, 2020



FONTES RENOVÁVEIS SÃO DOMINADAS PELO RECURSO:

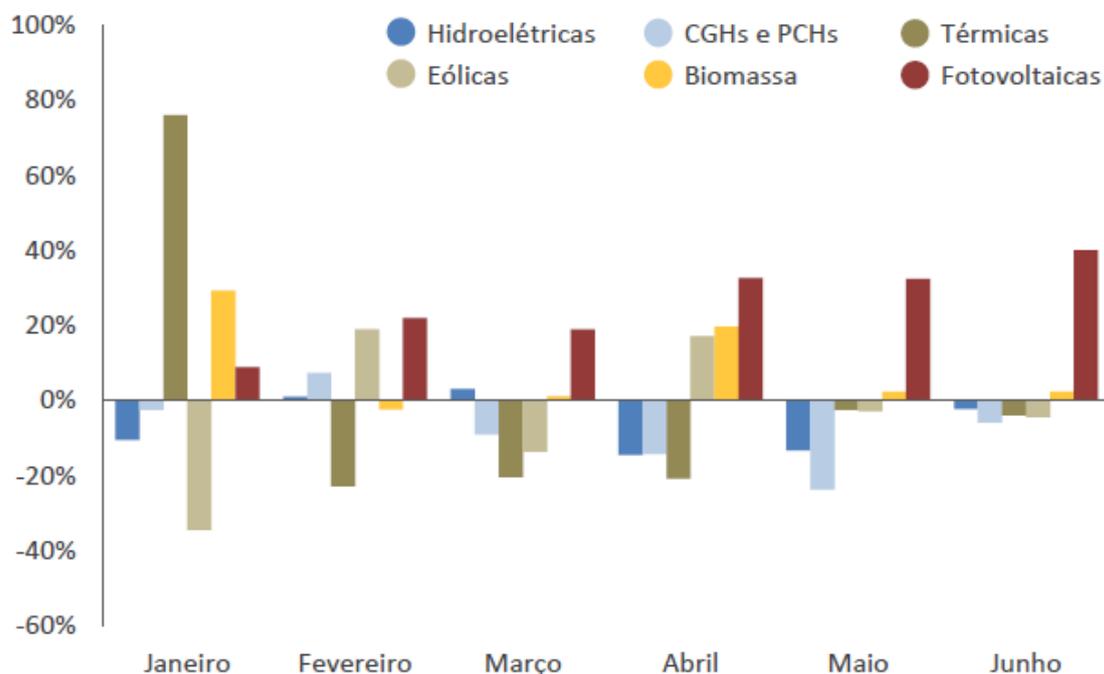
- UFV – instalação de **+800 MW** em novas usinas
- EOL – ventos muito abaixo da média no Nordeste no 1º tri
- PCH – hidrologia desfavorável no Sul

Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

A Figura 37 mostra o gráfico da variação da geração nos primeiros semestres dos anos de 2019 e 2020 de acordo com as fontes. A partir dela é possível destrinchar os 6 primeiros meses do ano de 2020 e entender quais fontes tiveram influencia em cada período.

Figura 35 – Variação na geração nos primeiros semestres de 2019 e 2020 (%)

Fonte: CCEE, 2020



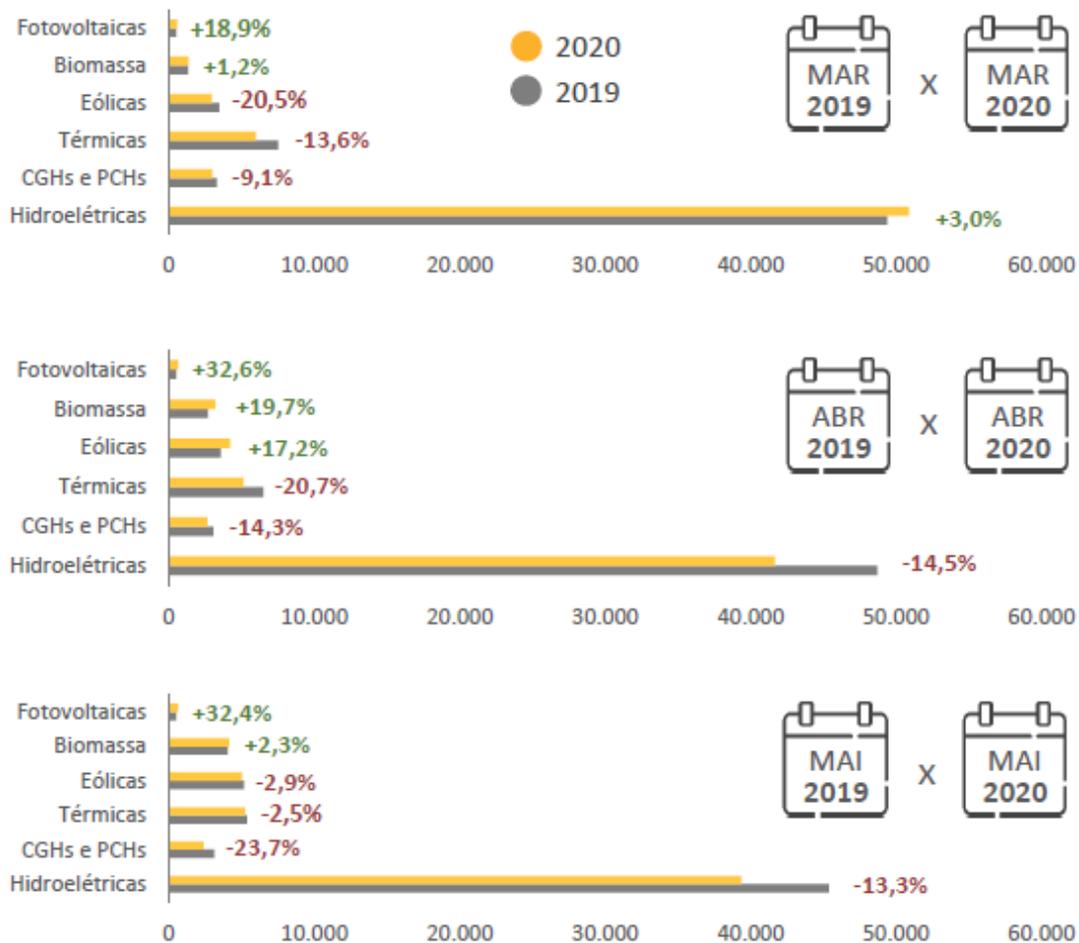
Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

De acordo com o gráfico da Figura 37 pode-se observar um avanço expressivo e contínuo da geração a partir da energia solar fotovoltaica, com o maior patamar alcançado em junho. Enquanto as outras fontes, como hidroelétricas, eólicas, térmicas e biomassa, tiveram grandes variações, chegando a reduções na participação, a energia solar fotovoltaica conseguiu alcançar um crescimento contínuo, o que é bastante satisfatório para o desenvolvimento da mesma em busca de espaço no mercado energético.

A Figura 38 mostra o gráfico comparativo da geração em março, abril e maio de 2019 e 2020 de acordo com as fontes.

Figura 36 – Comparação da geração em Março, Abril e Maio de 2019 e 2020 (%)

Fonte: CCEE, 2020



Fonte: Balanço Covid-19, 2020.

De acordo com o gráfico da Figura 38 pode se observar um aumento expressivo em percentual do crescimento das fontes fotovoltaicas no comparativo dos meses de março, abril e maio dos anos de 2019 e 2020.

Diante dos dados apresentados para o primeiro semestre de 2020 é possível analisar que a Energia Solar Fotovoltaica teve um bom destaque na matriz energética brasileira. O mercado fotovoltaico se mostrou resistente a crise e passa perspectivas de crescimento para o segundo semestre de 2020. Isso não quer dizer que o setor não foi afetado pela crise do covid-19, porém é notório o crescimento da geração solar dentro do setor energético brasileiro (ABSOLAR, 2020).

6. CONCLUSÃO

O estudo analisou o BEN 2020 e o Balanço Covid-19, contextualizando a matriz nacional, relatando as alterações de sua composição detalhada ao longo e a participação das fontes não renováveis e renováveis, com um crescente aumento da participação da energia solar dentro das fontes renováveis nos anos de 2018, 2019 e o primeiro semestre de 2020.

A Matriz Energética Nacional em 2019 deu destaque na sua alteração para a participação das fontes renováveis, que tiveram papel fundamental para o incremento de 1,4% na oferta interna de energia. A Geração Distribuída teve um aumento, em 2019, de 169% com destaque da energia solar fotovoltaica com 1.992 MW de potência instalada (92% do total). A Energia Solar Fotovoltaica fechou 2019 com Potência Instalada média em 4,5 GW (Geração Distribuída + Geração Centralizada) e segue em crescimento com uma maior aceitação da mesma no mercado e com investimentos e políticas voltadas para o setor, a Energia Solar Fotovoltaica tem perspectivas positivas de crescimento e possui destaque como uma das fontes mais promissoras no Brasil dentre as fontes renováveis.

Dessa forma, conclui-se a importância de analisar esses relatórios com frequência e defender o estudo e desenvolvimento da fonte solar dentro do mercado energético nacional, visto que a diversificação da matriz energética brasileira está em progresso, com destaque da energia solar fotovoltaica com participação tímida de 1% na matriz energética nacional, mesmo com o aumento de 92,2%.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR. **Fundamentos da energia solar passam no teste da pandemia**. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/noticia/fundamentos-da-energia-solar-passam-no-teste-da-pandemia/>>. 2020. Acesso em: 01 set. 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (BRASIL). **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas**. Disponível em: <<http://aneel.gov.br/proinfra>>. 2020. Acesso em: 01 set. 2020.
- CARVALHO, E. F. A.; CALVETE, M. J. F. **Energia Solar: Um passado, um presente... um futuro auspicioso**. Revista Virtual de Química. v. 2, p.192-203, 2010.
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO. **Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos**. Recife, 2000. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf>. Acesso em: 05 out. 2020.
- DI SOUZA, R. **Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): O Guia 100% Completo**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>>. 2017. Acesso em 10 set. 2020.
- DI SOUZA, R. **Sistema Fotovoltaico Off-Grid (Isolado): Você acha que sabe tudo?**. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/>>. 2016. Acesso em 10 set. 2020.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (Brasil). **Quem somos**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/a-epe/quem-somos>. Acesso em: 10 de out. de 2021.
- _____. **Balanco Covid-19: Primeiro semestre do ano base 2020**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-500/Balanco_Covid-19%20rev.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.
- _____. **Balanco Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 10 out. 2020.
- _____. **Matriz Energética Nacional 2020: Ano base 2019**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 10 out. 2020.
- _____. **Relatório Síntese do Balanco Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 10 out. 2020.
- GÓMEZ, J.M.R.; CARLESSO, F.; VIEIRA, L.E.; SILVA, L. **A irradiância solar: conceitos básicos**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo. v. 40, 2018.

NASCIMENTO, H. S. DO. **Produção de biogás através da co-digestão de resíduos orgânicos com bagaço de malte**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Biotecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

NOVAIS, J.W.Z. *et. al.* **Variação horária e sazonal da radiação solar incidida e refletida e suas relações com variáveis micrometeorológicas no Pantanal Norte Mato-Grossense**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, São Paulo. v. 38, p. 96-108, 2015.

PORTAL SOLAR. **Geração Distribuída de Energia – GD**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>>. 2020. Acesso em 01 set. 2020.

PORTAL SOLAR. **Usina Solar no Brasil**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/usina-solar.html>>. 2020. Acesso em 01 set. 2020.

PINHO, J. T *et. al.* **Manual de Engenharia para Sitemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES, 2014

SANTANA, F. S. **Projeto de um Sistema de Geração Fotovoltaica para a UFRJ**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2014.

VILLALVA, M.G.; GAZOLI, J. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. São Paulo: Erica, 2012.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. v.2. São Paulo: Erica, 2015.

WWF-Brasil – Fundo Mundial para a Natureza. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. Supernova Design, 2015.