



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO: ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



LUCAS MAGALHÃES TATAGIBA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA E O DESAFIO DA REDUÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL**

OURO PRETO

2023

LUCAS MAGALHÃES TATAGIBA

**ENERGIA FOTOVOLTAICA E O DESAFIO DA REDUÇÃO DE IMPACTOS
AMBIENTAIS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. DSc. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino

OURO PRETO

2023



FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Magalhães Tatagiba

Energia fotovoltaica e o desafio da redução de impactos ambientais para o desenvolvimento sustentável no Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 06 de janeiro de 2023

Membros da banca

D.Sc. Bruna de Fátima Pedrosa Guedes Flausino - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto
D.Sc. Cristiano Luís Turbino de Franca e Silva - Universidade Federal de Ouro Preto
M.Sc. Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau - Universidade Federal de Ouro Preto

[Digite o nome do orientador (apenas a primeira letra de cada nome maiúscula)], orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em XX/XX/XXXX



Documento assinado eletronicamente por **Bruna de Fatima Pedrosa Guedes Flausino, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/01/2023, às 09:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fidellis Bitencourt Gonzaga Louzada e Estanislau, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/01/2023, às 11:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Luis Turbino de Franca e Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/01/2023, às 11:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0454127** e o código CRC **F0D58949**.

Este trabalho é dedicado à Deus e à minha família que me ensinou o que é amar, e meus maiores incentivadores. Em especial à minha mãe pelo amor, cuidado, esforço e suporte, aos meus avós: Vó Dulce, Vó Iris, Vô Celso (in memoriam) e Vô Gerson (in memoriam), aos meus irmãos pela amizade e companheirismo, ao Pedro pelo amor e por todos os ensinamentos, aos meus tios por serem meus segundos pais, à Camila, minha noiva, por todo amor e toda força, e a todos que torceram e contribuíram de alguma forma para essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Escola de Minas e a UFOP por me proporcionarem um estudo de qualidade e experiências que mudaram minha vida. E também a todos os professores do DEPRO que tive a honra de ser aluno, em especial a Professora Bruna, minha orientadora que tanto teve paciência e me ajudou. Quero também agradecer a todos meus amigos e irmãos de Ouro Preto, em especial ao pessoal da Quitanda do Seu Chico, ao Israel, ao Márcio, a turma do período 09.1, aos colegas da Engenharia de Produção, à Dri da Seção de Ensino, à Dra Sandra Augusta, e a todos irmãos, ex-alunos e homenageados e meus amigos da República Quitandinha, em especial a geração que eu tive o prazer de conviver que foram essenciais nessa jornada de me tornar um ser humano melhor.

RESUMO

A demanda por energia elétrica é uma realidade crescente. Nesse sentido, diversas alternativas para suprir essa demanda são procuradas. Assim, as energias renováveis ganham destaque, seja pela preocupação com a possibilidade de uma exploração em maior escala, seja com a redução dos gases do efeito estufa. Destacando-se ainda mais pelo potencial de geração de energia fotovoltaica por conta da incidência de radiação solar do país, que vai de 4,64 kWh/m² a 5,49 kWh/m² diariamente, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2021, as hidrelétricas ainda compõem 65,2% da matriz brasileira, seguida da biomassa, com 9,1% e a eólica com 8,8% a solar representa somente 1,7%. Pode-se observar que comparativamente o local menos ensolarado do Brasil tem a capacidade de gerar mais eletricidade a partir da energia solar do que o mais ensolarado da Alemanha, que é um dos países destaque na utilização dessa modalidade de energia. Esse trabalho de conclusão de curso, por meio de análises de artigos disponibilizados em bancos de dados, órgãos governamentais e notícias, traz um panorama das energias renováveis e seus conceitos. Foi dado um maior destaque à energia fotovoltaica, analisando os aspectos para redução dos impactos ambientais e os desafios e perspectivas da energia no Brasil. De forma específica esse trabalho identificou quais são as energias limpas e renováveis mais aplicadas, eólica e solar, no Brasil e seu estágio atual em relação a outros países; analisou como o Brasil está em relação ao Sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU; nota-se uma tendência decrescente no preço para implementação da energia fotovoltaica.

PALAVRAS-CHAVE: energia solar; energia fotovoltaica; energia renovável; Objetivo de Desenvolvimento Sustentável; Brasil.

ABSTRACT

The demand for electricity is a growing reality. In this sense, several alternatives to meet this demand are sought. Thus, renewable energies gain prominence, either because of the concern with the possibility of exploitation on a larger scale, or with the reduction of greenhouse gases. Standing out even more for its potential for generating photovoltaic energy due to the incidence of solar radiation in the country, which ranges from 4.64 kWh/m² to 5.49 kWh/m² daily, according to the Brazilian Atlas of Solar Energy. According to the 2021 National Energy Balance, hydroelectric plants still make up 65.2% of the Brazilian matrix, followed by biomass, with 9.1% and wind with 8.8%, solar representing only 1.7%. It can be observed that, comparatively, the less sunny place in Brazil has the capacity to generate more electricity from solar energy than the sunniest place in Germany, which is one of the countries that stands out in the use of this type of energy. This course completion work, through analysis of articles available in databases, government agencies and news, brings an overview of renewable energies and their concepts. Greater emphasis was given to photovoltaic energy, analyzing aspects for reducing environmental impacts and the challenges and prospects for energy in Brazil. Specifically, this work identified which are the most applied clean and renewable energies, wind and solar, in Brazil and its current stage in relation to other countries; analyzed how Brazil is in relation to the UN's Seventh Sustainable Development Goal; there is a downward trend in the price for the implementation of photovoltaic energy.

Key words: solar energy; photovoltaic energy; renewable energy; Sustainable Development Goal; Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Síntese dos níveis de irradiação solar por região.....	14
Figura 2. Síntese da Produção dos Indicadores Globais – Objetivo 7 (%).....	20
Figura 3. Status do Brasil de acordo com o Objetivo 7	20
Figura 4. Potencial de Geração Solar Fotovoltaica – Rendimento Energético Anual (kWh/kWp.ano).....	25
Figura 5. Potencial de Geração Solar Fotovoltaica – Rendimento Energético Mensal(kWh/kWp.mês)	26
Figura 6. Potência instalada em operação no país.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relatório do Objetivo 7 no Brasil - Status dos Indicadores	21
Tabela 2. Custo estimado para implantação das fontes renováveis de energia (EPE, 2021).	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1. Objetivo Geral	9
1.2. Objetivos Específicos.....	10
1.3. Metodologia.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Energia Limpa e Energia Renovável	11
2.2. Aquecimento Global e a Produção de Energia.....	11
2.3. Energia Renovável na Redução dos Impactos Ambientais e Fonte Energética para um Futuro Sustentável	12
2.4. Energia Renovável e a Matriz Energética Brasileira	17
2.5. Brasil e o Sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU.....	17
2.6. Custos da Produção de Energia Limpa.....	22
2.7. Energia Solar Fotovoltaica.....	22
2.8. Características operacionais de sistemas fotovoltaicos	26
2.9. Impacto Ambiental da Energia Solar Fotovoltaica	28
2.10. Atualização da posição da energia solar fotovoltaica na matriz brasileira	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea depende de energia elétrica, e a tendência é que essa dependência se torne cada vez maior. Esse fato traz preocupações como: De onde vem as fontes energéticas? Quais os impactos provocados por elas e haverá fonte suficiente para as demandas futuras? Haverá recurso suficiente para as demandas futuras? Atualmente, a maior parte da matriz energética vem de fontes consideradas não renováveis, como as vindas de combustíveis fósseis. Entretanto, outras alternativas, consideradas renováveis, como a solar, vêm se mostrando como fontes viáveis.

Teoricamente, a exploração de energias renováveis gera menos poluentes: quando comparada a eletricidade advinda de combustíveis fósseis, como o carvão. Por esse motivo, as energias renováveis, são um vetor especial da luta contra o aquecimento global. Um aspecto importante das energias renováveis é que elas podem ser aplicadas e exploradas localmente, o que ajuda a reduzir a dependência da população de grandes produtores de energia, favorecendo o desenvolvimento econômico e a criação de empregos. Elas também são consideradas um fator de resiliência contra o aquecimento do planeta, auxiliando na mitigação da emissão dos GEE.

A principal diferença entre energias não renováveis e energias renováveis é que suas fontes são limitadas em quantidade, afinal demoram milhões de anos para se formarem. Já as fontes de energias renováveis têm a capacidade de se regenerar quase tão rápido quanto são usadas. Além disso, as energias não renováveis emitem grande parte dos gases de efeito estufa e poluentes na atmosfera no processo de geração de energia por combustão pois contêm, entre outros, materiais fósseis, como petróleo, carvão mineral e óleo combustível.

A ONU desenvolveu dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável, que devem ser cumpridos pelos países participantes até 2030. O Brasil faz parte dessa lista de países e, como podemos ver, falta muito a se fazer para atingir todos os objetivos inerentes à garantia de acesso a todos a serviços de energia confiáveis, sustentáveis e modernos a um custo acessível. Nesta perspectiva, surge a seguinte questão: Como a energia solar fotovoltaica, ou simplesmente fotovoltaica, impacta no meio ambiente?

Espera-se comprovar que a produção de energia fotovoltaica pode colaborar com esse processo de recuperação e conservação do meio ambiente, e esta demonstra que, ao longo dos anos, tem tido seus custos reduzidos. A tendência é que tais custos reduzam ainda mais nos próximos anos.

As ameaças ambientais globais, a falta de motivação humana para o cuidado do meio ambiente e, em geral, as diversas notícias e estudos que mostram os problemas ambientais, são fatores que geram preocupação para a busca de estratégias que permitam a conservação e preservação do planeta e da vida. Desse modo, há o alerta sobre a importância dos vários elementos do ambiente que influenciam o complexo processo evolutivo do ser humano.

Esses danos ao planeta, que ameaçam diretamente a vida, devem ser reduzidos. Para a preservação é necessário gerar espaços que permitam o reconhecimento do ambiente, da realidade e de suas formas de proteção, de tal forma que motive a reflexão e desenvolvimento sustentável. É indiscutível a necessidade de conservação e defesa do meio ambiente. Para tanto, é preciso que as pessoas sejam conscientizadas levando essa conscientização para suas práticas cotidianas e para as pessoas do seu convívio.

O potencial de geração fotovoltaica é enorme no Brasil por conta da incidência de radiação solar no território nacional. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, no local menos ensolarado do Brasil, por exemplo, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. A média diária incidência de radiação solar do país varia de 4,64 kWh/m².dia a 5,49 kWh/m².dia, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar.

O Brasil é referência no que se refere a energias renováveis devido a vasta gama de recursos naturais disponíveis de forma abundante. É preciso, então, que investimentos conscientes e políticas eficazes sejam desenvolvidas em prol da conservação do meio ambiente a fim de que, a Agenda 2030 da ONU venha ser cumprida com sucesso, alcançando enfim, um desenvolvimento e um futuro sustentável.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente estudo é apresentar uma visão geral dos principais aspectos sobre o uso de energia renovável para redução dos impactos ambientais e os desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil.

1.2. Objetivos Específicos

De forma específica esse trabalho busca identificar quais são as energias renováveis mais aplicadas no Brasil e seu estágio atual em relação a outros países; estabelecer a relação do sétimo objetivo de desenvolvimento sustentável da ONU com a energia renovável no Brasil; comparar o custo da produção de energia sustentável frente a outros tipos de energias, e por fim, expor quais são os desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil.

1.3. Metodologia

A pesquisa pode ser classificada como bibliográfica exploratória, pois, segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica “é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”.

Para a realização desse trabalho, foram consultados artigos disponibilizados na base de dados google acadêmico. Foram selecionados artigos escritos em português e espanhol. Não houve restrição de data, apesar da predileção por artigos a partir de 2017. Além disso, o banco de dados da Empresa de Pesquisa Energética foi acessado, bem como notícias de jornais disponibilizados online.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Energia Limpa e Energia Renovável

A preocupação com os impactos ambientais gerados na produção de energia fez com que alguns termos ganhassem destaque quando fontes energéticas são referidas. Entre eles, têm destaque os termos limpa, renovável e sustentável. Conceitua-los faz-se necessário para uma melhor compreensão dessas energias, principalmente quando existe a comparação entre elas.

As energias são ditas como renováveis quando podem ser consideradas inesgotáveis, pois se renovam em intensidade que conseguem suprir sua utilização (EPE, 2022)

Em relação à energia de baixo carbono Natt e Carriali (2015), a definem como sendo a energia renovável que não causa impactos ambientais no seu processo de produção. Nesse sentido, é importante compreender que tanto a natureza quanto o processo de produção são complexos e energias muitas vezes ditas como limpas, como a proveniente de hidrelétricas, causam um grande impacto na sua implementação. Portanto, quando o termo limpa é utilizado tem o caráter comparativo, ou seja, produz menos impactos.

2.2. Aquecimento Global e a Produção de Energia

Historicamente, o primeiro homem a se preocupar com a física a respeito da temperatura da Terra foi Jean Baptiste Fourier (1768-1830), ele imaginou que o sol é a principal fonte de calor do planeta e, como ele recebe calor, deveria também devolver parte desse, do contrário a temperatura só se elevaria (Junges et al. 2018).

De fato, a ideia de Fourier está correta, o calor recebido não fica totalmente retido no planeta e boa parte do que fica, só o fica, devido aos chamados gases do efeito estufa (GEE). Esses gases, compostos principalmente por CO₂ e NO₂ absorvem radiação na região do infravermelho, desse modo, a temperatura terrestre não varia bruscamente e é possível a vida como se é conhecida (Junior et al. 2021). A esse fenômeno dá-se o nome de efeito estufa.

Apesar de ser um fenômeno necessário e natural, desde a I Revolução Industrial, ele vem se intensificando devido a intervenções humanas. Isso ocorre devido a intensificação de emissão de gases do efeito estufa, principalmente o CO₂,

em atividades industriais e para a obtenção de energia. Como consequência, houve um aumento de concentração de CO₂ em menos de três séculos de 278 partes por milhão para 393 partes por milhão (Avalá, 2017). Dessa maneira, com essa maior concentração, há a tendência de aumento da temperatura terrestre, o chamado aquecimento global.

As consequências do aquecimento global são variáveis a depender da temperatura média elevada. Segundo o relatório especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), de 2018, uma elevação de 1,5 °C em relação aos níveis antes da I Revolução Industrial tem o potencial de causar chuvas intensas em regiões que normalmente não as recebem, secas e déficit de chuvas em outras, 0,77 m de aumento médio do nível do mar, perda considerável de amplitude de diversas espécies, entre outros.

Fica evidente, portanto, a necessidade de mapear os causadores do aumento desse gás, e, nesse aspecto, a produção de energia desempenha um importante papel, uma vez que, somente no Brasil, segundo o Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2019), o setor foi responsável por 19% das emissões desse gás. Essa necessidade ganha ainda mais destaque quando se considera que a tendência do consumo de energia só tende a crescer, segundo a EPE (2022), a tendência é que esse crescimento seja de 3,5% ao ano na próxima década.

2.3. Energia Renovável na Redução dos Impactos Ambientais e Fonte Energética para um Futuro Sustentável

A ação individual e coletiva do homem impactou o planeta e as formas de vida que nele estão. É também através da sua ação que a humanidade, que contribuiu claramente para a degradação do ambiente, a rápida perda de biodiversidade e as alterações climáticas, terá de encontrar soluções para estes problemas. As energias renováveis oferecem ao planeta uma chance de reduzir as emissões de carbono, uma vez que, caso atualmente 50% da energia fosse proveniente delas, conteria de forma significativa o aquecimento global (Energia Total, 2022).

As energias renováveis são fontes de energia cuja renovação natural é rápida o suficiente para serem consideradas inesgotáveis na escala de tempo humana. Isso é, a velocidade com que a fonte é consumida é menor que a taxa que ela é renovada. Essas vêm de fenômenos naturais cíclicos ou constantes induzidos pelas estrelas: o

Sol principalmente pelo calor e pela luz que gera, mas também pela atração da Lua (marés) e pelo calor gerado pela Terra (energia geotérmica).

Existem os seguintes tipos de energias renováveis: energia solar fotovoltaica; energia solar térmica; energia eólica; energia hidráulica; energia de biomassa; e, energia geotérmica.

Chama-se de energia solar, a energia que pode ser derivada da radiação do sol. A energia solar fotovoltaica deve ser diferenciada da energia solar térmica. A energia solar fotovoltaica é a eletricidade produzida pelas chamadas células fotovoltaicas. Essas células recebem luz solar e são capazes de transformar parte delas em eletricidade. A modularidade conta como um de seus benefícios. De fato, os painéis fotovoltaicos podem ser usados para fins domésticos e também para produção de energia em larga escala (PEREIRA et al., 2006). Esse tipo de energia, segundo Schultz (2021), apresenta a maior parte de suas emissões de gases estufas como associados não ao processo de geração de energia, e sim, as fases anteriores na produção da matéria-prima e instalação, resultando em uma média de emissão de 0,044 kg de CO₂ para cada kWh gerado. Em estudo semelhante, para termoelétricas, segundo Lourenço (2016), a emissão pode chegar a até 0,828 kg para kWh gerado.

Em um sistema solar térmico ou termodinâmico, a radiação solar é usada para aquecer um fluido, água, por exemplo, como em alguns aquecedores de água domésticos. Quando um sistema de concentração - um conjunto de espelhos - é adicionado, o Sol pode aquecer o fluido até cerca de 1.000 ° C e a tecnologia se torna explorável, por exemplo, para a geração de eletricidade. A desvantagem da energia solar é que é uma energia intermitente. Hoje, em qualquer caso, só pode ser explorada quando o sol brilha (PEREIRA et al., 2006). Porém o Brasil apresenta vantagem pela sua posição geográfica que faz com que a incidência de irradiação solar proporcione um alto potencial desse tipo de energia. A incidência média diária é de 4,53 kWh/m².dia a 5,49 kWh/m².dia, de acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Síntese dos níveis de irradiação solar por região



Fonte. Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017).

Os ancestrais das turbinas eólicas são os moinhos de vento. As turbinas eólicas produzem energia - eletricidade, por exemplo, quando acoplada a um gerador - a partir do movimento de massas de ar, explorando assim a energia cinética do vento. Turbinas eólicas podem ser instaladas em terra. Estes são tecnicamente os mais fáceis de imaginar. Mesmo que os espaços que podem ser reservados para eles

possam acabar rapidamente. E o mais eficaz poderia ser turbinas eólicas instaladas no exterior, chamadas turbinas eólicas offshore (MENDONÇA et al., 2012).

Como a energia solar, a energia eólica é intermitente. As turbinas eólicas produzem apenas quando o vento está soprando. Por outro lado, ao contrário dos painéis solares, pode ser difícil instalar uma turbina eólica em seu jardim. A tecnologia é bastante reservada para grandes instalações (MENDONÇA et al., 2012).

Como a energia eólica, as energias hidráulicas (com exceção da energia das marés) têm sua principal origem nos fenômenos meteorológicos e, portanto, na energia solar. O sol causa a evaporação da água, principalmente nos oceanos, e libera parte dela nos continentes em altitudes variadas. A água (de fato, vapor de água) adquire, em altitude, uma energia potencial de gravidade; quando a água cai, parte dessa energia pode ser capturada e transformada em barragens hidrelétricas à medida que a água retorna aos oceanos. Antes do advento da eletricidade, os moinhos de água eram capazes de capturar essa energia mecânica para acionar má/quinas ou ferramentas (máquinas de tecer, moinhos para moer trigo, etc.)

(GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Desde a invenção da eletricidade, a energia mecânica pode ser transformada em energia elétrica. A energia hidráulica refere-se à energia que pode ser obtida explorando a água. Uma categoria de energia menos sujeita às condições climáticas, mas que permanece reservada para uma grande produção. Nas energias hidráulicas, encontram-se barragens que liberam grandes quantidades de água nas turbinas para produzir eletricidade. (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). Tal independência às condições climáticas realmente é maior no caso das UHE, porém com a expansão do uso da fonte hídrica ocorre também pelo uso de pequenas centrais hidrelétricas (PCH), centrais geradoras hidrelétricas (CGH) e usinas à fio d'água que não possuem reservatório. Portanto, estas estão tão sujeitas às variações climáticas quanto a solar e a eólica.

A energia das marés que joga com a energia potencial das marés, é uma energia relacionada às diferenças nos níveis de água e correntes que elas induzem. A energia das marés explora as correntes marinhas, bem como da energia cinética de ondas e a energia térmica que pode ser extraída - de maneira cuidadosa para evitar qualquer perturbação dos fluxos naturais dos mares - da diferença de temperatura entre as águas profundas e superficiais. A energia osmótica que produz eletricidade,

graças à diferença de pressão que gera a diferença de salinidade entre a água do mar e a água doce.

A biomassa pode se tornar uma fonte de calor, eletricidade ou combustível. Várias técnicas podem ser usadas para extrair energia dela: combustão, gaseificação, pirólise ou metanação, por exemplo. A energia de biomassa pode ser produzida localmente. Mas, em alguns casos, é preciso ter cuidado para que não concorra com a cadeia alimentar.

A biomassa tem origem em resíduos sólidos urbanos — animais, vegetais, industriais e florestais — e, voltada para fins energéticos, abrange a utilização desses vários resíduos para a geração de fontes alternativas de energia. Apresenta diferentes tecnologias para o processamento e transformação de energia, mas todas as tecnologias de biomassa atualmente usadas no mundo possuem dois problemas cruciais: o custo da biomassa e a eficiência energética de sua cadeia produtiva (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008)

A energia geotérmica é uma energia renovável derivada da extração de energia contida no solo. Esse calor resulta essencialmente do decaimento radioativo dos isótopos instáveis contidos nas rochas. Pode ser usado para aquecimento, mas também para a produção de eletricidade. É uma das únicas energias que não dependem das condições atmosféricas. Por outro lado, depende da profundidade de onde é extraída (MOCK, 1997 apud VICHIR; MANSOR, 2009).

A energia geotérmica profunda - cerca de 2.500 metros entre 150 e 250 °C - possibilita a produção de eletricidade. A energia geotérmica média - nos depósitos de água, especialmente de 30 a 150 °C - alimenta as redes de calor urbanas. Energia geotérmica com energia muito baixa - entre 10 e 100 metros de profundidade e abaixo de 30 °C - é a que é explorada pelas bombas de calor. Note-se, no entanto, que, para que a energia geotérmica seja sustentável, a taxa na qual o calor é extraído não deve exceder a velocidade com que viaja para o interior (VICHIR; MANSOR, 2009).

As energias renováveis possuem uma taxa de emissão de gases do efeito estufa menor por energia gerada quando comparadas a fontes tradicionais, como as termoelétricas que geram energia a partir de recursos fósseis. Desse modo, elas apresentam um grande potencial de investimento para países que se comprometem na diminuição da emissão desses gases. Como exemplo, encontra-se como meta selada na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP26), o

acordo de mais de 70 países para não utilizarem mais energia proveniente do carvão mineral (CNN, 2021).

2.4. Energia Renovável e a Matriz Energética Brasileira

O Brasil tradicionalmente possui uma forte dependência da energia proveniente de hidrelétricas para a geração de energia elétrica, entretanto, devido a crises energéticas, principalmente ao chamado “apagão” em 2001, diversas tentativas de diversificar a matriz vem sendo feitas. Entretanto, segundo o Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional (BEN), 2021, as hidrelétricas ainda compõem 65,2% da matriz. Um número elevado, mas, em 2000 esse percentual era de 94,11% (Castro, 2010). Ainda, segundo o BEN, 2021, depois da energia hidrelétrica, segue a biomassa, com 9,1% e a eólica com 8,8% a solar representa somente 1,7%.

Apesar do valor absoluto pequeno da energia solar, é interessante ressaltar que o país possui um alto potencial para a geração desse tipo de energia, a Alemanha, que possui metade do potencial brasileira para a energia solar, tem 12% de sua matriz representada por ela (CFA, 2021). Além disso, esse percentual era quase inexistente há uma década atrás, passando a ser possível graças a diminuição do custo dessa energia, que caiu 89% em 10 anos (Época, 2020).

2.5. Brasil e o Sétimo Objetivo de Desenvolvimento Sustentável da ONU

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), também conhecidos como Objetivos Mundiais, foram adotados por todos os Estados-Membros em 2015 como um apelo universal ao fim da pobreza, proteger o planeta e garantir que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade até 2030. Os dezessete ODS são integrados, pois reconhecem que as intervenções em uma área afetarão os resultados de outras e que o desenvolvimento deve equilibrar a sustentabilidade ambiental, econômica e social (IPEA, 2019).

As negociações que culminaram na adoção, em setembro, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) foram concluídos em agosto de 2015 por ocasião da Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável. Processo iniciado em 2013, de acordo com o mandato emitido pela Conferência Rio+20, os ODS devem

orientar as políticas nacionais e as atividades de cooperação internacional, sucedendo e atualizando os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) (IPEA, 2019).

O Brasil participou de todas as sessões de negociação intergovernamental. Foi alcançado um acordo que contém dezessete objetivos e cento e sessenta e nove metas, envolvendo questões diversificadas, como erradicação da pobreza, segurança alimentar e agricultura, saúde, educação, igualdade de gênero, água e saneamento, energia, crescimento econômico sustentável, infraestrutura, redução desigualdades, cidades sustentáveis, padrões sustentáveis de produção e consumo, mudanças climáticas, proteção e uso sustentável dos oceanos e ecossistemas terrestres, sociedades pacíficas, justas e inclusivas e meios de implementação (IPEA, 2019).

O Brasil tem um papel importante a desempenhar na promoção da Agenda 2030. As inovações brasileiras em termos de políticas públicas também são vistas como contribuições para a integração das dimensões econômica, social e ambiental do desenvolvimento sustentável (LOSEKANN; HALLACK, 2018).

Nosso país tem atuado no ODS 7 com ações governamentais, como a recente política de Estado, Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), para o uso de biocombustíveis, como o biogás, o etanol e o biodiesel, que, por utilizarem a biomassa como matéria-prima, são renováveis e podem ser produzidos em diferentes regiões do País, inclusive naquelas mais afastadas das refinarias de petróleo, além de serem alternativas de menor impacto ambiental. Algumas ações foram iniciadas décadas atrás, como o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), de 1975, que alavancou o uso do etanol e culminou com a tecnologia dos carros flex, e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), de 2004. Hoje, a gasolina e o diesel contêm, respectivamente, 27% de etanol e 8% de biodiesel em sua composição, com perspectivas de aumento do primeiro para 40% e do segundo, para 10% (REN21, 2017).

A coordenação nacional no âmbito da Agenda 2030 e dos ODS resultou no documento "Elementos Orientadores da Posição Brasileira", elaborado a partir do trabalho de seminários com representantes da sociedade civil; de escritórios com representantes das entidades municipais organizados pela Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República e pelo Ministério das Cidades; e das deliberações do Grupo de Trabalho Interministerial sobre a Agenda 2030, que reuniu 27 ministérios e órgãos da administração pública federal (IPEA, 2019).

Após negociações e revisão de duplicatas dos Objetivos e Metas de Desenvolvimento Sustentável, a Comissão Estatística da ONU elaborou uma lista de 232 indicadores de monitoramento, em uma reunião realizada de 7 a 10 de março de 2017. A própria ONU publica parcialmente uma série de dados, contando com suas agências especializadas. Os 232 indicadores definidos não são, portanto,

necessariamente aplicáveis a todos os contextos nacionais, devido às características específicas de cada país (IPEA, 2019).

Dentre os ODS, o sétimo objetivo foi estabelecido para garantir o acesso de todos a serviços de energia confiáveis, sustentáveis e modernos a um custo acessível, mediante a promoção do aumento do uso de energias renováveis, incluindo a cooperação e o desenvolvimento internacional para infraestruturas e tecnologias de energia limpa (IPEA, 2019).

A proporção da população mundial com acesso à eletricidade aumentou de 79% em 2000 para 85% em 2012. Apesar dessas melhorias, 1,1 bilhão de pessoas ainda estavam privadas deste serviço essencial em 2012. Em 2014, cerca de três bilhões de pessoas, mais de 40% da população mundial, dependia de combustíveis poluentes para cozinhar (IPEA, 2019).

As energias renováveis modernas aumentaram rapidamente, a uma taxa anual de 4% entre 2010 e 2012. A intensidade energética global melhorou 1,3% ao ano em relação a 2000 até 2012. Quase 68% da economia de energia alcançada entre 2010 e 2012 vieram de regiões em desenvolvimento, leste da Ásia sendo o colaborador mais importante. A questão energética está subjacente a muitos objetivos de desenvolvimento sustentável. Ainda hoje, mais de um bilhão de pessoas não têm acesso à eletricidade e 40% da população usa apenas madeira, carvão vegetal ou subprodutos animais para cozinhar seus alimentos, causando doenças respiratórias e reação a muitos resíduos (IPEA, 2019).

Assim, enquanto a energia estava ausente nos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, o ODS 7 inclui acesso a serviços modernos de energia que são essenciais para o desenvolvimento. Tendo a intenção de aumentar significativamente a participação de energia renovável no mix de energia, em um momento em que mais de 80% do consumo mundial é baseado em combustíveis fósseis e duplicar a melhoria da eficiência energética (IPEA, 2019).

Energia limpa é toda aquela produzida sem que sejam realizadas novas emissões de gases poluentes. Nesse caso incluem-se as energias eólica, solar/fotovoltaica, geotérmica e hidráulica, além daquelas oriundas da combustão de biomassa e seus resíduos, ou bicombustíveis dela derivados (ex., biogás, etanol, biodiesel), em que o dióxido de carbono emitido volta a ser capturado no cultivo subsequente da biomassa. Atualmente o País tem aumentado de forma expressiva a produção de energia a partir da biomassa, energia eólica e energia solar fotovoltaica, com crescente relevância em regiões mais remotas onde não há energia elétrica disponível (REN21, 2017).

No Brasil, no que se refere ao sétimo objetivo de Desenvolvimento Sustentável, cerca de 65% dos indicadores globais já foram produzidos, quase 20% dos indicadores não possuem dados sobre o andamento de sua produção e 15% não possuem uma metodologia global (Figuras 2 e 3) (BRASIL, 2019).

Figura 2. Síntese da Produção dos Indicadores Globais – Objetivo 7 (%)



Figura 3. Status do Brasil de acordo com o Objetivo 7



O indicador 7.b.1, que se refere a investimentos em eficiência energética, em percentagem do PIB, e montante de investimento direto estrangeiro em transferências financeiras para infraestruturas e tecnologias para serviços de desenvolvimento sustentável, não possui nenhuma metodologia em andamento e nenhuma atualização de progresso, bem como o indicador 7.a.1, que se refere aos fluxos financeiros internacionais para países em desenvolvimento para apoio à pesquisa e desenvolvimento de energias limpas e à produção de energia renovável, incluindo sistemas híbridos, que também não possui nenhum dado nem atualização de progresso (Tabela 1) (BRASIL, 2019).

Indicador 7.3.1 que se refere a intensidade energética medida em termos de energia primária e de PIB já foi produzido, de acordo com atualização feita no dia 21 de dezembro de 2017. O indicador 7.2.1 inerente a participação das energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE) também já foi produzido, de acordo com atualização feita no dia 30 de setembro de 2019. O indicador 7.1.2 inerente a percentagem da população com acesso primário a combustíveis e tecnologias limpas também já foi produzido, de acordo com atualização feita no dia 11 de janeiro de 2018. E por fim, o indicador 7.1.1 que condiz com a percentagem da população com acesso

à eletricidade, também já foi produzido, de acordo com atualização feita no dia 30 de setembro de 2019 (Tabela 1) (BRASIL, 2019).

Tabela 1. Relatório do Objetivo 7 no Brasil - Status dos Indicadores

Indicador	Status	Data Atualização
Indicador 7.b.1: Investimentos em eficiência energética, em percentagem do PIB, e montante de investimento direto estrangeiro em transferências financeiras para infraestruturas e tecnologias para serviços de desenvolvimento sustentável.	Sem metodologia	-
Indicador 7.a.1: Fluxos financeiros internacionais para países em desenvolvimento para apoio à pesquisa e desenvolvimento de energias limpas e à produção de energia renovável, incluindo sistemas híbridos	Sem dados	-
Indicador 7.3.1: Intensidade energética medida em termos de energia primária e de PIB	Produzido	21/12/2017
Indicador 7.2.1: Participação das energias renováveis na Oferta Interna de Energia (OIE)	Produzido	30/09/2019
Indicador 7.1.2: Percentagem da população com acesso primário a combustíveis e tecnologias limpas	Produzido	11/01/2018
Indicador 7.1.1: Percentagem da população com acesso à eletricidade	Produzido	30/09/2019

Fonte. BRASIL (2019).

A definição de indicadores que serão associados às futuras metas de desenvolvimento sustentável para o período pós-2015 é de grande importância. Muito trabalho foi feito sobre indicadores "alternativos" que melhor levem em conta os aspectos humanos, sociais e ambientais do desenvolvimento. Há muito ainda o que se fazer para cumprir com os indicadores que conduzirão ao cumprimento da Agenda 2030.

2.6. Custos da Produção de Energia Limpa

Globalmente, o mercado de energia solar é dominado pela China, Estados Unidos e Europa. Na América Latina - que possui imensos recursos energéticos, tanto fósseis quanto renováveis - Brasil, México, Chile e Uruguai são os países que optaram por energia limpa. No Peru há avanços e pausas. O investimento da América Latina em energia renovável é notável, e, mesmo depois de uma queda em durante a pandemia do COVID-19, tem se recuperado obtendo um investimento total de quase 20 bilhões de dólares (Cabello, 2022).

No total, as energias renováveis representam 30% da energia primária da América Latina, o que a torna uma das áreas em que é feito mais uso de fontes limpas em todo o mundo. Percentagem interessante em comparação com 9% de todos os países que compõem a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). No entanto, ainda há dúvidas quanto ao investimento considerável em energia limpa na região. Por um lado, há falta de decisão política por parte dos governos e, por outro, há pressão das indústrias que pretendem continuar com os combustíveis fósseis. Os últimos argumentam que não recuperariam seus investimentos em breve e que os lucros também atrasariam. Em suma, é caro ser renovável (WWF, 2012).

2.7. Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica (ou energia solar fotovoltaica ou EPV) é a energia elétrica produzida a partir da radiação solar através de painéis solares fotovoltaicos ou usinas de energia. Diz-se ser renovável porque sua fonte (o Sol) é considerada inesgotável na escala do tempo humano. No final de sua vida útil, o painel fotovoltaico terá produzido de 20 a 40 vezes a energia necessária para sua fabricação e reciclagem (FADIGAS, 2012).

A célula fotovoltaica, componente eletrônico básico do sistema, utiliza o efeito fotoelétrico para converter as ondas eletromagnéticas (radiação) emitidas pelo Sol em eletricidade. Várias células unidas formam um módulo ou coletor solar fotovoltaico e esses módulos agrupados formam uma instalação solar. A eletricidade é consumida ou armazenada no local, ou transportada pela rede de distribuição e transporte de eletricidade (MATOS, 2006).

A energia solar fotovoltaica é uma questão global afirmada na Conferência de Paris sobre mudanças climáticas de 2015 (COP21) pelo lançamento em novembro de 2015 da International Solar Alliance (ISA) ou "International Solar Alliance" (ISA), uma coalizão responsável pela coordenação solar térmica e políticas de desenvolvimento fotovoltaico para Estados ricos em recursos solares. Seu custo foi dividido por aproximadamente 100 em 40 anos (de 1980 a 2020), permitindo que 2,5% da produção global de eletricidade seja fotovoltaica (681 TWh) em 2019, para 3,1% em 2020 (842 TWh), depois 3,7% (6% na Europa) no final de 2020, de acordo com a Agência Internacional de Energia. O terawatt deve ser ultrapassado em 2023 e, nesse ritmo, a energia solar fotovoltaica chegará a 16% em 2050, mas no que diz respeito às questões climáticas, são necessários 30 a 100 TW antes de 2050.

Em 2019, dos dez principais fabricantes de módulos fotovoltaicos, sete são chineses, um sino-canadense, um coreano e um americano (ALVES, 2019). Em 2020, cinco países respondem por 68,5% da produção global de eletricidade fotovoltaica: China (32%), Estados Unidos (13,9%), Japão (9,3%), Índia (7,3%) e Alemanha (6,0%). Teoricamente, seria necessário o equivalente à produção de uma área fotovoltaica de 100.000 km² (ou seja, a área da Islândia) para cobrir todas as necessidades de eletricidade do mundo.

A produção de corrente por células fotovoltaicas é baseada no princípio do efeito fotoelétrico. Essas células produzem corrente contínua a partir da radiação solar. Então o uso desta corrente contínua difere de uma instalação para outra, dependendo da finalidade da última. Existem essencialmente dois tipos de utilização, um onde a instalação fotovoltaica está ligada a uma rede de distribuição de energia elétrica e outro onde não está (ALMEIDA, 2011).

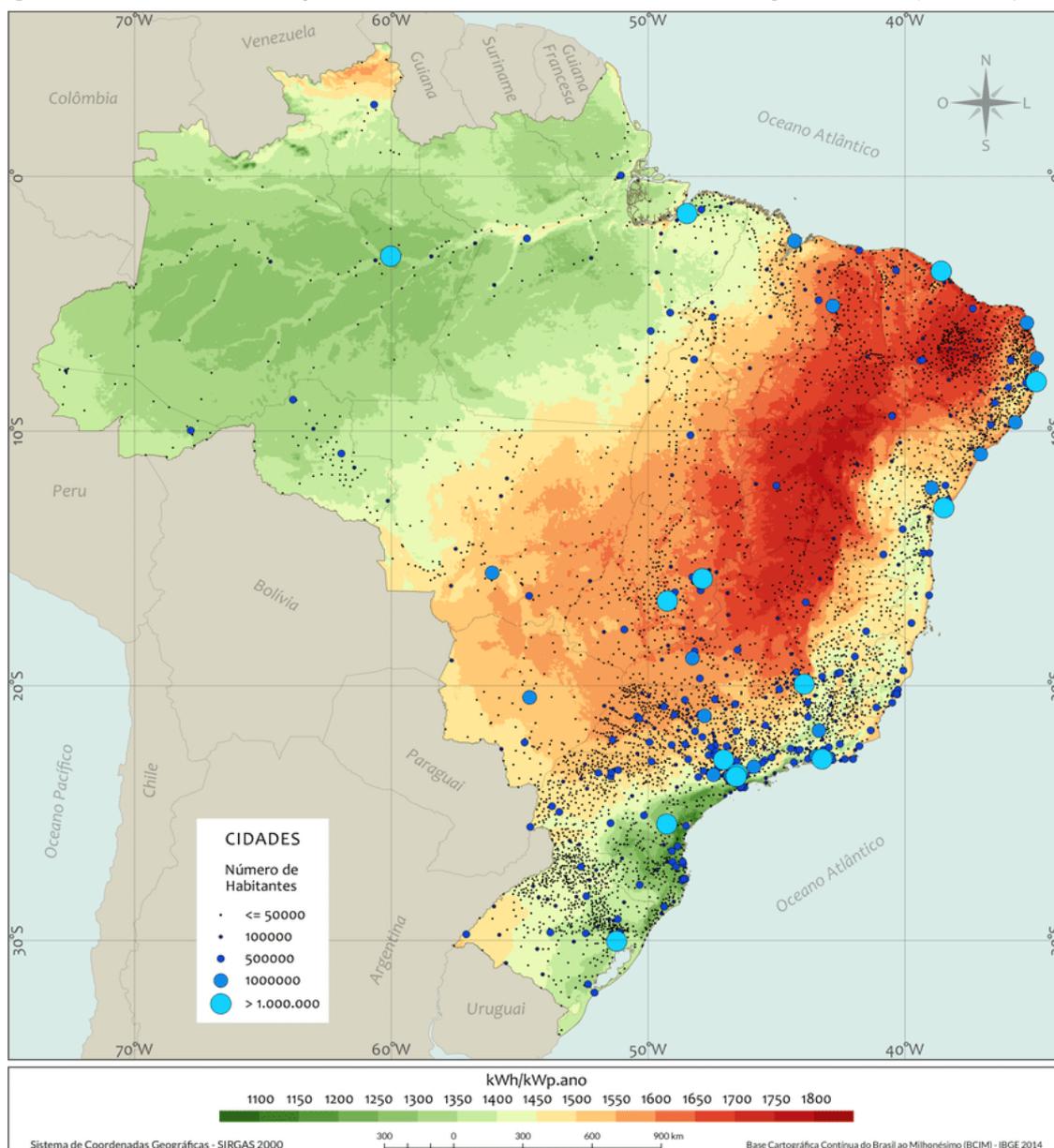
As instalações não conectadas fornecem eletricidade consumida localmente ou por um dispositivo (por exemplo: relógio solar ou calculadora, projetado para operar na presença de luz natural ou artificial). Em menor escala, os locais não ligados à rede elétrica (nas montanhas, nas ilhas ou veleiros, satélite, etc.) As instalações fotovoltaicas também estão conectadas às redes de distribuição de energia elétrica. Nas grandes redes de distribuição, as instalações fotovoltaicas produzem eletricidade e injetam-na na rede através de um inversor que transforma a corrente contínua em corrente alternada com as características da rede (frequência de 50 Hz na Europa ou 60 Hz na América do Norte) (BICALHO; ARAUJO; CARDOSO, 2018).

Existem várias técnicas para módulos solares fotovoltaicos: os módulos solares monocristalinos têm o melhor desempenho por metro quadrado e são usados principalmente quando os espaços são limitados; os módulos solares policristalinos são mais baratos, mas têm menor eficiência; os módulos solares amorfos também têm vantagens, pois podem ser flexíveis e ter melhor rendimento com pouca luz. No entanto, o silício amorfo tem uma eficiência dividida por dois em relação ao cristalino, portanto, esta solução requer uma superfície maior para a mesma potência instalada. No entanto, o preço por metro quadrado instalado é inferior ao dos painéis constituídos por células cristalinas (BICALHO; ARAUJO; CARDOSO, 2018).

Dependendo do tipo de célula fotovoltaica considerada, a natureza renovável desta energia é discutível, pois o fabrico de painéis fotovoltaicos requer energia em grande quantidade, cuja origem é atualmente essencialmente não renovável. De fato, os países que produzem a quase totalidade dos painéis fotovoltaicos instalados no mundo (China, Estados Unidos, Japão, Índia) têm balanços energéticos dominados por energias não renováveis; por exemplo, a China, que produziu 70% dos painéis instalados no mundo em 2018 e obteve 90,8% de sua energia de fontes não renováveis em 2017. A taxa de retorno de energia dos sistemas fotovoltaicos melhorou graças aos avanços tecnológicos. Dependendo das tecnologias utilizadas, um sistema fotovoltaico produz 20 a 40 vezes mais energia em sua vida útil (equivalente primário) do que foi usado para fabricá-lo (ALVES, 2019).

O potencial de geração fotovoltaica é enorme no Brasil por conta da incidência de radiação solar no território nacional. De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar, no local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. O mapa apresentado pela Figura 4 mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) no país, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações. A taxa de desempenho médio anual de 80% foi adotada para simplificar a análise e representa o desempenho de um gerador solar fotovoltaico bem projetado e instalado com equipamentos de boa qualidade e etiquetados pelo INMETRO. A concentração populacional é também mostrada através dos círculos azuis espalhados pelo território brasileiro nesta figura (Pereira, 2017).

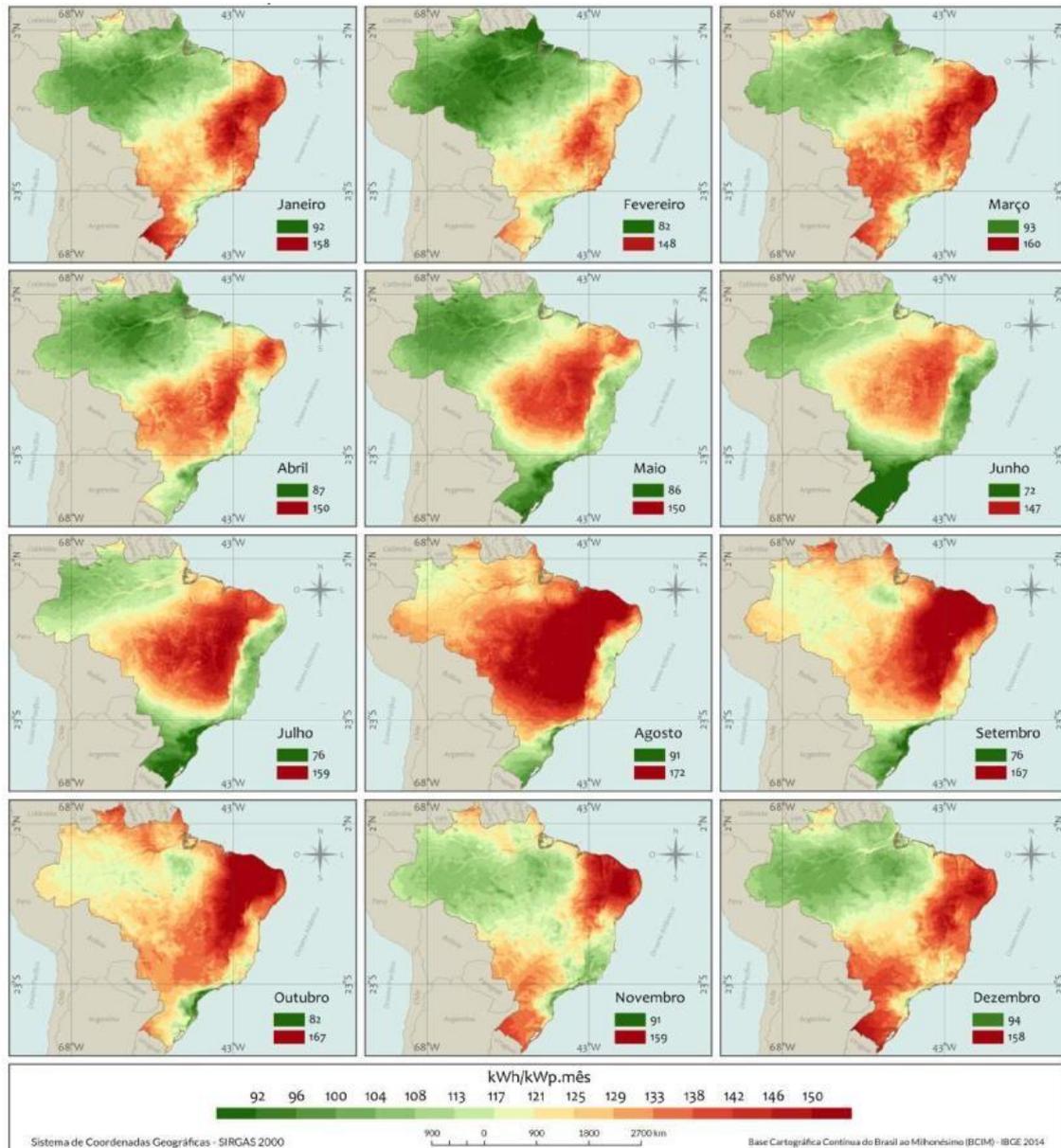
Figura 4. Potencial de Geração Solar Fotovoltaica – Rendimento Energético Anual (kWh/kWp.ano)



Fonte. Pereira (2017).

A Figura 5 mostra a sazonalidade com o que esse potencial se distribui de acordo com os meses do ano. É importante notar que nos meses de verão, principalmente de dezembro a março, a geração é máxima nos estados do extremo Sul e Sudeste do Brasil e coincide com os máximos de demanda registrados pelo Operador Nacional do Sistema – ONS para essas regiões. Neste contexto e por sua natureza distribuída, a geração solar fotovoltaica tem também um grande potencial de contribuição para a redução dos picos de demanda dos sistemas de transmissão do Sistema Interligado Nacional – SIN (Pereira, 2017).

Figura 5. Potencial de Geração Solar Fotovoltaica – Rendimento Energético Mensal(kWh/kWp.mês)



Fonte. Pereira (2017).

2.8. Características operacionais de sistemas fotovoltaicos

Mesmo que a constante solar seja de 1.367 kW/m^2 , as perdas de luz pela atmosfera terrestre reduzem a energia máxima recebida no solo para cerca de 1 kW/m^2 ao meio-dia verdadeiro: 1 m^2 de painéis expostos à luz direta do sol recebe 1 kW (1000 watts). Este valor é comumente usado para cálculos e em laboratório para determinar a eficiência de uma célula ou painel solar, na forma de uma fonte de luz artificial de 1 kW/m^2 . Finalmente, a energia que chega ao solo depende da

nebulosidade, da inclinação do sol (e da espessura da atmosfera a atravessar) e, portanto, da hora do dia (MATOS, 2006).

Mesmo sem nuvens, durante o dia e dependendo da estação e da latitude, a produção fotovoltaica não móvel varia de acordo com a posição do sol e é máxima apenas por um breve momento ao meio-dia no horário local. O "número de horas de sol pleno equivalente" (valor que diz respeito ao produtor de energia solar fotovoltaica) é inferior ao número de horas em que o sol brilhou (o número de horas de sol no sentido da meteorologia) durante o dia. As instalações fotovoltaicas eram originalmente de pequena dimensão (por exemplo, um painel solar para alimentar um terminal de emergência na autoestrada, alguns painéis solares para fornecer um refúgio de alta montanha etc.). Este é também o caso de instalações nos telhados de casas individuais, que raramente excedem 3 kW (20 m² de módulos) (ROSA, 2015).

Mais recentemente, surgiram instalações muito maiores, desde centrais elétricas nos telhados de edifícios comerciais ou administrativos a centrais elétricas gigantes de várias centenas de megawatts de pico: na França: central solar fotovoltaica de Toul-Rosières (potência de pico: 115 MW; nos Estados Unidos: Usina solar Agua Caliente no Arizona (247 MW, extensão prevista para 397 MW), projeto de usina solar Topaz (550 MW), em construção; na Índia: Parque solar Charanka em construção em Gujarat (214 MW em fevereiro de 2012, 500 MW previstos para o final de 2014); na China: Parque solar Golmud da Huanghe Hydropower (200 MWp) na província de Golmud, na província de Qinghai, município com 570 MWp de parques solares (PEREIRA, 2019).

Um despacho da AFP de 12 de janeiro de 2014 amplamente divulgado pela imprensa estuda esse fenômeno de gigantismo: — graças à queda dos preços e à crescente confiança dos investidores. Entre as 20 maiores usinas fotovoltaicas em operação no mundo, nada menos que 18 foram inauguradas em 2013, principalmente na China e nos Estados Unidos. Na China, 12 projetos de mais de 100 megawatts foram inaugurados em 2013, segundo a BNEF, e a fabricante Trina Solar, a número dois do mundo, anunciou em 2014 um projeto de 1 gigawatt na região pouco povoada de Xinjiang (ALVES, 2019).

A energia solar conquistou a confiança de investidores, incluindo Warren Buffett, que investiu vários bilhões de dólares em grandes projetos americanos. À taxa de um terreno de 2,2 hectares por megawatt, um projeto de 1 gigawatt exigia cobrir a superfície de um quinto da Paris intramural. O maior projeto em construção nesta data,

o Empire Valley Project, nos Estados Unidos, deve atingir em princípio 890 megawatts. No entanto, projetos gigantes com mais de 100 megawatts deveriam representar apenas cerca de 15% dos cerca de 40 gigawatts de painéis solares planejados para 2014, segundo a IHS (PEREIRA, 2019).

Essas usinas se aproximam dos níveis de potência de grandes usinas termelétricas, fósseis ou nucleares, estas últimas superiores a 1.000 MW; no entanto, sendo o fator de carga das usinas fotovoltaicas muito menor, sua produção ainda é modesta: 1.096 GWh/ano previstos para o parque solar Topaz de 550 MW, ou seja, 23% de fator de carga em uma das áreas mais favoráveis do planeta, em comparação com cerca de 80% para a energia nuclear (PEREIRA, 2019).

2.9. Impacto Ambiental da Energia Solar Fotovoltaica

Em poucas palavras, o impacto ambiental durante a geração de energia solar fotovoltaica é praticamente zero no meio ambiente. A energia elétrica gerada a partir de painéis solares fotovoltaicos não requer nenhum tipo de combustão. Portanto, não há emissões de CO₂ que favoreçam o temido efeito estufa (DIAS; SILVA; FREITAS, 2017).

O impacto ambiental das fontes de energia inclui fatores como danos às florestas por chuva ácida, poluição e aquecimento global pelo efeito estufa, o impacto na saúde humana, animal e vegetal devido a acidentes nucleares ou derramamentos e fugas de substâncias perigosas, etc. O peso global destes custos é superior nas energias convencionais do que nas energias renováveis (DIAS; SILVA; FREITAS, 2017).

Um dos principais argumentos apresentados contra a energia solar fotovoltaica é a quantidade de terra ocupada por suas instalações. No entanto, este argumento não é uma desvantagem real para a implementação deste tipo de energia. A consideração de todos os fatores que contribuem para a ocupação do solo (mineração, construção, etc.), colocam a energia solar fotovoltaica em um lugar semelhante ao das usinas termelétricas e até mesmo em um lugar melhor do que algumas das tecnologias atuais de obtenção de energia (OLIVEIRA, 2017).

Essa crítica surge de avaliações interessadas, que não levam em conta todos os fatores envolvidos na ocupação e destruição de terras para produção de energia por métodos convencionais. Como exemplo da proporção de terrenos ocupados por energia solar fotovoltaica, é possível destacar que uma usina fotovoltaica ocupa o

mesmo espaço por kWh produzido que o reservatório do Iguaçu (apesar de ser um dos reservatórios mais compactos do mundo) (OLIVEIRA, 2017).

A degradação do solo e a poluição da água são consequência, em parte, do uso extensivo de energia de origem química e orgânica. Um maior uso de energias alternativas reduziria essa agressão ao meio ambiente pelas energias convencionais. A desertificação tem a sua origem na superexploração da vegetação para satisfazer as necessidades alimentares e de combustível, na ausência de outras fontes de energia. Essa situação, especialmente observável em países em desenvolvimento, seria mitigada pelo uso de energias alternativas (SILVA, 2010).

O consumo de água necessário para o funcionamento de uma instalação de energia solar fotovoltaica acaba por ser o mais baixo em comparação com qualquer outro tipo de instalação de produção de energia (a água só é necessária durante os processos de produção dos componentes dos sistemas fotovoltaicos). Este ponto é particularmente importante para o nosso país, que sofre sucessivos episódios de seca (SILVA, 2015).

Os avanços industriais na fabricação de painéis solares visam reduzir as perdas de material ao cortar wafers para a fabricação de células solares. Essa economia de material significa, além de um benefício econômico, a redução da emissão de poluentes gerados pela produção da energia necessária à fabricação dos wafers. Da mesma forma, a fabricação progressiva de maiores volumes de painéis solares reduz proporcionalmente o investimento energético necessário (THUSWOHL, 2015).

Uma nova perspectiva de economia de energia e materiais na fabricação de painéis solares se abre com a introdução de painéis solares sem estrutura de alumínio. Como consequência, novos conceitos de fixação em estruturas de suporte estão sendo desenvolvidos, como a colagem de painéis solares. A otimização das estruturas de suporte deve conduzir à redução do investimento energético e material no fabrico de sistemas fotovoltaicos (PEREIRA, 2019).

Na fabricação de painéis solares fotovoltaicos utiliza-se o silício, elemento obtido da areia e que obviamente é muito abundante na natureza. Não só é um material abundante, mas também não são necessárias quantidades importantes. Isso significa que não é necessário fazer alterações significativas nas características litológicas, topográficas ou estruturais do terreno quando fabricamos painéis solares fotovoltaicos (AKBARI et al., 2018).

O impacto nas características físico-químicas do solo é zero, uma vez que não são produzidos poluentes, terraplenagem ou descargas. Da mesma forma, não erode a terra. É claro que a energia solar não pode causar alteração de aquíferos ou águas superficiais, pois não necessitam de água para seu funcionamento, nem há contaminação dos mesmos, pois a energia solar fotovoltaica não produz resíduos ou descargas de qualquer tipo (ALBUQUERQUE; MALDONADO; VAZ, 2017).

Não só a repercussão sobre a fauna e flora é nula, como eliminando ou evitando as linhas de energia, evitam-se possíveis efeitos negativos sobre as aves. Os painéis fotovoltaicos podem ser integrados e harmonizados com o terreno e as estruturas de diferentes formas, o que permite minimizar o seu impacto visual na paisagem. Além disso, com os sistemas autônomos em campo, não são utilizados postes e linhas elétricas, o que contribui para não piorar a paisagem com linhas de transmissão (JUNQUEIRA; UTURBEY, 2017).

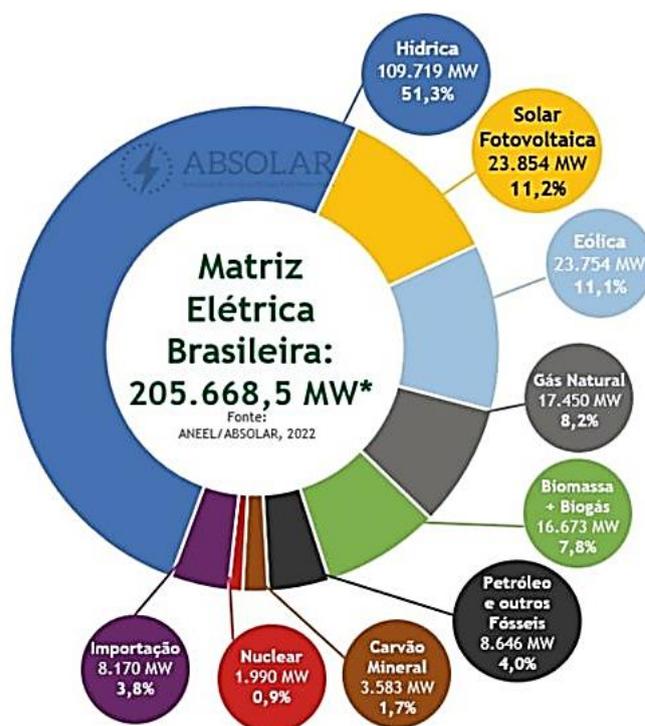
Os painéis solares fotovoltaicos não produzem nenhum tipo de ruído, o que em casas isoladas lhes confere uma vantagem importante sobre os geradores ou moinhos de vento. Para casas, escritórios, edifícios industriais ou estábulos no campo, os painéis fotovoltaicos podem ser integrados nos telhados dos edifícios. No caso de querer instalar o que é chamado de fazenda solar para produção de eletricidade, a quantidade de terra necessária para uma plantação de médio porte não é significativa o suficiente para produzir um impacto visual grave (JUNQUEIRA; UTURBEY, 2017).

Em conclusão, fica claro que se o objetivo é fornecer eletricidade de forma eficiente a uma residência em locais isolados da rede de transmissão de energia elétrica, preservando ao máximo as condições do entorno, uma solução com tudo o que foi mencionado acima é a energia solar fotovoltaica, porém o sistema deverá contar com uma forma de armazenar a energia produzida durante o dia para ser usada durante a noite (período em que não há geração). Outro ponto que pode ser considerado uma desvantagem é que o principal fornecedor dos painéis solares, a China, tem sua fonte energética predominantemente não-renovável (com 90,8% da sua matriz). Logo podemos inferir que a energia empregada na fabricação de placas solares é originária de fontes não-renováveis.

2.10. Atualização da posição da energia solar fotovoltaica na matriz brasileira

Segundo levantamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a energia solar fotovoltaica atingiu a segunda posição ao compararmos as maiores fontes da matriz energética brasileira, totalizando 23,9 gigawatts (GW) de potência instalada operacional (ao somarmos a geração de grandes usinas e todos os sistemas de geração própria em residências, comércios, indústrias, propriedades rurais e prédios públicos), já a energia eólica possui 23,8 GW. A energia solar tem então a importância de 11,2% da matriz, enquanto a energia hídrica apresenta 51,3%. Conforme apresentamos na Figura 6.

Figura 6. Potência instalada em operação no país



Fonte: ANEEL, 2023. Adaptado pela ABSOLAR. Última atualização 03/01/2023.

Tal crescimento se dá principalmente por conta de ocorre em meio a um forte crescimento na esteira de incentivos econômicos à instalação de usinas fotovoltaicas de pequeno a grande porte, haja vista os menores custos da fonte e seus benefícios ambientais. (CNN, 2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2016) e suas projeções de uso de energia, em 2050, o mundo possivelmente apresentará uma realidade bem diferente da que se conhece hoje. O crescimento da economia brasileira, a resolução de gargalos na infraestrutura, a melhoria da mobilidade social e o acesso a bens e serviços mais elaborados em função da melhor qualidade de vida da população levarão à necessidade de aumentar o consumo médio de energia per capita. Nesse sentido, será fundamental buscar novas ações de eficiência energética para reduzir a necessidade de expansão da oferta de energia no longo prazo, evitando, por exemplo, impactos ambientais decorrentes de novos projetos.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) prevê que entre 2013 e 2050 a demanda total de energia aumentará um pouco mais do que o dobro, com destaque para gás natural, eletricidade e derivados. Em dezembro de 2015, o país assumiu o compromisso com o Acordo de Paris durante a Conferência do Clima das Nações Unidas para contribuir para a redução do aquecimento global e para evitar um aquecimento global superior a 1,5°C. Para cumprir esse acordo, o Brasil precisará reduzir as usinas a carvão e a gás e aumentar a participação das energias renováveis em sua matriz energética nos próximos anos (GREENPEACE, 2016).

Com base nessas metas de redução de gases de efeito estufa e visando ampliar a matriz energética e que o país apresente excelentes condições para todas as tecnologias de aproveitamento solar, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) prevê que até 2023 haverá um aumento na capacidade fotovoltaica instalada de 1.173 MW no Brasil (ANEEL, 2015). Este aumento é extremamente relevante em termos de benefícios ambientais devido ao fato desta geração ter impactos ambientais muito baixos. A energia solar fotovoltaica pode ser considerada um investimento de baixo risco, dependendo fortemente do marco regulatório da região para o potencial competitivo da energia solar (SOLAR POWER EUROPE, 2015).

Em relação às barreiras regulatórias para geração em pequena escala e à introdução de um novo sistema de compensação de energia no Brasil, a ANEEL publicou a Resolução Normativa 482/2012, estabelecendo condições gerais de acesso para microgeração e minigeração distribuída. Foram selecionados 17 projetos fotovoltaicos, totalizando 23,6 MW a serem instalados em diversas regiões do país (BRASIL, 2012), sendo a microgeração e a minigeração responsáveis pela produção

de energia elétrica a partir de pequenas usinas geradoras conectadas à rede de distribuição com até 5 MW de potência (ANEEL, 2016).

Outro incentivo para acelerar a implantação desses sistemas de geração de energia é o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), responsável por proporcionar o uso efetivo de energia renovável no país. Financiado pelo Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), prevê a diversificação da matriz energética e a redução da emissão de gases de efeito estufa.

Uma das barreiras para a introdução da energia solar fotovoltaica mais intensiva no Brasil tem sido os investimentos associados a essa tecnologia em comparação com outras tecnologias instaladas no país. No entanto, os custos vêm apresentando reduções significativas ao longo dos anos, aumentando a competitividade da energia solar fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

A boa notícia é que, pela primeira vez na história, o custo de produção de energia renovável é menor do que o de combustíveis fósseis, de acordo com a empresa alemã Kaiserwetter Energy Asset Management, um provedor de serviços independente para gerenciamento abrangente de instalações da produção de energia renovável: os combustíveis fósseis geraram custos de energia na faixa de US \$ 49 e US \$ 174 por MWh nos mercados de energia do G20 em 2017 (MOURA, 2019).

Durante um período comparável, a produção de energia renovável atingiu entre US \$ 35 e US \$ 54 por MWh. Quebrando ainda mais os dados, Kaiserwetter disse que o custo médio internacional dos projetos hidrelétricos era superior a US \$ 50 por MWh, a energia eólica era de US \$ 51 por MWh e a energia solar fotovoltaica era de US \$ 54 por MWh em média (MOURA, 2019).

Além disso, ele também disse que a energia renovável apresenta a melhor alternativa ao alto custo da energia nuclear, já que os governos estão tentando desafiar a descarbonização. Para chegar a essa conclusão, o gerente de ativos agrupou os custos de 15.000 projetos de serviço público e calculou os riscos que os investidores assumirão em 54 países entre 2020, 2025 e 2030 (MOURA, 2019).

O total de eletricidade gerada a partir de energia renovável em 2017 aumentou 18,8% em 2016, de 83,2 TWh para um recorde de 98,9 TWh. A geração renovável padronizada aumentou de 87,1 TWh em 2016 para 97,8 TWh em 2017. E os últimos leilões de energia eólica no Brasil, em 2017 sugeriram que o custo padrão de energia poderia ser reduzido para US \$ 30 por MWh a partir de 2018 (MOURA, 2019).

Não há mais desculpas para um país permanecer ancorado na produção de energia a partir de hidrocarbonetos. Dar um passo em direção a alternativas renováveis é proporcionar um descanso ambiental ao planeta, levar o serviço aonde ele não chega hoje e no processo de aliviar a economia das nações. O relatório mais recente sobre Tendências Globais no Investimento em Energia Renovável, apresentado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), juntamente com o Centro de Colaboração Escola Frankfurt-UNEP e o *New Energy Finance* da Bloomberg, mostra como cada ano é mais barato produzir energias limpas (MOURA, 2019).

Se a tendência continuar, estima-se que em uma década será ainda mais barato do que insistir no uso de gás, carvão ou petróleo para esse fim. Sobre os efeitos da queima de hidrocarbonetos para gerar energia, muito foi dito. Sabe-se que sua combustão é a matéria-prima para a liberação de dióxido de carbono, esse gás letal para a camada de ozônio e a principal causa do aquecimento global que hoje preocupa tanto a humanidade. No entanto, tomar a decisão de fazer a mudança não tem sido um processo fácil para a maioria das nações, como se pode deduzir por saber que 75% da energia do mundo ainda é proveniente de combustíveis fósseis (MOURA, 2019).

Os custos para gerar energia a partir de fontes de energia renováveis, como a eólica e a solar, atingiram níveis históricos e foram equalizados ou até mais baixos que os custos da geração de combustíveis fósseis. Essa é a principal conclusão do novo relatório publicado pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), sob o título “Os custos de geração de energia renovável em 2014” (RANGEL et al., 2016).

O relatório mostra que a biomassa, a energia hidrelétrica, a geotérmica e a eólica são competitivas em termos de custo ou mais baratas do que as instalações que produzem eletricidade a partir de carvão, petróleo e gás, mesmo sem apoio financeiro e apesar da queda na preços do petróleo. E ainda mais impressionante: o custo nivelado de eletricidade da fonte solar fotovoltaica foi reduzido pela metade entre 2010 e 2014, para que a energia solar fotovoltaica seja cada vez mais competitiva (RANGEL et al., 2016).

Os preços dos módulos fotovoltaicos em 2014 foram cerca de 75% mais baixos do que no final de 2009. Entre 2010 e 2014, os custos totais das instalações fotovoltaicas em escala comercial diminuíram entre 29% e 65%, dependendo da

região. O custo nivelado de eletricidade da tecnologia fotovoltaica foi reduzido pela metade neste período, de modo que hoje os projetos fotovoltaicos começaram a distribuir eletricidade regularmente por apenas US \$ 0,08 por quilowatt-hora (kWh) sem subsídios, em comparação com uma faixa entre 0,045 e 0,14 dólares por kWh para energia proveniente de combustíveis fósseis (RANGEL et al., 2016).

O Brasil possui um gigantesco potencial de geração de energia e possui vantagem em relação aos outros países no que se refere a alternativas renováveis de energia, porém quando se trata da implementação das tecnologias dessas fontes encontramos ainda algumas dificuldades. Essas dificuldades geralmente são as mesmas em todas as novas tecnologias de implantação dessas fontes, pois as fontes em nosso país ainda estão em desenvolvimento (CEMIG, 2012 s.p).

Habitualmente encontra-se um mercado restrito junto a tais tecnologias influenciando de modo direto no custo dessas fontes como demonstrado na Tabela 2, o que beneficia continuamente a importação de tecnologias de outros países (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

Tabela 2. Custo estimado para implantação das fontes renováveis de energia (EPE, 2021).

Fonte	Custos de instalação (R\$/KW)	Tendência da evolução dos custos nos próximos 10-15 anos
Biomassa (cana-de-açúcar)	4.000,00	↓
Eólica	4500,00	↓
Geotérmica	variável	→
Hidráulica (UHEs)	variável	↑
Hidráulica (PCHs)	variável	→
Mar (Ondas)	9800,00	↓
Mar (Correntes Marítimas)	7770,00	↓
Solar (UFV)	4000,00	↓

Legenda:

↑ Aumentar ↓ Diminuir → Manter-se

Fonte. NASCIMENTO; ALVES (2016)

Pela primeira vez na história, o custo de produção de energias renováveis ficou abaixo da faixa de custo das fontes convencionais. Essa redução no custo de energia renovável, que está em torno de 80% desde 2010 (por exemplo, no setor solar

fotovoltaico), ocorreu por várias razões. Desde melhorias tecnológicas e simplicidade competitiva de fontes renováveis, através de uma ampla base de desenvolvedores de projetos, especialmente fundos de investimento e bancos, otimistas quanto ao futuro imparável de um mercado cuja lucratividade continua a disparar mesmo após a cessação dos subsídios, e com grande apoio social e político (LOSEKANN; HALLACK, 2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, as energias renováveis são uma realidade presente em nossa sociedade e seus benefícios ambientais são mais que óbvios. Todas as sociedades do planeta são consumidoras de energia em maior ou menor grau, mas a realidade é que a maior parte da energia consumida é proveniente de fontes não renováveis, como combustíveis fósseis e energia nuclear, cujo impacto negativo no meio ambiente é superior. Um aspecto importante das energias renováveis é que elas podem ser aplicadas e exploradas localmente, o que ajuda a reduzir a dependência da população de grandes produtores de energia, favorecendo o desenvolvimento econômico e a criação de empregos.

Teoricamente, a exploração de energias renováveis gera poucos poluentes: em particular, a eletricidade proveniente de fontes renováveis emite muito pouco CO₂, especialmente quando comparada a combustíveis fósseis, como o carvão. Por esse motivo, as energias renováveis são um vetor particular da luta contra o aquecimento global. Elas também são consideradas um fator de resiliência porque permitem produções descarbonatadas e descentralizadas.

A principal característica das energias não renováveis é que elas são limitadas em quantidade e acabam com o tempo, já as energias renováveis têm a capacidade de se regenerar tão rápido quanto são usadas, diferentemente das energias não renováveis. Além disso, as energias não renováveis incluem, entre outros, materiais fósseis, como petróleo, carvão, óleo combustível, e sua combustão emitem gases de efeito estufa que em abundância provoca o aquecimento global.

A ONU desenvolveu dezessete objetivos de desenvolvimento sustentável, que devem ser cumpridos pelos países participantes até 2030. O Brasil faz parte dessa lista de países e, como podemos ver, falta muito o que se fazer ainda para atingir todos os objetivos inerentes a garantia de acesso a todos a serviços de energia confiáveis, sustentável e moderno a um custo acessível.

As ameaças ambientais globais, avanços tecnológicos, falta de motivação humana para o cuidado do meio ambiente e, em geral, as diversas notícias e estudos que mostram o problema da realidade ambiental, são fatores que geram preocupação para a busca de estratégias que permitam a conservação e preservação do planeta

da vida, alertando sobre a importância do reconhecimento dos vários elementos do ambiente que influenciam o processo evolutivo do ser humano.

Esses danos ao planeta que ameaçam diretamente a vida, devem ser reduzidos, para a preservação da vida é necessário gerar espaços que permitam o reconhecimento do ambiente, da realidade e suas formas de proteção, de tal forma que encoraja e motiva reflexão e desenvolvimento sustentável. É indiscutível a necessidade de conservação e defesa do meio ambiente. Para tanto, é preciso que as pessoas sejam conscientizadas levando essa conscientização para suas práticas cotidianas e para as pessoas do seu convívio.

A produção de energia limpa pode colaborar com esse processo de recuperação e conservação do meio ambiente, e esta demonstra que, ao longo dos anos, tem tido seus custos reduzidos e a tendência é que tais custos reduzam ainda mais nos próximos anos. O Brasil é referência no que se refere a energias renováveis devido a vasta gama de recursos naturais disponíveis de forma abundante. É preciso então, que investimentos conscientes e políticas eficazes sejam desenvolvidas em prol da conservação do meio ambiente a fim de que, a Agenda 2030 da ONU venha ser cumprida com sucesso, alcançando enfim, um desenvolvimento e um futuro sustentável.

O Brasil possui um grande potencial energético renovável por ser um país com grande diversidade e abundância de recursos naturais. Com base nisso, os números devem ser mais expressivos. Nesse sentido, embora existam estudos voltados para o uso de fontes renováveis, são necessárias estratégias mais eficientes e políticas públicas mais estruturadas para reduzir custos para a implementação dessas pesquisas, juntamente com a conscientização de seu consumo, possibilitando assim que o Brasil aproveite de todo o seu potencial energético renovável, contribuindo para a diversificação da matriz energética de forma sustentável e alcançando a segurança energética.

Portanto, para estudos futuros, sugere-se realizar a correlação da matriz energética de outros continentes versus a matriz mundial, verificando seu grau de investimento e iniciativas governamentais. Relacionar os impactos da matriz energética versus o avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e verificar a sensibilidade da matriz às mudanças causadas pelos ODS. Outra sugestão de estudo é analisar se o aumento da eficiência energética em produtos e processos está causando diminuição do consumo na matriz energética. Também é possível

realizar por meio de estudos futuros a projeção da matriz energética em um período de 10 anos, analisando como a matriz energética tende a se comportar, verificando a participação das fontes renováveis, dando atenção especial a duas fontes que atualmente apresentam alto crescimento: fontes solar e eólica.

Outro estudo futuro é sobre os indicadores de energia triple bottom line, analisando os países em desenvolvimento, e como esses indicadores estão se comportando e como tendem a se comportar. Pode-se também analisar o planejamento estratégico do uso de fontes renováveis, analisando as mudanças climáticas e como essas fontes renováveis de energia podem se adaptar. Outro ponto futuro a ser estudado é como as mudanças na matriz energética mundial contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, analisando quais são os pontos de maior interesse e sensibilidade. Também é possível analisar quais são as fontes renováveis que ainda não fazem parte da matriz energética, mas que apresentam um grau de investimento crescente e se mostram promissoras no futuro, bem como estudar o grau de investimento versus o potencial de crescimento de fontes renováveis de energia, podendo analisar qual caminho a matriz energética pretende seguir e quais fontes já estão se tornando obsoletas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, R. S. et al. Energia Renovável: Os Ganhos E Os Impactos Sociais, Ambientais E Econômicos Nas Indústrias Brasileiras. *In: Encontro Nacional De Engenharia De Produção, XXXII*, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012. **Anais...** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2012_tn_stp_167_970_196-70.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

A importância das energias renováveis para driblar o aquecimento global. Energia Total. 02 de maio de 2022. Disponível em: <<https://www.energiatotal.com.br/a-importancia-das-energias-renovaveis-para-driblar-o-aquecimento-global#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20divulgados,energia%20em%20odo%20o%20mundo.>>>. Acesso em: 26 de outubro de 2022.

ALVALÁ, Plinio et al. emissão de gases de efeito estufa. **MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM REDE**, 2017, p. 231.

AKBARI, H. et al. Efficient energy storage technologies for photovoltaic systems. **Solar Energy, Article in Press**, 2018, pp. 1-25.

ALBUQUERQUE, T. C.; MALDONADO, M. U; VAZ, C. R. Um levantamento da produção intelectual sobre Energia solar fotovoltaica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, vol. 6, no. 5, 2017, pp. 915-939.

CABELLO, Luíza. Investimento em energia renovável na América Latina se recupera. PV Magazine. 16 de fevereiro de 2022. Disponível em: <<https://www.pv-magazine-latam.com/brasil-noticias/investimento-em-energia-renovavel-na-america-latina-se-recupera/>>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

CFA. Qual é o tamanho do potencial energético do Brasil?. 16 de março de 2021. Disponível em: <<https://cfa.org.br/qual-e-o-tamanho-do-potencial-energetico-do-brasil/>>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; AYARZA, J. A. C. **Biomassa no Brasil e no Mundo. Biomassa para Energia**. Organização: Luis Augusto Barbosa Cortez, Electo Eduardo Silva Lora, Edgardo Olivares Gómez – Campinas/SP. Editora: UNICAMP. 2008

ALMEIDA, P. M. de. **Condicionamento da Energia solar fotovoltaica para Sistemas Interligados à Rede Elétrica**. Universidade Federal de Juiz de Fora, LABSOLAR, 2011.

ALVES, M. D. O. L. **Energia solar: estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid**. Trabalho de Conclusão de curso, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, .2019.

ANEEL. **Informações gerenciais**. Dezembro, 2015.

____. **Micro e minigeração distribuída:** sistema de compensação de energia elétrica. 2. Ed. Brasília, 2016.

BICALHO, M. S.; ARAUJO, T. P.; CARDOSO, R. B.; Análise de Desempenho do Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede da Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, vol. 7, 2018, pp. 95-105.

BONDARIK, R. et al. Uma visão geral sobre o potencial de geração de energias renováveis no Brasil. **Interciência**, vol. 43, no. 10, 2018.

BRASIL. **Análise da inserção da geração solar na matriz energética brasileira.** Ministério de Minas e Energia. EPE. Brasília, 2012.

____. **Balço energético nacional.** Ano base 2015. Ministério de Minas e Energia. EPE. Brasília, 2016.

____. **Demanda de energia 2050.** Nota técnica DEA 13/15. Série Estudos da Demanda de Energia. Ministério de Minas e Energia. EPE. Brasília, 2016.

____. **Relatório dos Indicadores para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Secretaria Especial de Articulação Social. Disponível em:

<<https://indicadoresods.ibge.gov.br/relatorio/sintese>>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas energéticas: Uma visão da Cemig.** Belo Horizonte: CEMIG, 2012.

CNN. COP26: 77 países prometem acabar com uso do carvão. 04 de novembro de 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/cop26-77-paises-prometem-acabar-com-uso-do-carvao/>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

CNN. Energia solar supera eólica e se torna 2ª maior fonte brasileira, diz Absolar. 03 de janeiro de 2023. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/energia-solar-supera-eolica-e-se-torna-2a-maior-fonte-brasileira-diz-absolar/>>. Acesso em: 04 de janeiro de 2023.

COELHO, S. T. et al. "Geração de energia a partir da biomassa (exceto resíduos do lixo e óleos vegetais)". *In*: TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003, pp. 01-90.

DE CASTRO, N. José et al. Perspectivas para a Energia Eólica no Brasil. 2010.

DIAS, C. T. de C.; SILVA, W. K. de M.; FREITAS, G. P. de; NASCIMENTO, J. F. do.

Energia solar no Brasil. **Inter Scientia**, vol. 5, no. 1, 2017.

EPE. Parâmetros de Custos – Geração e Transmissão. Janeiro, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/topico-522/Caderno%20de%20Par%C3%A2metros%20de%20Custos%20-%20PDE%202030.pdf>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

ÉPOCA NEGÓCIOS. Preço da energia solar caiu 89% em 10 anos. 10 de dezembro de 2020. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Sustentabilidade/noticia/2020/12/preco-da-energia-solar-caiu-89-em-10-anos.html>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

IEMA. As emissões brasileiras de gases de efeito estufa nos setores de Energia e de Processos Industriais em 2019. Dezembro, 2020. Disponível em: <<http://energiaeambiente.org.br/as-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-nos-setores-de-energia-e-de-processos-industriais-em-2019-20201201#:~:text=De%20acordo%20com%20dados%20rec%C3%A9m,do%20total%20emitido%20no%20pa%C3%As>>. Acesso em: 30 de outubro de 2022.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras/IF**, Rio de Janeiro, vol. 1, 2010, pp. 397-402.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Fontes de Energia. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>. Acesso em: 26 de outubro de 2022.

FADIGAS, E. A. F. A. **Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica**. GEPEA - Grupo de Energia Escola Politécnica, 2012.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável. **Revista USP**, São Paulo, no. 72, 2007, pp. 6-15.

GREENPEACE. **Alvorada** – como o incentivo à energia solar fotovoltaica pode transformar o Brasil, 2016.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. O que mostra o retrato do Brasil? **Cadernos ODS**, 2019.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 26 de outubro de 2022.

JUNGES, Alexandre Luis et al. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*. Cuiabá. Vol. 13, n. 5 (dez. 2018), p. 126-151, 2018.

JUNIOR, Adalberto Santana Lima et al. Gases estufa e aquecimento global: uma

proposta de ensino de polaridade de ligações com base na pedagogia histórico-crítica. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 3, 2021.

JUNQUEIRA, R. C.; UTURBEY, W. Valoração econômica de impactos ambientais da energia solar fotovoltaica: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Energia Solar**, vol. 8, no. 1, 2017, pp.50-58.

LOSEKANN, L.; HALLACK, M. Novas energias renováveis no Brasil: desafios e oportunidades. **Desafios da Nação: artigos de apoio**, 2018.

LOURENÇO, THUANY MARRA DE FIGUEIREDO; HORIZONTE, BELO. EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA POR USINAS HIDROELÉTRICAS, EÓLICAS E TERMOELÉTRICAS NO BRASIL.

MATOS, F. B. Modelamento computacional do comportamento de células fotovoltaicas baseado nas propriedades físicas dos materiais. Dissertação (Mestrado em Ciências) — Universidade Federal de Uberlândia-Faculdade em Engenharia Elétrica-Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Uberlândia-MG, 2006

MENDONÇA, A. T. B. B. de. et al. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cad. EBAPE.BR**, vol.10, no.3, Rio de Janeiro, 2012.

MOURA, M. Até 2030, fontes de energia limpa devem substituir as fósseis. **Época Negócios [online]**, 2019.

NASCIMENTO; R. S. do; ALVES, G. M. Fontes alternativas e renováveis de energia no brasil: métodos e benefícios ambientais. *In: Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XX*, Universidade do Vale do Paraíba, São Paulo, 2016. **Anais...** Disponível em: <http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_11-46_01.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

NATT, Elisângela Domingues Michelatto; CARRIERI, A. P. Energia hidrelétrica: a retórica da energia limpa. *Energia, organizações e sociedade*. Recife: Massangana, p. 79-112, 2017.

OLIVEIRA, A. de S. **Avaliação de Impactos Ambientais do Módulo Fotovoltaico: Produção e Uso como Fonte de Energia Elétrica**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2017, 77p.

PEREIRA, E. B., et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006.

PEREIRA, E. B., et al. **Atlas brasileiro de energia solar 2ª ed.** São José dos Campos: INPE, 2017.

PEREIRA, E. B. Atlas brasileiro de energia solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; André Rodrigues Gonçalves; Rodrigo Santos Costa; Francisco J. Lopes de Lima; Ricardo Rüther; Samuel Luna de Abreu;

Gerson Máximo Tiepolo; Silvia Vitorino Pereira; Jefferson Gonçalves de Souza -- 2.ed. -- São José dos Campos: INPE, 2017.

Disponível em: [http://doi.org/10.34024/97885170008980p.: il. \(E-BOOK\)](http://doi.org/10.34024/97885170008980p.: il. (E-BOOK))

PEREIRA, N. X. **Desafios e perspectivas da energia solar fotovoltaica no Brasil**: geração distribuída vs geração centralizada. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2019, 86p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. CEPEL. CRESESB. Grupo de Trabalho de Energia Solar (GTES). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, 2014.

PINTO, M. **Fundamentos de Energia Eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

RANGEL, M. S. et al. Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, vol. 5, no. 3, 2016, pp.267- 277.

REN21. **Renewables 2017: global status report**. Paris: REN21 Secretaria, 2017. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_20-17_Full_Report_0621_Opt.pdf>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

SANTOS, P. R. G. dos. Fontes renováveis e não renováveis geradoras de energia elétrica no Brasil. *In*: Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar, VIII, Instituto Federal Catarinense, Santa Catarina, 2015. **Anais...** Disponível em: <<http://eventos.ifc.edu.br/micti/wp-content/uploads/sites/5/2015/1-0/FONTES-RENOV%-C3%81VEIS-E-N%C3%83O-RENOV%C3%81VEIS-GERADORAS-DE-ENERGIA-EL%-C3%89TRICA-NO-BRASIL.pdf>>. Acesso em: 19 de maio de 2022.

SILVA, E. P. **Estudo da viabilidade do uso de energia solar fotovoltaica no carregamento de baterias para fins diversos**. Trabalho de conclusão, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SILVA, M. S. T.; BRITO, S. O. Impactos ambientais associados á construção de empreendimentos elétricos no setor de distribuição de energia. **Revista Faroeciância**, vol. 1, no. 1, 2016, pp. 266-280.

SILVA, R. M. **Energia solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal, 2015.

SCHULTZ, Herwin Saito et al. Dimensionamento, emissões de gases de efeito estufa e payback ambiental de um sistema de energia solar fotovoltaico. 2021.

SOLAR POWER EUROPE. **Global market outlook for solar power / 2015–2019**, 2015.

THUSWOHL, M. O desafio da energia limpa. **Revista Brasil**, no. 110, 2015

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial. **Quim. Nova**, vol. 32, no. 03, 2009, pp. 757-767.

WWF. **Além de grandes hidrelétricas: Políticas para fontes renováveis de energia elétrica no Brasil**. Brasília, 2012.