

GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA: O SEU IMPACTOS NA QUALIDADE ENERGÉTICA NO BRASIL.

PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION: ITS IMPACT ON ENERGY QUALITY IN BRAZIL

Eduarda Raupp¹

Gustavo da Luz²

Henrique Golz Delagnelo³

RESUMO: Este artigo descreve, por meio de pesquisas em artigos acadêmicos, o desenvolvimento do sistema de energia fotovoltaica no Brasil como principal meio de avanço da economia e sustentabilidade. O estudo por meio de gráficos mostra que a matriz energética é um importante fator que abrange o uso de energias renováveis no país, o qual apresenta um baixo índice de placas solares, apesar do grande potencial energético, visto que o território brasileiro possui altos valores de irradiação solar. A análise de dados mostra que o uso de inversores apresenta melhores resultados quanto ao custo e à qualidade energética. Por fim, conclui-se que há um ambiente propício para uso de energia solar, porém a falta de investimentos e interesses governamentais retarda esse processo.

Palavras-chave: Fotovoltaica; Geração de Energia Elétrica; Sustentabilidade; Matriz Energética; Desenvolvimento Energético.

ABSTRACT: Through research into academic articles, this article describes the development of photovoltaic energy systems in Brazil as the main means of advancing the economy and sustainability. The study using graphs shows that the energy matrix is an important factor in the use of renewable energies in the country, which has a low number of solar panels, despite its great energy potential, given that the Brazilian territory has high solar irradiation values. Data analysis shows that the use of inverters has better results in terms of cost and energy quality. Finally, it can be concluded that there is a favorable environment for the use of solar energy, but the lack of investment and government interest is slowing down this process.

KEYWORDS: Photovoltaic; Electricity Generation; Sustainability; Energy Matrix; Energy Development.

¹ Graduanda - Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina.

² Graduando - Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina. Técnico - Telecomunicações. Instituto Federal de Santa Catarina.

³ Graduando - Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina. Técnico - Eletrotécnica. Instituto Federal de Santa Catarina.

1 INTRODUÇÃO

O mercado fotovoltaico traz muitas dúvidas ao público quanto à sua otimização e funcionamento, isso porque não é falado do grande potencial que o país tem para o sistema de energia solar em seu território (Silva, 2023). Alguns estudos (Silva, 2023; Pereira, 2023; Rosa, Gasparin, 2017) realizados no país mostram que uma expansão desse desenvolvimento pode garantir benefícios ambientais e socioeconômicos, como o aproveitamento da energia renovável e geração de empregos a partir da implantação de painéis solares e a produção de componentes relacionados à energia solar, além de incentivar a economia regional. (Silva, 2023), melhorando, assim, a infraestrutura do país. Apesar de todos esses fatores que poderiam alavancar o mesmo, percebemos uma baixa presença da produção fotovoltaica nas residências brasileiras, essa ignorância parte da falta de projetos governamentais que promovam a expansão desta tecnologia no país, assim, buscamos com esse trabalho disseminar o conhecimento sobre benefícios da integração desse modelo energético.

Tem-se, então, como objetivo geral deste artigo introduzir as vantagens da energia distribuída, e, como objetivos específicos, (i) debater o potencial para desenvolvimento fotovoltaico no país, (ii) analisar os benefícios ambientais, e (iii) discutir impactos sociopolíticos.

2 METODOLOGIA

Para realizar a pesquisa, foi realizada a busca por artigos acadêmicos que mostrassem o impacto da geração distribuída de energia no Brasil em acervos online, como Scielo e Google Academic. Foi feita uma revisão bibliográfica, por meio da leitura, da sistematização e discussão dos conteúdos, baseado em 3 tópicos principais, sendo eles a sustentabilidade, a qualidade de energia e as matrizes energéticas - os descritores utilizados na busca foram energia solar, sustentabilidade e meio ambiente.

3 POTENCIAL PARA DESENVOLVIMENTO FOTOVOLTAICO

3.1 SISTEMA ENERGÉTICO ATUAL

O sistema elétrico brasileiro apresenta-se como um sistema essencialmente hidrotérmico de grande porte e com forte predominância de usinas hidroelétricas e com múltiplos proprietários, formado por empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte (Pereira, 2022, p. 50).

Esse sistema funciona através de uma rede distribuída, que conecta sistemas geradores de energia próximos às casas até a rede elétrica pública. As formas atuais de geração de energia necessitam da soma de altos recursos e causam impactos financeiros nas economias, pois muitas dessas fontes energéticas apresentam um elevado custo de implantação (Rosa; Gasparin. 2017, p.140).

Além disso, Fabiano Perin (2017) explica que o atual cenário energético mundial apresenta indicações de esgotamento dos recursos naturais voltados para a geração de energia. Nesse sentido percebe-se que o modelo atual de energia implantado no Brasil não colabora para o bem estar social e ambiental, conduzindo a nação a procurar sistemas renováveis de energia.

3.2 POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR

Um dos principais modelos energéticos propostos para o país é o fotovoltaico, principalmente porque os índices de irradiação solar no Brasil se mostram bem altos e, apesar disso, não há seu aproveitamento. O Plano Nacional de Energia 2030 reproduz dados do Atlas Solarimétrico do Brasil e registra que essa radiação varia de 8 a 22 MJ (megajoules) por metro quadrado (m²) durante o dia (Pereira, 2022, p. 44).

Segundo Jorge de Medeiros (2022), o nordeste possui radiação comparável às melhores regiões do mundo nessa variável. O mesmo é reforçado por Brenda Andrade (2023) que mostra que a região apresenta o maior potencial solar do Brasil, com um valor médio diário de irradiação global horizontal total de 5,49 kWh/m² e seus menores valores surgem pela a neblina característica do local.

A energia solar sempre ganha destaque em indicações de fontes de energia para diversificação da matriz energética no país, principalmente porque o potencial existente é pouco aproveitado. Sem sombra de dúvidas a então pequena utilização do vasto potencial solar existente para geração de energia no país, acaba fortalecendo a ideia de que existem grandes oportunidades para energia solar fotovoltaica (Rosa; Gasparin, 2017, p.145).

Brenda Andrade (2023) destaca o nordeste brasileiro como grande potencial de crescimento do mercado por possuir boa radiação solar, fator fundamental para o crescimento dessa tecnologia e seu crescente uso na região.

3.3 DESAFIOS PARA IMPLEMENTAÇÃO

Apesar do grande potencial de irradiação solar do Brasil, existem diversos desafios que impedem que o mercado cresça completamente no país. Brenda Andrade (2023) cita a falta de incentivos governamentais para a instalação de sistemas fotovoltaicos, a falta de capacitação técnica da mão de obra local, a falta de financiamento adequado para projetos de energia solar, a falta de infraestrutura de transmissão e distribuição de energia elétrica como alguns deles.

Pode-se perceber ao longo dos anos um maior crescimento da adoção de fontes de energias renováveis, principalmente no nordeste. Durante o período de 2010 a 2020, houve uma mudança significativa na composição das fontes de energia utilizadas no nordeste brasileiro. No início da década, a hidrelétrica era responsável por quase toda a geração de energia na região, mas sua participação caiu drasticamente ao longo dos anos (Silva, 2023, p. 63). Mas essa expansão ainda não é alta, desta forma ainda existe espaço para um maior desenvolvimento da geração de energia solar. Apesar de estar em constante crescimento, a quantidade de geração de energia fotovoltaica distribuída ainda é pequena, considerando o grande potencial de geração do Nordeste e do Brasil e de como essa fonte energética é aproveitada em outros países (Silva, 2023, p. 64)

É necessário uma maior atenção governamental quanto a esse aproveitamento pois é um modelo energético que pode beneficiar o sistema socioeconômico e ambiental do Brasil. Os resultados indicam que essa mudança pode ter implicações significativas para o futuro da geração de energia no país, especialmente em relação às metas de sustentabilidade e à redução das emissões de gases de efeito estufa (Silva, 2023, p. 63).

A energia solar é abundante em todo o nosso país e através de seu uso em massa ficou evidenciado nos artigos pesquisados seu retorno perante a eficácia na utilização de uma fonte de energia renovável, como sol, mas também em seu lado econômico, ou seja, na redução dos custos pagos nas contas de energia elétrica às concessionárias de energia no país. (Pereira, 2022, p. 54).

4 QUALIDADE DE ENERGIA SOLAR

4.1 INVERSORES UTILIZADOS NO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR)

O inversor é um equipamento que possibilita a conversão de corrente contínua para corrente alternada, e funciona como fonte de corrente, visando a melhora de energia e economia dos custos. Portanto, seu uso de maneira mais eficaz foi concebido atualmente, enquanto anos atrás utilizava-se transformadores que reduziam a qualidade energética. As plantas fotovoltaicas trabalham com tensões maiores e os inversores sem transformadores conquistaram espaço no mercado, apresentando eficiências maiores que os inversores com transformador. (Rampinelli; Krenzinger A., 2015, p. 66).

4.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA

O Brasil possui um baixo índice produção de energia solar devido a falta de incentivos governamentais e falta de investimento ligado a outros fatores, portanto, estima-se que o maior crescimento da energia solar fotovoltaica no Brasil nos próximos anos seja através da geração distribuída, através da regulação de micro e minigeradores conectados à rede. (Santiago et al. 2018, p. 1).

Porém, consequente de ser uma tecnologia nova no país, questionamentos referentes ao funcionamento, normas e eficiência ainda são constantes. Diversos trabalhos desenvolvidos no Brasil e no mundo mostram dificuldades técnicas encontradas em relação ao funcionamento de SFCR, principalmente com relação à adequação do sistema à rede elétrica conectada. (Santiago et al. 2018, p. 1).

A ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica - criou uma norma objetivando o uso de microgeração e minigeração distribuída (ANEEL, 2014).

Conforme a REN 687/2015 (ANEEL, 2015): Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada (...) Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW (Santiago et al. 2018, p. 2).

Este modo de distribuição de energia elétrica realizado por consumidores independentes por meio de fontes renováveis que possibilitam um melhor custo benefício estão presentes em diversas áreas da tecnologia, as principais utilizadas são os motores à combustão interna, turbinas a gás, células à combustível, pequenas centrais hidrelétricas (PCH), aerogeradores e sistemas fotovoltaicos (Rodriguez, 2002 *apud* Santiago et al. 2018, p. 2).

4.3 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

Tipo de energia suja, causado principalmente por conversores de energia, como os inversores. É um dos parâmetros de avaliação da qualidade de energia elétrica. Diante disso, a THD - distorção harmônica total - mede a qualidade da fonte de alimentação, de modo algébrico, é a razão entre a soma das potências de todos os componentes harmônicos e a potência da frequência fundamental, calculadas em forma de porcentagem. Deve ser inferior a 5% em qualquer potência nominal. (Pinho, 2014 *apud* Melo; Azevedo 2018, p. 1)

A distorção harmônica total na corrente depende da distorção harmônica total na tensão e da potência de operação do inversor. A $ThdV$ depende da rede elétrica e é variável ao longo do dia. (Rampinelli.; Krenzinger 2011, p. 67).

A THD depende de diversos fatores, sendo um deles o nível de carregamento do inversor utilizado, tendendo a aumentar conforme a diminuição do carregamento do inversor. Segundo Urbanetz, 2010, a presença de cargas reativas pode inclusive impedir a conexão dos inversores que rejeitam a rede elétrica acusando falha no lado CA. (Krenzinger. 2011, p. 71).

4.3.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS PARES E ÍMPARES

Harmônicas pares ou de segunda ordem são múltiplos pares e criam som rico e agradável, diferentemente das ímpares ou de terceira ordem, que criam sons mais agressivos.

Geralmente os harmônicos ímpares são os que causam mais impactos negativos, resultando em danos significativos a equipamentos e instalações, tais como deficiência na operação, sobretensões e sobrecorrentes, interferências em sistemas de comunicação e danos na resistência de condutores elétricos. (Melo; Azevedo. 2018, p. 5).

5 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

5.1 POSSIBILIDADE DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Com a necessidade de instalação de fontes renováveis principalmente por conta dos impactos ambientais causados pela geração de energia elétrica, no Brasil, a energia fotovoltaica se torna extremamente competente.

A maioria dos sistemas fotovoltaicos ao redor do mundo operam em locais com clima mais temperado do que o brasileiro (Pinheiro, E. et al., 2014), portanto, em relação a outros países, possui possibilidade de alta eficácia na utilização da energia solar, enfatizando ainda a

região nordeste do país, assim demonstra a imagem abaixo.

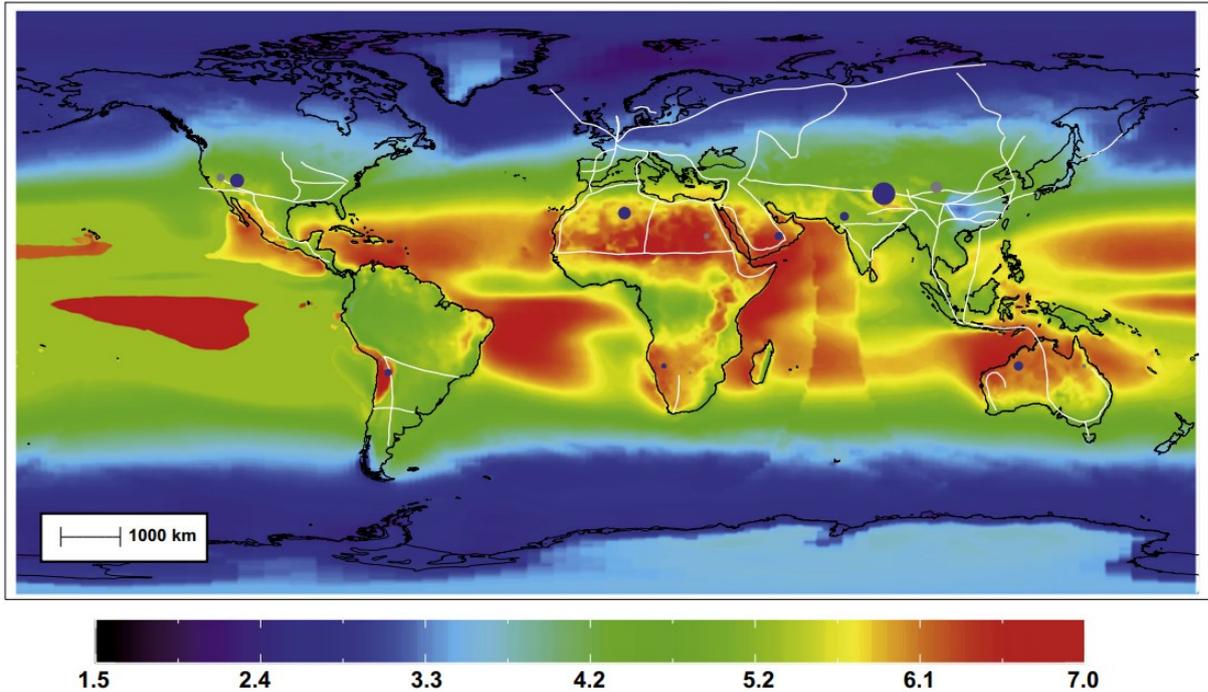


Figura 1: Média de irradiação total diária na superfície terrestre.

Fonte: García-Olivares et al. (2012, p. 564).

Contudo, diferentemente da usual expansão de fontes energéticas, que se dá pela construção de grandes centrais geradoras, o principal fator responsável pelo crescimento exponencial da energia solar são as gerações distribuídas, atingindo mais de 20.000 conexões no período de 2014 até 2017 (Pinheiro, E. *et al.*, 2014), além de mais de 2GW contratados em leilões.

Com isso, pode-se esperar grande crescimento da energia fotovoltaica. Isto é evidenciado ao compararmos a atual matriz energética instalada com a contratada/em construção:

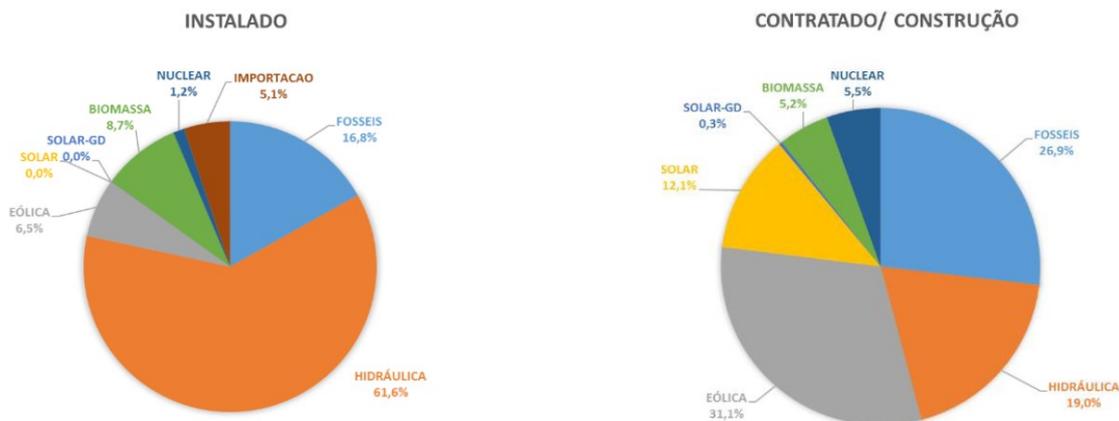


Figura 2 - Matriz energética brasileira com relação a capacidade instalada e em construção.

Fonte: Pinheiro *et al.* (2014, *apud* ANEEL, 2017).

5.2 QUESTÕES POLÍTICAS

Ademais, de acordo com Gasparin, Fernanda Bach (2014) esta energia renovável ainda dispõe de diversos benefícios, como a instalação remota; não necessitando construção de tantas linhas de transmissão; possibilidade de instalações em pequena escala; geração de empregos de qualidade, para cada um megawatt de energia solar instalado, são necessários de 25 a 30 novos empregos (International Renewable Energy Agency, 2020); redução de gastos com energia elétrica; diversificação da matriz elétrica com energias renováveis; redução de perdas de transmissão e distribuição.

Contudo, embora haja tamanhas vantagens a favor da geração de energia solar, o Brasil ainda fomenta de investimento em políticas públicas que incentivem a energia fotovoltaica, principalmente com relação ao custo inicial elevado ao adotar esta geração. Portanto é necessário políticas de crédito e incentivos fiscais mais eficientes (Gasparin, 2014).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este artigo analisou, considerando o território brasileiro, a possibilidade para o crescimento da energia fotovoltaica no país. O sistema energético atualmente utiliza de usinas hidrelétricas, o que propicia o desgaste de recursos naturais. Nesse sentido, a possibilidade de mecanismos de energia renováveis se mostram como uma solução, tanto ambiental, como sociopolítica. O sistema solar tem como uma de suas principais vantagens a entrega de uma melhor qualidade de energia, um exemplo seria o uso de inversores sem transformadores, que garante uma eficiência energética maior. No Brasil, ela se mostra ainda mais competente

considerando análises que mostram que os níveis de irradiação são um dos maiores do mundo, como mostrados na figura 1, mas que não são aproveitados.

Existem diversos motivos que podem justificar a expansão lenta do mercado fotovoltaico no país, sendo o principal deles a falta de investimento e interesse governamental. Ainda existem muitas dúvidas do Estado e do consumidor quanto como o sistema se comporta, as suas normas e sua eficiência, fator que atrasa o desenvolvimento tecnológico no âmbito da energia. Entende-se então que a maior barreira para o seu desenvolvimento no Brasil é a falta de disseminação de informações sobre as suas vantagens e o potencial do território brasileiro quanto ao aproveitamento do recurso solar.

CONCLUSÃO

Portanto, como conclusão deste artigo, compreendemos que o estudo com base em revisão bibliográfica embora seja competente, possui deficiências quanto a experimentos e análise de dados atuais, por vezes sendo necessário a utilização de bibliografias antigas.

Em um futuro almejamos construir melhores resultados e análises com relação à energia fotovoltaica como um todo, tendo a possibilidade de realizar experimentos e obtenção de dados atualizados.

REFERÊNCIAS

PEREIRA, J. M. da. Energia solar como possibilidade decisória para solução de sustentabilidade em energia elétrica, utilizando o conceito de geração distribuída para o setor elétrico no Brasil: uma revisão integrativa. **Altus Ciência**, [S.L.], v. 15, n. 15, p. 43-56, 26 ago. 2022. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.7026646>. Disponível em: <http://revistas.fcjp.edu.br/ojs/index.php/altuscienca/article/view/47>. Acesso em: 18 out. 23.

SILVA, B. A. O. da. Aproveitamento e potencial da energia solar no nordeste brasileiro. **Meio Ambiente**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 55-66, 11 jun. 2023. Zenodo. <http://dx.doi.org/10.5281/ZENODO.8024927>. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/295>. Acesso em: 18 out. 23.

ROSA, Antonio Robson Oliveira da; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 140-147, 5 jan. 2017. Associação Brasileira de Energia Solar. <http://dx.doi.org/10.59627/rbens.2016v7i2.157>. Disponível em: <https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157>. Acesso em: 18 out. 23.

Rampinelli G. A.; Krenzinger A. Estudo da qualidade da energia elétrica injetada á rede por inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos. **Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente**; vol. 15, p. 65-72, 2011. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/101596>. Acesso em: 18 out. 2023.

Santiago G. L. S.; Guerra F. K. O. M. V. de. Microgeração solar fotovoltaica voltada a rede: análise da qualidade de energia. **Congresso Brasileiro de Energia Solar**. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/131/131>. Acesso em: 18 out. 2023.

MELO J. B. F. de; AZEVEDO J. G. de. Qualidade da energia na geração fotovoltaica através de inversores de diferentes tipos e fabricantes conectados á rede elétrica. **Congresso Brasileiro de Energia Solar**. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/311/311>. Acesso em: 18 out. 2023.

PINHEIRO, E. *et al* . Avaliação do potencial da geração fotovoltaica em diferentes condições climáticas na matriz elétrica brasileira. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2014. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/2256>. Acesso em: 18 out. 2023.

GONÇALVES, A. R. *et al*. Cenários de expansão da geração solar e eólica na matriz elétrica brasileira. In: **Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2018. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/499>. Acesso em: 18 out. 2023.

GASPARIN, Fernanda Bach. A Influência de Políticas Públicas para o Progresso da Geração Solar Fotovoltaica e Diversificação da Matriz Energética Brasileira. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 1, p. 77-81, 2022. Disponível em: <https://rvq-sub.sbj.org.br/index.php/rvq/article/view/4250>. Acesso em: 25 out. 2023.

GARCÍA-OLIVARES, et al. A global renewable mix with proven technologies and common materials. **Energy Policy**, v. 41, p. 561–574, fev. 2012. Disponível em: <https://csic.academia.edu/AntonioGarcíaOlivares>. Acesso em: 21 nov. 2023.

International Renewable Energy Agency, Renewable Power in 2019. 2020. Disponível em: https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2019.pdf?rev=77ebbae10ca34ef98909a59e39470906. Acesso em: 21 nov. 2023.