

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO ESTRATÉGIA DE SUPRIR A DEMANDA ENERGÉTICA BRASILEIRA

STUDY ON THE USE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY AS A STRATEGY TO SUPPLY THE BRAZILIAN ENERGY DEMAND

Rodolfo Nunes¹

Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG Passos)

Caroline Ribeiro Souza²

Universidade do Estado de Minas Gerais

Rodrigo Batista³

RESUMO: Ao comparar o Brasil com os países líderes em produção de energia solar, observa-se que a irradiação desses países é menor que a do Brasil, demonstra-se, assim, o potencial energético fotovoltaico do país. O objetivo do trabalho é avaliar as características brasileiras em relação aos países líderes no uso da energia solar fotovoltaica. Para isso, foi desenvolvida uma pesquisa descritiva, qualitativa e bibliográfica/documental comparando o Brasil com quatro países na utilização de energia solar. Como resultado, observou-se que os impostos e a ausência de benefícios inviabilizam a inovação tecnológica e a ampliação do potencial da energia fotovoltaica no país, de modo que seria necessário implementar e estimular uma política pública setorial para as empresas e as indústrias se instalarem no país e, assim, aproveitar o potencial energético.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Fotovoltaica. Potencial Energético. Custo-benefício.

ABSTRACT: When comparing Brazil with the leading countries in solar energy production, it is observed that the irradiation of these countries is lower than Brazil, thus demonstrating the country's photovoltaic energy potential. The objective of the work is to evaluate the Brazilian characteristics in relation to the leading countries in the use of photovoltaic solar energy. For this, a descriptive, qualitative and bibliographic/documentary research was developed comparing Brazil with four countries in the use of solar energy. As a result, it was observed that taxes and the absence of benefits make technological innovation and the expansion of the potential of photovoltaic energy in the country unfeasible, so that it would be necessary to implement and stimulate a sectorial public policy for companies and industries to settle in the country and thus take advantage of the energy potential.

KEYWORDS: Energy Photovoltaics; Energy Potential; Cost-Benefit.

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG Passos); <https://orcid.org/0000-0003-3075-2177>; rodolfonunes@usp.br.

² caroline.2192056@discente.uemg.br.

³ rmcampcos@outlook.com

INTRODUÇÃO

Segundo o levantamento realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no ano de 2020, o consumo de eletricidade no Brasil está aumentando significativamente e, entre os anos de 2019 a 2020, observou-se uma progressão de 1,3%, especialmente pelo crescimento do uso residencial e comercial de 4,8 TWh e 4,1 TWh, respectivamente (EPE, 2020).

Atualmente, a energia elétrica é considerada essencial para a sobrevivência humana, sendo nitidamente observada na crise energética no estado do Amapá em novembro de 2020, que, após uma tempestade severa, houve o comprometimento dos três mais importantes transformadores da subestação do estado, causando inúmeros impactos sociais como, por exemplo, falta da água encanada, água mineral e gelo; interrupção dos serviços de internet, telefonia, caixa eletrônico, máquinas de cartão, bomba de posto de gasolina, sinais de trânsito, entre outros.

Além desse caso isolado no Amapá, os especialistas estão preocupados com o abastecimento energético devido à estiagem que apresentou um valor histórico no país, pois foi considerada a mais severa dos últimos 91 anos. Como as hidrelétricas são responsáveis pela maior parte de abastecimento do Brasil, é possível ocorrer risco de racionamento e apagões, além do aumento no valor da fatura devido à utilização da energia termoelétrica que ocorre através da queima de combustíveis fósseis que, por sua vez, aumentam os poluentes na atmosfera, prejudicando ainda mais o meio ambiente.

O uso de energias renováveis é extremamente necessário devido a vários fatores como, por exemplo, a queima constante de combustível fóssil que leva a altas emissões de gás carbônico (CO_2) e, consequentemente, à degradação ambiental e a mudanças climáticas. Um exemplo interessante foi a Ásia que teve sua demanda energética afetada devido à escassez de energia convencional, recentemente (COLATUSO, 2018).

As mudanças climáticas exigem que ocorra a diversificação da matriz energética, visto que a sazonalidade das chuvas influencia profundamente a produção de energia no Brasil e, consequentemente, o planejamento energético do país. Além da energia hidráulica, a eólica também é dependente das condições climáticas em períodos de pouco vento (STEFANELLO; MARANGONI; ZEFERINO, 2018).

Como o país apresenta alta média de irradiação solar, é interessante a ampliação do uso da energia solar fotovoltaica para ajudar a suprir a demanda energética brasileira. Nesse contexto, apesar de todas as características do país demonstrarem que há uma ampla aplicação

para a energia solar fotovoltaica, há uma baixa representação dessa energia quando ela é comparada com outras fontes de energia renovável (ELMAGAL; DEMAJOROVIC, 2019).

Assim, ao compararmos o Brasil, que apresenta alta irradiação solar, com os países pioneiros que utilizam a energia solar, podemos fazer o seguinte questionamento: por quais razões a matriz energética apresenta baixa representatividade da energia solar no país?

Desta forma, o artigo apresenta o objetivo de desenvolver um comparativo sobre as condições – características – brasileiras em relação aos países que fazem uso da energia solar fotovoltaica em larga escala. Em seguida, será realizada uma análise para avaliar se a utilização dessa fonte de energia é uma solução viável tanto energética quanto financeira no contexto atual.

Esta pesquisa está estruturada em cinco seções, incluindo esta introdução. A segunda parte trata da fundamentação teórica que abrange os aspectos gerais sobre a energia solar, o custo e o benefício do seu uso, e as características de cada país no uso da energia fotovoltaica. Na terceira seção, descrevem-se a metodologia e os caminhos empregados no desenvolvimento do artigo. Na quarta parte, apresentam-se os resultados e uma análise dos dados. Por fim, a quinta seção é dedicada à conclusão da pesquisa.

REVISÃO DA LITERATURA

Energia Solar

O sol sempre foi utilizado como fonte de energia, contudo os métodos utilizados para aproveitar a energia solar foram evoluindo até conseguir transformá-la em eletricidade através de dispositivos denominados células fotovoltaicas que conseguem transformar a luz solar em eletricidade. As células fotovoltaicas são compostas por materiais semicondutores, normalmente silício, e com material dopante que consegue obter energia elétrica através da movimentação eletrônica (MOLINA JR., 2015).

Uma das principais características das células fotovoltaicas é que se pode utilizar dois sistemas diferentes: *on grid* e *off grid*. No sistema *on grid* – FIG. 1a –, os painéis fotovoltaicos são conectados à rede elétrica, assim o excedente de energia não utilizado é injetado na rede e o proprietário obtém créditos para utilizar em horários em que não há radiação solar. Já no sistema *off grid* – FIG. 1b –, não há conexão com a rede elétrica convencional, ou seja, a energia excedente é armazenada em baterias. Este sistema é ideal para usos em locais remotos (SOUZA; SOUZA; MINORI, 2019).

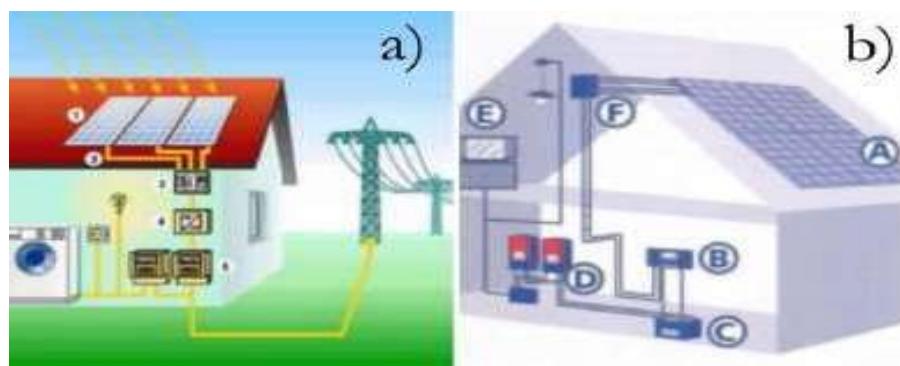


FIGURA 1 - Ilustração dos sistemas de instalação dos painéis fotovoltaicos, sendo a) *on grid* e b) *off grid*
Fonte: SOUZA; SOUZA; MINORI, 2019, n. p.

Por ser uma conversão silenciosa que utiliza uma fonte de energia limpa, renovável e inesgotável, quando instalado, o sistema consegue compensar toda a energia consumida por uma residência ou empresa de pequeno porte, reduzindo a conta de luz a um gasto mensal mínimo, contudo paga-se apenas a taxa do uso de rede, a iluminação pública, entre outros tributos. Portanto, essa vantagem tem estimulado as pessoas físicas e jurídicas a investirem nessa tecnologia (COSTA *et al.*, 2020).

Ao avaliar a matriz elétrica brasileira em relação à distribuição de micro e minigeração que é definido pela Resolução Normativa nº 687 da Aneel (2015), como qualquer geração igual ou inferior a 3MW com principal aplicação em uma geração compartilhada, observa-se um crescimento muito significativo de 92,2% do ano de 2018 a 2019 e apresenta-se, nos dias atuais, como a principal responsável pela distribuição das micro e minigerações de energia elétrica de 2019, como demonstrado na FIG. 2 (EPE, 2020).



FIGURA 2 – Porcentagem de participação das principais fontes de micro e minigeração distribuída em 2019
Fonte: EPE, 2020, n. p.

Além da necessidade da diversificação da matriz energética brasileira, uma possível característica do Brasil que impulsiona o uso da energia solar fotovoltaica está relacionada à região demográfica do país que está localizada em uma área tropical com índice de irradiação solar considerado alto (PEREIRA *et al.*, 2017), conforme é mostrado na FIG. 3.



FIGURA 3 – Média de irradiação solar no Brasil. Quanto mais escuro, mais irradiação
Fonte: PEREIRA *et al.*, 2017, n. p.

Também é importante ressaltar que o Estado pode intervir no mercado de energia elétrica através da formulação de políticas energéticas, definição dos planejamentos energéticos e regulação deste mercado. Com as políticas públicas, o governo pode orientar as diretrizes do desenvolvimento do setor oferecendo incentivos financeiros nas formas fiscais, creditícias ou tarifárias (BAJAY; BADANHAN, 2002).

No Brasil, as primeiras políticas públicas aplicadas à energia solar foram definidas pelas Resoluções Normativas nº 481/2012 e nº 482/2012. A primeira permitiu que projetos entre 30 a 300 MW com fontes renováveis apresentassem descontos de 80% nas Tarifas de Uso dos Sistemas de Transmissão e Distribuição (TUST e TUSD) nos 10 primeiros anos de operação com início até fim de 2017. Já a segunda descreve as regras de micro e minigeração através do sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012a; ANEEL, 2012b).

Além dos incentivos e da criação de políticas públicas, a diversificação e o uso de novas tecnologias energéticas também apresentam um impacto social através da abertura de áreas de

profissionalização. O número de empregos gerados diretamente por energias renováveis no ano de 2016 (IRENA, 2016) está demonstrado na FIG. 4.

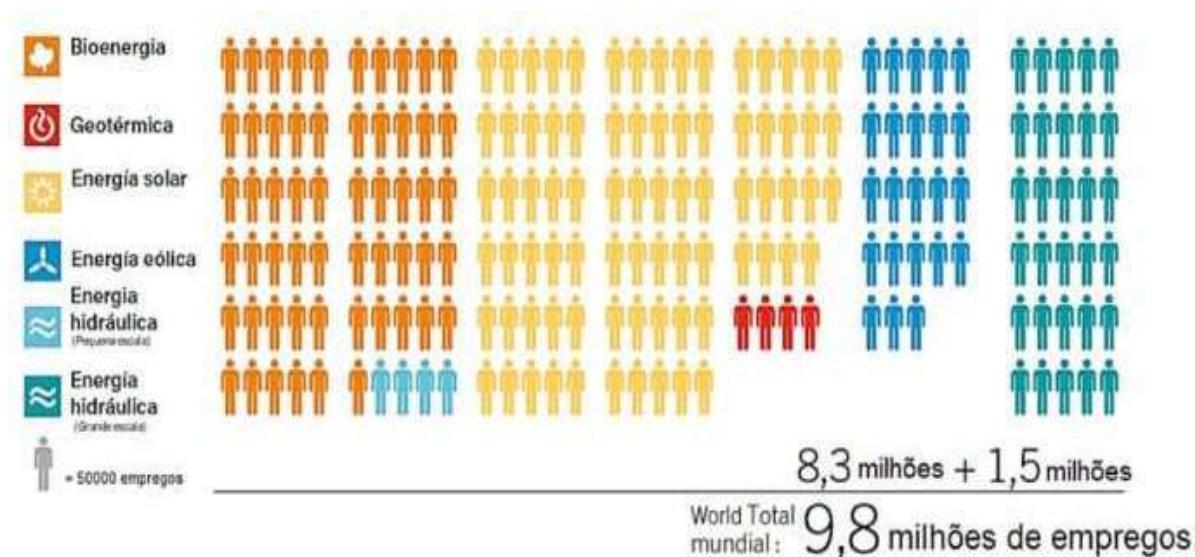


FIGURA 4 – Empregos gerados mundialmente por energias renováveis, no ano de 2016

Fonte: IRENA, 2016, n. p.

Ao compararmos com as outras energias renováveis, a energia solar é a que mais gera empregos, sendo responsável por 3,95 milhões no ano de 2016, que é referente a 40,3% de toda a geração mundial das energias renováveis. Outra característica muito interessante é que o Brasil é detentor de 95% das reservas mundiais de silício que é a matéria-prima principal para a produção das células fotovoltaicas policristalinas comercializadas atualmente. Portanto, é uma possível alternativa incentivar fábricas para a produção de células fotovoltaicas no país, assim se reduz significativamente o custo de produção e de venda (BRASIL, 2015a).

Relação custo x benefício da energia solar fotovoltaica

Ao avaliar o custo da energia solar fotovoltaica, observa-se que de 2008 a 2012 o preço médio de venda dos módulos caiu aproximadamente 80%, resultado da maturação da tecnologia que tornou o processo mais eficiente e reduziu significativamente os seus custos. Além disso, o estudo realizado pelo *European Technology and Innovation Platform Photovoltaic* constatou que os preços dos módulos fotovoltaicos foram reduzidos significativamente nos últimos anos, tornando-a mais atrativa (GONÇALVES; CUNHA; RHEINGANTZ, 2017; PHILIPPS *et al.*, 2015).

Além disso, o estudo realizado por Apolônio (2014) confirma que os avanços tecnológicos desses sistemas, com o investimento de diversos países, tornam a energia solar

mais acessível, incentivando a exploração de fontes renováveis, além de estimular a diversificação das matrizes energéticas de cada país.

Com alto potencial para aplicação no Brasil, devido às condições climáticas locais, o desenvolvimento da tecnologia chama a atenção, especialmente pelas vantagens e especificidades da energia fotovoltaica como a baixa manutenção, a possibilidade de instalar de baixas a elevadas potências e por apresentar característica modular que permite a ampliação do sistema conforme a necessidade do usuário (COSTA *et al.*, 2020).

Devido a sua ampla aplicabilidade, é importante ressaltar que a tecnologia fotovoltaica pode ser integrada às edificações que não ocupam área extra, pois não interferem negativamente no seu entorno, e quando é sobreposta à estrutura é considerado um material de vedação extra, portanto passa a ser considerado um edifício sustentável, consequentemente (GONÇALVES; CUNHA; RHEINGANTZ, 2017).

Uma das principais vantagens da energia solar fotovoltaica é ser considerada uma fonte limpa durante todo o seu processo de conversão, não resultando em nenhuma emissão sonora ou de gases em seu uso (ROSA; GASPARIN, 2016; CHO; LIM; YOO, 2017; GUO *et al.*, 2019). Além disso, ela é considerada a fonte de energia mais abundante no mundo, e o Brasil apresenta grande potencial devido a sua geolocalização (SILVA, 2015).

A energia solar fotovoltaica caracteriza-se por apresentar uma manutenção mínima referente à limpeza de galhos ou detritos que possam prejudicar a passagem da radiação em sua superfície. Ela apresenta uma vida útil de 25 anos e está em constante aprimoramento para ser mais potente e com um custo menor, o que a torna cada vez mais viável economicamente (SHAN; YANG, 2019; DUBEY; TRIPATHI, 2019; JIA; ALVA; FANG, 2019). É possível utilizá-la em locais de difícil acesso ou remotos, visto que o sistema *off grid* não necessita de investimento em linhas de transmissão. Por fim, o seu uso auxilia no aumento da segurança energética e da redução do uso de fontes de energias poluentes pelos países (AKARSLAN *apud* SAHIN, 2012).

Já em relação às desvantagens, as tecnologias de conversão ainda são consideradas relativamente caras ou com custos superiores às demais fontes de energia, especialmente as não renováveis (CORIA; PENIZZOTTO; PRINGLES, 2019). Além disso, a energia produzida depende de situações climáticas e, em casos de sistemas *off grid*, pode apresentar variações diárias na produção de energia conforme o grau de nebulosidade (SEME, 2019).

As técnicas de armazenamento da energia são pouco eficientes quando comparadas às de energias dos combustíveis fósseis e das hidrelétricas (CORIA; PENIZZOTTO; PRINGLES, 2019). Por fim, os seus rendimentos, até o avanço tecnológico obtido em agosto de 2021, são considerados baixos, com máximo de 25% de conversão (DUBEY; TRIPATHI, 2019; JIA; ALVA, FANG., 2019).

Os países e a relação com a energia solar

Estados Unidos

A partir da década de 1980, os Estados Unidos foram um dos pioneiros ao começarem a investir na tecnologia da energia solar fotovoltaica em larga escala que, em conjunto com as políticas públicas favoráveis relacionadas ao projeto *Solar America Initiative*, tornou-se o mercado de energia solar mais competitivo no mundo (TIMILSINA; KURDGELASHVILI; NARBEL, 2012).

A iniciativa americana garantia recursos de pesquisa e de desenvolvimento na área, além de financiamentos especiais para a compra de equipamentos, descontos e empréstimos que poderiam cobrir até 50% das instalações. Outros parâmetros importantes também foram a dedução de impostos e o sistema *net metering*, parcela da energia não consumida que pode ser usada pela concessionária e creditada para consumo futuro (EPE, 2014).

Uma inovação que os Estados Unidos desenvolveram foi um modelo de negócio denominado de terceiro proprietário do sistema de geração solar fotovoltaico. Esse indivíduo era responsável pela instalação do sistema, com posse do material na propriedade do cliente, assim, ele era remunerado pela venda da energia gerada. A vantagem era que poderia garantir acesso à energia elétrica do sistema sem nenhum custo de aquisição, manutenção e operação (SEEL; BARBOSE; WISER, 2014).

De acordo com o relatório da Solar Energy Industries Association (Associação de Indústrias de Energia Solar) (2015), a estabilidade política e os regulamentos criados pelo país foram fundamentais para que a energia solar crescesse no território estadunidense devido à geração de recursos de investimento e a um cenário apropriado para o planejamento do setor em longo prazo. Essas circunstâncias permitiram o desenvolvimento e o aperfeiçoamento tecnológico dos equipamentos utilizados na conversão, além da expansão das plantas geradoras e as suas modalidades de negócios.

Alemanha

Houve uma grande comoção por parte da opinião pública referente a mudanças na matriz energética na Alemanha, que acabou resultando em um movimento que fez diferença junto aos parlamentares alemães, destacando-se o contexto de Chernobyl de 1986, com as políticas e debates sobre mudanças climáticas (JACOBSSON; LAUBER, 2006).

Nos anos de 1991 a 1995, a primeira política foi estabelecida e voltada para a geração de energia elétrica renovável através das células fotovoltaicas. Desenvolveu-se, a partir daí, o projeto denominado “Iniciativa 1.000 Telhados Solares” no país. A política foi repetida nos anos de 1999 a 2003 com o projeto reformulado para “Iniciativa 10.000 Telhados Solares” com incentivos de empréstimos com baixos juros garantidos pelo banco de desenvolvimento da Alemanha KfW (GRAU; HUO; NEUHOFF, 2012).

Em 2000, foi promulgada a expansão do Ato de Fontes Renováveis de Energia que permitiu o acesso de empreendimentos à geração de fontes renováveis à rede e o esquema *feed-in tariff* (FIT) que garante uma remuneração ao gerador para cada unidade de eletricidade alimentada na rede com contratos de longo prazo de 20 anos. Assim, a tarifa tem um diferencial significativo para cada unidade de eletricidade gerada e cláusulas com redução de preços ao longo do tempo. Os incentivos foram fundamentais para aumentar a produção de energia solar que passou de 6,3%, no ano de 2000, para mais de 15%, no ano de 2008 (MENDONÇA; JACOBS, 2009).

Além dos incentivos, foram desenvolvidos programas de empréstimos e de subsídios em níveis federal e estadual para a compra de sistemas visando estimular os investimentos e os projetos de pesquisa em desenvolvimento nessa tecnologia com redução expressiva do preço de 52%, entre 2006 e 2011 (GRAU; HUO; NEUHOFF, 2012).

Apesar do modelo adotado ser um desafio pelo contínuo apoio público voltado a sua expansão, a Alemanha é um exemplo na região europeia e internacional em utilização das energias renováveis, acima de líderes de mercado como China, Japão e Estados Unidos por manter seus incentivos legais e financeiros para a estabilidade do mercado, utilizando legislações claras e transparentes (WIRTH; SCHNEIDER, 2021).

Japão

Até os anos de 1970, a matriz energética do Japão era baseada em combustíveis fósseis. Para reduzir essa dependência, criou-se o programa nacional “Luz do Sol” para desenvolver fontes de energia não fósseis. Contudo, o programa obteve poucos resultados e, em 1980,

promulgou-se a Lei da Energia Alternativa com o principal pilar, ou seja, a energia solar. Foi utilizado um orçamento de US\$ 6 bilhões em pesquisas para o desenvolvimento dessa tecnologia entre os anos de 1980 e 1990, no país. Em 1993, o programa ampliou os recursos para a criação da indústria fotovoltaica japonesa e seu mercado (CHOWDHURY *et al.*, 2014).

Entre 1993 e 2000, foram desenvolvidos vários projetos para estimular o mercado de energia solar, contudo, entre 2007 e 2008, o governo reduziu a ajuda, consequentemente, houve redução das instalações. Assim, em 2009 foi promulgada a lei referente à Promoção do Uso de Fontes de Energia Não Fósseis para que se criasse subsídios para os sistemas fotovoltaicos residenciais e a compra da energia excedente (FIT) (AVRIL *et al.*, 2012).

Com a meta do governo para dobrar a sua capacidade instalada de energia solar até 2020, houve um investimento significativo, que em 2017 alcançou uma capacidade de 110% em relação à anterior (IEA, 2018). Assim, a previsão relacionada aos anos 2030 até 2050 é que o Japão consiga atingir um aumento de capacidade referente a 100% e 200%, respectivamente (MATSUBARA, 2018).

China

Em 2009, na Conferência de Copenhague, a China assumiu um compromisso perante o mundo relacionado às reduções de CO₂, ou seja, o governo comprometeu-se em reduzir de 40% a 45% até 2020 em relação aos níveis de 2005 a emissões de CO₂. Com essa meta, o país atende ao esperado e às visões em longo prazo do planejamento econômico e social (YUAN; HOU; XU, 2012).

Para atingir a meta, em 2009, o país promoveu várias políticas de mercado para a geração de energia solar fotovoltaica como o programa *Golden Sun* com projetos de grande escala e tarifas FIT – feed-in⁴–, além disso, as iniciativas têm programas de médio a longo prazo de desenvolvimento sustentável. Outro incentivo foram subsídios para investidores que utilizassem geração fotovoltaica direta dos fabricantes para reduzir 50% quando interligada à rede de distribuição da cidade e 70%, fora da rede de distribuição, ou seja, quando o sistema era aplicado nas áreas rurais (GRAU *et al.*, 2012).

Nos investimentos direcionados à pesquisa e ao desenvolvimento, houve o apoio ministerial através do Plano Quinquenal. Além disso, houve incentivos e benefícios para a indústria fotovoltaica como, por exemplo, redução de impostos, subsídios diretos aos

⁴ Uma tarifa feed-in (FIT) é uma política destinada a apoiar o desenvolvimento de fontes de energia renováveis, fornecendo aos produtores um preço garantido acima do mercado.

fabricantes, empréstimos a juros reduzidos, entre outros.

Para promover o desenvolvimento saudável, em 2013, houve a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma que definiu a nova política do FIT que se tornou uma das políticas mais vantajosas relacionadas à energia solar (IEA, 2017). Outro ponto é que com a continuidade do sistema tarifário até 2030, haverá um benefício não apenas pelo aumento da geração e de consumo de energia sustentável reduzindo a emissão de gases do efeito estufa como também aumentos reais do Produto Interno Bruto (PIB) e de geração de emprego (WEI *et al.*, 2019).

Brasil

No Brasil, apesar das condições favoráveis para a implementação da energia solar fotovoltaica, as iniciativas políticas são muito restritas. A primeira política foi implementada em 1994 através do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (Prodeem) para que permitisse a aquisição dos sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas, atendendo a 7 mil comunidades no país. Ao ser incorporada no Programa Luz para Todos, com enfoque em localidades remotas não eletrificadas, as instalações pela Eletrobrás atingiram 2.046 sistemas e 70.451 projetos no programa (ELMAGAL; DEMAJOROVIC, 2020).

A Resolução Normativa da Aneel nº 481/2012 (2012) permite que projetos fotovoltaicos com geração de até 30 MW tenham descontos de 80% nas tarifas de uso de transmissão e de distribuição nos 10 primeiros anos de operação, reduzindo significativamente o preço da energia, contudo o desconto é válido apenas para projetos que entrarem em operação até o final de 2017. Assim, a resolução da Aneel estabeleceu as regras de *net metering* – medição de internet – em geração distribuída no qual as concessionárias devem cobrar apenas o saldo líquido da energia entregue, descontado da energia gerada por ele na rede (SILVEIRA; TUNA; LAMAS, 2013).

O primeiro leilão de energia de geração solar fotovoltaica ocorreu em 2013, porém não recebeu propostas. Já no sexto leilão de energia de reserva, em 2014, houve a contratação de 889,7 MW em 31 projetos de energia solar fotovoltaica. Por ser uma energia subaproveitada, o estudo desenvolvido pela EPE (2014) demonstrou que a geração depende da sua capacidade de se tornar viável economicamente, portanto é necessário um maior tempo para uma participação econômica relevante devido às limitações das políticas públicas.

Um dado importante é o Convênio ICMS 6 desenvolvido pelo Conselho Nacional de Política Fazendária (Confaz) que coloca tributos na compensação de energia o que reduz a atratividade nos sistemas de geração fotovoltaica. Segundo o governo, o tributo reduziria a sua

receita, uma vez que as distribuidoras diminuiriam as vendas, portanto a arrecadação de seus tributos. Em contrapartida, não foi considerado que seriam arrecadados impostos dos investimentos que superariam esses tributos da venda de energia (ELMAGAL; DEMAJOROVIC, 2020).

Portanto, ao comparar as motivações, observou-se que Estados Unidos, Alemanha, Japão e China focaram na implementação da energia solar para redução das emissões de CO₂ e da dependência de combustíveis fósseis e energia nucleares. Já no Brasil, a motivação foi ampliar o uso para comunidades sem acesso à energia elétrica.

Em relação aos incentivos, nos outros países, observou-se que o mix de políticas públicas, ou seja, o apoio à pesquisa e ao desenvolvimento, e a predominância do sistema FIT foram amplamente utilizados para estimular o crescimento da tecnologia. Em relação ao Brasil, as políticas demonstram-se fragmentadas e com limitações, posto que se utilizam apenas do desconto das tarifas de distribuição, transmissão e *net metering* (ELMAGAL; DEMAJOROVIC, 2020).

METODOLOGIA

A tipologia utilizada para o objetivo desse trabalho foi a descritiva, que possui a função de explicitar características do assunto estudado, relacionando variáveis por meio de observação e análise, de forma a não manipular os dados e as informações (GIL, 2019). Com isso, tem-se o intuito de avaliar as características da energia solar e a sua aplicação em um amostral dos quatro principais países que apresentam alta geração de energia solar quando comparada com o potencial e a geração do Brasil.

Assim, o procedimento utilizado foi uma pesquisa bibliográfica e documental. A parte bibliográfica entra na fundamentação teórica em relação a alguns aspectos da pesquisa e o elemento documental ambienta-se como uma análise dupla de fontes primárias e secundárias (BEUREN, 2008). Para isso, foram coletadas informações necessárias com o propósito de permitir investigar as características do Brasil e suas políticas públicas relacionadas ao tema quando comparadas com os quatro países pioneiros na geração de energia solar. Para isso, foram usadas as plataformas base do Google Acadêmico, Portal Periódico Capes e Spell para acessar os trabalhos acadêmicos e a legislação. Os decretos foram retirados de sites de órgãos públicos.

Por fim, na abordagem do problema foi utilizada uma análise qualitativa, uma vez que se busca uma análise mais significativa em relação ao objeto abordado (BEUREN, 2008).

Assim sendo, buscam-se avaliar a interação e a compreensão sobre os processos dinâmicos existentes nas políticas nacionais sobre o uso da energia solar quando comparado com outros países.

Para avaliar a viabilidade de uma instalação e geração de energia solar fotovoltaica, inicialmente, deve ser desenvolvido um projeto no qual se avalia a inclinação da latitude local para obter a maior incidência solar que será a inclinação do painel. Em seguida, deve ser avaliada a estimativa de potência instalada em relação ao consumo através da equação 1.

$$capacidade = \frac{(custo\ médio\ mensal - custo\ de\ disponibilidade) \times 12meses}{Produtividade\ anual} \quad \text{Eq. 1}$$

Em relação às linhas de crédito para os sistemas fotovoltaicos, alguns bancos brasileiros oferecem essas linhas com juros menores do que os normalmente aplicados como, por exemplo, a Caixa Econômica Federal e o Santander. Recentemente a Caixa desenvolveu um projeto intitulado “Caixa Energia Renovável” com taxa de juros de 1,17% ao mês para auxiliar na crise hídrica e energética que o Brasil enfrenta (ALECRIM, 2021).

Um cálculo necessário é o de *payback*, ou seja, qual o prazo que será necessário o fluxo de caixa que pagará o valor efetivado pelo investimento realizando a diferença do lucro anual do fluxo de caixa do projeto e, caso ele se torne positivo, terá ao longo do tempo em que o investimento será pago. Além disso, é importante considerar o valor de dinheiro ao longo do tempo através da taxa de atratividade (*i*) no cálculo do valor presente – conforme equação dada abaixo –, sendo mais realista devido à inflação (LEMES JR.; CHEROBIM; RIGO, 2015).

$$valor\ presente = \frac{valor\ final}{(1 + i)} \quad \text{Eq. 2}$$

Além da inflação do dinheiro, é necessário avaliar a tarifa do índice Nacional de Preço ao Consumidor Amplo (IPCA) que entre 2013 a 2017 apresentou aumentos expressivos, cuja média entre outubro de 2007 a setembro de 2017 foi uma taxa de 6,08%. É importante ressaltar o imposto sobre produtos industrializados (IPI) que apresenta uma tributação de 15% sobre o valor do inversor, como também as alíquotas do PIS/PASEP (1,65%), Confins (7,6%), ICMS

(25% a 29%) e a taxa mínima de atratividade (6%) (FARIA; SILVA; SILVA, 2017).

Outros dados para considerar no cálculo é o custo anual de manutenção e de operação – 1% do investido reajustado às tarifas –, o crescimento anual de consumo de energia elétrica – 2% –, a redução anual da eficiência dos painéis por ano – 1% – e os valores das prestações do financiamento, caso seja realizado por banco.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Matriz Energética Solar Fotovoltaica

Os países considerados líderes na geração da energia fotovoltaica são a China, o Japão, a Alemanha e os Estados Unidos por adotarem diferentes estratégias relacionadas às políticas e aos incentivos para a geração da energia solar fotovoltaica (SANTOS; COSTA FILHO; NICHIOKA, 2019), conforme é demonstrado na FIG. 5.

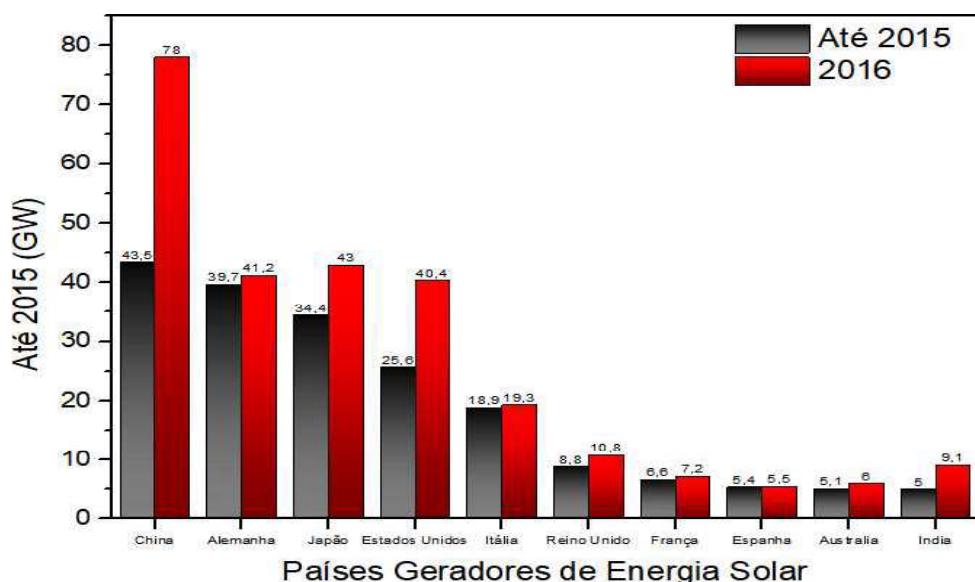


FIGURA 5 - Capacidade Fotovoltaica dos 10 países líderes de 2015 a 2016

Fonte: SANTOS; COSTA FILHO; NICHIOKA, 2019, n. p.

O crescimento contínuo da capacidade de geração da energia fotovoltaica demonstra a forte relação desses países com o desenvolvimento de políticas públicas que sustentam seu contínuo crescimento, corroborando com os dados observados na literatura, pois os países que adotaram políticas públicas como o *feed-in-tariff*, o *net metering*, cotas de comercializações, leilões, entre outras, apresentam liderança significativa na geração de energia fotovoltaica.

No Brasil, há um crescimento lento da geração de energia solar fotovoltaica por

encontrar alguns desafios como, por exemplo, os incentivos fiscais, a pesquisa e a inovação tecnológica para produção nacional, fomento de mercado consumidor, incentivo à indústria de células solares e módulos fotovoltaicos, e aproveitamento da matéria-prima.

Em relação aos incentivos fiscais, atualmente quando o consumidor apresenta crédito na rede por ter gerado a energia, ele precisa pagar o ICMS da energia autogerada, o que desincentiva a aquisição do sistema. Além disso, com valores de tarifas entre 35% e 40% do que normalmente é pago sem o sistema, torna o investimento economicamente desinteressante (ELMAGAL; DEMAJOROVIC, 2020).

Outros fatores importantes para a ampliação da energia fotovoltaica seria implementar ações para fomentar o mercado consumidor através de divulgações e incentivos do uso e disseminação dessa tecnologia, como também aumentar o investimento na pesquisa e o desenvolvimento no setor, e fornecer incentivos para a indústria nacional, que deverá reduzir os custos significativos de sua produção e venda, tornando-se, portanto, mais viável economicamente.

Como o país possui grandes jazidas de quartzo, que é a matéria-prima para a produção de silício de alta qualidade, ou seja, é uma riqueza natural, a sua disponibilidade, com um custo acessível, pode ser um fator a ser considerado como incentivo à produção local de painéis fotovoltaicos.

Avaliação Energética e Econômica da Energia Solar Fotovoltaica

Ao comparar a intensidade de irradiação solar na região do Brasil com a Alemanha – FIG. 6 – que está atualmente na terceira posição de maior geração de energia solar, observa-se que o maior índice de irradiação da Alemanha é significativamente menor do que o mínimo índice brasileiro, demonstrando que, com investimentos e políticas públicas adequados, o Brasil facilmente conseguiria se tornar um dos 10 maiores em produção e geração de energia solar fotovoltaica.

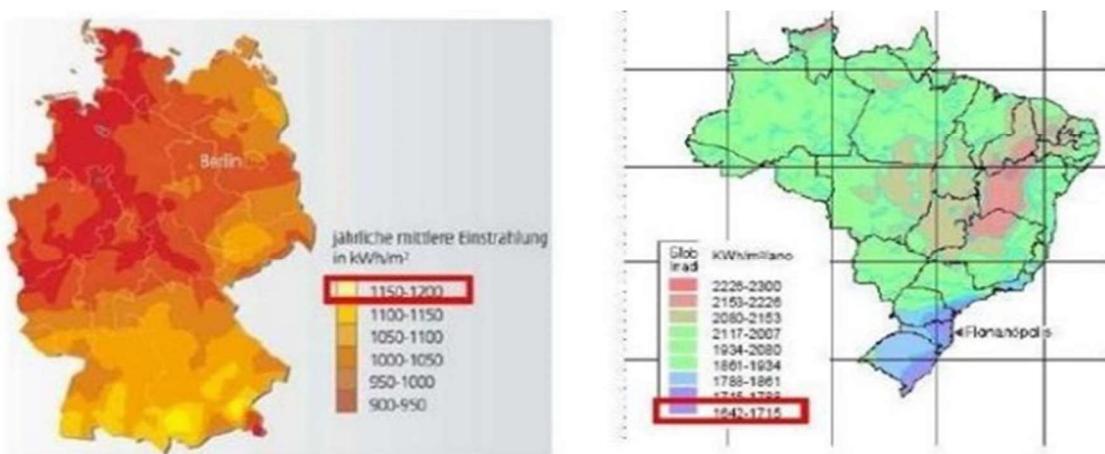


FIGURA 6 - Comparação da intensidade de irradiação entre a Alemanha e o Brasil
Fonte: RELLÁ, 2017, n. p.

Nos últimos anos, no Brasil houve uma redução significativa no custo de produção de kWp devido ao tempo de vida útil da célula fotovoltaica (RELLÁ, 2017), aprimorando, assim, a relação custo-benefício e tornando, economicamente, mais viável a aplicação em larga escala dessa tecnologia no país, conforme está demonstrado na FIG. 7.

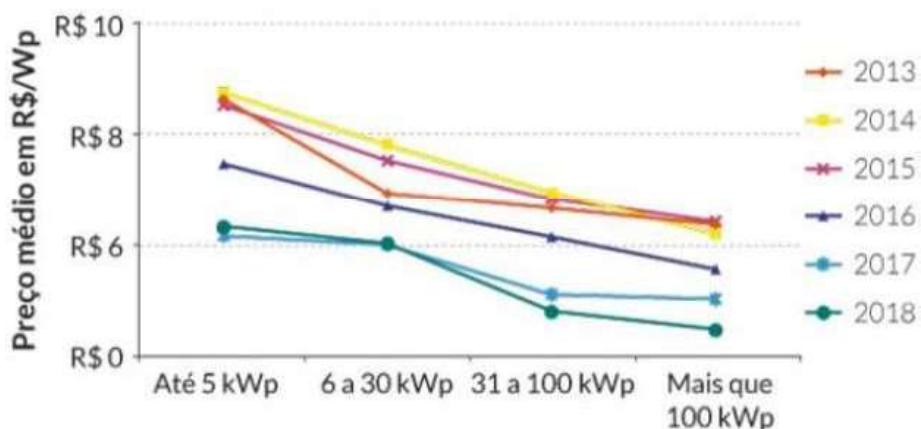


FIGURA 7 - Relação do custo kWp da célula fotovoltaica entre os anos 2013 a 2018
Fonte: IDEAL, 2019, n. p.

No valor de custo do painel fotovoltaico está incluso o módulo fotovoltaico, os inversores, as estruturas metálicas e de suporte, o projeto e sua instalação, os custos e despesas administrativas e outros componentes, como demonstra a FIG. 8.



FIGURA 8 - Porcentagem de cada elemento referente ao custo final do painel fotovoltaico
Fonte: IDEAL, 2019, n. p.

A porcentagem referente aos módulos fotovoltaicos corresponde a maior parcela do valor do painel fotovoltaico referente a 40%, isto corrobora para aumentar o incentivo à indústria para a fabricação nacional e comercialização desses painéis, o que conseguiria reduzir significativamente o custo da tecnologia no país. Além disso, como visto anteriormente, a isenção ou redução de custos e despesas administrativas também contribuiria para tornar o uso da energia solar fotovoltaica mais acessível e atrativo financeiramente.

O estudo desenvolvido por Faria, Silva e Silva (2017) comparou, em um cenário real, três possibilidades, na qual a possibilidade “A” é a realidade vivenciada atualmente com os impostos cobrados pela energia consumida, a possibilidade “B” é a adesão do ICMS nº 16 que só será cobrado na diferença entre a energia consumida pela energia fornecida à rede, e a possibilidade “C” que está relacionada ao Projeto de Lei PL nº 1.609/2015 que dá isenção de contribuição para PIS/Pasep e Cofins na venda dos equipamentos de painéis fotovoltaicos e isenção do IPI dos inversores elétricos (BRASIL, 2015b).

Ao comparar as três possibilidades, foi observado que a “A” não apresentava viabilidade econômica em 25 anos devido aos altos impostos e tributos cobrados. Contudo, ao reduzir o ICMS apenas para o valor consumido sem ser produzido – possibilidade “B” –, a própria energia solar resultaria em um *payback* em até 20 anos. Por fim, com a redução do ICMS e o projeto de lei que reduz os impostos e as tarifas relacionados à energia elétrica, o *payback* se

torna viável a partir do 18º ano, sendo, portanto, as alternativas “B” e “C” as mais interessantes e viáveis economicamente (FARIA; SILVA; SILVA, 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inúmeros países apresentam a energia solar como uma de suas fontes de energia principais na matriz energética, contudo apresentam menor irradiação solar do que o Brasil. Dessa afirmação inicial, a proposta do artigo foi apresentar as características brasileiras em comparação com os países líderes no uso de energia fotovoltaica. Assim, tivemos um panorama do setor brasileiro em relação a esses países, levando-se em consideração a irradiação e o potencial de geração.

Implementar a energia solar em ampla escala no país é, extremamente, interessante para o consumidor final, uma vez que ele pagará valores mais acessíveis de energia elétrica. Além disso, trazer indústrias dessa tecnologia para o território nacional aumentará, significativamente, a geração de empregos. Quanto ao país, espera-se uma redução da demanda de energia de outras fontes energéticas, evitando, assim, apagões e racionamento em períodos críticos.

Concluímos que os impostos e as taxas cobrados no Brasil, e a ausência de políticas públicas para incentivar a indústria e o comércio local influenciam significativamente a viabilidade econômica e o crescimento da matriz da energia solar fotovoltaica no país, em detrimento do potencial energético significativo devido as suas características geográficas, que são superiores a dos líderes atuais no segmento.

Portanto, para solucionar e impulsionar o crescimento da energia fotovoltaica, seria interessante estimular empresas e indústrias de fabricação nacionais para desenvolverem técnicas de produção de células e painéis fotovoltaicos que são responsáveis por grande porcentagem do custo, reduzindo consideravelmente o valor de aquisição da tecnologia.

Além disso, o governo deveria propor políticas públicas que reduzissemos os impostos e as taxas referentes à produção para tornar financeiramente viável e interessante para todos o investimento nesta energia renovável. Dessa forma, além de estimular o uso de uma fonte de energia inesgotável, limpa e sustentável, também auxilia na crise energética, principalmente quando algumas condições climáticas não são favoráveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Aneel. **Resolução Normativa n. 481**, de 20 de abril de 2012. Altera a Resolução Normativa n. 77, de 18 de agosto de 2004. Ministério de Minas e Energia. Poder Executivo, Brasília, 2012a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Aneel. **Resolução Normativa n. 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aossistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Ministério de Minas e Energia. Poder Executivo, Brasília, 2012b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Aneel. **Resolução Normativa n. 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa n. 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição, Prodist. Ministério de Minas e Energia. Poder Executivo, Brasília, 2015.

AKARSLAN, F. Photovoltaic Systems and Applications. In: SAHIN, A. S. (Org.). **Modeling, and optimization of renewable energy systems**. Croácia: InTech, 2012 (Cap. 2, p. 21-51).

ALECRIM, E. **Caixa vai financiar até 100% de projetos de energia solar para casas**. Portal Terra, Tecnologia, São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/tecnologia/caixa-vai-financiar-ate-100-de-projetos-de-energia-solar-para-casas,2d05c38f45e737f3fa1fc71f2242157drkwhdrll.html>>. Acesso em: 2 fev. 2020.

APOLÔNIO, D. M. **Energia solar fotovoltaica conectada à rede de energia elétrica em Cuiabá: estudo de caso**. 2014. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2014. Disponível em: <<http://ri.ufmt.br/handle/1/516>>. Acesso em: 3 mar. 2020.

AVRIL, S. et al. Photovoltaic energy policy: Financial estimation and performance comparison of the public support in five representative countries. **Energy Policy**, v. 51, p. 244-258, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.050>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

BAJAY, S. V.; BADANHAN, L. F. **Energia no Brasil: os próximos dez anos**. Campinas, SP: [s. n.], 2002.

BRASIL. Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral. **Agência Nacional de Mineração**. Centrais de Conteúdo, Documentos, Brasília, 2015a. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/documentos/projeto-metapdfprojeto-de-assistencia-tecnica-dos-setores-de-energia-e-mineral/view>>. Acesso em: 2 dez. 2020.

BRASIL. **Projeto de Lei n. 1.609/2015**. Estabelece incentivos tributários para a microgeração distribuída e para a minigeração distribuída de energia elétrica. Câmara dos Deputados. Poder Legislativo, Brasília, 2015b. Disponível em:

<<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=127967>>. Acesso em: 2 dez. 2020.

BEUREN, I. M. (Org.). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

CHO, Y. C.; LIM, S. Y.; YOO, S. H. The external benefits of expanding the micro photovoltaic power generation in Korea: A contingent valuation study. **Solar Energy**, v. 158, p. 898-904, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.10.041>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

CHOWDHURY, S. *et al.* Importance of policy for energy system transformation: Diffusion of PV technology in Japan and Germany. **Energy Policy**, v. 68, p. 285-293, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.023>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

COLATUSSO, R. A. **A energia solar e sua contribuição para a matriz energética do Paraná**: aspectos socioambientais e de sustentabilidade local. 2018. 137 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1884/56253>>. Acesso em: 3 dez. 2020.

CORIA, G.; PENIZZOTTO, F.; PRINGLES, R. Economic analysis of photovoltaic projects: The Argentinian renewable generation policy for residential sectors. **Renewable Energy**, v. 133, p. 1167-1177, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.098>>. Acesso em: 28 nov. 2020.

COSTA, A. C. *et al.* Energia solar fotovoltaica uma alternativa viável? **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 72637-72656, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-639>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

DUBEY, P. K.; TRIPATHI, L. N. Hybrid metal nanoantenna 2D-materialphotovoltaic device. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, n. 200, p. 109918, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.109918>>. Acesso em: 5 dez. 2020.

ELMAGAL, G. N. G.; DEMAJOROVIC, J. As barreiras e perspectivas para geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos na matriz energética brasileira. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 1, p. 1-28, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.5585/geas.v9i1.17157>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA DE ENERGIA. EPE. Avaliação da eficiência energética e geração distribuída para os próximos 10 anos (2014-2023). Nota Técnica DEA 26/14, Série **Estudos de Demanda**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Publicacoes/Arquivos/publicacao-251/topicos-311/DEA%202026%20Efici%C3%A3ncia%20Energ%C3%A9tica%20e%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Distribu%C3%A7%C3%A3o%20para%20os%20pr%C3%B3ximos%2010%20anos%5B1%5D.pdf>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Balanço energético nacional 2020. **Dados Abertos Publicações**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>>. Acesso em: 19 jan. 2021.

FARIA, M. C. R.; SILVA, R. L. da; SILVA, R. L. da. **Estudo de viabilidade econômica para implementação de sistemas fotovoltaicos em habitações populares.** 2017. 1076 f. Trabalho de Conclusão de Curso Graduação, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10063>>. Acesso em: 23 jan. 2021.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GONÇALVES, I. P.; CUNHA, E. G.; RHEINGANTZ, P. A. Estudo da relação custo-benefício na implantação de diferentes sistemas fotovoltaicos em um edifício de escritórios na zb 2. **Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído**, 14., Balneário Camboriú, SC, 2017.

GRAU, T.; HUO, M.; NEUHOFF, K. Survey of photovoltaic industry and policy in Germany and China. **Energy Policy**, v. 51, p. 20-37, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.082>>. Acesso em: 15 fev. 2021.

GUO, X. *et al.* Carbon footprint of the photovoltaic power supply chain in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, p. 626-633, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.102>>. Acesso em: 17 fev. 2021.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA - Ideal. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica.** 6. ed. Florianópolis, 2019. Disponível em: <<https://institutoideal.org/o-mercado-brasileiro-de-geracao-distribuida-fv-edicao-2019/>>. Acesso em: 22 nov. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. National survey report of PV power applications in China 2016. **Photovoltaic Power System Programmer.** Paris, 2017. Disponível em: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/National_Survey_of_PV_Power_Applications_in_China_-2016.pdf>. Acesso em 24 nov. 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Snapshot of global photovoltaic markets 2018. **Photovoltaic Power System Programmer.** Paris, 2018. Disponível em: <https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2020.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Irena. Renewable Energy and Jobs. Annual Review 2016. **Publications**, Abu Dhabi, 2016. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2016/May/Renewable-Energy-and-Jobs--Annual-Review-2016>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

JACOBSSON, S.; LAUBER, V. The politics and policy of energy system transformation – explaining the German diffusion of renewable energy technology. **Energy Policy**, v. 34, n. 3, p. 256-276, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.029>>. Acesso em: 1 dez. 2020.

JIA, Y.; ALVA, G.; FANG, G. Development and applications of photovoltaic- thermal systems: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 102, p. 249-265, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.030>>. Acesso em: 3 dez. 2020.

LEMES JR., A. B.; CHEROBIM, A. P. M. S.; RIGO, C. M. **Fundamentos de finanças empresariais:** técnicas e práticas essenciais. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

MATSUBARA, H. Renewable energy policies and the energy transition in Japan. **Friedrich-Ebert-Stiftung** - FES, Tóquio, 2018. Disponível em: <https://japan.fes.de/fileadmin/user_upload/Study_Matsubara.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2020.

MENDONÇA, M.; JACOBS, D. Feed-in tariffs go global: policy in practice. **Renew Energy World**, v. 12, n. 4, p. 1-6, 2009.

MOLINA JR., W. F. **Recursos energéticos e ambiente**. Curitiba: Inter Saberes, 2015.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos, SP: INPE, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 2 nov. 2020.

PHILIPPS, S. P. et al. Current status of concentrator photovoltaic (CPV) technology. **National Renewable Energy Laboratory e Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Org.)**. Tennessee, 2015. Disponível em: <<https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65130.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

RELLA, R. Energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista de Iniciação Científica**, v. 15, n. 1, p. 1-11, 2017.

ROSA, A. R. O.; GASPARIN, F. P. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 7, n. 2, p. 140-147, 2016.

SEEL, J.; BARBOSE, G. L.; WISER, R. H. An analysis of residential PV system price differences between the United States and Germany. **Energy Policy**, v. 69, p. 216-226, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.02.022>>. Acesso em: 2 abr. 2021.

SEME, S. et al. Analysis of the performance of photovoltaic systems in Slovenia. **Solar Energy**, v. 180, p. 550-558, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.062>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

SHAN, H.; YANG, J. Sustainability of photovoltaic poverty alleviation in China: an evolutionary game between stakeholders. **Energy**, v. 181, p. 264-280, 2019. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.152>>. Acesso em: 14 fev. 2021.

SILVA, R. M. Energia solar no Brasil: dos incentivos aos desafios. Núcleo de Estudos e Pesquisas/Conleg/Senado, **Texto para Discussão**, n. 166, Brasília, 2015. Disponível em: <www.senado.leg.br/estudos>. Acesso em: 16 abr. 2021.

SILVEIRA, J. L.; TUNA, C. E.; LAMAS, W. Q. The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 20, p. 133-141, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.054>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION - SEIA. Solar market insight 2015 year. **Review Executive Summary**, Washington, 2015. Disponível em: <<https://www.seia.org/research-resources/solar-market-insight-2015-q4>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

SOUZA, W. A.; SOUZA, R. C. R.; MINORI, A. M. Boas práticas de manutenção preventiva em sistemas fotovoltaicos. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 8, p. 12779-12791, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-105>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

SANTOS, B. C. dos; COSTA FILHO, A. F.; NICHIOKA, J. Benchmarking: políticas públicas de incentivo a geração de energia fotovoltaica. **Revista Episteme Transversalis**, v. 10, n. 1, p. 386-408, 2019. Disponível em: <<http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/1308>>. Acesso em: 6 mar. 2021.

TIMILSINA, G. R.; KURDGELASHVILI, L.; NARBEL, P. A. Solar energy: markets, economics and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 449-465, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.009>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

WEI, W. *et al.* The environmental benefits and economic impacts of fit-in-tarrif in China. **Renewable Energy**, v. 133, p. 401-410, 2019. Disponível em: <doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.064>. Acesso em: 4 mar. 2021.

WIRTH, H.; SCHNEIDER, K. Recent facts about photovoltaics in Germany. **Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems**, Freiburg, 2021. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/recent-facts-about-pv-in-germany.html>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

YUAN, J.; HOU, Y.; XU, M. China's 2020 carbon intensity target: consistency, implementations, and policy implications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 7, p. 4970-4981, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.065>>. Acesso em: 24 fev. 2021.