

PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS (PPPs) NO AVANÇO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL

Daniel Leal Sousa^{1,2} – daniel.sousa@ifpi.edu.br

¹Instituto Federal do Piauí, Câmpus Picos

Marcos Antônio Tavares Lira²

Albermerc Moura de Moraes²

²Universidade Federal do Piauí, Câmpus Petrônio Portela

7.1. Estratégias e políticas para energias renováveis

Resumo. A busca por uma matriz energética mais sustentável é uma das principais metas da atualidade, e a energia solar fotovoltaica desempenha um papel fundamental nessa transição. No entanto, a expansão dessa tecnologia enfrenta grandes desafios, desde altos investimentos iniciais até o gerenciamento da variabilidade na produção instantânea de energia, no caso da fonte solar. As parcerias entre os setores público e privado surgem como um modelo colaborativo crucial para superar essas barreiras, combinando a eficiência e inovação do setor privado com o apoio regulatório e financeiro do setor público. O aumento na capacidade de geração de energia elétrica utilizando a fonte solar fotovoltaica, por parte do poder público é de extrema importância, pois reduz os gastos com energia elétrica, além de reduzir os impactos ambientais. Nesse contexto, o objetivo neste trabalho é analisar o papel das Parcerias Público-Privadas (PPPs) na implementação e aceleração da expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil, com destaque para a PPP das miniusinas de geração fotovoltaica implementada pelo Governo do Estado do Piauí, enfatizando os benefícios e desafios enfrentados neste processo. A metodologia empregada inclui uma análise detalhada das publicações científicas sobre o tema, por meio da pesquisa nas principais fontes de dados digitais disponíveis (periódico CAPES, SCOPUS, Google Acadêmico), complementada por um estudo de caso prático das miniusinas fotovoltaicas no Piauí. Este estudo revela que, enquanto as PPPs oferecem uma rota eficiente para superar barreiras financeiras e técnicas, elas também apresentam desafios significativos, como questões de transparência, alinhamento de objetivos e dependência do setor privado. Os resultados do caso do Piauí demonstram benefícios tangíveis das PPPs, como a redução dos custos de energia para o governo estadual e avanços na sustentabilidade ambiental. No entanto, é necessária uma gestão cuidadosa dos riscos e promoção da equidade no acesso à energia elétrica de qualidade.

Palavras-chave: Energia Renovável, Sustentabilidade Energética, Parcerias Público-Privadas (PPPs)

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica no mundo apresenta um crescimento proporcional ao aumento populacional e ao avanço tecnológico. Entretanto, essa demanda energética é amplamente suprida com a utilização de recursos energéticos de origem fósseis, os quais contribuem significativamente na emissão de gases de efeito estufa (GEE). A utilização de fontes fósseis na geração de energia resulta na liberação de dióxido de carbono (CO₂) e outros GEE, os quais desempenham um papel crucial no aquecimento global e retém oxigênio da atmosfera. Esses impactos ambientais são de grande preocupação, uma vez que comprometem a sustentabilidade e o bem-estar das populações (Lira *et al.*, 2019).

O fornecimento de energia elétrica de qualidade (geração, transmissão e distribuição) desempenha papel estratégico na qualidade de vida da população e no crescimento econômico do Brasil e do Mundo. Atender a demanda energética atual é um desafio pois é necessário aumentar a produção, com uma política de planejamento energético com fontes de energia renováveis, reduzindo os impactos socioambientais gerados pelas fontes não renováveis (Bursztyń, 2020).

A energia é a base do modo de vida contemporâneo. Observa-se, ao longo do tempo, uma tendência crescente na demanda mundial por energia elétrica, especialmente nas economias de mercado emergentes, produzindo impactos ambientais negativos na natureza, principalmente no longo prazo, e intensificando as mudanças climáticas (Barros *et al.*, 2021). Os impactos socioambientais causados pelas fontes de energias tradicionais levaram o governo e a sociedade a buscarem novas alternativas para geração de energia elétrica.

Historicamente, o Brasil enfrenta crises hídricas por conta do regime irregular de chuvas. A matriz elétrica brasileira, tem como principal fonte a geração hidrelétrica (109,92 GW) que corresponde a 50% do total no mês de outubro de 2023 de acordo com dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (ANEEL, 2023). Dessa forma, quando o país passa por uma crise hídrica, tem-se também uma crise energética. Nos últimos anos, a precipitação observada em algumas das principais bacias hidrográficas integrantes do Sistema Interligado Nacional (SIN) tem se mostrado significativamente abaixo da média histórica em vários períodos. A pior sequência hidrológica de todo o histórico de vazões do Operador Nacional do Sistema (ONS) em 93 anos (1931/2023), foi o período de setembro de 2020 a maio de 2021 (ONS, 2021).

Nesses períodos, ocorre o aumento das tarifas de eletricidade e a intensificação das emissões de GEE devido à queima de combustíveis fósseis. Para suprir a demanda de energia em caráter emergencial, evitar o racionamento e

apagões, entraram em operação as usinas termelétricas que, além de utilizar, em sua maioria, combustíveis poluentes, demandam grandes volumes de água em seu processo de geração de energia elétrica (Rodrigues *et al.*, 2020).

Além do fato dos combustíveis fósseis serem recursos limitados, os graves problemas ambientais, de saúde e sociais ocasionados geram um estado de alerta global quanto ao seu uso irrestrito. Consequentemente, o mundo está desviando sua atenção para a ampla exploração de recursos de energia renovável, como solar, biomassa, eólica, etc., visando o desenvolvimento sustentável da sociedade (Sansaniwal *et al.*, 2017). A utilização da geração distribuída (GD) por meio de fontes renováveis torna-se uma alternativa interessante e promissora. Dessa forma, a busca por alternativas energéticas sustentáveis e de baixa emissão de GEE torna-se essencial. A utilização das energias renováveis é uma ação política robusta nas economias mundiais que pode ajudar a reduzir tais impactos (Mele *et al.*, 2021; Villela *et al.*, 2017) e a geração de energia solar fotovoltaica, que oferece benefícios relevantes em termos de redução de emissões e preservação dos recursos naturais, é uma das tecnologias mais utilizadas. A principal razão para isso é o fato de ser uma energia limpa, com poucos impactos e ilimitada, em escala terrestre, pois a fonte é o Sol (Dinçer, 2011).

O uso da energia solar fotovoltaica possui a vantagem de não emitir GEE no processo de geração, as perdas de energia elétrica também são reduzidas, pois a geração é próxima aos centros consumidores (para a geração distribuída), e possibilita também a redução da participação das usinas térmicas (Lira *et al.*, 2019).

A matriz global de energia está em um ponto crucial, com a necessidade urgente de reduzir as emissões de GEE para combater os efeitos adversos das mudanças climáticas. A energia solar fotovoltaica se destaca como uma das principais tecnologias para auxiliar essa transição, pois é capaz de converter a radiação solar em eletricidade, além de ter baixas emissões de GEE e a geração é realizada, muitas vezes, próximo aos centros consumidores. No entanto, há grandes desafios na adoção maciça dessa tecnologia, como altos investimentos iniciais, a necessidade de lidar com a intermitência da fonte solar e o destino correto dos componentes utilizados nos sistemas no fim do ciclo de vida (Alam & Xu, 2023).

Os estudos sobre energia fotovoltaica estão crescendo e podem desempenhar um papel importante no atendimento a essa alta demanda de energia em todo o mundo. Aumentar a participação da energia fotovoltaica no mercado de energias renováveis requer, em primeiro lugar, sensibilizar para os seus benefícios; aumentar a pesquisa e o desenvolvimento de novas tecnologias; implementar políticas públicas e programas de incentivo à geração de energia fotovoltaica (Lima *et al.*, 2020; Sampaio & González, 2017). Além disso, as pesquisas de opinião indicam que a energia solar fotovoltaica desfruta de um alto nível de aceitação sociopolítica e é preferida a outras energias renováveis (Cousse, 2021).

A geração de energia elétrica por meio de fontes de energia renováveis, em especial os sistemas de micro e mini geração distribuída, que utiliza a energia do Sol para gerar eletricidade, devem ter prioridade, pois temos no Brasil um cenário favorável de irradiação solar, principalmente na Região Nordeste, com destaque para o Estado do Piauí. Além disso, os impactos ambientais que esse tipo de geração causa no meio ambiente são mínimos, quando comparados aos impactos causados pela geração termelétrica ou construção de grandes hidrelétricas (Sousa *et al.*, 2023).

Os sistemas de geração distribuída são uma realidade no Brasil e são utilizados em muitas residências, comércios, indústrias e órgãos públicos, com o objetivo de reduzir os gastos com energia elétrica. A utilização de energia solar fotovoltaica é uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade de potência do SIN, como também reduzir os impactos ambientais causados por fontes não renováveis. Essa utilização está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente os ODS 7 e 13.

O Estado do Piauí possui um enorme potencial de geração de energia elétrica por meio da energia solar, pois está localizado em uma das regiões com maior incidência de radiação solar do Brasil (Barroso *et al.*, 2022). No entanto, esse potencial ainda é pouco explorado, especialmente pelo poder público. Com relação aos setores que mais utilizam a geração distribuída, temos o residencial e comercial, liderando o ranking, enquanto o setor público aparece em último lugar (ABSOLAR, 2023), demonstrando a necessidade de investimento por parte do Estado na área de energias renováveis.

Nesse contexto, as parcerias público-privadas (PPPs) surgem como um modelo estratégico para impulsionar o crescimento da energia solar fotovoltaica. As PPPs têm a capacidade de atrair investimentos privados para o setor, aproveitando a habilidade de investimento e agilidade operacional das empresas privadas, ao mesmo tempo em que se beneficiam do suporte regulatório, além da capacidade de financiamento do setor público. Esse modelo de colaboração pode acelerar a adoção da tecnologia fotovoltaica, incentivando o crescimento em larga escala e a redução dos gastos públicos com o pagamento de conta de energia elétrica (Awuku *et al.*, 2022).

A cooperação entre os setores público e privado é capaz de estabelecer um ambiente propício para a inovação contínua, o desenvolvimento de padrões técnicos e a criação de políticas de incentivo que alavanquem o crescimento sustentável do setor fotovoltaico. Nesse contexto, o objetivo neste trabalho é analisar o papel das PPPs na implementação e aceleração da expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil, com destaque para a PPP das miniusinas de geração fotovoltaica implementada pelo Governo do Estado do Piauí, enfatizando os benefícios e desafios enfrentados neste processo, contribuindo, dessa forma, para uma compreensão mais abrangente sobre a efetividade das PPPs no contexto da transição energética brasileira. A metodologia empregada inclui uma análise detalhada das publicações científicas sobre o tema, por meio de pesquisas nas principais fontes de dados digitais disponíveis (periódico CAPES, SCOPUS, Google Acadêmico), complementada por um estudo de caso prático das miniusinas fotovoltaicas no Piauí.

2. PANORAMA MUNDIAL E BRASILEIRO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

De acordo com Mele *et al.*, (2021) a utilização das fontes renováveis de energia para geração de eletricidade é de extrema importância para mitigar os impactos causados no meio ambiente pela utilização de fontes poluentes. Nesse

contexto, a energia solar fotovoltaica é uma das mais utilizadas e no Brasil representa a segunda maior contribuição para a matriz elétrica, considerando a geração centralizada e a geração distribuída conforme levantamento da ANEEL/ABSOLAR, ficando atrás somente da geração hidrelétrica.

A Terra recebe anualmente $1,11 \times 10^9$ TWh de energia solar, com $1,39 \times 10^7$ TWh que poderiam ser facilmente aproveitados (IEA, 2023), o que corresponde a mais de 95% do consumo total da energia primária no planeta, que em 2015 foi de $1,46 \times 10^7$ TWh (Ritchie *et al.*, 2022). Este fato mostra que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar é uma fonte abundante de energia e tem um enorme potencial de uso em sistemas de conversão de energia elétrica. No entanto, apesar da energia recebida do sol ser cem vezes maior que a demanda energética mundial e dos avanços nos seus usos e estudos nos últimos anos, a contribuição da energia solar na matriz energética mundial ainda é pequena em comparação com a dos combustíveis fósseis (REN21, 2021). De acordo com o relatório (*Snapshot of Global PV Markets 2023*) da agência internacional de energia (*International Energy Agency – IEA*), em 2015, a capacidade instalada de geração de energia elétrica por esta fonte renovável era cerca de 217 GW e em 2022 essa capacidade passou para 1.185 GW, um aumento de aproximadamente 546% em 7 anos. Até 2030, espera-se que capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos atinja cerca de 2.019 GW. A cada ano, na última década, as energias renováveis atenderam a uma parcela maior da demanda global de eletricidade do que no ano anterior (IEA, 2023).

Segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2023, o Brasil tem a sétima maior capacidade instalada de geração elétrica com 206,5 GW, dentre os quais 87% provém de fontes renováveis, capacidade que o coloca em terceiro lugar na capacidade instalada de geração renovável, perdendo para a China e Estados Unidos. No entanto, apesar de todo o potencial solar disponível no país, o Brasil ainda é o décimo em produção de energia elétrica através dessa fonte e possui 35,7 GW de capacidade instalada no mês de dezembro de 2023 (ABSOLAR, 2023). Os países com maior capacidade de geração por meio da energia solar fotovoltaica são: China (414,5 GW), União Europeia (210 GW), Estados Unidos (142 GW), Japão (85 GW), Índia (79 GW). Além desses países, na Figura 1, temos a contribuição dos países membros do Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica (*Photovoltaic Power Systems Programme - PVPS*) do IEA e dos demais países (IEA, 2023). O Brasil é destaque no crescimento da geração solar fotovoltaica, com um aumento de 60% no ano de 2023, comparado com a potência instalada em 2022 (22,4 GW) (EPE, 2023).

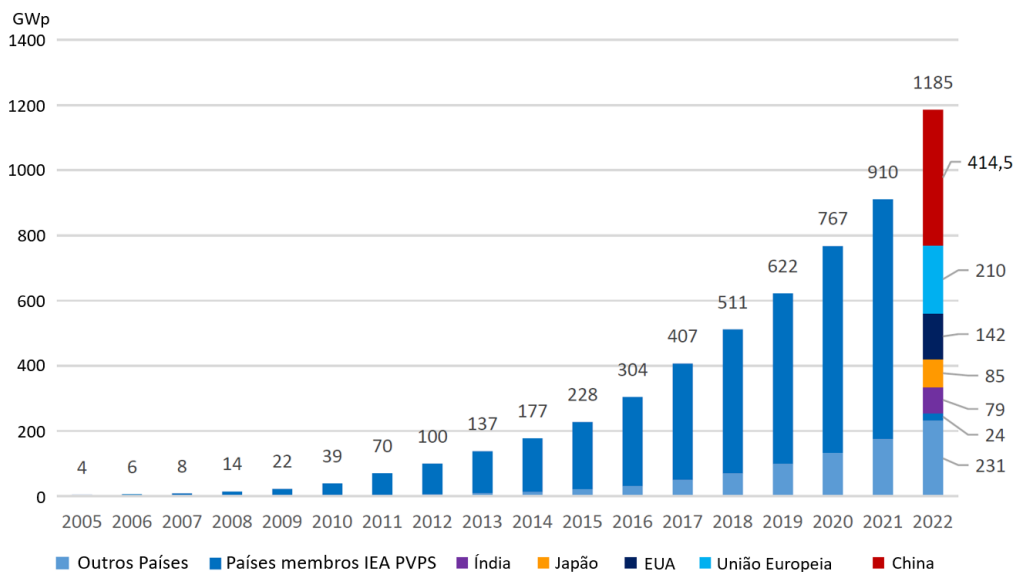


Figura 1: Evolução Global da potência instalada de sistemas fotovoltaicos. Fonte: (IEA, 2023)

De acordo com Nascimento (2017), a média anual de irradiação global apresenta uma boa uniformidade no Brasil, com médias relativamente altas em todo o território. Os valores anuais de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro (1.500 - 2.500 kWh/m²/ano) são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900 - 1.250 kWh/m²/ano), França (900 - 1.650 kWh/m²/ano) e Espanha (1.200 - 1.850 kWh/m²/ano), locais onde projetos de geração fotovoltaica são amplamente disseminados. No Atlas Brasileiro de Energia Solar, é realizado o mesmo comparativo para valores diários e a região nordeste é a que apresenta melhores resultados, além de destacar o alto nível e a baixa variabilidade da irradiação solar no país, comparado aos países europeus (Pereira *et al.*, 2017).

No entanto, apesar do recurso solar abundante e dos avanços principalmente no último ano, a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no Brasil ainda é muito pequena frente ao potencial verificado. De acordo com dados da ABSOLAR (2023), no mês de outubro de 2023, a contribuição da capacidade instalada de sistemas solar fotovoltaicos para a matriz elétrica do Brasil era de 15,6% e observa-se que esta é fonte de energia que mais cresce no país e só perde para a potência instalada das hidrelétricas. Esse percentual considera os sistemas de geração centralizada (grandes usinas com potência acima de 5 MW) e sistemas de micro e mini geração distribuída (Figura 2). A energia solar fotovoltaica no Brasil, deve continuar com forte crescimento principalmente por conta das condições favoráveis ao desenvolvimento dessa fonte no país (Burshtyn, 2020).

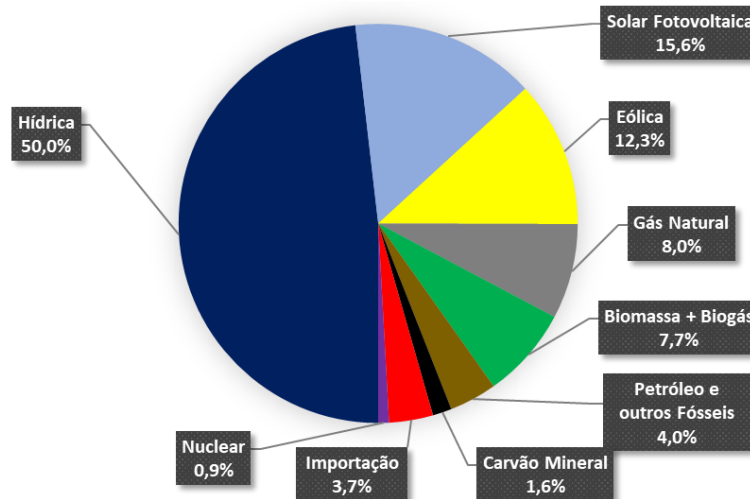


Figura 2: Matriz Elétrica Brasileira (outubro/2023). Fonte: Elaborado pelo autor com dados de (ANEEL, 2023).

O Brasil, de acordo com Empresa de Pesquisa Energética (EPE), possui altos níveis de insolação e grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos fotovoltaicos, produtos esses de alto valor agregado (Nascimento, 2017).

Tradicionalmente, a energia elétrica que chega nas residências brasileiras é gerada em grandes usinas de energia e transportada a longas distâncias pelos sistemas de transmissão e, ao nível local, circula pelo sistema de distribuição, de modo que, no Brasil, 98% do seu Sistema Elétrico de Potência (SEP) é interligado e compõe o SIN. Entretanto, com a aprovação da Resolução Normativa N° 482/2012, publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no dia 17 de abril de 2012, houve uma mudança de paradigma na política energética do país, inserindo definitivamente a geração distribuída em sua matriz energética, pois as Pessoas Físicas e Jurídicas que antes somente consumiam energia elétrica passaram a gerá-la (Costa *et al.*, 2022).

Nos últimos anos a energia solar fotovoltaica tem mostrado forte crescimento dentre as fontes renováveis em várias partes do mundo. Um dos principais motivos para a aceleração da adoção dessa fonte de energia na matriz energética do país, é o incentivo promovido pela da resolução normativa da ANEEL N° 482/2012, que permite os consumidores participarem do sistema de compensação de energia gerada pela energia da rede elétrica da concessionária (Vieira, 2021). Isso demonstra a importância de uma legislação clara e favorável à utilização da GD como fonte de energia pelos consumidores, contribuindo com a redução dos gastos com energia elétrica, com a matriz elétrica brasileira e com a preservação ambiental (Iglesias & Vilaça, 2022).

Outras resoluções foram implementadas com o objetivo de aperfeiçoar a legislação relacionada à geração distribuída e no ano de 2022 foi publicada a Lei N° 14.300/2022, que estabeleceu novas regras para a tarifação do uso do sistema de distribuição das concessionárias no estoque dos excedentes de energia elétrica gerada e não compensada pela unidade consumidora no ciclo de faturamento em que ela foi gerada (crédito de geração) (Sousa *et al.*, 2023). Essa legislação trouxe segurança jurídica para os participantes do sistema de compensação e definiu regras claras de como será o faturamento desses consumidores, porém os projetos de solicitação de acesso protocolados após o dia 06 de janeiro de 2023 passaram a pagar a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição TUSD. Essa cobrança impacta diretamente novos projetos de micro e minigeração distribuída aumentando o tempo de retorno do investimento. Sousa *et al.* (2023) analisaram a influência da nova legislação para os sistemas de microgeração distribuída (até 75 kW) e concluíram que continua economicamente viável a instalação desse tipo de sistema, porém uma análise mais detalhada para os casos de minigeração deve ser realizada para se verificar a viabilidade econômica dessas instalações, a qual impacta diretamente novas PPPs, pois um dos principais objetivos desse tipo de empreendimento é a redução no valor gasto com energia elétrica.

3. MODELOS DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS NO SETOR ENERGÉTICO

O poder público deve liderar essa política de transição energética para a utilização de fontes renováveis. A parceria público-privada (PPP) é uma abordagem adotada para aumentar os investimentos em infraestrutura no setor público (Cui *et al.*, 2018). Awuku *et al.* (2022) destacam que a utilização de PPPs é uma das ferramentas que os governantes estão utilizando para acelerar o desenvolvimento de infraestrutura em muitos países. Uma das áreas que está sendo utilizado o modelo de PPP é o investimento em fontes de energias renováveis, com destaque para a energia solar fotovoltaica. Os autores ainda destacam que grandes projetos de energia solar fotovoltaica foram desenvolvidos por meio de PPPs no Marrocos, Egito e África do Sul.

Feng *et al.* (2022) explicam que no esquema de PPPs, uma empresa com fins lucrativos compartilha parte do custo inicial da instalação do empreendimento. Em troca, a empresa desfruta de uma parte da receita de eletricidade gerada pelo sistema de geração no longo prazo. Dessa forma, o modelo de PPP pode ser visto como um negócio autossustentável. Isto

porque, só é necessário pagar uma pequena parte do custo inicial do sistema e o restante pode ser reembolsado pela receita da eletricidade sem depender das suas outras fontes de rendimento.

O Banco Mundial (World Bank, 2023) destaca que PPPs, são cada vez mais reconhecidas como uma ferramenta valiosa de auxílio ao desenvolvimento. A razão é simples: em todo o mundo, modelos de PPP bem projetadas forneceram infraestrutura e serviços de qualidade, muitas vezes a custos mais baixos, aproveitando o financiamento do setor privado, conhecimento técnico e experiência em gestão. Não surpreendentemente, a demanda por PPPs aumentou e deve crescer ainda mais. A PPP é um contrato de longo prazo entre uma parte privada e uma entidade governamental, para fornecer um bem ou serviço público, no qual a parte privada assume uma responsabilidade considerável de risco e gerenciamento, e o pagamento está vinculado ao desempenho (Benítez-Ávila *et al.*, 2018).

Khawaja *et al.*, (2021), destacam que os cidadãos, terão melhor qualidade de vida e melhores serviços pois esse tipo de parceria tem potencial para oferecer muitas oportunidades de trabalho que permitem o envolvimento dos cidadãos. Além disso o governo tem mais controle das atividades desenvolvidas quando comparado ao fornecimento do serviço somente por empresas privadas. Os riscos e as responsabilidades são compartilhados entre a empresa privada e o governo, favorecendo ainda mais esse tipo de empreendimento.

Awuku *et al.* (2022) relatam que a implementação de PPPs enfrenta desafios como questões de transparência, tensões devido a litígios fundiários, legislação inadequada que rege as PPPs, fraca capacidade de negociação e politização das PPPs. Outro ponto crítico a ser observado é que a PPP pode ser usada para esconder dívidas públicas, como também pode apresentar custos extras, principalmente em países em desenvolvimento devido a corrupção por parte dos envolvidos na parceria. Outro problema é a falta de experiência na implementação da PPP (Buso *et al.*, 2017; Fleta-Asín *et al.*, 2020; Hopkin & Rodríguez-Pose, 2007).

Os sistemas de geração solar fotovoltaicos são uma realidade em várias regiões do Mundo e aqui no Brasil estão em crescimento exponencial principalmente nos setores comercial, industrial e residencial. É necessário o investimento por parte do poder público para aumentar a capacidade de geração e o modelo de PPPs pode ajudar a impulsionar a geração solar fotovoltaica nesse setor. O Governo do Estado do Piauí foi pioneiro, no Brasil, ao lançar e implementar o projeto das miniusinas de geração fotovoltaica.

No Brasil, temos outras PPPs para a instalação de sistemas fotovoltaicos. O governo do Estado do Tocantins, publicou um edital (Nº 001/2023) de concorrência pública para à implantação, operação e manutenção de usinas fotovoltaicas por meio de PPP. O Governo de Mato Grosso do Sul assinou uma PPP para manutenção e operação de sistemas de energia solar da administração pública estadual para atender o Detran; a Polícia Militar; Polícia Civil; unidades do Corpo de Bombeiros e as escolas estaduais.

O Governo do Estado de Pernambuco e a Compensa (Companhia Pernambucana de Saneamento) assinaram, em julho de 2022, uma PPP para a construção e operação de duas usinas fotovoltaicas nos municípios de Flores e São Caetano. Os empreendimentos serão utilizados para produzir a energia elétrica para abastecer unidades da Compensa nas duas cidades. O objetivo desse projeto é reduzir custos e oferecer melhores condições de funcionamento para a empresa e conseguir redução na conta de água dos consumidores. Além desses, as cidades de Fortaleza – CE, Santos - SP e São Paulo – SP lançaram editais de PPPs para implantação de sistemas fotovoltaicos. Com todos esses exemplos, observamos que a colaboração entre os setores público e privado é essencial para alcançar as metas de energia renovável e garantir uma transição energética bem-sucedida.

3.1 PPP do Governo do Estado do Piauí

O projeto das miniusinas por meio de PPPs, do Governo do Estado do Piauí, foi lançado em 2018 pela Superintendência de Parcerias e Concessões – SUPARC. Os projetos passaram por estudo de viabilidade, consulta pública, licitação e, em dezembro de 2020, foram assinados com três concessionárias os oito contratos, um para cada miniusina. Os projetos de conexão com a rede da Equatorial distribuição Piauí foram todos aprovados e quatro miniusinas iniciaram o funcionamento no ano de 2023. A instalação dessas miniusinas de geração solar fotovoltaica, visa atender a demanda de energia elétrica dos órgãos do Governo do Estado do Piauí, uma estratégia para promover a transição energética e reduzir a dependência de fontes não renováveis.

As miniusinas estão distribuídas em diferentes municípios do Estado do Piauí, abrangendo uma área geográfica diversificada. Cada município apresenta características únicas em termos de infraestrutura energética, perfil socioeconômico, condições ambientais e necessidades específicas de energia.


Cada uma delas, tem o objetivo de atender a demanda energética de um determinado órgão do Governo: Secretaria de Estado da Fazenda (SEFAZ-PI); Secretaria de Administração do Piauí (SEAD); Secretaria de Estado da Educação (SEDUC); Secretaria de Estado da Saúde do Piauí (SESAPI); Secretaria Estadual da Assistência Social (SASC); Secretaria de Justiça (SEJUS); Fundação Universidade Estadual do Piauí (FUESPI) e Agência de Tecnologia da Informação do Estado do Piauí (ATI).

A miniusina que atende a demanda de energia da SEDUC foi dividida em duas localidades distintas: uma foi instalada no município de Altos-PI (GD Nova Longá), e outra em Coivaras - PI (GD Longá). A GD Nova Longá (Figura 3), possui uma potência instalada de 1.500 kW, e conta com 6 inversor de 250 kW cada e 2.673 módulos fotovoltaicos bifaciais com potência de 650 Wp cada. Essa unidade foi conectada à rede da Equatorial PI em abril de 2023. Na unidade GD Longá tem-se 3.663 módulos fotovoltaicos bifaciais de 650 Wp cada, e 8 inversores de 225 kW cada totalizando uma potência instalada de 1.800 kW. A conexão da miniusina à rede da distribuidora ocorreu em maio de 2023. As duas miniusinas possuem estrutura de *tracker* para acompanhar o movimento do sol e aumenta a capacidade de geração.



Figura 3: Miniusina de geração solar fotovoltaica (GD Nova Longá), instalada no município de Altos-PI. Fonte: Elaborado pelo autor.

Para realizar a conversão da corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos para corrente alternada (CA) adequada à rede de energia da concessionária, são utilizados inversores para sistemas fotovoltaicos (Figura 4). Os inversores não apenas desempenham essa função básica, mas também incorporam tecnologias avançadas que maximizam a eficiência energética com a busca do ponto de máxima potência que os módulos conseguem fornecer (MPPT) e contribuem para uma maior estabilidade da rede. Com a implementação de inversores de alta qualidade, as miniusinas fotovoltaicas podem atingir uma eficiência acima de 98% na conversão da energia em corrente contínua, fornecida pelos módulos fotovoltaicos, em corrente alternada, nos padrões exigidos pela concessionária de energia (Equatorial - PI).



Fabricante	TBEA
Modelo	TS250KIL-HV
Entrada	
Potência nominal [kVA]	250
Máxima tensão CC [V]	1.500
Máxima corrente CC [A]	50
Máxima tensão MPPT [V]	1.500
Mínima tensão MPPT [V]	550
Quantidade de Strings por MPPT	3
Quantidade de entradas MPPT	12
Saída	
Potência nominal CA [kW]	228
Máxima potência na saída CA [kW]	250
Máxima corrente na saída CA [A]	180
Tensão nominal CA [V]	800
Frequência nominal [Hz]	60
Máxima tensão CA [V]	920
Mínima tensão CA [V]	680
THD de corrente [%]	<3
Fator de potência	0,8i - 0,8c
Tipo de conexão	3F + N + T
Eficiência máxima [%]	99%
Proteções	
Anti ilhamento	Sim
Sub frequência	Sim
Sobre frequência	Sim
Sub tensão	Sim
Sobretensão	Sim

Figura 4: Inversor utilizado na miniusina de geração solar fotovoltaica instalada no município de Altos-PI e principais características do inversor. Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, os inversores são equipados com sistemas de monitoramento, que permitem um acompanhamento em tempo real do desempenho do sistema, diagnósticos precisos e a rápida detecção de falhas, minimizando o tempo de inatividade e otimizando a produção de energia. Outro ponto positivo dos inversores utilizados é a sua capacidade de suportar variações de tensão e frequência, protegendo o sistema contra flutuações da rede e aumentando a vida útil dos componentes fotovoltaicos. Possuem também proteção em corrente contínua e alternada integradas no próprio inversor, além a função anti-ilhamento, como a desconexão automática em casos de falha na rede, garantindo a segurança dos operadores e do sistema.

A SESAPI possui uma miniusina (GD Altos) para atender sua demanda energética que está instalada no município de Coivaras-PI, com potência instalada de 3.150 kW. Possui 6.336 módulos fotovoltaicos bifaciais de 650 Wp cada, e 14 inversores de 225 kW cada. A conexão da miniusina GD Altos à rede da EQUATORIAL ocorreu em 25 de maio de 2023. Essa possui a mesma tecnologia da miniusina da SEDUC.

A miniusina que atende a demanda de energia da SEAD (GD 3,7 MWp) tem capacidade nominal de 2,9 MW, está instalada no município de Campo Maior-PI e está em operação desde o mês de março de 2023 (Figura 5). Essa instalação conta com 61 *trackers*, 6.954 módulos fotovoltaicos de 540 Wp cada, 13 inversores de 215 kW e um de 100kW. A previsão de geração dessa unidade é de 7.800.000 kWh/ano. Nos meses de março, abril e maio de 2023 a miniusina gerou 755.301 kWh, 561.011 kWh e 659.764 kWh respectivamente, o que demonstra o funcionamento de acordo com o projeto.



Figura 5: Imagem de satélite com a localização do ponto de instalação da miniusina SEAD no município de Campo Maior - PI. Fonte: (GOOGLE, 2023)

A SEFAZ-PI dispõe de uma instalação de minigeração fotovoltaica com capacidade nominal de 2,9 MW, situada no município de Altos-PI. Esta instalação é semelhante àquela que fornece energia para a SEAD e foi projetada para suprir as necessidades energéticas da SEFAZ-PI. A infraestrutura da unidade é composta por 62 *trackers* e um total de 7.068 módulos fotovoltaicos de 540 Wp cada, 13 inversores de 215 kW e um de 100kW. A estimativa de produção energética para esta miniusina é de aproximadamente 7.800.000 kWh por ano. Nos meses de março, abril e maio de 2023, a geração de energia foi de 748.250 kWh, 581.981 kWh e 624.816 kWh, respectivamente, evidenciando um desempenho operacional alinhado com as projeções iniciais do projeto.

O desenvolvimento do projeto das miniusinas fotovoltaicas está alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, em particular com o ODS 7, que visa assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos os cidadãos. A escolha pela energia solar fotovoltaica como fonte primária para essas instalações não é aleatória; ela reflete uma análise criteriosa do potencial solar do Piauí, que é um dos maiores do Brasil, com uma incidência solar média anual que supera a marca de 5,6 kWh/m² por dia de acordo com dados do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB) obtidos no mês de outubro de 2023 (CRESESB, 2023).

A implementação das miniusinas solares no Piauí representa um marco importante na política de sustentabilidade energética do estado. A energia gerada contribui para a redução de emissões de GEE, pois com o aumento da potência disponibilizada para o SIN, será possível reduzir a utilização das termelétricas, que geram energia por meio da queima de combustíveis. Além disso, promove uma economia significativa para os cofres públicos, uma vez que a energia solar fotovoltaica tem um baixo custo após a instalação dos sistemas, pois a manutenção é simples e barata; na maioria dos casos é necessária somente a limpeza dos módulos fotovoltaicos e do terreno nos quais os módulos estão instalados.

Além dos benefícios ambientais e econômicos, o projeto das PPPs também tem um impacto social relevante. A construção e manutenção das miniusinas geram empregos locais, promovendo o desenvolvimento econômico nas regiões onde estão instaladas. Isso é particularmente importante em um estado como o Piauí, no qual a geração de emprego e renda é um desafio constante.

Do ponto de vista técnico, as miniusinas foram projetadas para serem robustas e eficientes. Elas utilizam módulos fotovoltaicos com 12 anos de garantia de fábrica, com tecnologia de geração bifacial, e sistemas de inversores que maximizam a conversão da energia solar em energia elétrica. Além disso, estão equipadas com sistemas de monitoramento remoto, o que permite o acompanhamento da produção de energia e uma rápida resposta a qualquer incidente técnico.

A integração dessas miniusinas à rede da Equatorial Distribuição Piauí foi projetada para garantir que a energia gerada seja distribuída de forma eficiente e confiável. O projeto não contempla a possibilidade de armazenamento de energia, pois todas as miniusinas são conectadas diretamente à rede de distribuição de energia elétrica e os créditos da geração são alocados para os órgãos que a miniusina vai beneficiar. Como não possui armazenamento de energia, elas estão sujeitas às variações na produção de energia solar devido às condições climáticas.

Um dos pontos críticos do projeto que merece atenção, é a ausência de um plano claro para a destinação de equipamentos após o fim de sua vida útil, ou que apresentaram problemas. O destino inadequado desses componentes pode gerar impactos ambientais consideráveis. Os módulos fotovoltaicos, por exemplo, contêm materiais nocivos ao meio ambiente se não descartados ou reciclados corretamente.

Outro ponto que merece atenção é a manutenção das miniusinas. Apesar de simples, se não realizada de maneira adequada, pode causar sérios danos à instalação principalmente referente à eficiência de geração. Um dos grandes problemas desses empreendimentos é a falta de limpeza do terreno e dos módulos fotovoltaicos. A vegetação que cresce próximo aos módulos pode gerar sombreamento o que afeta diretamente a capacidade de geração e diminui a eficiência e vida útil do sistema. Em um dos relatórios disponibilizados pela SUPARC, observa-se que na miniusina da SEAD, existe a falta de manutenção e a vegetação está causando sombreamento nos módulos (SUPARC, 2023).

Um dos grandes problemas enfrentados pelo projeto das PPPs é o atraso do cronograma de execução. O projeto foi impactado pela pandemia do covid-19, necessitando reorganizar o cronograma, porém mesmo após a emergência de saúde pública, quatro das oito miniusinas estão com as obras de implementação atrasadas/paralisadas. Esses atrasos podem resultar em custos adicionais, tanto para o setor público quanto para o privado, devido à extensão do período de construção impactando negativamente o projeto. Além disso, posterga os benefícios socioambientais e econômicos esperados e afeta negativamente a percepção pública e a confiança nas PPPs como um modelo viável para projetos de energia renovável, prejudicando futuras iniciativas similares. Dessa forma, os contratos devem ser feitos prevendo sanções para a parte que descumprir as cláusulas previamente acordadas.

Do ponto de vista financeiro, a implementação de miniusinas por meio das PPPs é uma abordagem que permite ao setor público beneficiar-se da eficiência e inovação do setor privado, enquanto compartilha riscos e responsabilidades. A estruturação dos contratos, um para cada miniusina, sugere uma gestão de risco descentralizada e uma maior facilidade na alocação de recursos e na responsabilização dos resultados.

A distribuição geográfica das miniusinas e a escolha por equipamentos modernos de alta tecnologia, como módulos fotovoltaicos bifaciais e *trackers* que otimizam a geração, são indicativos de um planejamento técnico que consegue maximizar o aproveitamento das condições locais de irradiação solar. A eficiência superior a 98% na conversão de energia dos inversores utilizados reforça o compromisso com a eficiência do projeto.

A geração de energia reportada nos primeiros meses de operação das miniusinas superou as estimativas iniciais, o que indica o sucesso técnico e operacional. Além disso, a capacidade dos inversores de gerenciar variações de tensão e frequência e a inclusão de sistemas de monitoramento contribuem para a confiabilidade do sistema, minimizando interrupções e maximizando a produção energética.

A experiência do Piauí com as PPPs das miniusinas pode servir de modelo para outros estados brasileiros. O sucesso deste projeto no longo prazo poderá demonstrar a viabilidade de parcerias entre o setor público e privado como um caminho para acelerar a transição energética e promover o desenvolvimento sustentável.

Em termos de pesquisa e desenvolvimento, o projeto contempla ações sociais, no qual as concessionárias em parceria com a Fundação Universidade Estadual do Piauí (FUESPI) implantaram o Núcleo de Formação e Pesquisa em Energias Renováveis e Telecomunicações do Piauí (NUFPERPI) e colocou o Piauí no grupo de estados da federação que possuem um espaço especializado para o estudo de energias renováveis. Este núcleo é composto pelo Complexo de Energias Renováveis (CER) e o Complexo de Telecomunicações (CTEL), ambos projetados para fomentar o avanço acadêmico e prático nessas áreas (SUPARC, 2023).

O NUFPERPI é composto por três laboratórios especializados: o Laboratório de Práticas em Energias Renováveis (LAPER) que oferece um ambiente integrado para a exploração teórica e prática das tecnologias em energias renováveis. O Laboratório de Tecnologias Integradas (LATER) é um espaço dedicado à pesquisa e ao desenvolvimento de tecnologias complementares ou de suporte integrado. Este laboratório promove uma abordagem interdisciplinar, permitindo a convergência de diversas tecnologias aplicadas e o estudo de suas interações sinérgicas. E o Centro de Monitoramento de Estudos Remotos (CMER) que é um laboratório avançado para o monitoramento e a gestão remota de sistemas de microgeração e minigeração, além de geração controlada e tecnologias de telecomando (SUPARC, 2023). Por meio dessas instalações, o NUFPERPI contribui para o avanço tecnológico e a sustentabilidade energética.

Esse projeto das PPPs para a instalação de miniusinas solares no Piauí é um exemplo de como a inovação e a colaboração entre diferentes setores podem resultar em benefícios múltiplos: ambientais, econômicos e sociais. À medida que o projeto avança e as demais miniusinas entram em operação, espera-se que os resultados positivos se ampliem, consolidando o papel da energia solar na matriz energética do Piauí e servindo de inspiração para políticas energéticas sustentáveis em todo o Brasil.

4. CONCLUSÕES

A transição energética para fontes renováveis, em especial a energia solar fotovoltaica, é uma necessidade urgente e incontornável diante dos desafios climáticos e ambientais que enfrentamos. O artigo mostrou que as Parcerias Público-Privadas (PPPs) são instrumentos vitais para acelerar essa transição, aumentando de forma significativa a contribuição da geração por meio de fontes renováveis por parte do poder público, oferecendo um modelo colaborativo que pode superar os obstáculos financeiros e técnicos que limitam a expansão da energia solar.

No Brasil, e particularmente no Estado do Piauí, o potencial para a geração de energia solar é muito grande, pois temos elevados índices de radiação solar, mas ainda é subutilizado. As PPPs surgem como uma solução inovadora para alavancar essa forma de geração, combinando a eficiência, flexibilidade e capital do setor privado com o suporte regulatório e estratégico do setor público. O caso das miniusinas fotovoltaicas do Piauí ilustra como essa colaboração pode resultar em ganhos expressivos em termos de sustentabilidade, economia e desenvolvimento social.

A implementação bem-sucedida de cinco miniusinas no projeto das PPPs no Piauí pode ser considerada como referência para iniciativas semelhantes em outras regiões do país, mostrando que é possível e benéfico para os governos investirem em parcerias que promovam o aumento da contribuição das fontes renováveis para a matriz elétrica brasileira. Isso não apenas reduz a dependência de fontes de energia não renováveis e poluentes, mas também gera economia para os cofres públicos, cria empregos, fomenta o desenvolvimento tecnológico e contribui para o cumprimento dos ODS.

Portanto, é essencial que haja um comprometimento contínuo e uma ampliação das PPPs no setor de energia solar fotovoltaica. Isso requer políticas públicas claras e estáveis, um ambiente regulatório favorável, e uma abertura para a

inovação e investimentos privados. Com essas ações, as PPPs podem ser a chave para um futuro energético mais sustentável e para a consolidação de uma matriz energética mais renovável, que beneficie não apenas o meio ambiente, mas toda a sociedade.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal do Piauí – UFPI e do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, que deram o suporte científico necessário para o desenvolvimento do projeto.

REFERÊNCIAS

- ABSOLAR, 2023. Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - Infográfico. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2024.
- Alam, E., & Xu, X., 2023. Life cycle assessment of photovoltaic electricity production by mono-crystalline solar systems: a case study in Canada, *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, n. 10, p. 27422–27440.
- ANEEL, 2023. Dados Abertos - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 8 de outubro de 2023.
- Awuku, S. A., Bennadji, A., Muhammad-Sukki, F., & Sellami, N., 2022. Public-private partnership in Ghana's solar energy industry: The history, current state, challenges, prospects and theoretical perspective, *Energy Nexus*, vol. 6.
- Barros, A. M. de L., Sobral, M. do C. M., Assis, J. M. O. de, & Souza, W. M. de., 2021. Influence of rainfall on wind power generation in Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, vol. 56, n. 2, p. 346–364.
- Barroso, A. M. R., Almeida, A. R., Santos Júnior, B. F. dos, & Lira, M. A. T., 2022. Análise da viabilidade técnica e econômica de instalação de poste de luz solar no CT da UFPI, IX CBENS - IX Congresso Brasileiro de Energia Solar, Florianópolis.
- Benítez-Ávila, C., Hartmann, A., Dewulf, G., & Henseler, J., 2018. Interplay of relational and contractual governance in public-private partnerships: The mediating role of relational norms, trust and partners' contribution. *International Journal of Project Management*, vol. 36, n. 3, p. 429–443.
- Bursztyn, M., 2020. Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: O desafio da integração de políticas públicas. *Estudos Avancados*, vol. 34, n. 98, p. 167–186.
- Buso, M., Marty, F., & Tran, P. T., 2017. Public-private partnerships from budget constraints: Looking for debt hiding? *International Journal of Industrial Organization*, vol. 51, p. 56–84.
- Costa, V. B. F., Capaz, R. S., Silva, P. F., Doyle, G., Aquila, G., Coelho, É. O., Lorenci, E. de, Pereira, L. C., Maciel, L. B., Balestrassi, P. P., Bonatto, B. D., & Silva, L. C. da., 2022. Socioeconomic and environmental consequences of a new law for regulating distributed generation in Brazil: A holistic assessment. *Energy Policy*, vol. 169.
- Cousse, J., 2021. Still in love with solar energy? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 145.
- CRESESB, 2023. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 05 de outubro de 2023.
- Cui, C., Liu, Y., Hope, A., & Wang, J., 2018. Review of studies on the public-private partnerships (PPP) for infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, vol. 36, n. 5, p. 773–794.
- Dinçer, F., 2011. The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, n. 1, p. 713–720.
- EPE, 2023. EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - Anuário estatístico de energia elétrica 2023. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 08 de julho de 2023.
- Feng, Z., He, Q. C., & Ma, G., 2022. Mitigating poverty through solar panels adoption in developing economies. *Decision Sciences*, vol. 53, n. 6, p. 1003–1023.
- Fleta-Asín, J., Muñoz, F., & Rosell-Martínez, J. (2020). Public-private partnerships: determinants of the type of governance structure. *Public Management Review*, vol. 22, n. 10, p. 1489–1514.
- GOOGLE, 2023. Google Earth. Disponível em: <<https://earth.google.com>>. Acesso em: 13 de julho de 2023.
- Hopkin, J., & Rodríguez-Pose, A., 2007. “Grabbing hand” or “helping hand”? Corruption and the economic role of the state. *Governance*, vol. 20, n. 2, p. 187–208.
- IEA, 2023. International Energy Agency - Snapshot of Global PV Markets 2023. Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach PVPS. Disponível em: <www.iea-pvps.org>. Acesso em: 9 de julho de 2023.
- Iglesias, C., & Vilaça, P., 2022. On the regulation of solar distributed generation in Brazil: A look at both sides. *Energy Policy*, vol. 167.
- Khawaja, M. K., Ghaith, M., & Alkhalidi, A., 2021. Public-private partnership versus extended producer responsibility for end-of-life of photovoltaic modules management policy. *Solar Energy*, vol. 222, p. 193–201.
- Lima, M. A., Mendes, L. F. R., Mothé, G. A., Linhares, F. G., de Castro, M. P. P., da Silva, M. G., & Stel, M. S., 2020. Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the goals of the Paris agreement in Brazil. *Environmental Development*, vol. 33.

- Lira, M. A. T., Melo, M. L. da S., Rodrigues, L. M., & Souza, T. R. M. de., 2019. Contribution of photovoltaic systems connected to the electrical network for reducing CO₂ in the state of Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 34, n. 3, p. 389–397.
- Mele, M., Gurrieri, A. R., Morelli, G., & Magazzino, C., 2021. Nature and climate change effects on economic growth: an LSTM experiment on renewable energy resources. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, n. 30, p. 41127–41134.
- Nascimento, R. L., 2017. Energia solar no brasil: situação e perspectivas. Consultoria Legislativa, Câmara dos Deputados.
- ONS, 2021. ONS - Operador Nacional do Sistema - Avaliação das condições de atendimento eletroenergético do Sistema Interligado Nacional - Estudo prospectivo julho a novembro de 2021. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/CTA-ONS%20DGL%201496-2021%20-%20Avaliação%20das%20Condições%20de%20Atendimento%20Eletroenergético%20do%20Sistema%20Interligado%20Nacional%20-%20SIN.pdf>>. Acesso em: 30 de junho de 2023.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L. de, Rütther, R., Abreu, S. L. de, Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., & Souza, J. G. de., 2017. Atlas brasileiro de energia solar (2º ed). Universidade Federal de São Paulo.
- REN21, 2021. Renewables Global Status Report - REN21. Disponível em: <<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>>. Acesso em: 08 de julho de 2023.
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P., 2022. Energy. Our World in Data. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy>>. Acesso em: 08 de julho de 2023.
- Rodrigues, L. M., Lira, M. A. T., & Sousa Neto, M. L. de., 2020. Mitigation of the effects of climate change from the gradual replacement of coal thermal power stations by photovoltaic plants. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 35, n. 3, p. 415–424.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A., 2017. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 74, p. 590–601.
- Sansaniwal, S. K., Rosen, M. A., & Tyagi, S. K., 2017. Global challenges in the sustainable development of biomass gasification: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, p. 23–43.
- Sousa, D. L., Silva, O. A. V. de O. L. da, Morais, F. H. M. de, Lira, M. A. T., Moraes, A. M. de, & Alves, D. R. da S., 2023. Economic feasibility of distributed generation for Brazilian households: influence of the new legal framework. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, vol. 58, n. 1, p. 134–144.
- SUPARC, 2023. SUPARC - Superintendência de Parcerias e Concessões. Disponível em: <<http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/index.php/projetos/estudo-de-viabilidade/mini-usinas-de-energia-solar/gestao-de-contrato-mini-usinas/>>. Acesso em: 19 de outubro de 2023.
- Vieira, S. J. de C., 2021. Impacto econômico sobre as tarifas residenciais associado à expansão da microgeração solar distribuída no Brasil, Tese de Doutorado, UFRJ, Rio de Janeiro.
- Villela, J. N., Rapozo, F. de O., Domingos, M. de L. C., & Quelhas, O. L. G., 2017. Energia em tempo de descarbonização: uma revisão com foco em consumidores fotovoltaicos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)*, n. 45, p. 130–144.
- World Bank, 2023. The PPP Reference Guide Version 2.0. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/publicprivatepartnerships/publication/the-ppp-reference-guide-version-20>>. Acesso em: 12 de julho de 2023.

PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIPS (PPPs) IN ADVANCING PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY IN BRAZIL

Abstract. *The pursuit of a more sustainable energy matrix is one of the primary goals of our time, and photovoltaic solar energy plays a critical role in this transition. However, the expansion of this technology faces significant challenges, ranging from high initial investments to managing the variability in instantaneous energy production, particularly with solar sources. Partnerships between the public and private sectors emerge as a crucial collaborative model to overcome these barriers, combining the efficiency and innovation of the private sector with the regulatory and financial support of the public sector. The increase in electricity generation capacity using photovoltaic solar sources by the public authorities is of utmost importance, as it reduces electricity expenses and environmental impacts. In this context, this study aims to analyze the role of Public-Private Partnerships (PPPs) in the implementation and acceleration of photovoltaic solar energy expansion in Brazil, with an emphasis on the PPP of the mini photovoltaic generation plants implemented by the Government of the State of Piauí, highlighting the benefits and challenges faced in this process. The methodology employed includes a detailed analysis of scientific publications on the topic, through research in the main digital data sources available (CAPES periodicals, SCOPUS, Google Scholar), complemented by a practical case study of the photovoltaic mini-plants in Piauí. This study reveals that while PPPs offer an efficient route to overcome financial and technical barriers, they also present significant challenges, such as issues of transparency, alignment of objectives, and dependence on the private sector. The results from the Piauí case demonstrate tangible benefits of PPPs, such as the reduction of energy costs for the state government and advances in environmental sustainability. However, careful risk management and the promotion of equity in access to quality electricity are necessary.*

Keywords: *Renewable Energy, Energy Sustainability, Public-Private Partnerships*