

**IMPACTO DA PPP DAS MINIUSINAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA DO ESTADO DO PIAUÍ NA SEDUC**

**IMPACT OF THE PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP FOR PHOTOVOLTAIC SOLAR MINI-POWER PLANTS IN THE STATE OF PIAUÍ ON THE DEPARTMENT OF EDUCATION**

**IMPACTO DE LA ASOCIACIÓN PÚBLICO-PRIVADA PARA MINICENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS EN EL ESTADO DE PIAUÍ EN EL DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-302>

**Data de submissão:** 29/11/2025

**Data de publicação:** 29/12/2025

**Daniel Leal Sousa**

Mestre em Engenharia Elétrica

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)

E-mail: daniel.sousa@ifpi.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3393-5753>

**Marcos Antônio Tavares Lira**

Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Instituição: Universidade Federal do Piauí (UFPI)

E-mail: marcoslira@ufpi.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1691-1488>

**Albemerc Moura de Moraes**

Doutor em Energia

Instituição: Universidade Federal do ABC (UFABC)

E-mail: albemerc@ufpi.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4427-7365>

**RESUMO**

O crescimento da demanda energética global, aliado aos impactos ambientais causados pelas fontes não renováveis, exige a adoção de políticas públicas voltadas à transição para fontes renováveis. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma alternativa estratégica, especialmente em regiões com alta incidência solar, como o Estado do Piauí. Esse estudo teve como objetivo quantificar o impacto econômico da implementação das miniusinas de energia solar fotovoltaica no âmbito das parcerias público-privadas (PPP) do Estado do Piauí na Secretaria de Educação (SEDUC). Os resultados demonstraram economia nos gastos com energia elétrica (R\$ 1.482.184,04 no período de março de 2024 à fevereiro de 2025). No entanto, foram identificados desafios importantes: planejamento inicial inadequado da alocação dos créditos de geração e atrasos no cronograma do projeto. Conclui-se que o modelo de PPP adotado apresenta viabilidade técnica e econômica, mas precisa de ajustes para maximizar seus impactos sociais e ambientais.

**Palavras-chave:** Energia Renovável. Sustentabilidade. Demanda Energética. Desenvolvimento Socioeconômico. Impacto Econômico.

## ABSTRACT

The growth in global energy demand, coupled with the environmental impacts caused by non-renewable sources, requires the adoption of public policies aimed at transitioning to renewable sources. In this context, photovoltaic solar energy has stood out as a strategic alternative, especially in regions with high solar incidence, such as the state of Piauí. This study aimed to quantify the economic impact of implementing mini photovoltaic solar power plants within the scope of public-private partnerships (PPPs) in the State of Piauí's Department of Education (SEDUC). The results demonstrated savings in electricity costs (R\$ 1,482,184.04 from March 2024 to February 2025). However, important challenges were identified: inadequate initial planning for the allocation of generation credits and delays in the project schedule. It is concluded that the adopted PPP model presents technical and economic viability, but needs adjustments to maximize its social and environmental impacts.

**Keywords:** Renewable Energy. Sustainability. Energy Demand. Socioeconomic Development. Economic Impact.

## RESUMEN

El crecimiento de la demanda mundial de energía, sumado a los impactos ambientales causados por las fuentes no renovables, exige la adopción de políticas públicas orientadas a la transición hacia fuentes renovables. En este contexto, la energía solar fotovoltaica se ha consolidado como una alternativa estratégica, especialmente en regiones con alta incidencia solar, como el estado de Piauí. Este estudio tuvo como objetivo cuantificar el impacto económico de la implementación de minicentrales solares fotovoltaicas en el marco de asociaciones público-privadas (APP) en la Secretaría de Educación del Estado de Piauí (SEDUC). Los resultados demostraron un ahorro en costos de electricidad (R\$ 1.482.184,04 entre marzo de 2024 y febrero de 2025). Sin embargo, se identificaron importantes desafíos: una planificación inicial inadecuada para la asignación de créditos de generación y retrasos en el cronograma del proyecto. Se concluye que el modelo de APP adoptado presenta viabilidad técnica y económica, pero requiere ajustes para maximizar sus impactos sociales y ambientales.

**Palabras clave:** Energía Renovable. Sostenibilidad. Demanda de Energía. Desarrollo Socioeconómico. Impacto Económico.

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda energética mundial é amplamente suprida com a utilização de recursos energéticos de origem fósseis, como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural, os quais contribuem significativamente na emissão de gases de efeito estufa (GEE). A utilização intensiva e descontrolada de fontes fósseis (não-renováveis), tem provocado impactos ambientais e sociais de grandes proporções. Entre esses impactos, destacam-se a intensificação do aquecimento global, a degradação da qualidade do ar, da água e do solo e problemas de saúde na população. A combustão de combustíveis fósseis é responsável pela emissão massiva de GEE, sobretudo dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), resultando em mudanças climáticas globais. Esses impactos ambientais são de grande preocupação, uma vez que comprometem a sustentabilidade e o bem-estar das populações atuais e futuras (Kibaara e Karweru, 2022).

Diante desse contexto alarmante, é necessário promover uma transição energética, que consiste na substituição gradual das fontes não renováveis por fontes renováveis de energia, sustentáveis e de baixo impacto ambiental (Rana et al., 2020).

Nesse sentido, o movimento pela transição energética está destacado em acordos multilaterais, como o Acordo de Paris, aprovado em 2015 por 195 países e a União Europeia, no âmbito da 21<sup>a</sup> Conferência das Partes (COP 21). Esse tratado estabeleceu metas ambiciosas para a redução das emissões globais de GEE, com o objetivo de limitar o aumento da temperatura média da Terra a menos de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais (Meinshausen et al., 2022).

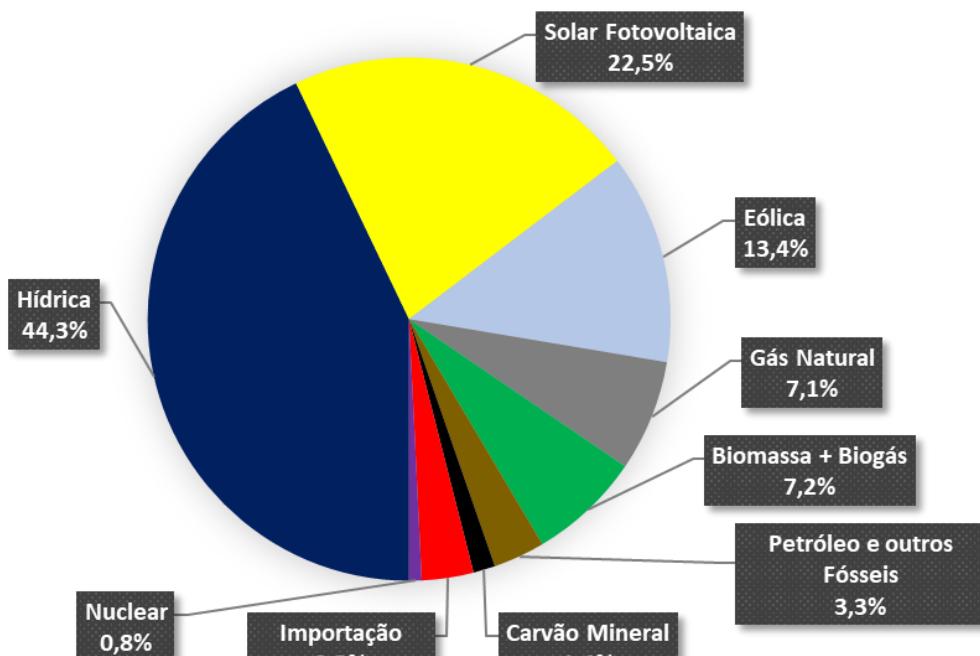
Em paralelo, também em 2015, a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como parte da Agenda 2030. Essa agenda global visa orientar ações de governos, empresas e sociedade civil em direção ao desenvolvimento sustentável até o ano de 2030 (ONU, 2025).

Em consonância com essa perspectiva, diversos estudiosos destacam que o atual modelo energético, baseado predominantemente em fontes não renováveis, tornou-se incompatível com as metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas pela Agenda 2030, especialmente no que concerne ao ODS 7, que busca assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (Saccardo et al., 2023).

No Brasil, o consumo crescente e o impacto socioambiental causados pelas fontes de energias tradicionais (hidrelétricas, que alagam uma grande área para armazenar a água, e as termelétricas que produzem GEE ao realizar a queima dos combustíveis fósseis) levaram o governo e a sociedade a pensarem em novas alternativas para geração de energia elétrica (Sousa et al., 2023). A matriz elétrica brasileira (Figura 1) é majoritariamente dependente da geração hidrelétrica, que corresponde a 44,3%

do total (EPE, 2025). Contudo, devido ao regime irregular de chuvas, o país enfrenta recorrentes crises hídricas, que se refletem também em crises energéticas.

Figura 1: Matriz Elétrica Brasileira.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de (EPE, 2025).

A busca por alternativas energéticas sustentáveis e de baixa emissão de GEE é necessária para promover o desenvolvimento sustentável (Mele et al., 2021; Dai et al., 2024). Corroborando com essa perspectiva, Lira et al. (2019) destacam que a energia solar fotovoltaica apresenta, ainda, vantagens adicionais, como a ausência de emissões diretas de GEE no processo de geração, a redução de perdas elétricas, dada a proximidade da geração aos centros consumidores, e a diminuição da dependência de usinas térmicas.

Diante da intensificação dos problemas decorrentes da crise climática, observa-se a ampliação dos debates e das iniciativas voltadas para o desenvolvimento e a adoção de novas matrizes energéticas, entre as quais se destaca a energia solar (Hecksher, 2024). No Brasil, verifica-se uma expansão significativa da geração de energia por meio da fonte solar fotovoltaica. Esse avanço foi impulsionado pela publicação da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabeleceu regras para a inserção da geração distribuída no país e pelo cenário favorável de irradiação solar, principalmente na região nordeste, com destaque para o Estado do Piauí (Rocha & Barra Neto, 2024; Pereira et al., 2017).

O Estado do Piauí apresenta elevado potencial para a geração de energia elétrica a partir da fonte solar fotovoltaica, em virtude de sua localização geográfica em uma das regiões com maiores

índices de radiação solar do Brasil (Morais et al., 2025). Os setores que mais utilização a fonte solar fotovoltaica para geração de energia elétrica são os setores residencial e comercial. Em contrapartida, o setor público é o que possuiu o menor percentual de geração de energia por meio da energia solar, evidenciando a necessidade de mais investimentos voltados à ampliação do uso de fontes renováveis (EPE, 2025).

Nesse contexto, as parcerias público-privadas (PPPs) surgem como um modelo estratégico de cooperação entre o setor público e a iniciativa privada, no qual ambos assumem responsabilidades, riscos e investimentos na implementação de projetos de interesse coletivo. As PPPs têm a capacidade de atrair investimentos privados para o setor, dessa forma o poder público consegue diluir o pagamento da contrapartida ao longo do tempo, não necessitando investir um valor elevado. Essa modalidade de parceria possibilita a mobilização de capital privado para o desenvolvimento de projetos energéticos, ao mesmo tempo em que promove a otimização dos recursos públicos. No setor elétrico, as PPPs têm o potencial de acelerar a adoção da tecnologia fotovoltaica, contribuindo para a diversificação da matriz energética, para a ampliação da capacidade instalada de geração renovável e para a redução dos gastos governamentais com o pagamento de faturas de energia elétrica (Awuku et al., 2022).

A cooperação entre os setores público e privado é fundamental para o fortalecimento da capacidade de geração de energia solar fotovoltaica. Tais iniciativas contribuem não apenas para a ampliação da capacidade instalada, mediante a implantação de sistemas fotovoltaicos de diferentes portes, mas também para a promoção de um crescimento sustentável, alinhado às diretrizes globais de transição energética e descarbonização da matriz elétrica. Organismos internacionais, como o Banco Mundial, destacam que as PPPs constituem instrumentos eficazes para acelerar o desenvolvimento tecnológico, reduzir custos de investimento e mitigar riscos associados à expansão da geração por fontes renováveis (World Bank, 2023).

Com base nesse modelo, o Governo do Estado do Piauí, instituiu, em 2018 o Programa Piauiense de Desenvolvimento de Energia Limpa – PROPIDEL para elaborar o projeto “Parceria Público Privada para implantação, operação e manutenção de Miniusinas de Energia solar”.

O projeto foi dividido em 4 lotes, na modalidade de concessão administrativa para construção, operação, manutenção e gestão de miniusinas de geração de energia solar fotovoltaica, com gestão e operação de serviços de compensação de créditos de energia elétrica, e foi prevista a construção de duas miniusinas por lote (SUPARC, 2024).

As miniusinas auxiliam na promoção da transição energética e reduz a dependência de fontes não renováveis. Esse projeto é um exemplo pioneiro de PPP nessa área. As miniusinas tem como

objetivo principal, atender à demanda energética dos órgãos do Governo do Estado do Piauí (SUPARC, 2024). A geração de energia elétrica por meio da fonte solar fotovoltaica aumenta a disponibilidade de potência no SIN, reduz os gastos com energia elétrica e reduz os impactos ambientais causados por fontes não renováveis. Essa utilização contribui diretamente para que sejam alcançados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Soares et al., 2023).

Para contribuir com o processo de transição energética e com o fortalecimento do desenvolvimento sustentável, neste trabalho é realizado um estudo dos impactos provocados pela implantação das miniusinas de energia solar fotovoltaica construídas por meio das PPPs para atender a demanda energética da SEDUC do Piauí. A pesquisa busca responder ao seguinte problema científico: como essas miniusinas podem contribuir para a redução dos gastos com energia elétrica da SEDUC, promover o desenvolvimento socioeconômico local e quais são as melhores diretrizes para aprimorar e expandir a utilização desta tecnologia no contexto das PPPs.

Compreender esses impactos é crucial para justificar e otimizar investimentos em energias renováveis, visando um desenvolvimento sustentável e uma gestão energética mais eficiente no Estado. A principal hipótese levantada foi a de que a implantação das miniusinas pode reduzir os gastos com energia elétrica e o valor economizado pode ser aplicado em ações que promovam a conservação ambiental e o desenvolvimento social local.

## 2 METODOLOGIA

As etapas metodológicas incluem revisão bibliográfica, levantamento e análise de dados públicos, desenvolvimento e aplicação de entrevistas e questionários, além de visitas técnicas.

Para obter uma base teórica sólida sobre as PPPs, energias renováveis e miniusinas solares fotovoltaicas, foi realizada uma revisão de literatura. A pesquisa foi conduzida nas bases de dados acadêmicas: Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), Periódico Capes, Scopus, Web of Science e Google Scholar, utilizando palavras-chave combinadas (energia solar, PPP, impacto socioambiental, impacto econômico, miniusinas, energia renovável, sustentabilidade e infraestrutura) com os conectores "AND" e "OR". As mesmas palavras-chave foram utilizadas em inglês para ampliar a busca seguindo a metodologia utilizada por Xue et al. (2021). Após a filtragem inicial, uma análise crítica foi realizada sobre os artigos científicos e relatórios técnicos encontrados.

Para obter os dados relativos às miniusinas e a SEDUC do Piauí, que recebe os créditos de geração, entrou-se em contato com os seus responsáveis. As solicitações foram realizadas por diferentes meios de comunicação (e-mail, contato telefônico, WhatsApp e protocolo de solicitação diretamente no setor de protocolo da SEDUC). Foram solicitadas as faturas de energia elétrica

(compreendendo o período de 12 meses), a lista de unidades consumidoras que recebem os créditos com os percentuais destinado a cada uma e o valor mensal pago pela geração da miniusina.

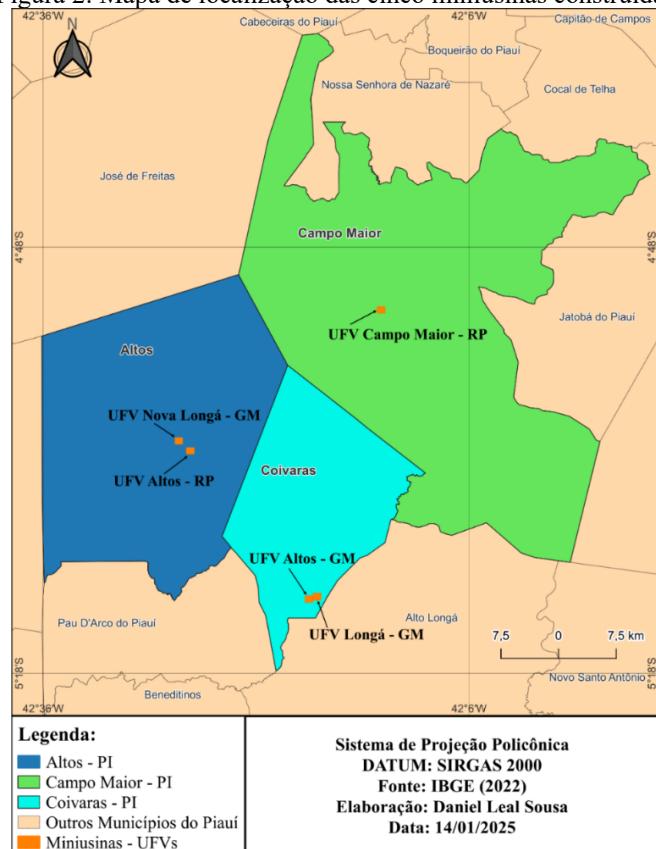
Com os dados das faturas de energia elétrica é possível comparar os custos de energia, comparando os valores que seriam pagos sem a geração com os valores pagos com a compensação dos créditos para calcular e avaliar o impacto econômico.

A combinação dessas etapas metodológicas permitiu uma análise abrangente e interdisciplinar dos impactos das miniusinas de energia solar fotovoltaica no âmbito das PPPs do Estado do Piauí. Os resultados obtidos contribuem para o desenvolvimento de diretrizes que visem aprimorar a implementação desses empreendimentos, maximizando os benefícios.

## 2.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área delimitada para o estudo compreende os locais nos quais estão instaladas as miniusinas de energia solar fotovoltaica no Estado do Piauí por meio de PPPs do Governo do Estado. Essas miniusinas, representam um importante marco no desenvolvimento da geração de energia renovável na região (SUPARC, 2024). Foram construídas, ao todo, cinco miniusinas de geração solar fotovoltaica em três municípios do Estado do Piauí: Altos, Coivaras e Campo Maior (Figura 2).

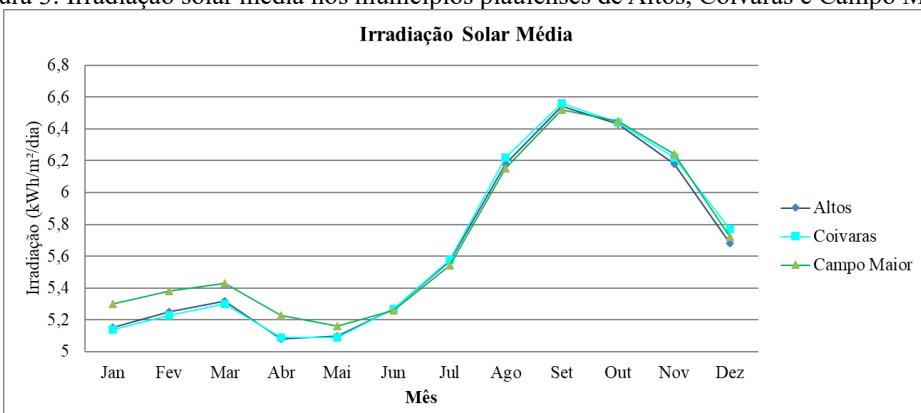
Figura 2: Mapa de localização das cinco miniusinas construídas



Fonte: Elaborada pelo Autor

A escolha desses três municípios foi justificada pelo elevado índice de radiação solar nessas localidades, que figuram entre os municípios com os maiores índices de irradiação solar do Estado do Piauí (Pereira et al., 2017). Tal condição climática favorece significativamente o desempenho das usinas fotovoltaicas, maximizando sua geração e reduzindo o tempo de retorno dos investimentos. Na Figura 3 temos o gráfico com os índices de irradiação solar média nos municípios de Altos, Coivaras e Campo Maior em ( $\text{kWh/m}^2\text{.dia}$ ).

Figura 3: Irradiação solar média nos municípios piauienses de Altos, Coivaras e Campo Maior



Fonte: Elaborada pelo Autor com dados de EPE (2025)

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os principais resultados e as respectivas discussões.

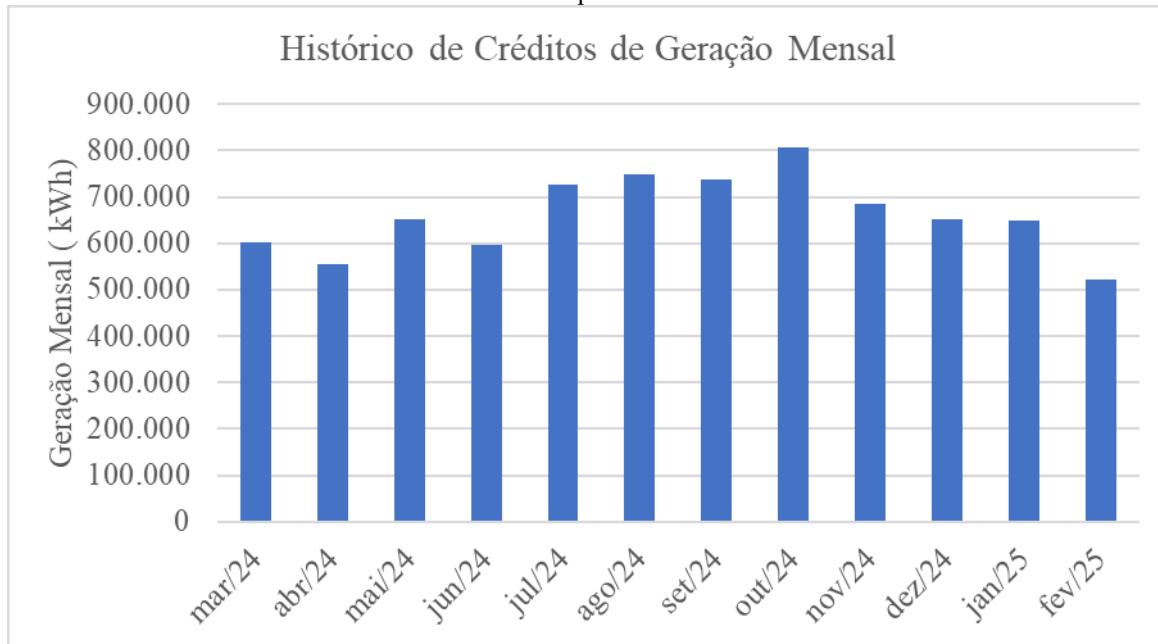
#### 3.1 MINIUSINAS CONTRATADAS PELA SEDUC

Uma das miniusinas foi instalada no município de Altos – PI (UFV Nova Longá), com as seguintes coordenadas do local de instalação: latitude: -5.028271; longitude: -42.439764. A UFV Nova Longá, possui uma potência instalada de 1.350 kW e foi conectada à rede de distribuição da Equatorial Piauí em abril de 2023. A infraestrutura da usina é composta por 2.673 módulos fotovoltaicos bifaciais do modelo TSM-650DEG21C.20, com potência unitária de 650 Wp, totalizando uma potência de pico de 1.737,45 kWp. Para a conversão da energia gerada, foram instalados seis inversores TBEA – TS228KTL-HV, com potência de 225 kW cada. Utiliza estrutura de suporte com sistema de rastreamento solar (*tracker*), o que possibilita o acompanhamento do movimento do sol ao longo do dia, aumentando a eficiência na captação da radiação solar. A empresa responsável pela execução do projeto e instalação do sistema foi a NETLUX Solar.

A outra unidade foi instalada em Coivaras - PI (UFV Longá), com as seguintes coordenadas do local de instalação: latitude: -5.213587; longitude: -42.284163. A UFV Longá, também possui as mesmas características da UFV Nova Longá com diferentes quantidades de módulos e inversores. Possui uma potência instalada de 1.800 kW, sendo composta por 3.663 módulos fotovoltaicos de 650 Wp, resultando em uma potência de pico total de 2.380,95 kWp. O sistema conta com oito inversores TBEA – TS228KTL-HV, com capacidade de 225 kW por unidade e também utiliza *tracker*. A conexão da usina à rede da concessionária Equatorial Piauí foi realizada em maio de 2023, instalada pela NETLUX Solar.

O histórico de geração de energia elétrica das duas miniusinas no período compreendido entre os meses de março de 2024 e fevereiro de 2025 está esboçado na Figura 4. Observa-se que os meses de julho de 2024 a novembro de 2024 são os meses que temos a maior geração de energia elétrica. Isso se deve à irradiação solar ser maior nesses meses do ano, conforme observamos no gráfico de irradiação solar da Figura 3.

Figura 4: Histórico de geração de energia elétrica em kWh das miniusinas, UFV Nova Longá e UFV Longá, que atende a SEDUC construídas a partir do contrato 04/2020



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da (SUPARC, 2024).

O contrato firmado entre A SEDUC e a GM ENERGIA prevê que essas duas miniusinas devem gerar em média 650.000 kWh por mês. No contrato também é especificado um valor mínimo de geração mensal que é 5% abaixo da média contratada, ou seja, 617.500 kWh no mínimo.

Caso a geração fornecida não atinja o valor contratado, a empresa deve pagar multa, além da redução do valor pago no mês pela geração da miniusina. O valor contratado para a compra mensal da produção da miniusina, foi fixado em R\$ 387.000,00 (trezentos e oitenta e sete mil reais) no ano de 2020, ano de assinatura dos contratos, e esse valor é reajustado pelo IPCA a cada ano. Dessa forma, a secretaria aumenta a previsibilidade dos gastos com energia elétrica. No ano de 2025 esse valor foi corrigido pelo IPCA, conforme previsto em contrato e ficou fixado no valor de R\$ 514.427,06 (quinhentos e quatorze mil, quatrocentos e vinte e sete reais e seis centavos).

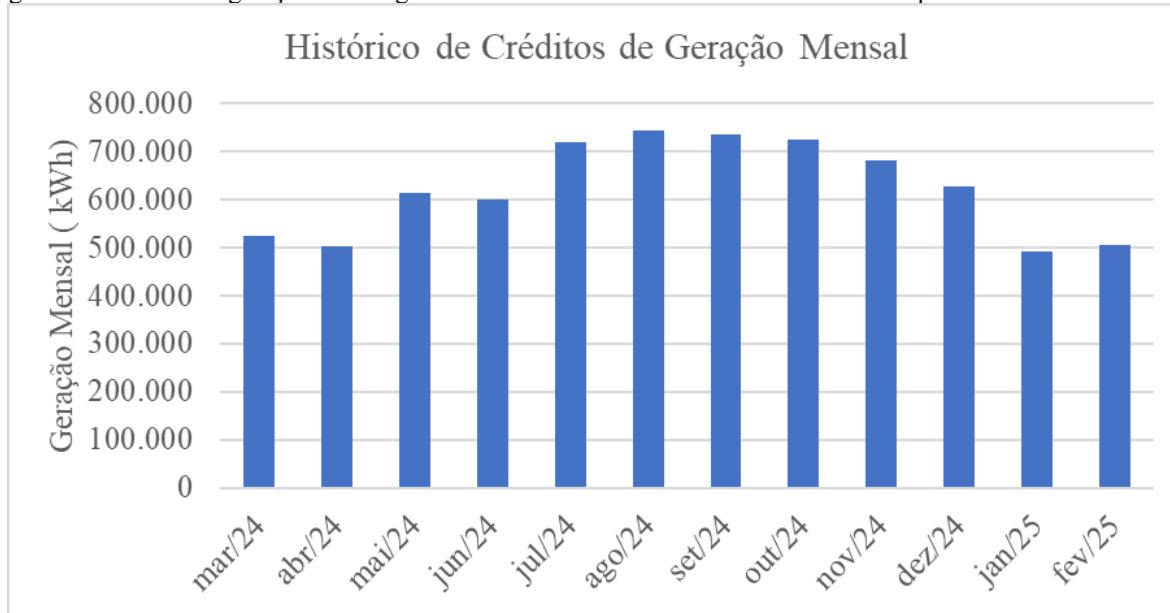
No município de Altos – PI, temos outra miniusina instalada (UFV Altos) construída pela RIO POTI ENERGIA, para atender à demanda energética da SEFAZ. Após o início da operação, constatou-se que a geração de energia elétrica pela miniusina era muito superior à demanda de energia elétrica da SEFAZ, por esse motivo essa unidade foi cedida para a SEDUC em março de 2024.

Essa instalação de minigeração fotovoltaica possui capacidade nominal de 2.895 kW, e está situada no município de Altos – PI. As coordenadas do local de instalação da miniusina são: latitude: -5.040073; longitude: -42.427166. Possui uma potência instalada de 2.895 kW, e é composta por 7.068 módulos fotovoltaicos bifaciais do modelo RSM110-8-540BMDG, fabricados pela RISEN SOLAR, cada um com potência de 540 Wp, totalizando uma potência de pico de 3.816,72 kWp.

Conta com 13 inversores de 215 kW e um inversor de 100 kW, todos da fabricante HUAWEI, modelos SUN2000-215KTL e SUN2000-100KTL, respectivamente e também possui *tracker*. A conexão à rede da concessionária Equatorial Piauí foi concluída em maio de 2023. A estimativa de produção energética para esta miniusina é de aproximadamente 7.800.000 kWh por ano ou 650.000 kWh por mês.

O histórico de geração de energia elétrica dessa miniusina no período compreendido entre os meses de março de 2024 e fevereiro de 2025 está esboçado na Figura 5.

Figura 5: Histórico de geração de energia elétrica em kWh das miniusinas construída a partir do contrato 08/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da (SUPARC, 2024).

O contrato firmado entre SEDUC e a RIO POTI ENERGIA prevê que essa miniusina deve gerar em média 650.000 kWh por mês e possui as mesmas especificações do contrato com a GM Energia. No ano de 2024 o valor pago por mês pela SEDUC referente a contraprestação mensal do contrato 08/2020 está em R\$ 484.858,52 (quatrocentos e oitenta e quatro mil, oitocentos e cinquenta e oito reais e cinquenta e dois centavos). No ano de 2025 esse valor foi corrigido pelo IPCA, conforme previsto em contrato e ficou fixado no valor de R\$ 511.129,44 (quinhentos e onze mil, cento e vinte e nove reais e quarenta e quatro centavos).

Até o ano de 2023, a SEDUC possuía 35 faturas coletivas de energia elétrica e atualmente essas faturas foram reagrupadas em 3 faturas coletivas:

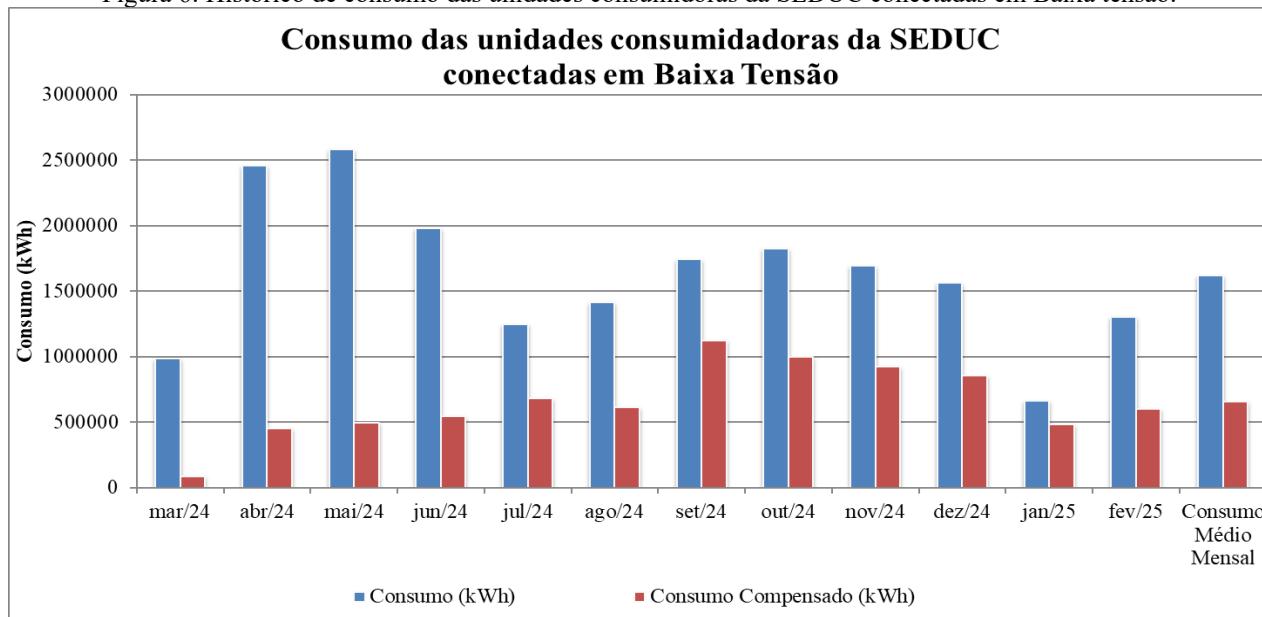
- ✓ Fatura das unidades atendidas em baixa tensão, grupo B.
- ✓ Fatura das unidades atendidas em média tensão, grupo A.
- ✓ Fatura da unidade do centro administrativo em Teresina – PI, grupo A.

As unidades do GRUPO A, pagam mais barato pelo kWh consumido no horário fora de ponta (das 20h30 às 17h29) dessa forma não é tão viável a compensação do consumo dessas unidades com os créditos de geração das miniusinas.

Analizando as unidades consumidoras pertencentes a SEDUC, obtemos o quantitativo de total de 1.046 unidades consumidoras. Desse total, 124 são enquadradas no grupo A e 922 são do grupo B. A demanda contratada pela SEDUC na sede no centro administrativo é de 700 kW e nas demais 123 unidades do grupo A é de 9.944 kW.

O consumo médio mensal das unidades da SEDUC conectadas em baixa tensão (Grupo B) considerando o período de março de 2024 à fevereiro de 2025 é de 1.623.045 kWh por mês. Com relação ao consumo médio compensado por mês, tem-se o valor de 656.268 kWh/mês. Isso indica que foi compensado aproximadamente 40,4% do consumo total dessas unidades. O histórico de consumo de energia em kWh e do consumo compensado pode ser observado na Figura 6.

Figura 6: Histórico de consumo das unidades consumidoras da SEDUC conectadas em Baixa tensão.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da SEDUC

O consumo total de energia elétrica registrado pelas unidades de baixa tensão da SEDUC foi de aproximadamente 19.476.542 kWh, resultando em um consumo médio mensal de 1.623.045 kWh. Esse valor de consumo, representa uma demanda expressiva e contínua por energia elétrica, compatível com a estrutura de funcionamento descentralizado da rede escolar estadual, que abrange 922 unidades consumidoras distribuídas por todo o território piauiense.

A variabilidade observada entre os meses reforça a necessidade de uma estratégia dinâmica de alocação dos créditos de geração distribuída, que leve em consideração os ciclos de maior e menor

demandas. Mesmo sem variação na alocação, a compensação é beneficiada pois os créditos excedentes em um mês têm até 5 anos para serem utilizados. A manutenção de uma média mensal superior a 1,6 GWh reforça o potencial de ganhos econômicos advindos de uma compensação energética eficiente, especialmente considerando-se as tarifas elevadas aplicadas às unidades consumidoras em baixa tensão.

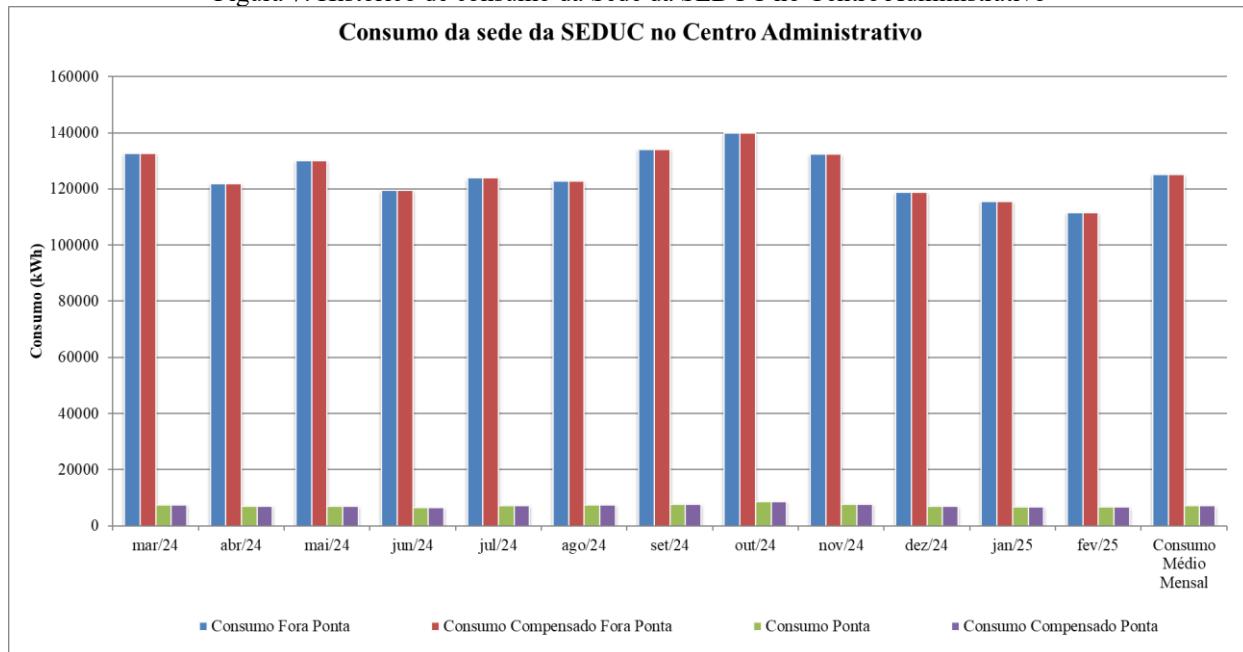
Neste contexto, a geração oriunda das miniusinas fotovoltaicas representa um instrumento estratégico para redução dos custos com energia elétrica, sendo essencial que os créditos sejam alocados preferencialmente a este grupo, que apresenta elevado consumo e alto custo mais elevado por quilowatt-hora, comparado às unidades conectadas em média tensão. A priorização de unidades de baixa tensão na política de compensação energética da SEDUC permite maximizar os benefícios financeiros da PPP, contribuindo para a sustentabilidade fiscal da administração pública e para o cumprimento das metas dos ODS, em particular o ODS 7 e ODS 12.

O padrão de consumo verificado nas unidades de baixa tensão da SEDUC evidencia tanto a elevada demanda quanto a oportunidade de ampliar a eficiência econômica do projeto de geração distribuída, por meio de um planejamento energético que considere as especificidades sazonais da rede escolar estadual e otimize a alocação dos créditos de energia elétrica disponíveis.

A análise do consumo energético da Unidade Sede da Secretaria de Estado da Educação (SEDUC), localizada no Centro Administrativo em Teresina – PI, no período de março de 2024 a fevereiro de 2025, revela que a unidade apresentou um consumo total de 1,59 GWh, com média mensal de 132.403 kWh. A maior parte desse consumo ocorreu fora do horário de ponta, totalizando 1,50 GWh, enquanto 86.349 kWh foram registrados durante o horário de ponta. Observa-se que o consumo foi integralmente compensado com créditos de geração ao longo dos doze meses (Figura 7), resultando em um percentual de compensação de 100%.

Embora esse resultado de compensar todo o consumo possa parecer ser o cenário ideal, é necessária uma avaliação crítica sob a perspectiva da otimização econômica da alocação dos créditos. A Unidade Sede está conectada em média tensão, o que implica tarifas de energia menores do que aquelas aplicadas às unidades consumidoras em baixa tensão. Em termos práticos, o custo evitado ao compensar o consumo da sede é significativamente menor do que o custo evitado ao compensar o mesmo volume de energia em unidades de baixa tensão.

Figura 7: Histórico de consumo da Sede da SEDUC no Centro Administrativo



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da SEDUC

Dessa forma, a alocação integral de créditos de geração para a Unidade Sede, embora tecnicamente eficaz, não é a melhor estratégia do ponto de vista financeiro. O modelo ideal, em termos de maximização da economia fiscal gerada pela PPP, consiste em priorizar a compensação das unidades em baixa tensão, cuja energia é tarifada a valores mais altos, garantindo assim um retorno financeiro mais significativo por cada kWh compensado. A Unidade Sede, por sua vez, deve ser compensada apenas quando existir excedente de créditos de geração após o atendimento de todas as unidades da rede conectar em baixa tensão.

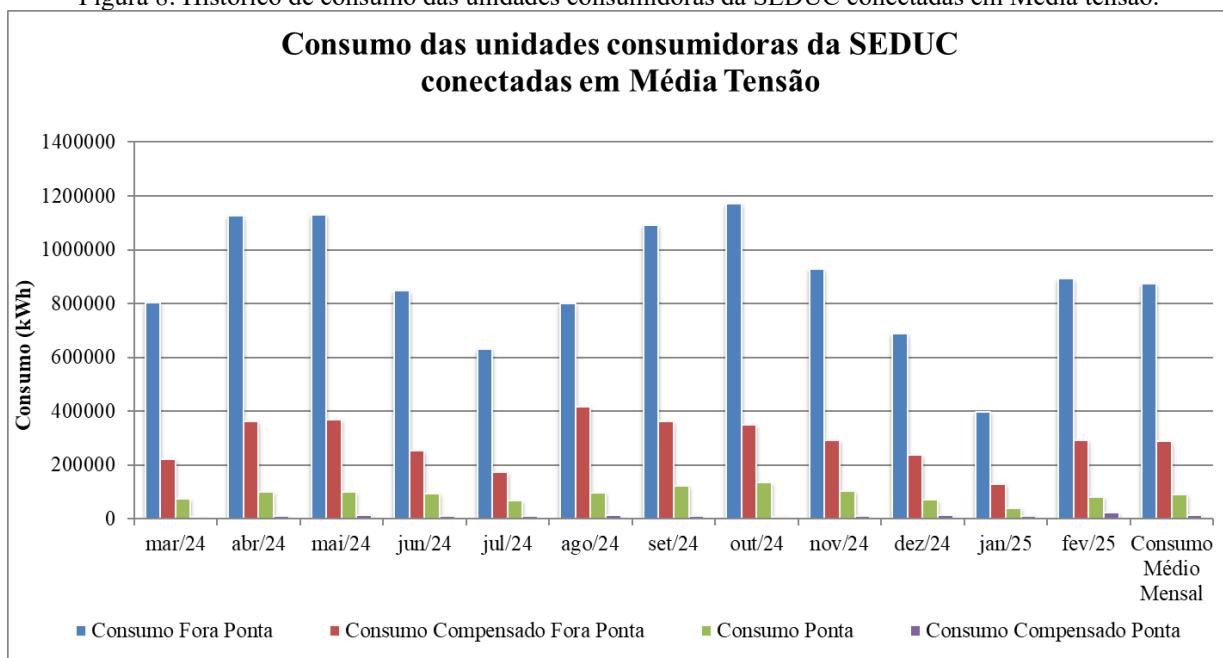
Adotar essa estratégia de alocação hierarquizada dos créditos (com priorização baseada no custo da energia) permitiria maximizar o impacto econômico do projeto de geração distribuída, potencializando a economia proporcionadas pela PPP e reforçando a sustentabilidade financeira da política pública.

Observa-se, portanto, que a decisão de compensar integralmente o consumo da Unidade Sede, ainda que operacionalmente viável, não representa a melhor prática em termos de política energética pública, dada a estrutura tarifária vigente. A análise recomenda a revisão da estratégia de alocação dos créditos de geração, com base em critérios econômicos e tarifários, de forma a assegurar a máxima efetividade da PPP no atendimento aos princípios da economicidade, da eficiência e da sustentabilidade, conforme preconizado pelos ODS.

A avaliação do consumo energético das unidades da SEDUC conectadas em média tensão durante o período analisado, evidencia que as unidades em média tensão registraram um consumo

total de 11.599.502 kWh, com uma média mensal de 966.625 kWh. Deste total, foram efetivamente compensados 3.617.887 kWh, resultando em um índice médio de compensação de 31,36%. Embora esse percentual possa ser considerado modesto, ele deve ser interpretado com cautela: as unidades em média tensão, apesar de seu alto consumo absoluto, como já mencionado na análise do consumo da unidade sede da SEDUC, tem o valor cobrado por kWh menor que as unidades em baixa tensão. Assim, cada kWh compensado neste grupo gera um retorno financeiro menor para a administração pública. Na Figura 8, tem-se o consumo mensal no período analisado.

Figura 8: Histórico de consumo das unidades consumidoras da SEDUC conectadas em Média tensão.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da SEDUC

Nesse contexto, manter ou expandir a compensação dessas unidades, enquanto ainda existe um déficit expressivo de compensação nas unidades em baixa tensão (que pagam tarifas superiores), não representa a alocação mais eficiente dos créditos de geração disponíveis. A análise dos dados demonstra que as unidades de baixa tensão, apesar de representarem uma parcela relevante do consumo, vêm sendo compensadas apenas parcialmente (em média 43%), mantendo déficits mensais superiores a 960.000 kWh.

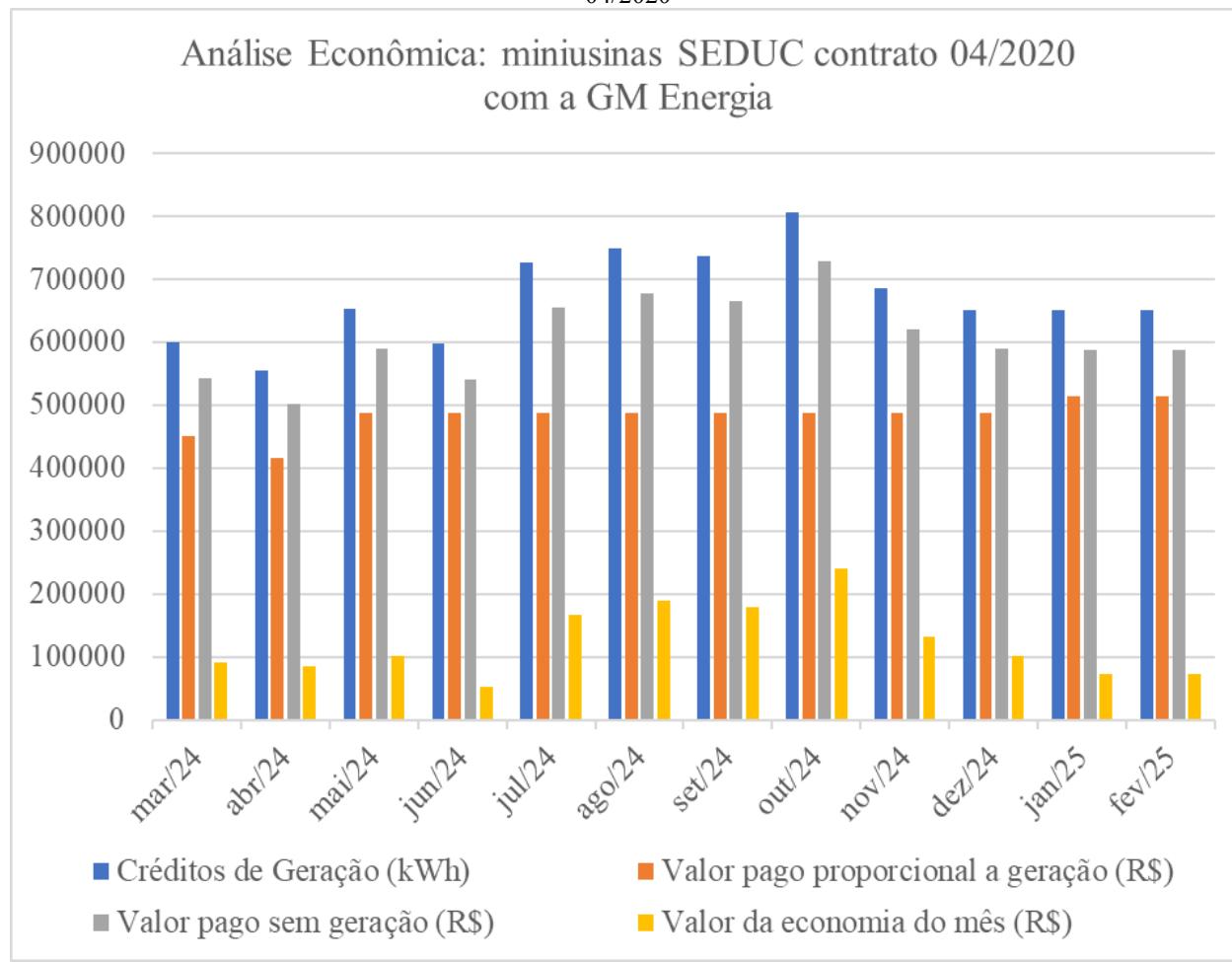
Portanto, sob a perspectiva da maximização do benefício econômico da PPP, o ideal seria que a totalidade dos créditos de geração oriundos das miniusinas fosse prioritariamente destinada às unidades de baixa tensão. Somente após a compensação plena deste grupo é que o eventual excedente deveria ser direcionado às unidades de média tensão. Essa lógica de alocação respeita o princípio da economicidade e busca o maior retorno financeiro possível por unidade de energia compensada.

Para analisar o impacto econômico, comparou-se o valor pago mensalmente às empresas das miniusinas e calculou-se o valor que seria pago sem créditos de geração. A análise foi feita para os créditos de cada contrato. Na figura 9 tem-se o histórico de créditos compensados para a miniusina do contrato 04/2020 e os valores pagos à empresa proporcional a geração recebida e o valor que seria pago a Equatorial Piauí sem considerar os créditos de geração.

Com base nos dados apresentados na Figura 9, é possível identificar economia nos gastos com energia elétrica, refletindo diretamente os efeitos positivos da geração distribuída.

No período de março de 2024 a fevereiro de 2025, a compensação energética resultou em uma economia total de R\$ 1.482.184,04, o que equivale a uma economia média mensal de aproximadamente R\$ 123.515,34. Este valor representa a diferença entre o que seria pago pela SEDUC em um cenário sem geração própria e o valor efetivamente pago proporcional ao volume de energia compensada com créditos oriundos das miniusinas.

Figura 9: Histórico de créditos de geração compensados e valores pagos pelos créditos de geração referente ao contrato 04/2020



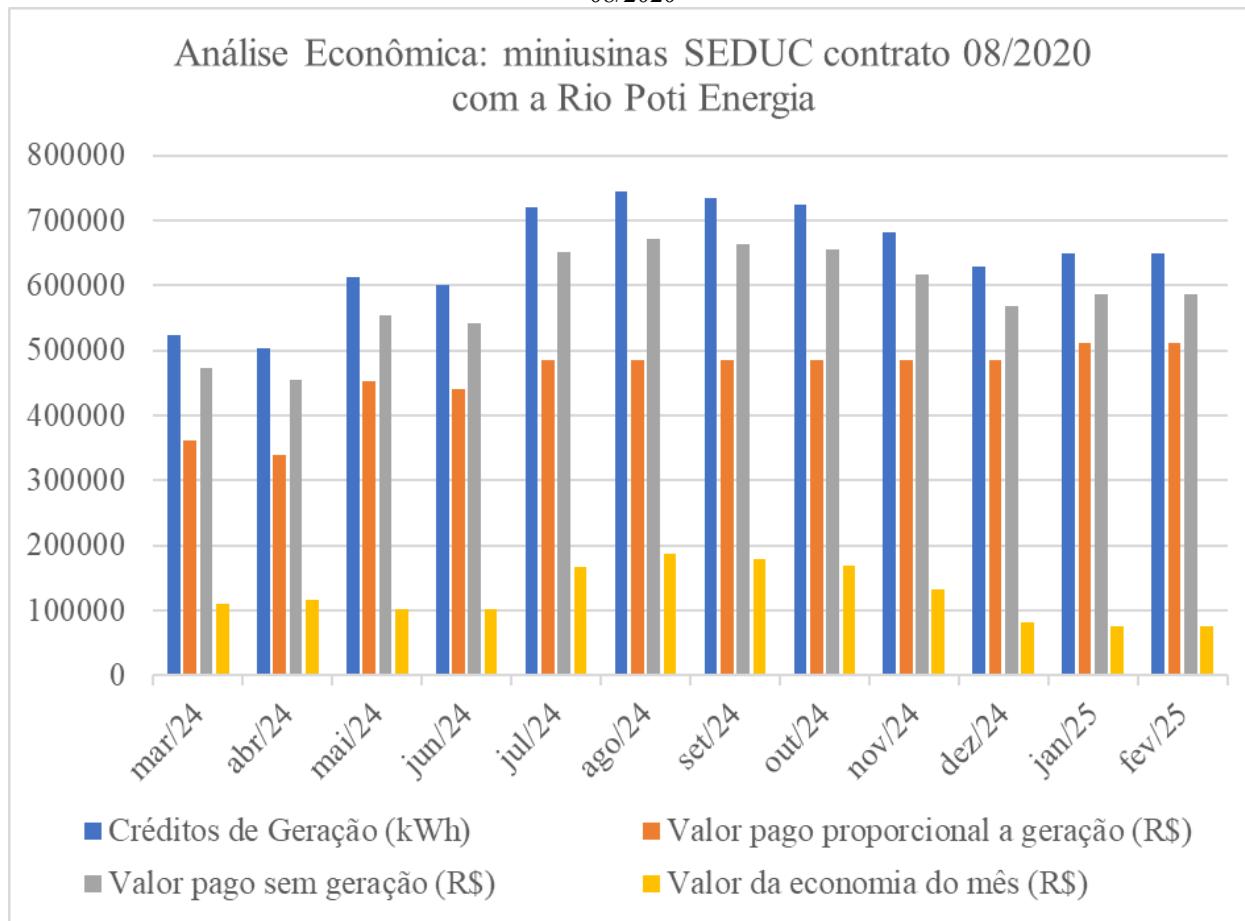
Fonte: Elaborado pelo autor com dados da SEDUC

O mês de maior economia foi outubro de 2024, com um valor economizado de R\$ 239.671,61. Observa-se que os meses de menor economia foram os meses de janeiro e fevereiro de 2025. Essa redução na economia ocorreu por conta da redução no valor da tarifa de energia por parte da Equatorial e o aumento do valor a ser pago pela contraprestação mensal à empresa, que é corrigido pelo IPCA todo ano.

A economia gerada é particularmente relevante considerando o contexto de crescentes despesas operacionais da administração pública com energia elétrica. Além disso, trata-se de uma economia recorrente, que se renova a cada ciclo de faturamento e contribui para o alívio do orçamento público, sem comprometer a qualidade dos serviços prestados pelas unidades escolares.

Também foi feita a mesma análise para a miniusina do contrato 08/2020, conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10: Histórico de créditos de geração compensados e valores pagos pelos créditos de geração referente ao contrato 08/2020



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da SEDUC

No período analisado, a energia compensada pelas usinas vinculadas ao contrato 08/2020 possibilitou uma economia total de R\$ 1.499.163,08, o que corresponde a uma economia média

mensal de R\$ 124.930,26. Essa economia é calculada como a diferença entre o que seria desembolsado sem a utilização de créditos de geração e o valor efetivamente pago proporcional ao consumo compensado.

O mês de maior economia foi agosto de 2024, quando o valor economizado atingiu R\$ 187.234,30, possivelmente em função de maior geração fotovoltaica associada ao pico da irradiação solar e à boa alocação dos créditos para unidades de maior custo tarifário.

Estes resultados confirmam a efetividade do Contrato nº 08/2020 como ferramenta de política pública para a redução de gastos correntes com energia elétrica. A economia mensal recorrente obtida ao longo de um ano orçamentário proporciona não apenas alívio fiscal, mas também a oportunidade de reorientação de recursos para outras áreas da educação, como infraestrutura escolar, alimentação, transporte ou capacitação docente.

#### **4 CONCLUSÃO**

A transição energética para fontes renováveis, em especial a energia solar fotovoltaica, é uma necessidade urgente diante dos desafios climáticos e ambientais que o mundo está enfrentando. No Brasil, e particularmente no Estado do Piauí, o potencial para a geração de energia solar é grande, pois apresenta elevados índices de radiação solar o ano todo, mas ainda é subutilizado.

O poder público deve liderar essa política de transição energética para a utilização de fontes renováveis. As PPPs são instrumentos vitais para auxiliar 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 ajudar a superar os obstáculos financeiros e técnicos que limitam a expansão da energia das energias renováveis.

Do ponto de vista técnico, pode-se comprovar que o desempenho das miniusinas foi satisfatório, com todas as unidades conseguindo atingir, o valor contratado de geração média mensal de 650.000 kWh. Todas as instalações possuem a tecnologia de *tracker*, que permite direcionar os módulos fotovoltaicos de acordo com a posição do sol para aumentar a capacidade de geração da instalação. Essas miniusinas foram as primeiras a serem instaladas no estado do Piauí com esse tipo de mecanismo.

No que tange à análise econômica, a implementação das miniusinas resultou em significativa economia nas contas de energia da secretaria. A economia gerada entre março de 2024 e fevereiro de 2025 (12 meses) totalizou R\$ 1.482.184,04, com uma média mensal de R\$ 123.515,34. O pico de economia foi observado no mês de outubro de 2024, com R\$ 239.671,61 economizados, enquanto o

menor valor ocorreu em fevereiro de 2025, refletindo ajustes tarifários da distribuidora e correção contratual da contraprestação.

A análise do consumo da Unidade Sede da SEDUC, localizada no centro administrativo em Teresina, revelou um total de 1.588.830 kWh consumidos no período de 12 meses, dos quais 1.502.481 kWh ocorreram fora do horário de ponta e 86.349 kWh durante o horário de ponta. Todo o consumo foi compensado com créditos de geração, atingindo 100% de compensação. No entanto, a compensação total da unidade Sede, conectada em média tensão, revelou-se financeiramente menos vantajosa do que a compensação das unidades em baixa tensão, cuja tarifa é mais elevada. Assim, constatou-se que a estratégia de compensar todo com consumo da unidade sede, do ponto de vista econômico não é a melhor opção. Deve-se inicialmente compensar todas as unidades conectadas em baixa tensão e somente compensar o consumo das unidades atendidas em média tensão se ainda sobrar créditos de geração.

No entanto, o projeto também evidenciou problemas e desafios estruturais que comprometem sua eficiência. O principal deles foi a falta de planejamento levando em consideração a demanda energética de cada órgão do governo que foi beneficiado. A alocação inicial inadequada da geração da miniusina contratada para a Secretaria da Fazenda (SEFAZ), por exemplo, cuja demanda mensal era inferior à capacidade de geração contratada foi um dos principais problemas encontrados. Essa distorção foi corrigida com a transferência da unidade geradora para a SEDUC, com demanda compatível, mas o episódio revelou falhas no planejamento prévio e na estimativa da demanda real dos órgãos públicos.

A experiência do Piauí na implementação de miniusinas solares via PPP se mostra exitosa em termos de viabilidade técnica e contribuição para a transição energética. Contudo, a maximização de seus benefícios requer maior integração entre planejamento técnico, políticas públicas locais e engajamento social. A replicação e expansão desse modelo depende do fortalecimento da governança, do aprimoramento dos diagnósticos de demanda e da adoção de estratégias inclusivas que consolidem os ganhos ambientais e sociais junto às comunidades afetadas. Tais medidas podem ampliar os efeitos positivos das PPPs, consolidando as miniusinas como instrumentos efetivos de política pública energética, ambiental e social.

## REFERÊNCIAS

AWUKU, S. A., BENNADJI, A., MUHAMMAD-SUKKI, F., & SELLAMI, N. Public-private partnership in Ghana's solar energy industry: The history, current state, challenges, prospects and theoretical perspective, *Energy Nexus*, v. 6, 2022. Available in:  
<https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100058>.

DAI, L., SHEN, J., & ZHANG, F. Development status and application analysis of new energy photovoltaic power generation energy market based on artificial intelligence. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, v. 19, p. 351–358, 2024. Available in:  
<https://doi.org/10.1093/ijlct/ctae009>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. Dados Abertos. Available in:  
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/dados-abertos>. Access at: mar. 2025.

HECKSHER, C. B. M. da C. Políticas públicas e usinas solares: indicadores socioeconômicos e percepção da população em municípios de minas gerais. *ARACÊ*, v. 6, n. 4, p. 13835–13866, 2024. Available in: <https://doi.org/10.56238/arev6n4-165>.

KIBAARA, S., & KARWERU, M. Developing a Techno-Economic Modelling Tool for Small scale Utility Solar PV Technology for Quantifying Environmental Impacts. *IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON)*, p. 1–6, 2022. Available in:  
<https://doi.org/10.1109/energycon53164.2022.9830267>.

LIRA, M. A. T., MELO, M. L. DA S., RODRIGUES, L. M., & SOUZA, T. R. M. DE. Contribution of photovoltaic systems connected to the electrical network for reducing CO<sub>2</sub> in the state of Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 34, n. 3, p. 389–397, 2019. Available in:  
<https://doi.org/10.1590/0102-7786343046>.

MEINSHAUSEN, M., LEWIS, J., MCGLADE, C., GÜTSCHOW, J., NICHOLLS, Z., BURDON, R., COZZI, L., & HACKMANN, B. Realization of Paris Agreement pledges may limit warming just below 2 °C. *Nature*, v. 604, n. 7905, p. 304–309, 2022. Available in:  
<https://doi.org/10.1038/S41586-022-04553-Z>  
Z;TECHMETA=119,139;SUBJMETA=106,2786,682,694,704;KWRD=CLIMATE-CHANGE+MITIGATION,PROJECTION+AND+PREDICTION.

MELE, M., GURRIERI, A. R., MORELLI, G., & MAGAZZINO, C. Nature and climate change effects on economic growth: an LSTM experiment on renewable energy resources. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, n. 30, p. 41127–41134, 2021. Available in:  
<https://doi.org/10.1007/S11356-021-13337-3>.

MORAIS, F. H. M. DE, LIRA, M. A. T., & LOPES, W. G. R. Solar and groundwater resources assessment for the installation of photovoltaic pumping systems in the state of Piauí, Brazil. *Groundwater for Sustainable Development*, v. 29, p. 101443, 2025. Available in:  
<https://doi.org/10.1016/J.GSD.2025.101443>.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - ONU. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil. Available in: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Access at: jan. 2025.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., GONÇALVES, A. R., COSTA, R. S., LIMA, F. J. L. DE, RÜTHER, R., ABREU, S. L. DE, TIEPOLO, G. M., PEREIRA, S. V., & SOUZA, J. G. DE. Atlas brasileiro de energia solar. Universidade Federal de São Paulo, v. 2, 2017. Available in: <https://doi.org/10.34024/9788517 00089>.

RANA, R. L., LOMBARDI, M., GIUNGATO, P., & TRICASE, C. Trends in scientific literature on energy return ratio of renewable energy sources for supporting policymakers. *Administrative Sciences*, v. 10, n. 2, 2020. Available in: <https://doi.org/10.3390/admisci10020021>.

ROCHA, Á. G.; BARRA NETO, A. Economia circular na fotovoltaica: uma análise das regulamentações globais e suas implicações no Brasil. *ARACÊ*, v. 6, n. 3, p. 5590–5613, 2024. Available in: <https://doi.org/10.56238/arev6n3-080>.

SACCARDO, R. R., DOMINGUES, A. M., BATTISTELLE, R. A. G., BEZERRA, B. S., SIQUEIRA, R. M., & NETO, J. B. S. DOS S. Investment in photovoltaic energy: An attempt to frame Brazil within the 2030 passage target of the Paris agreement. *Cleaner Energy Systems*, v. 5, p. 100070, 2023. Available in: <https://doi.org/10.1016/J.CLES.2023.100070>.

SOARES, C. A. B., NADAE, J. DE, NASCIMENTO, D. C. DO, FIRMINO, P. R. A., & MORIOKA, S. N. Photovoltaic solar energy and sustainability in higher education institutions: a multiple case study. *Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas*, v. 18, p. 103–135, 2023. Available in: <https://doi.org/10.15675/gepros.v18i00.2939>.

SOUZA, 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. Economic feasibility of distributed generation for Brazilian households: influence of the new legal framework. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 58, n. 1, p. 134–144, 2023. Available in: <https://doi.org/10.5327/Z2176-94781574>.

SUPERINTENDÊNCIA DE PARCERIAS E CONCESSÕES - SUPARC. Miniusinas de Energia Solar. Available in: <http://www.ppp.pi.gov.br/pppteste/index.php/projetos/estudo-de-viabilidade/miniusinas-de-energia-solar/>. Access at: mar. 2024

WORLD BANK. The PPP Reference Guide Version 2.0. Available in: <https://www.worldbank.org/en/topic/publicprivatepartnerships/publication/the-ppp-reference-guide-version-20>. Access at: jun. 2023.

XUE, Y., LINDKVIST, C. M., & TEMELJOTOV-SALAJ, A. Barriers and potential solutions to the diffusion of solar photovoltaics from the public-private-people partnership perspective – Case study of Norway. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 137, 2021. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110636>.