



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

Smart Energy: a produção de energia fotovoltaica no Estado do Tocantins, Brasil

Rogério Rodrigues Lima de Araujo

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

José Roberto Cruz e Sousa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

Júlio Aires Azevedo Leite

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

Regina Negri Pagani

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

Ângelo Marcelo Tuset

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UTFPR

Resumo: Este artigo aborda a transição global para energias renováveis, com destaque para a crescente importância da energia solar fotovoltaica. A mudança nas fontes de energia sustentável é impulsionada pelo compromisso com o Acordo de Paris e pela necessidade de combater o aquecimento global e a escassez de combustíveis fósseis. O estudo destaca o potencial do Brasil na geração de energias renováveis, especialmente devido às suas vastas áreas ensolaradas, mas ressalta que o país ainda tem muito a explorar nesse campo. O foco específico é o estado do Tocantins, que possui um clima predominantemente ensolarado e, portanto, um grande potencial para a produção de energia solar fotovoltaica. No entanto, a capacidade instalada ainda está abaixo das potencialidades do estado. A observação que as FER demandam a implantação de Smart Grids que se inserem no contexto de Smart Cities. O presente estudo tem como objetivo identificar na literatura os aspectos referentes às potencialidades da geração de energia fotovoltaica no Tocantins, e o cenário nacional e mundial no contexto Smart.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica, Tocantins, Geração de energia, Smart grids.

Smart Energy: photovoltaic energy production in the State of Tocantins, Brazil

Abstract: This article addresses the global transition to renewable energies, with a focus on the growing importance of photovoltaic solar energy. The shift to sustainable energy sources is driven by the commitment to the Paris Agreement and the need to combat global warming and the scarcity of fossil fuels. The study highlights Brazil's potential in renewable energy generation, especially due to its vast sunlit areas, but emphasizes that the country still has much to explore in this field. The specific focus is on the state of Tocantins, which has a predominantly sunny climate and, therefore, significant potential for photovoltaic solar energy production. However, the installed capacity is still below the state's potential. The observation is made that Renewable Energy Sources (RES) require the implementation of Smart Grids, which are part of the Smart Cities context. The purpose of this

study is to identify, in the literature, the aspects related to the potential of photovoltaic energy generation in Tocantins, as well as the national and global scenario in the Smart context.

Keywords: Photovoltaic solar energy, Tocantins, Energy generation, Smart Grids

1. Introdução

A migração para energias renováveis tornou-se dominante nas principais economias do mundo, em especial na Europa (HANSEN; BREYER; LUND, 2019), por conta do engajamento ao acordo de Paris e a necessidade de enfrentamento ao aquecimento global e ao inevitável esgotamento dos combustíveis fósseis (HEARD et al., 2017).

Nesse contexto, a produção de energia solar fotovoltaica assume papel preponderante, experimentando grande expansão em capacidade instalada (LIAN et al., 2019; POTRČ et al., 2021). Essa expansão tanto em Geração Concentrada em Usinas Fotovoltaicas quanto na Geração Distribuída traz desafios e oportunidades (OSMAN et al., 2023).

O maior desafio para as Fontes de Energia Renováveis (FER) é a questão da intermitência na geração (STANČIN et al., 2020), e os estudos apontam para soluções que vão desde a produção de baterias mais eficientes (GALLO et al., 2016; KUMAR et al., 2018), a integração das fontes geradoras a nível regional e global (BOGDANOV et al., 2021) e (NIŽETIĆ et al., 2019), situação condizente com o ideário de Smart Grid e por consequência, os conceitos e aplicações de Smart Energy (SUN et al., 2016; ALOTAIBI et al., 2019), até ao uso das bacias hidrográficas como “baterias” naturais (HANSEN; MATHIESEN; SKOV, 2019).

O uso Inteligência Artificial (AHMAD et al., 2021), para gerenciamento e previsibilidade de geração das FER (MATHIESEN et al., 2015), e até a implementação de Blockchain (ANDONI et al., 2019; Wang and Su, 2020), para controle e escrituração de consumo e produção em P2P estão no rol de estratégias para o desenvolvimento da implantação de geração 100% renovável.

Outro ponto de contato importante que relaciona a extinção do uso de combustíveis fósseis e emissão zero de CO² na atmosfera passa pelo setor de transporte, que tem na eletrificação da frota uma tendência forte, mas que também fica dependente do desenvolvimento de baterias mais eficientes, outra vertente para solucionar este problema é a utilização do excedente de produção das FER direcionando para a produção de combustíveis renováveis (STANČIN et al., 2020), vertente que torna o crescimento da produção de energias renováveis ainda mais interessante e desejável.

Com este cenário, se torna ainda mais significativo o aproveitamento do potencial de geração de energias renováveis no Brasil (BOGDANOV et al., 2021), que apesar de ter sua matriz energética predominantemente renovável, ainda tem muito potencial a ser explorado.

No caso específico do Tocantins (277.621 km²), que é o foco deste estudo, por conta da posição geográfica, seu clima predominantemente ensolarado, pressupõe-se que tenha um potencial de produção de energia solar fotovoltaico imenso, mas mesmo em nível Brasil, tem uma capacidade instalada muito aquém de suas potencialidades.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo identificar na literatura os aspectos referentes às potencialidades da geração de energia fotovoltaica no Tocantins e o cenário nacional e mundial no contexto Smart Cities.

2. Materiais e métodos

O presente estudo utilizou-se de dois métodos de pesquisa: revisão sistemática da literatura e a pesquisa documental.

2.1 Revisão Sistemática da Literatura Methodi

Na revisão sistemática da literatura utilizou-se o Methodi Ordinatio, proposto por Pagani et al. (2015), e atualizada por Pagani et al. (2023). O intuito da revisão foi de conhecer os aspectos relacionados às aplicações, a produção e o uso de energia fotovoltaica em um contexto de Smart Energy.

Essa metodologia é composta por 9 etapas.

Na etapa 1 estabeleceu-se como intenção de pesquisa a realização de um estudo da aplicação, uso e produção de energia fotovoltaica em um contexto de Smart Energy.

Na etapa 2, após pesquisas preliminares, selecionou-se as bases IEEE, Scopus, Web of Science e Science Direct como fontes de pesquisa.

Na etapa 3, foi definida a combinação de palavras chaves e a parte do documento a ser consultado. Utilizou-se a palavra-chave ("smart energy") para avaliar o título dos documentos combinada com o operador AND e descritor ("photovoltaic energy" OR "solar energy") para título, resumo e palavras-chaves. Não foi estabelecido ponto de corte para a data da publicação.

Na Etapa 4 foi realizada a pesquisa nas bases de dados escolhidas, que resultou em um total bruto de 91 documentos (Science Direct - n=4; Scopus – n=66; IEEE – n=19; Web of Science - n=2).

Na Etapa 5, antes de baixar as referências, 64 documentos foram excluídos por serem trabalhos de congresso, livros ou capítulos de livros, isso porque os mesmos não possuem fator de impacto. Em seguida, as referências foram obtidas e incluídas no software Mendeley, onde houve a verificação de artigos duplicados, 5 artigos foram excluídos, chegou-se em 22 artigos, os quais passaram pelos softwares JabRef e Excel para inclusão na planilha RankIn.

Na Etapa 6 a tabela RankIn foi alimentada com as referências obtidas na etapa anterior, mas também, o número de citações foi preenchido com o auxílio do Google Scholar.

Na Etapa 7 aplicou a ordenação dos artigos por meio do InOrdinatio utilizando a tabela rankIn. Os valores das variáveis delta, ômega, lambda foram configurados com 10, pois o fator de impacto e número de citações são relevantes para a pesquisa, já que é um tema relativamente recente. Nessa etapa, 3 artigos foram excluídos por não terem fator de impacto e por possuir InOrdinatio negativo.

Na Etapa 8 realizou-se a localização e download dos artigos do portfólio através das bases de dados disponíveis no Portal de Periódicos da CAPES, com o acesso CAFe. Nessa fase 2 artigos foram excluídos, um por não possuir acesso aberto e outro por não ter sido possível baixar por problemas técnicos da revista.

Na Etapa 9 a leitura e análise sistemática dos artigos foi feita, sobretudo, buscando identificar a resposta para as seguintes perguntas: Qual é o objetivo do paper? O que é smart energy para o paper? O que o paper discute sobre energia solar ou fotovoltaica? Como o paper relaciona smart energy com energia solar ou fotovoltaica? O artigo discute a produção e uso da energia fotovoltaica ou solar?

A tabela 1 mostra o portfólio de artigos após as 9 etapas.

Tabela 1 - Portfólio de artigos

Título	Autor	Ano	InOrdinatio
A Comprehensive Review of Smart Energy Meters in Intelligent Energy Networks	Sun, Q. & Li, H. & Ma, Z. et al.	2016	584,29
A probabilistic framework for the techno-economic assessment of smart energy hubs for electric vehicle charging	George-Williams, H. & Wade, N. & Carpenter, R. N.	2022	343,68
Smart energy solution for an optimised sustainable hospital in the green city of NEOM	Alotaibi, Dhaifallah M. & Akrami, Mohammad & Dibaj, Mahdieh et al.	2019	151,74
Smart Energy Optimization Using Heuristic Algorithm in Smart Grid with Integration of Solar Energy Sources	Asgher, U. & Rasheed, M. B. & Al-Sumaiti, A. S. et al.	2018	145,09
A novel SMART energy system for using biomass energy effectively	Nakagawa, T. & Chisaka, H. & Notoji, Y.	2018	144,42
Smart Energy Management System: Design of a Smart Grid Test Bench for Educational Purposes	Laayati, O. & El Hadraoui, H. & Guennoui, N. et al.	2022	128,68
Smart energy in a smart city: Utopia or reality? evidence from Poland	Lewandowska, A. & Chodkowska-Miszczuk, J. & Rogatka, K. et al.	2020	126,05
Conceptual design of a novel partially floating photovoltaic integrated with smart energy storage and management system for Egyptian North Lakes	Bassam, Ameen M. & Amin, Islam & Mohamed, Ayman et al.	2023	85,00
Advanced Fuzzy-Based Smart Energy Auditing Scheme for Smart Building Environment With Solar Integrated Systems	Akhtar, I. & Kirmani, S. & Suhail, M. et al.	2021	77,70
Probability modelling of storage based-smart energy hub considering electric vehicles charging stations performance and demand side management	Javid, S. S. M. & Derakhshan, G. & Hakimi, S. M.	2023	73
Integration of Kouprey-Inspired Optimization Algorithms with Smart Energy Nodes for Sustainable Energy Management of Agricultural Orchards	Suanpang, P. & Pothipassa, P. & Jermittiparsert, K. et al.	2022	68,68
Smart Energy Management Strategy for Microgrids Powered by Heterogeneous Energy Sources and Electric Vehicles' Storage	Madhavaram, P. R. & Manimozhi, M.	2022	58,68
Experimental and theoretical study of Smart Energy Management Solar Water Heating System for Outdoor Swimming Pool application in Egypt	Ibrahim, M. M. & El Berry, A. & Ashour, K.	2022	52,68

Machine Learning Estimation of Battery Efficiency and Related Key Performance Indicators in Smart Energy Systems	Luque, J. & Tepe, B. & Larios, D. et al.	2023	50,00
Smart energy harvesting performance of photovoltaic roof assemblies in Canadian climate	Molleti, S. & Armstrong, M.	2021	41,03
Smart energy monitoring and power quality performance based evaluation of 100-kW grid tied PV system	Lavanya, A. & Divya Navamani, J. & Geetha, A. et al.	2023	40,00
Smart energy distribution system based on a circuit of solar panels applied to straw-insulated wooden dwellings	Martelli, A. & Mirabella, A. & Calì, M. et al.	2019	8,74

Fonte: Aatoria própria.

2.2 Pesquisa documental

A pesquisa documental foi realizada com a intenção de levantar e analisar dados sobre o potencial de geração e capacidade instalada de energia solar do Tocantins em contraponto com outros estados e países, bem como identificar iniciativas realizadas pelo estado para expandir a produção. Para isso, realizou-se consultas nas seguintes fontes: Empresa de Pesquisa Energética, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Global Solar Atlas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e sítio do Governo do Estado do Tocantins.

3. Referencial Teórico

3.1 Smart energy

O conceito de Smart Energy está relacionado a um conjunto de práticas, tecnologias e sistemas voltados para o gerenciamento eficiente, sustentável e inteligente do consumo, geração, distribuição e armazenamento de energia (SUN et al., 2016; ALOTAIBI et al., 2019). Nesse contexto, a adoção de fontes de energia renováveis torna-se uma medida importante para atender à crescente demanda por energia e reduzir o impacto ambiental, promovendo a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável e reduzindo a poluição por combustíveis fósseis (LAVANYA, et al., 2023).

Na literatura encontram-se várias iniciativas relacionadas a Smart Energy, tais como: utilização de medidores inteligentes, redes inteligentes com utilização de energia renovável, utilização de inteligência computacional para otimizar o consumo energético, entre outras.

3.2 Energia solar no contexto de Smart energy

A produção de energia em um contexto de Smart Energy tem o foco direcionado a uma produção sustentável. Com isso, a utilização de fontes de energia renováveis, como a energia solar fotovoltaica, mostra-se como uma estratégia necessária para diminuir a poluição causada pela utilização de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, os impactos ambientais (LAVANYA, et al., 2023).

Nesse cenário, é importante mencionar que Smart Energy está relacionada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), o qual é um pacto global para um crescimento sustentável assinado durante a cúpula das Nações Unidas em setembro de

2015. São 17 ODS, e Smart Energy está relacionada a ODS 7 – Energia limpa e acessível: garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos (UNITED NATIONS, 2023).

Para atingir a transição para fonte energética limpa o financiamento público é necessário. A energia solar mostra-se como uma fonte estratégica em muitos países. Tanto que em 2021, a distribuição dos investimentos financeiros por tecnologia mudou de energia hidrelétrica para energia solar: com a energia solar respondendo por 43%; outras energias renováveis recebendo 33% dos fluxos; e o menor número de compromissos sendo para energia hidrelétrica (16%) e energia eólica e geotérmica (8% combinados) (UNITED NATIONS, 2023).

Na literatura há diversos estudos relativos a ações estratégicas, à produção e ao gerenciamento eficiente de energia solar.

A energia solar pode ser utilizada em conjunto com outras fontes energéticas em modelos de microrrede híbrida. Alotaibi et al. (2019) estudaram um modelo de microrrede híbrida para um hospital na Arábia Saudita utilizando a energia solar como uma das fontes. A adoção do modelo com painéis solares mostrou grande potencial para redução da emissão de carbono se comparado à energia convencional. Todavia, a produção fotovoltaica é intermitente, começa aproximadamente às 7h e dura até aproximadamente 18h.

Na Polônia, a energia solar ou fotovoltaica é identificada como uma fonte de energia renovável predominante nas cidades polonesas, particularmente naquelas que desejam ser chamadas de smart cities. A popularidade das instalações fotovoltaicas está aumentando, isso é importante para mitigação em face das mudanças climáticas e dos desafios globais do desenvolvimento sustentável (Lewandowska, 2020).

Também, existem abordagens de Inteligência Computacional com dados de energia solar como parâmetros de entradas para o gerenciamento eficiente de energia. Asgher et al. (2018) propuseram um modelo para gerenciar e programar a demanda da carga residencial, levando em consideração as preferências do usuário e a disponibilidade de energia solar. Os resultados da simulação demonstram uma redução significativa no custo de energia e a obtenção da estabilidade da rede, indicando a integração e utilização bem-sucedidas da energia solar na rede inteligente.

Apesar do grande potencial sustentável da energia solar, algumas aplicações podem sofrer limitações por causa das características de produção desse tipo de energia. George-Williams; Wade; Carpenter (2022) propuseram uma estrutura para simulação da operação de Smart Hubs equipados com recursos de geração de energia fotovoltaica. A geração intermitente de energia fotovoltaica, perdas de energia e a degradação do módulo fotovoltaico é uma das incertezas na operação de Smart Hubs.

As tecnologias utilizadas para coleta de energia solar podem impactar na menor ou maior geração de energia. Molleti; Armstrong (2021) estudaram duas tecnologias específicas de coleta inteligente de energia: Telhado Fotovoltaico Integrado (RIPV) e Microinversores de nova geração projetados para otimizar a produção de energia em sistemas residenciais em telhados.

Em suma, a energia solar mostra-se como uma fonte de energia estratégica em contexto mundial. Os estudos relacionados com energia solar envolvem a investigação das tecnologias de produção, bem como a mitigação dos problemas característicos de produção, além do gerenciamento e consumo inteligente de energia.

4. Resultados

Para se pensar nas potencialidades para a produção de energia solar fotovoltaica no Tocantins é necessário entender o cenário em que o Estado está inserido tanto no contexto nacional quanto mundial. Para tanto, destacamos a seguir dados comparativos sobre a população, índice de desenvolvimento humano, área territorial e produto interno bruto do Brasil, da Alemanha, do Tocantins, de São Paulo e do Paraná. A Alemanha foi escolhida por ser conhecida como a maior produtora europeia de energia solar. A cidade de São Paulo foi selecionada por ser a maior metrópole do Brasil e o Paraná fica em uma região com menor irradiação solar.

Na tabela 2, observamos que o estado de Tocantins é populacionalmente muito inferior aos estados de São Paulo e Paraná, enquanto a população do Brasil supera a da Alemanha.

Tabela 2 - População em 2022

Local	População (2022)
Tocantins	1.511.459
Paraná	11.443.208
São Paulo	44.420.459
Brasil	214.300.000
Alemanha	83.200.000

Fonte: IBGE (<https://www.ibge.gov.br/>)

A extensão territorial pode ser representativa do potencial de instalação da infraestrutura para geração de energia solar. Na tabela 3, observamos que o Tocantins tem uma área maior que a do Paraná e pouco menor que a Alemanha, ou seja, o fator espaço é extremamente favorável para a ampliação da capacidade de geração do Estado.

Tabela 3 - Área territorial

Local	Área (Km²)
Tocantins	277.621
Paraná	199.315
São Paulo	248.209
Brasil	8.510.000
Alemanha	357.592

Fonte: IBGE (<https://www.ibge.gov.br/>)

Quando se observa o PIB (Tabela 4), pode-se perceber quão modesta ainda é a economia tocantinense em relação aos demais estados brasileiros, e o Brasil como um todo está bem aquém da Alemanha.

Tabela 4 - Produto Interno Bruto (2020)

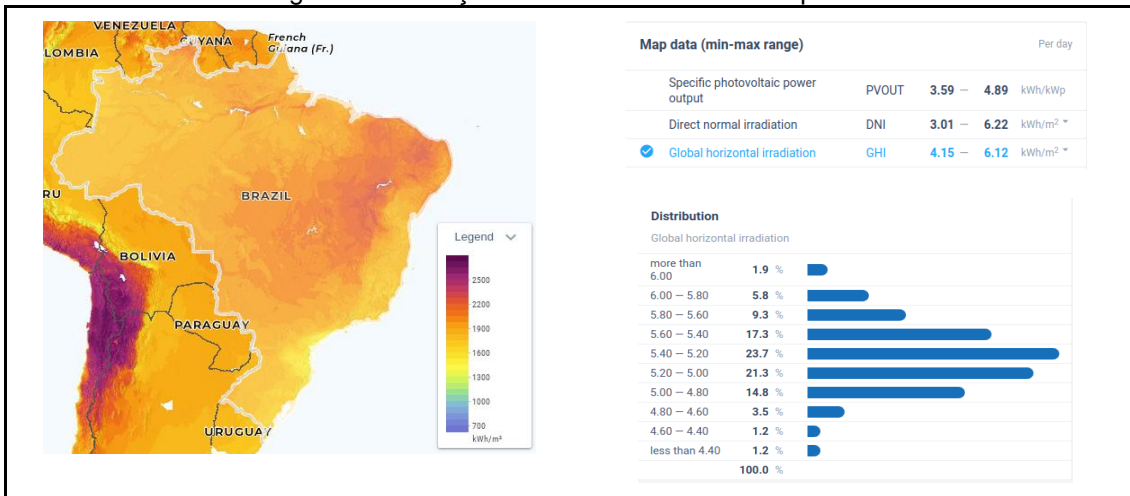
Local	PIB (1.000.000 R\$)
Tocantins	43.650
Paraná	487.931
São Paulo	2.377.639
Brasil	7.400.000
Alemanha	19.430.000

Fonte: IBGE (<https://www.ibge.gov.br/>)

A irradiação solar é um outro fator que pode demonstrar o potencial para geração de energia solar. A média de irradiação solar no Brasil (Figura 1) varia consideravelmente de acordo com a região geográfica do país. Em geral, o Brasil é favorecido por altos índices de irradiação solar ao longo do ano, especialmente nas regiões do Nordeste, Centro-Oeste e

partes do Sudeste e do Norte. Essas condições adequadas de irradiação solar tornam o Brasil um local altamente propício para a produção de energia solar fotovoltaica.

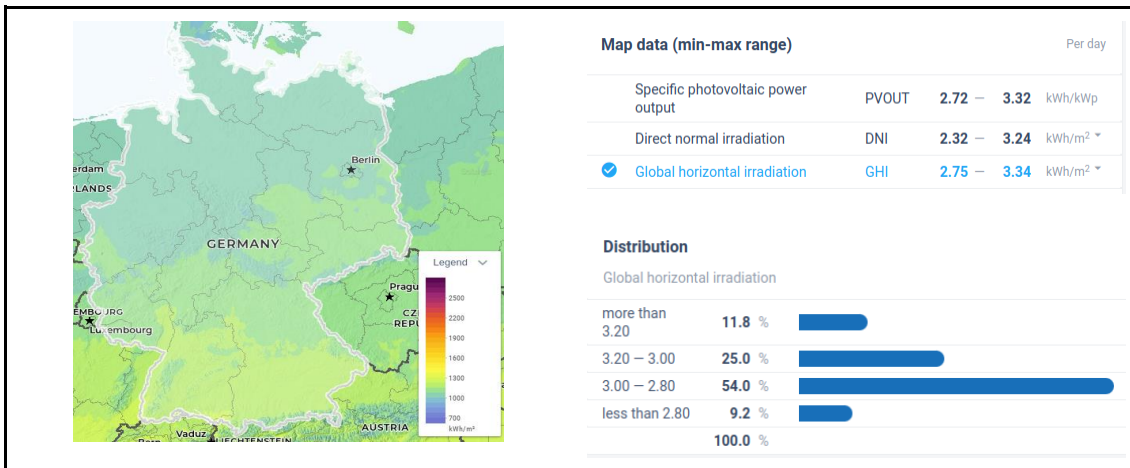
Figura 1- Irradiação solar média no Brasil no período 1994-2018



Fonte: Global Solar Atlas (2023)

A média de irradiação solar na Alemanha (Figura 2) varia significativamente a depender da localização geográfica dentro do país. A Alemanha está localizada em latitudes relativamente altas, o que significa que recebe menos radiação solar direta em comparação com regiões mais próximas do equador.

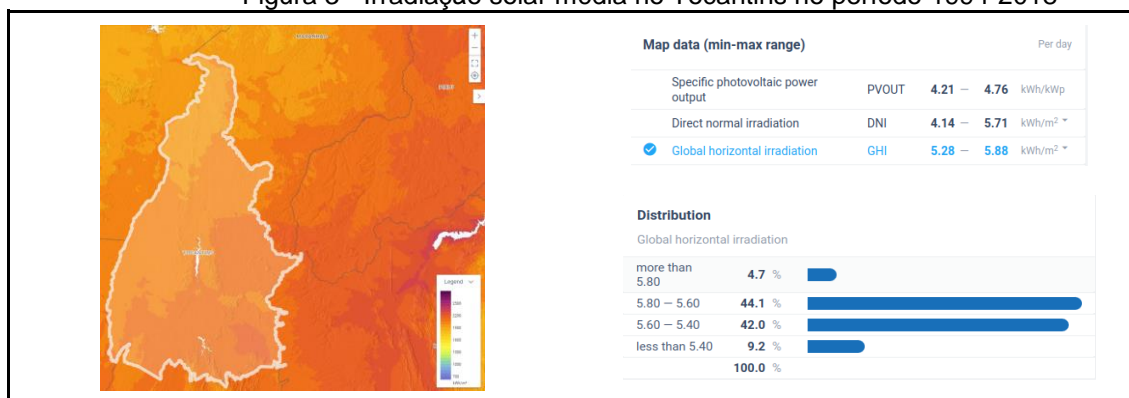
Figura 2 - Irradiação solar média na Alemanha no período 1994-2018



Fonte: Global Solar Atlas (2023)

A irradiação solar média no Tocantins (Figura 3) é, consideravelmente, superior à que é registrada na Alemanha. Enquanto a Alemanha recebe, em média, cerca de 1.000 a 1.200 quilowatts-hora (kWh) de energia solar por metro quadrado por ano (Figura 2), o Tocantins tem médias em torno de 1600 a 2200 quilowatts-hora (kWh) de energia solar por metro quadrado por ano (Figura 3).

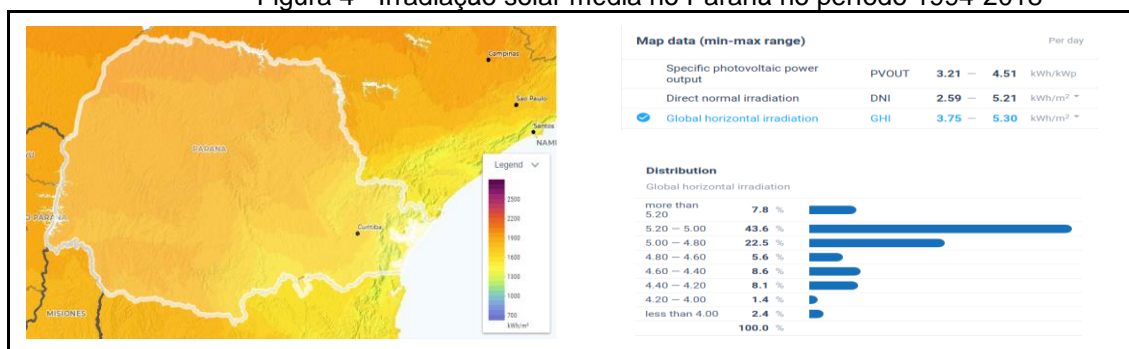
Figura 3 - Irradiação solar média no Tocantins no período 1994-2018



Fonte: Global Solar Atlas (2023)

O estado do Paraná fica localizado em uma região do país com menor irradiação solar. No entanto, percebe-se que tem média superior de irradiação superior (Figura 4) a que é encontrada na Alemanha. Todavia, apresenta média inferior ao do estado do Tocantins (Figura 3).

Figura 4 - Irradiação solar média no Paraná no período 1994-2018



Fonte: Global Solar Atlas (2023)

Apesar do Tocantins apresentar potencial para geração de energia solar, será que isso se traduz na geração efetiva?

Na tabela 5 podemos observar um panorama da geração de eletricidade solar no Brasil nos anos de 2020 a 2022. Percebe-se um crescimento gradativo da geração de eletricidade no país utilizando como fonte a energia solar. A região nordeste vem se destacando como a maior produtora do país, com 42,26% da produção no ano de 2022. Nessa região, o estado da Bahia foi o maior produtor, 31,2% da produção regional e 13,19% da geração nacional. Todavia, o estado que mais produz energia solar no Brasil fica no Sudeste, o estado de Minas Gerais, com 16,5% da produção nacional.

O Norte é a região menos produtora de energia solar, com apenas 3,4% da produção total no ano de 2022. O estado de Tocantins é o segundo maior produtor da região Norte, todavia, nos últimos anos, vem expandindo timidamente a sua produção de energia solar.

Apesar da maior área territorial e maior média de irradiação solar, o Tocantins tem participação na geração de energia solar inferior ao estado do Paraná, que fica na região sudeste do país. Isso pode sinalizar a importância da densidade populacional, do PIB e do investimento governamental na produção de energia.

Tabela 5 - Geração de Eletricidade Solar no Brasil

Estado	2020	2021	2022
BRASIL	10.748	16.752	30.126
NORTE	219	495	1.025
Rondônia	31	78	191
Acre	6	19	42
Amazonas	17	40	77
Roraima	3	14	29
Pará	83	203	427
Amapá	12	17	27
Tocantins	67	124	232
NORDESTE	4.903	7.280	12.732
Maranhão	73	183	397
Piauí	1.228	1.975	2.928
Ceará	624	1.037	2.033
Rio G. do Norte	369	474	942
Paraíba	365	477	940
Pernambuco	200	570	1.247
Alagoas	33	74	165
Sergipe	31	55	106
Bahia	1.979	2.435	3.973
SUDESTE	3.698	5.450	9.451
Minas Gerais	2.127	2.917	4.983
Espírito Santo	83	152	315
Rio de Janeiro	176	330	663
São Paulo	1.311	2.051	3.491
SUL	1.128	2.015	4.214
Paraná	368	597	1.669
Santa Catarina	224	429	726
Rio G. do Sul	535	989	1.819
CENTRO OESTE	800	1.513	2.705
Mato G. do Sul	150	290	590
Mato Grosso	324	636	1.041
Goiás	260	480	829
Distrito Federal	66	107	244

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (2023)

Quanto a política e investimentos do governo estadual para o Tocantins, o Estado instituiu a Política Estadual de Incentivo à Geração e ao Uso da Energia Solar – Pró-Solar - através da LEI Nº 3.179, DE 12 DE JANEIRO DE 2017, que busca aumentar o uso da energia solar na matriz energética do Estado. A política é coordenada pela Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Semarh (TOCANTINS, 2017). O governo investiu em 2017 R\$ 874.713,87 (convênio Bird e Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável do Tocantins (PDRIS)) para criação do Atlas Solarimétrico. E, lançou licitação, no ano de 2023, para implantação de energia solar nos órgãos do Poder Executivo (SECOM-TO, 2023).

5. Conclusões

Apesar de ter potencial de território e possuir uma irradiação mais favorável para produção de energia fotovoltaica superior a estados como o Paraná, isso ainda não ocorre.

Uma forte estratégia para ampliação maciça na capacidade de produção fotovoltaica aliada a Smart Grids para escoamento inteligente dessa produção, aliado a políticas de integração das redes a nível global, teria papel importante para a geração de renda que influenciaria na melhora do PIB regional, contribuiria para os esforços mundiais de redução das emissões de CO² e preservaria as bacias hidrográficas para geração de energia apenas para os períodos de baixa produtividade ou noite.

A criação de superprodução ou excedentes, em razão das condições privilegiadas de clima e localização também podem abrir a possibilidade de instalações de indústrias de produção de combustíveis renováveis a base de eletricidade, sendo um indicativo de futuro economicamente viável e sustentável.

A natureza já nos favoreceu, precisamos de políticas públicas antenadas para as possibilidades e potencialidades para a região e para o futuro.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - TO (IFTO), e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Agradecemos também à UTFPR e ao programa de pós-graduação PPGEF pelo apoio e empenho no incentivo à pesquisa acadêmica.

Referências

AKHTAR, Iram et al. Advanced Fuzzy-Based Smart Energy Auditing Scheme for Smart Building Environment with Solar Integrated Systems. **IEEE Access**, v. 9, p. 97718-97728, 2021.

ALOTAIBI, Dhaifallah M. et al. Smart energy solution for an optimised sustainable hospital in the green city of NEOM. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 35, p. 32-40, 2019.

ASGHER, Urooj et al. Smart energy optimization using heuristic algorithm in smart grid with integration of solar energy sources. **Energies**, v. 11, n. 12, p. 3494, 2018.

BASSAM, Ameen M. et al. Conceptual design of a novel partially floating photovoltaic integrated with smart energy storage and management system for Egyptian North Lakes. **Ocean Engineering**, v. 279, p. 114416, 2023.

GEORGE-WILLIAMS, H.; WADE, N.; CARPENTER, R. N. A probabilistic framework for the techno-economic assessment of smart energy hubs for electric vehicle charging. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 162, p. 112386, 2022.

IBRAHIM, Marwa; EL BERRY, Amal; ASHOUR, Karim. Experimental and Theoretical Study of Smart Energy Management Solar Water Heating System for Outdoor Swimming Pool Application in Egypt. **Frontiers in Heat and Mass Transfer (FHMT)**, v. 18, 2022.

JAVID, Seyed Saeed Mosayebi; DERAKHSHAN, Ghasem; HAKIMI, Seyed Mehdi. Probability modelling of storage based- smart energy hub considering electric vehicles charging stations performance and demand side management. **IET Renewable Power Generation**, 2023.

LAAYATI, Oussama et al. Smart Energy Management System: Design of a Smart Grid Test Bench for Educational Purposes. **Energies**, v. 15, n. 7, p. 2702, 2022.

LAVANYA, A. et al. Smart energy monitoring and power quality performance based evaluation of 100-kW grid tied PV system. **Heliyon**, 2023.

LEWANDOWSKA, Aleksandra et al. Smart energy in a smart city: Utopia or reality? evidence from Poland. **Energies**, v. 13, n. 21, p. 5795, 2020.

LUQUE, Joaquín et al. Machine Learning Estimation of Battery Efficiency and Related Key Performance Indicators in Smart Energy Systems. **Energies**, v. 16, n. 14, p. 5548, 2023.

MADHAVARAM, Poornachandra Reddy. Smart Energy Management Strategy for Microgrids Powered by Heterogeneous Energy Sources and Electric Vehicles' Storage. **Energies**, v. 15, n. 20, p. 7739, 2022.

MARTELLI, Andrea et al. Smart energy distribution system based on a circuit of solar panels applied to straw-insulated wooden dwellings. **Procedia Environmental Science, Engineering and Management**, v. 6, p. 181-186, 2019.

MOLLETTI, Sudhakar; ARMSTRONG, Marianne. Smart energy harvesting performance of photovoltaic roof assemblies in Canadian climate. **Intelligent Buildings International**, v. 13, n. 1, p. 70-88, 2021.

NAKAGAWA, Tsuguhiko; CHISAKA, Hideyuki; NOTOJI, Yu. A novel SMART energy system for using biomass energy effectively. **Renewable Energy**, v. 116, p. 492-499, 2018.

PAGANI, R. N. et al. Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting FIndex and RankIn. **Quality and Quantity**, v. 57, n. 5, p. 4563–4602, 2023.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109–2135, 2015.

SOGABE, Tomah et al. Attention and masking embedded ensemble reinforcement learning for smart energy optimization and risk evaluation under uncertainties. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, v. 14, n. 4, 2022.

SUANPANG, Pannee et al. Integration of kouprey-inspired optimization algorithms with smart energy nodes for sustainable energy management of agricultural orchards. **Energies**, v. 15, n. 8, p. 2890, 2022.

SUN, Qie et al. A comprehensive review of smart energy meters in intelligent energy networks. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 3, n. 4, p. 464-479, 2016.

UNITED NATIONS. Development Goals Report 2023: Special edition. 2023. Disponível em: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>. Acesso em: 18 set. 2023.

SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO DO TOCANTINS (SECOM-TO). Governo do Tocantins lança edital de licitação para implantação de energia solar nos órgãos do Poder Executivo. 2023. Disponível em: <https://www.to.gov.br/secom/noticias/governo-do-tocantins-lanca-edital-de-licitacao-para-implantacao-de-energia-solar-nos-orgaos-do-poder-executivo/3qa8rwjikzcm>. Acesso em: 01 jun. 2023.

TOCANTINS. Lei Nº 3.179, De 12 De Janeiro De 2017. Institui a Política Estadual de Incentivo à Geração e ao Uso da Energia Solar – Pró-Solar, e adota outras providências. Palmas, TO: Diário Oficial, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. BEN - Séries Históricas e Matrizes. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 15 set. 2023.

GLOBAL SOLAR ATLAS. 2023. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/>. Acesso em: 16 set. 2023.