

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PAINÉIS SOLARES FLUTUANTES NA REGIÃO DO BAIXO TOCANTINS

AUTORES:

Maria Eduarda Lemos Silva
Juliana Baia Neves
Camilo Andrés Guerrero-Martin
Fernando Antonio da Silva Fernandes

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Pará

POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PAINÉIS SOLARES FLUTUANTES NA REGIÃO DO BAIXO TOCANTINS

Resumo

O objetivo deste estudo é avaliar o potencial de geração de energia elétrica utilizando painéis solares flutuantes na região do Baixo Tocantins, no Brasil (Estado do Pará). A pesquisa busca identificar as vantagens e desafios dessa tecnologia, analisar a viabilidade técnica e econômica, e explorar o impacto ambiental positivo comparado a outras formas de geração de energia e quantificar o custo nivelado de energia (LCOE). A região do Baixo Tocantins foi escolhida devido à sua abundância de recursos hídricos e alta incidência solar, fatores que tornam o uso de painéis solares altamente viável. A metodologia utilizada envolve uma análise detalhada das condições climáticas e hidrográficas da região, seguida pela modelagem de sistemas de painéis solares flutuantes. Dados de radiação solar e temperatura superficial da água são coletados e analisados para determinar a eficiência potencial dos painéis. O software SAM (System Advisor Model) permite simular a instalação de um projeto com painéis solares flutuantes em um reservatório da região que permite a coleta de dados empíricos sobre a produção de energia ao longo de diferentes períodos do ano. Além disso, são realizados estudos comparativos de custo-benefício e avaliações de impacto ambiental e social para fornecer uma visão abrangente da viabilidade do projeto. Os resultados preliminares indicam que a região do Baixo Tocantins possui um alto potencial para a geração de energia elétrica através de painéis solares flutuantes. A eficiência dos painéis é aumentada pela refrigeração natural proporcionada pela água, o que pode resultar em uma produção de energia superior à dos painéis instalados em terra. Observou-se também uma redução na evaporação dos reservatórios cobertos pelos painéis, contribuindo para a conservação de recursos hídricos. Do ponto de vista econômico, a análise de custo-benefício sugere que, embora o investimento inicial seja elevado, a operação e manutenção reduzidos, juntamente com a vida útil prolongada dos painéis, resultam em uma opção competitiva a médio e longo prazo. As conclusões destacam que a implementação de painéis solares flutuantes pode ser uma solução eficaz e sustentável para a diversificação da matriz energética na região com um LCOE adequado para comunidades ribeirinhas. Este estudo apresenta informações novas e adiciona valor ao corpo de literatura existente ao fornecer dados específicos sobre a aplicação de painéis solares flutuantes em uma região tropical com características únicas. A pesquisa contribui para o avanço do conhecimento ao demonstrar a viabilidade e os benefícios ambientais e econômicos desta tecnologia, oferecendo uma alternativa inovadora para a geração de energia elétrica. As descobertas podem ser de grande utilidade para a indústria energética, incentivando a adoção de soluções sustentáveis e eficientes, e proporcionando um modelo que pode ser replicado em outras regiões com condições semelhantes.

Palavras-chave: Potencial, energia, painéis solares, Baixo Tocantins, System Advisor Model.

Abstract

The objective of this study is to evaluate the potential for generating electrical energy using floating solar panels in the Baixo Tocantins region, in Brazil (State of Pará). The research seeks to identify the advantages and challenges of this technology, analyze the technical and economic feasibility, and explore the positive environmental impact compared to other forms of energy generation and quantify the levelized cost of energy (LCOE). The Baixo Tocantins region was chosen due to its

abundance of water resources and high solar incidence, factors that make the use of solar panels highly feasible. The methodology used involves a detailed analysis of the region's climatic and hydrographic conditions, followed by the modeling of floating solar panel systems. Solar radiation and surface water temperature data are collected and analyzed to determine the potential efficiency of the panels. The SAM (System Advisor Model) software allows you to simulate the installation of a project with floating solar panels in a reservoir in the region, which allows the collection of empirical data on energy production throughout different periods of the year. In addition, comparative cost-benefit studies and environmental and social impact assessments are carried out to provide a comprehensive view of the project's feasibility. Preliminary results indicate that the Baixo Tocantins region has a high potential for generating electrical energy through floating solar panels. The efficiency of the panels is increased by the natural cooling provided by water, which can result in higher energy production than panels installed on land. A reduction in evaporation from the reservoirs covered by the panels was also observed, contributing to the conservation of water resources. From an economic point of view, the cost-benefit analysis suggests that, although the initial investment is high, the reduced operation and maintenance, together with the extended useful life of the panels, result in a competitive option in the medium and long term. The conclusions highlight that the implementation of floating solar panels can be an effective and sustainable solution for diversifying the energy matrix in the region with an LCOE suitable for riverside communities. This study presents new information and adds value to the existing body of literature by providing specific data on the application of floating solar panels in a tropical region with unique characteristics. The research contributes to the advancement of knowledge by demonstrating the viability and environmental and economic benefits of this technology, offering an innovative alternative for generating electrical energy. The findings could be of great use to the energy industry, encouraging the adoption of sustainable and efficient solutions, and providing a model that can be replicated in other regions with similar conditions.

Keywords: Potential, energy, solar panels, Baixo Tocantins, System Advisor Model.

1. Introdução

Este estudo tem como objetivo avaliar o potencial de geração de energia elétrica utilizando painéis solares flutuantes na região do Baixo Tocantins, no Estado do Pará, Brasil. A pesquisa busca identificar as vantagens e desafios dessa tecnologia, analisar a viabilidade técnica e econômica, e explorar o impacto ambiental positivo em comparação com outras formas de geração de energia, além de quantificar o custo nivelado de energia (LCOE). A região foi escolhida devido à sua abundância de recursos hídricos e alta incidência solar, fatores que tornam o uso de painéis solares altamente viável. A tecnologia fotovoltaica vem sendo amplamente utilizada no Brasil, pois o país tem grande potencial para desenvolver esse recurso. No entanto, uma das dificuldades encontradas na instalação de projetos fotovoltaicos é a ocupação do espaço urbano, nesse sentido os projetos de painéis fotovoltaicos flutuantes têm sido explorados (Silva & Souza, 2017).

A metodologia envolve uma análise detalhada das condições climáticas e hidrográficas da região, seguida pela modelagem de sistemas de painéis solares flutuantes. Dados de radiação solar e temperatura superficial da água são coletados e analisados para determinar a eficiência potencial dos painéis. Utilizando o software SAM (System Advisor Model), simula-se a instalação de um projeto com painéis solares flutuantes em um reservatório da região, permitindo a coleta de dados empíricos sobre a

produção de energia ao longo de diferentes períodos do ano. Além disso, são realizados estudos comparativos de custo-benefício e avaliações de impacto ambiental e social para fornecer uma visão abrangente da viabilidade do projeto.

2. Metodologia

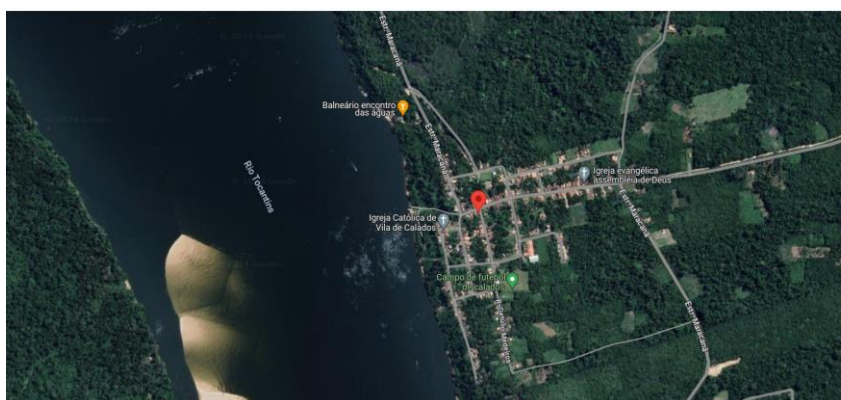
O estudo deste trabalho é apresentar um conteúdo sobre geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos flutuantes na região do Baixo Tocantins e assim determinar a eficiência potencial dos painéis. A pesquisa foi realizada de acordo com as seguintes etapas: localização e recurso, o módulo, inversor, design do sistema e os parâmetros financeiros que são os Modelamentos dos Sistemas no Programa Computacional *System Advisor Model*.

O software *System Advisor Model* - SAM, desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratories - NREL, órgão vinculado ao Departamento de Energia dos Estados Unidos, tem como propósito relacionar aspectos de engenharia e variáveis econômicas para criar cenários de um sistema de geração de energia elétrica combinado com fontes renováveis e conectado à rede de distribuição.

2.1 Localização e recurso

A localização e recursos do SAM fornece acesso à biblioteca de recursos solares, que é uma coleção de arquivos meteorológicos armazenados em um computador e esses dados são essenciais para modelar com precisão a produção de energia do sistema fotovoltaico. E a região escolhida para fazer a simulação foi a Comunidade Quilombola de Calados (-2.903753, -49.660077) localizado a 15km do município de Baião que está na região do Baixo Tocantins como mostra na figura 1, a escolha do local foi em decorrência ao conhecimento de localidade da autora.

Figura 1: Localização da Comunidade Quilombola de Calados



Fonte: Google Maps

2.2 Módulo

No módulo pode-se selecionar o tipo de módulo fotovoltaico a ser utilizado no sistema. O SAM possui um banco de dados abrangente de módulos fotovoltaicos, permitindo mostrar as Características do Módulo nas Condições de Referência e poderá obter a curva de carga com os módulos de Voltagem

(Volts) e Resistência (Amps). O módulo fotovoltaico foi o SunPower SPR-E19-310-COM do fabricante SunPower a tecnologia utilizada Mono-c-Si (silício monocristalino) e os valores padrões do nosso módulo podem ser encontrados na tabela 1 do mesmo modo a curva de carga pode ser observado na figura 2.

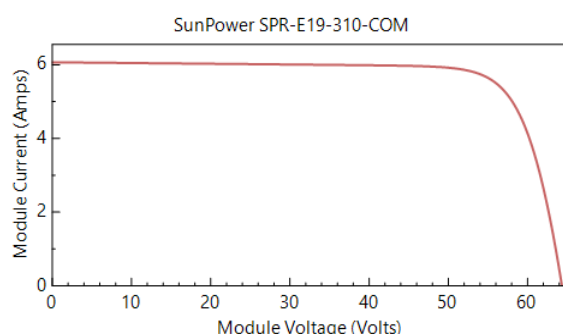
Tabela 1: Valores padrões do módulo

Características em condições de referência	Valores	Coeficientes de temperatura	
Eficiência nominal	19.02%		
Potência Máxima (Pmp)	310.149 Wdc	-0.387 %/°C	-1.197 W/°C
Tensão máxima de alimentação (Vmp)	54.7 Vdc		
Corrente de potência máxima (Imp)	5.7 Adc		
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	64.4 Vdc	-0.273 %/°C	-0.176 V/°C
Corrente de curto-circuito (Isc)	6.0 Adc	0.062 %/°C	0.004 A/°C

2.3 Inversor

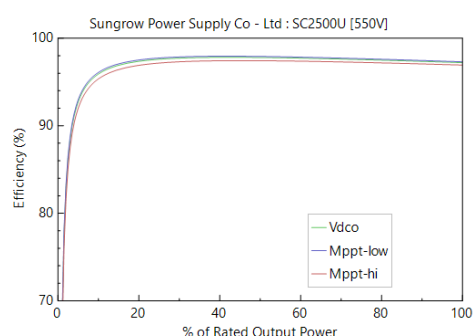
Esta etapa permite selecionar os inversores que serão usados no sistema. Os inversores são responsáveis por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada (CA), que pode ser utilizada pela rede elétrica. O inversor utilizado foi o Sungrow Power Supply Co - Ltd: SC2500U [550V], com isso, o SAM exibe uma curva de eficiência e os parâmetros do inversor para sua referência que poderá ser visto na figura 3 e tabela 2.

Figura 2: Curva de Carga



Fonte: SAM

Figura 3: Curva de Eficiência



Fonte: SAM

Tabela 2: Parâmetros de inversor

Parâmetros da folha de dados	Valores
Eficiência ponderada CEC	97.532 %
Eficiência ponderada europeia	97.347%
Potência CA máxima [Power ACo]	2507194.0 Wac
Potência CC máxima [Power DCo]	2.57916e+06 Wdc
Consumo de energia durante a operação [PowerSo]	8485.63 Wdc
Consumo de energia à noite [PowerNTare]	62.8 Wac
Tensão CA nominal [Tensão CA]	550 Vac

Tensão CC máxima [Vdcmax]	1500 Vdc
Corrente CC máxima [Idcmax]	2645.3 Adc
Tensão CC MPPT mínima [MPPT-baixa]	800 Vdc
Tensão CC nominal [Vdco]	975 Vdc
Tensão CC MPPT máxima [MPPT-hi]	1500 Vdc

2.4 Design do Sistema

O SAM permite a simulação de diferentes cenários de projeto, como variações na configuração dos painéis, uso de diferentes tipos de inversores e estratégias de mitigação de perdas. Isso ajuda a otimizar o design do sistema para maximizar a eficiência e minimizar os custos. No Design do Sistema é classificado por Dimensionamento CA, Resumo de dimensionamento e Dimensionamento e configuração do CC e cada valor das variáveis é dado nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Dimensionamento CA

Dados	Valores
Número de Inversores	30
Relação de CC para CA	1.33

Tabela 4: Resumo de Dimensionamento

Dados	Valores
Capacidade CC da placa de identificação	100,002.893 kWdc
Número de módulos	332,435
Capacidade total CA	75,215.820 kWac
Número de cordas	15,355
Capacidade total do CC do inversor	77,374.800 kWdc
Área total do módulo	525,891485 m ²

2.5 Parâmetros Financeiros

O SAM inclui modelos financeiros que ajudam a estimar o custo de energia para projetos conectados à rede. Ele considera custos de instalação, operação e manutenção, além de receitas provenientes da venda de energia. Isso facilita a tomada de decisões para investidores e desenvolvedores de projetos. A Calculadora LCOE usa um método simples para calcular o custo nivelado de energia (LCOE) de um projeto usando apenas as seguintes entradas: Custos de Capital e Operacionais, Suposições Financeiras e Valores de Referência que poderá ser visto nas tabelas 5, 6 e 7.

Tabela 5: CC e Operacionais

Operação	Custo
Capacidade do sistema	100,002.893 kW
Custo capital	1,161.00
Custo operacional fixo(anual)	16,58

Tabela 6: Suposições Financeiras

Taxas	Cobrança
Período de análise	20 anos
Taxa de inflação	2.5 %/ano
Taxa interna de retorno	13 %/ano
Dívida a prazo do projeto	60 % /cc
Taxa de juros nominal da dívida	7 %/ano
Taxa de imposto efetiva	28 %/ano
Cronograma de depreciação	20 %/cc
Custo anual durante a construção	100 %/cc
Taxa de juros nominal de construção	3.5 %/ano

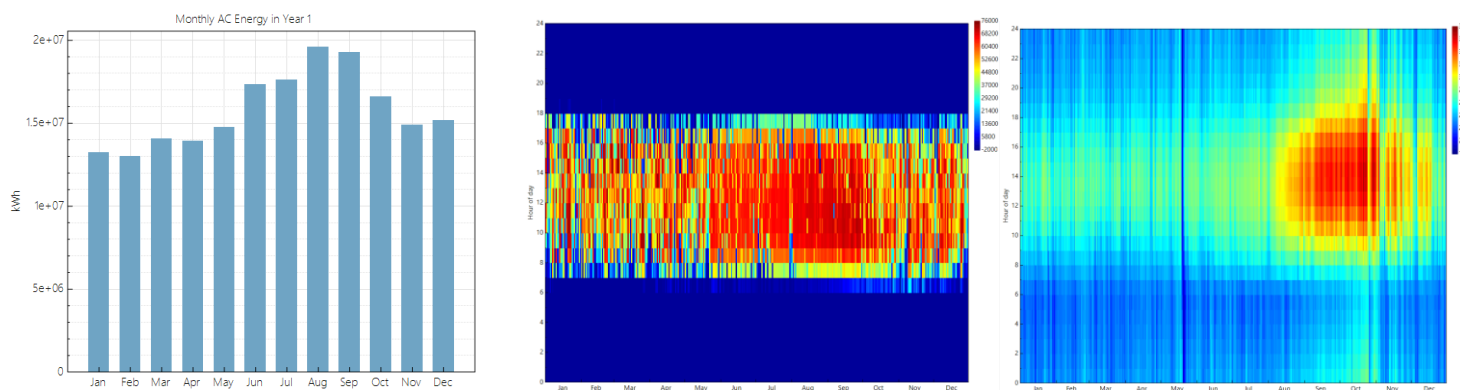
Tabela 7: Valores de Referência

Referência	Valores
Fator de recuperação de capital (CRF)	0.084
Fator de Financiamento do projeto (PFF)	1.317
Fator de Financiamento da Construção (CFF)	1.012
Custo de Capital (CC)	116,103,358.56 \$
Custo Operacional Fixo (FOC)	1,658,047.96 \$
Custo Operacional Variável (VOC)	500.00 \$/kWh

3. Resultados e Discussão

O estudo deste trabalho apresenta uma análise detalhada sobre a geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos flutuantes na região do Baixo Tocantins, com o objetivo de determinar a eficiência potencial dos painéis. A pesquisa foi realizada utilizando o software System Advisor Model (SAM), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratories (NREL), que combina aspectos de engenharia e variáveis econômicas para criar cenários de sistemas de geração de energia elétrica conectados à rede de distribuição. O guia Resumo exibe a tabela Métricas com uma seleção de resultados para cada caso no arquivo do projeto e uma seleção de gráficos. Os resultados obtidos na simulação estão apresentados nas figuras 4, 5, 6. Nos valores Métricos Anual teremos a Energia CA o valor de 189.214.784 kWh, o Fator de capacidade CC por 21.6%, o Rendimento Energético por 1.892 kWh/Kw, a Relação de Desempenho por 0,75 e o LCOE Custo de Energia Nivelado com um valor 50007.77 ¢/kWh.

Figura 4: Energia Mensal do CA em 1 ano **Figura 5:** Potência gerada pelo sistema (Kw) **Figura 6:** Temperatura Ambiente dos arquivos meteorológicos (C)



Fonte: SAM

E os resultados mostram que nos meses de Junho a Outubro tem uma maior eficiência de energia solar, por conta de serem meses de sol para região do Baixo Tocantins e já nos outros meses tende de ser um período de mais chuvas na região. Do ponto de vista econômico, a análise de custo-benefício sugere que, embora o investimento inicial seja elevado, a operação e manutenção reduzidos, juntamente com a vida útil prolongada dos painéis, resultam em uma opção competitiva a médio e longo prazo. As conclusões destacam que a implementação de painéis solares flutuantes pode ser uma solução eficaz e sustentável para a diversificação da matriz energética na região, com um LCOE adequado para comunidades ribeirinhas. As descobertas podem ser de grande utilidade para a indústria energética, incentivando a adoção de soluções sustentáveis e eficientes, e proporcionando um modelo que pode ser replicado em outras regiões com condições semelhantes.

4. Conclusões

A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis e eficientes tem impulsionado a pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias no setor energético. Neste contexto, o presente estudo visa

avaliar o potencial de geração de energia elétrica utilizando painéis solares flutuantes na região do Baixo Tocantins, no Estado do Pará, Brasil. A escolha desta região se deve à sua abundância de recursos hídricos e alta incidência solar, fatores que tornam o uso de painéis solares altamente viável. A pesquisa busca identificar as vantagens e desafios dessa tecnologia, analisar a viabilidade técnica e econômica, e explorar o impacto ambiental positivo em comparação com outras formas de geração de energia. Além disso, o estudo quantifica o custo nivelado de energia (LCOE), proporcionando uma visão abrangente da viabilidade do projeto. Os resultados sugerem que a implementação de painéis solares flutuantes pode ser uma solução eficaz e sustentável para a diversificação da matriz energética na região, oferecendo benefícios ambientais e econômicos significativos. Este estudo contribui para o avanço do conhecimento ao demonstrar a viabilidade desta tecnologia, incentivando a adoção de soluções sustentáveis e eficientes.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal do Pará, principalmente ao Campus Universitário de Salinópolis, por incentivarem os discentes a não desistirem e estimular o aprimoramento científico.

6. Referências Bibliográficas

GAMA JÚNIOR, MAURICIO. **SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES: UMA SOLUÇÃO ENERGÉTICA SUSTENTÁVEL PARA A AMAZÔNIA?**. Orientador: Profª Dra. Andrea Viviana Waichman. 2021. 137 f. TCC (Especialização) - Curso de Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus - Amazônia, 2021.

PEREIRA, Hugo Galúcio. **Potencial de uso da Energia Solar Fotovoltaica na cidade de Manaus - Amazonas - Brasil: Uma Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Setor Energético Brasileiro**. Orientador: Professora Doutora Paula Varandas Ferreira. 2018. 20 f. TCC (Especialização) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade do Minho, Braga - Portugal, 2018.

Silva, G. D. P., & Souza, M. J. R. (2017). **Estimativa de Geração de Energia através de um Sistema Fotovoltaico: Implicações para um Sistema Flutuante no Lago Bolonha, Belém-Pará**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, 6(2), 149-164.

SIQUEIRA, D. C. S. de.; SOUSA, V. D. de A.; MENOS, D. F. da S. . **Sistema fotovoltaico flutuante, principais obstáculos e desafios de implantação no Brasil: uma revisão da literatura**. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento, [S. l.], v. 11, n. 1, p. e45311125084, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i1.25084. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25084>. Acesso em: 23 jul. 2024.