

Ferramenta Para o Dimensionamento de Usinas Solares Flutuante

1st Ingridi Dos Santos Kremer
Mestranda em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
ingridikremer@hotmail.com

2nd Maria Cecília Caldeira Vieira
Graduanda em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
vieira.maria@acad.ufsm.br

3th Marcelo de Ramos Grenzel
Bacharel em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
marcelogrenzell16@gmail.com

4th Gabriel Martins Franco
Bacharel em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
gmartinsfr@gmail.com

5th Gustavo Lenhardt Steffen
Graduando em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
gustavo97_steffen@hotmail.com

6th Arthur Cordeiro Andrade
Graduando em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
arthurcoand@gmail.com

7th Cesar Teixeira Pacheco
Graduando em Eng. Elétrica
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
cesartp22@gmail.com

8rd Laura Lisiane Callai dos Santos
Docente da Universidade Federal de Santa Maria
UFSM - Cachoeira do Sul
Cachoeira do Sul, Brasil
laura.santos@ufsm.br

Resumo—A geração de energia é um tema que desperta bastante preocupação, devido a seus danos ambientais e sua imprevisibilidade. No Brasil, isso não difere, principalmente visto a dependência de barragens e utilização de áreas relativamente grandes para seu funcionamento. Neste contexto, é indubitável a diversificação da matriz elétrica brasileira. Diante disso, surgem as usinas solares flutuantes, que representam diversas vantagens, embora tenham um certo nível de complexidade, o que acaba dificultando um pouco sua expansão. Partindo dessa problemática, o presente artigo consiste no desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar no dimensionamento de usinas solares flutuantes, com utilização do Excel e *Visual Basic for Applications (VBA)*.

Palavras-chave—Usina fotovoltaica flutuante. *Visual Basic for Applications*

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, pode-se evidenciar que a geração de energia elétrica vem representado um grande problema quanto a seus impactos ambientais [1]. Nos quais seus efeitos podem ser classificados como locais ou globais e podem ser verificados nas qualidades da água, do ar, do solo, e da saúde humana no geral, entre outros [2], [3].

Além disso, a previsão da demanda de eletricidade é incerta, uma vez que conta com fatores que não são previsíveis, como o crescimento econômico, conservação e, por vezes, incapacidade ou dificuldade no planejamento para um potencial adicional [4].

Visto isso, é evidente uma necessidade de se aprimorar os meios de geração de energia elétrica a fim de driblar seus desafios, buscando o equilíbrio entre sustentabilidade e geração de energia [5].

No Brasil, esse cenário é ainda mais desafiador, visto que, embora mais de 75% da potência instalada seja a hidrelétrica, a qual é uma energia renovável e também contribui para

o aquecimento global. Além disso, outro fator de bastante preocupação, é que o potencial hidrelétrico explorado representa apenas 30% do estimado do país [6]. O que demonstra a complexidade envolvida, podendo afetar diretamente o fornecimento de energia elétrica do país em breve. Desse modo, é notório que a tendência para os próximos anos seja de expandir cada vez mais a geração do Brasil, que será somente possível com uma matriz elétrica mais diversificada [2].

Nesse contexto, surge um anseio pela otimização das centrais hidrelétricas, já ocupadas, a fim de gerar energia sem a necessidade de utilização, de novas áreas [7]. Evitando a desocupação pelas barragens. E em meio a isso surgiu a energia solar flutuante, na qual está baseada no uso das superfícies de lagos, reservatórios, hidrelétricas e canais, não exigindo espaço de superfície adicional, o que a torna extremamente atraente [8].

No entanto, embora extremamente atraentes, os sistemas de energia solar flutuante são bastante complexos. Nesse sentido, surge a necessidade de novas tecnologias capazes de facilitar seu desenvolvimento mais prático e viável [9].

Partindo disso, a proposta do presente trabalho consistiu na criação de uma ferramenta para auxiliar no dimensionamento de usinas solares flutuantes, considerando os aspectos técnicos e econômicos. E seus cálculos de dimensionamento, e, viabilidade técnica e econômica foram realizados via programação em *Visual Basic for Applications*.

II. METODOLOGIA

Nesta seção será apresentada, a metodologia adotada para o desenvolvimento de um programa computacional, cujo objetivo é dimensionar um sistema fotovoltaico flutuante. A Figura

1 mostra o fluxograma da metodologia, que abrange todas as etapas do desenvolvimento da ferramenta.

Ao analisar o fluxograma apresentado na Figura 1, observa-se que a metodologia está dividida em quatro etapas. A primeira etapa abrange as informações de entrada, a segunda diz respeito ao dimensionamento do sistema fotovoltaico flutuante, seguido da avaliação de viabilidade econômica e técnica e, por fim, a elaboração do relatório do sistema dimensionado.

Os dados de entrada desempenham um papel crucial, pois são fundamentais para o correto dimensionamento do sistema. Dentro dessa categoria, dividem-se em dados principais e secundários, que constituem a interface principal do sistema, na qual os dados essenciais para os cálculos devem ser inseridos. Entre os dados principais estão: a potência desejada do sistema fotovoltaico flutuante, tensão da linha de transmissão, distância entre a subestação e o reservatório, nome do reservatório, área útil do reservatório e município do reservatório.

Os dados secundários são específicos para o dimensionamento do sistema fotovoltaico flutuante e são opcionais. Caso o usuário opte por inseri-los, é necessário fornecer informações como porcentagem de utilização do reservatório, dias úteis, eficiência do sistema, preço do cabeamento solar, entre outros. Com todas essas informações em mãos, é possível avançar para a etapa seguinte, que envolve o dimensionamento do sistema.

A segunda etapa da metodologia concentra-se no dimensionamento do sistema, para o qual são utilizadas as informações inseridas na primeira etapa. Após o dimensionamento, são realizadas análises de viabilidade econômica e técnica para determinar a implementação do sistema flutuante. Alguns dos fatores considerados no dimensionamento incluem potência, irradiação, módulos fotovoltaicos, flutuadores, inversores e o skid solar.

A viabilidade econômica e técnica é essencial para a tomada de decisão relacionada ao projeto, pois visa avaliar a viabilidade do investimento sob diferentes perspectivas. Na análise de viabilidade técnica, é examinada a possibilidade de executar a solução proposta, considerando aspectos como a área alagada, área utilizada, área dos módulos e a disponibilidade de espaço para a instalação do sistema.

A análise de viabilidade econômica considera diversos aspectos relacionados ao mercado global para compreender a aplicabilidade do sistema. Essa análise utiliza dados da viabilidade técnica e avalia indicadores econômicos, como Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL) e período de retorno do investimento. Com base nesses indicadores, a ferramenta determina se o investimento é viável ou não.

Após a conclusão dessas etapas, a ferramenta realiza automaticamente os cálculos de dimensionamento do sistema fotovoltaico flutuante, bem como a avaliação de viabilidade técnica e econômica. Caso esses resultados sejam satisfatórios, o software gera um relatório que apresenta os detalhes do dimensionamento, incluindo potência, quantidade de módulos fotovoltaicos, inversores e outros componentes do sistema. O relatório também indica se a instalação do sistema fotovoltaico flutuante é viável.

III. FERRAMENTA E ESTUDO DE CASO

Nesta seção será apresentado o sistema o qual foi desenvolvido em VBA e um estudo de caso comparando os resultados que obteve-se no programa desenvolvido com trabalho do autor Pizzol, em 2019, intitulado com “Estudo De Caso Da Utilização De Energia Fotovoltaica Flutuante No Reservatório De Passo Real” [10].

A. Programa computacional

O programa computacional é composto por três interfaces que o usuário terá acesso, sendo: o sistema de Login, menu principal e menu secundário.

O sistema de login é apresentado na Fig. 2, o qual tem como intuito controlar e garantir o acesso, permitindo que apenas pessoas que possuam autorização utilizem o software.

Em seguida, ao realizar o login no software, o mesmo direciona o usuário para o menu principal, ilustrado na Fig 3, no qual é inserido os dados para a realização dos cálculos de dimensionamento do sistema e é analisada a sua viabilidade técnica e econômica.

No menu principal, o usuário deve, inserir as seguintes informações: potência desejada do sistema em kW, tensão da linha de transmissão em kV, nome do reservatório onde será instalado o sistema fotovoltaico flutuante, município que está localizado, utilizando assim o banco de dados das irradiações das cidades brasileiras para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, área útil do reservatório e a distância entre o reservatório e a subestação desejada. Além destes dados, também

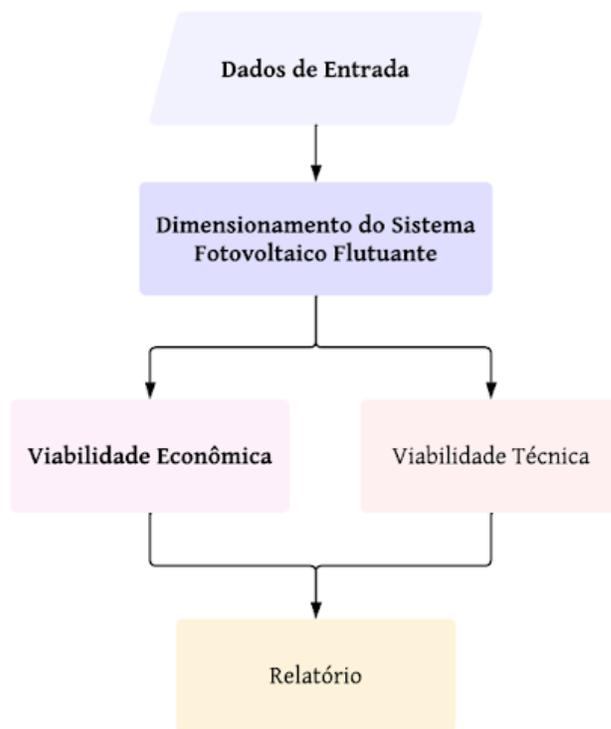


FIG. 1. METODOLOGIA ABORDADA.

FIG. 2. SISTEMA DE LOGIN.

FIG. 3. MENU PRINCIPAL.

é necessário informar a potência dos módulos, potência e marca dos inversores.

Nota-se que na Fig. 3, além dos dados que foram mencionados anteriormente, o sistema apresenta dois botões, inserção de mais dados e calcular todos os parâmetros. No botão calcular, o sistema gerará um relatório, que consta os cálculos, mas se o usuário desejar inserir mais dados, o sistema direciona para o menu secundário, apresentado na Fig. 4.

No menu secundário não se faz necessário a inserção dos dados, caso não haja a inserção de dados o usuário pode voltar ao menu principal, apenas clicando no botão voltar.

Visualiza-se na Fig. 4, que o menu possui três subtítulos, cada um deles com itens a serem inseridos, sendo o primeiro dados gerais, que terá as três opções para inserir: a porcentagem de utilização do reservatório, eficiência do sistema fotovoltaico flutuante, dias úteis, o qual refere-se a média de dias de sol por mês.

Já o subtítulo de viabilidade econômica, possui os seguintes tópicos: valor pago pelo kWh, taxa mínima atrativa, tempo de retorno financeiro, o valor deve ser inserido em anos.

O subtítulo do preço do material, referente ao preço dos materiais, conforme o projetista, ao inserir todos os dados o

FIG. 4. MENU SECUNDÁRIO.

usuário deve clicar no botão salvar.

Posteriormente, o sistema gerará de forma automática o relatório, que constará: a potência do sistema fotovoltaico flutuante, quantidade de módulos, quantidade e potência dos inversores e skids solares, também terá uma página mostrando a viabilidade técnica, apresentando geração mensal do sistema fotovoltaico. Além de todos os dados já inseridos no relatório, a última página irá mostrar a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico flutuante, estas informações podem ser vistas na Fig. 5.



FIG. 5. RELATÓRIO GERADO PELO SOFTWARE.

Com isso, pode-se notar que a ferramenta desenvolvida possui um sistema amigável e de fácil manuseio. Para validação da ferramenta será apresentado um estudo de caso.

B. Estudo de caso

No estudo de caso, será realizado comparativo do trabalho desenvolvido por [10], o qual propôs uma usina de 1 MW, que apresenta 3.030 módulos fotovoltaicos flutuantes, 4 ancoragens, o sistema possui potência de 300W e o inversor foi escolhido baseado na potência do sistema fotovoltaico flutuante. Um dos resultados obtidos foi a redução da evaporação devido ao sombreamento, cada usina fotovoltaica flutuante

de 990 kWp pode incrementar a potência do sistema em 1,57 GWh/ano. Na Tabela I é apresentado os equipamentos necessários para a elaboração do projeto.

Tabela I: Sistema fotovoltaico de 1 MW - Parte 2 [10]

Equipamentos	Potência	Quantidade (Unidade)
Potência do FVF	1 MW	-
Módulo	0,0003 MW	3.030
Inversor	1 MW	1
Flutuador Primário	-	3.030
Flutuador Secundário	-	4
Ancoragem	-	-

Após o sistema dimensionado o autor realizou o estudo da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico flutuante, obtendo um custo total de R\$ 3.276.400,00.

Considerando todos os dados do trabalho de Pizzol, realizou-se o comparativo, porém utilizou-se módulos 500 W de potência, módulos compatíveis com o mercado atual; totalizando assim 200 módulos e também foram utilizados 7 inversores de 150 kW da marca WEG. Com os dados e a potência do sistema, foi possível realizar a proposta de uma skid solar para elevar a tensão compatível com a linha de transmissão da usina hidrelétrica do Passo Real, obtendo assim um valor total a ser investido de R\$ 4.681.800,00.

No que se refere a viabilidade técnica e econômica da instalação do sistema, ressalta-se, que o investimento é válido, apesar do preço ter sido mais elevado, mas ressalta-se que [10] não considera, em seus cálculos, o valor do skids solares, mas no caso da ferramenta desenvolvida o valor dos skids entram no cálculo e também a oscilação do mercado.

Já em questão da viabilidade técnica, nota-se que o sistema apresenta a mesma potência, mas com menor quantidade de módulos solares, além disso, existe a inserção de skids solares. [10] estruturou sua usina fotovoltaica com apenas flutuadores primários, já na ferramenta desenvolvida utiliza-se dois tipos de flutuantes. Na Tabela II é apresentado um comparativo da ferramenta de Pizzol e da ferramenta desenvolvida no presente trabalho.

Tabela II: Comparativo de componentes

Componentes	Pazzol (2019)		Autores	
	Potência	Qtde (unit)	Potência	Qtde (unit)
Pot FVF	1 MW	-	1 MW	-
Módulo	0.0003 MW	3.030	500 W	2 k
Inversor	1 MW	1	150 kW	7
Flutuador Primário	-	3.030	-	2 k
Flutuador Secundário	-	4	-	2 k
Ancoragem	-	-	-	4
Skid Solar	1 MW	-	1	-

Na Tabela II, é realizada uma comparação entre os sistemas, com isso pode-se afirmar que a ferramenta desenvolvida foi validada, uma vez que além de conseguir cumprir com os cálculos previstos por Pizzol conseguiu apresentar, ainda, mais resultados do que o próprio autor.

Ressalta-se que o valor total do investimento do sistema proposto por [6] foi de R\$ 3.276.400,00, é custo total do

sistema proposto pelos autores, resultou em um investimento de R\$ 4.681.800,00, diferença caracterizada pela maior complexidade e efetividade presente no software desenvolvido pelos autores. No entanto a ferramenta de Pizzol não apresenta gastos skid solar e os flutuadores secundários, além dos demais equipamentos nota-se a utilização de 7 inversores, o qual a escolha foi efetuada devido à comercialização no mercado brasileiro, além disso, [10] efetuou a especificação somente de um conjunto de inversores, tendo assim a potência total de inversores 1 MW.

IV. CONCLUSÃO

Visto o exposto, nota-se que o sistema fotovoltaico flutuante é uma tecnologia promissora e fonte de uma geração de energia renovável. No entanto, é essencial se considerar as particularidades que envolvem a implementação desse tipo de sistema, para garantir sua eficiência e durabilidade.

Nesse sentido, o desenvolvimento de um software em VBA para dimensionamento de sistema fotovoltaico flutuante é uma ferramenta valiosa permitindo automatizar o processo de cálculo e dimensionamento desses sistemas. Outra vantagem é a capacidade de realizar simulações e avaliar diferentes cenários, para identificar as configurações de sistemas que oferecem a melhor relação custo-benefício. Ajudando a garantir que os projetos sejam otimizados devidamente.

Por fim, é possível concluir, que o software desenvolvido consegue auxiliar no dimensionamento desses sistemas. Sendo válido ressaltar que a validação de softwares de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos flutuantes é um processo contínuo, sendo ideal a realização de testes regularmente a fim de garantir sua precisão e confiabilidade ao longo do tempo, bem como efetuar atualizações se necessário.

REFERÊNCIAS

- [1] A. Rai, A. Shrivastava, and K. Jana, "A solution for power crisis and environment pollution from electricity generation - a study of sub-tropical regions," *Smart Science*, vol. 9, pp. 1-11, 03 2021.
- [2] L. A. Alves and W. Uturbey, "Environmental degradation costs in electricity generation: The case of the Brazilian electrical matrix," *Energy Policy*, vol. 38, no. 10, pp. 6204-6214, 2010.
- [3] I. Hore-Lacy, "7 - environment, health and safety issues," in *Nuclear Energy in the 21st Century* (I. Hore-Lacy, ed.), pp. 111-125, Burlington: Academic Press, 2007.
- [4] M. Crawford, "The electricity industry's dilemma," *Science*, vol. 229, no. 4710, pp. 248-250, 1985.
- [5] S. Schmidt, "Dispositivo para geração de energia elétrica," 2019. Número do registro: BR102019010055A2. Depositante: SIDNEI SCHMIDT. Depósito: 16/05/2019. Concessão: 02/07/2019.
- [6] F. Amaral de Almeida Prado, "How much is possible? an integrative study of intermittent and renewables sources deployment. a case study in Brazil," in *Renewable-Energy-Driven Future*, pp. 511-538, Elsevier, 2021.
- [7] Á. Lorca, M. Favereau, and D. Olivares, "Challenges in the management of hydroelectric generation in power system operations," *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, vol. 7, pp. 94-99, 2020.
- [8] DNV, "Floating solar." <https://www.dnv.com/power-renewables/generation/floating-solar.html>, 2023. Acessado em 16 de setembro de 2023.
- [9] M. Kumar, H. Mohammed Niyaz, and R. Gupta, "Challenges and opportunities towards the development of floating photovoltaic systems," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 233, p. 111408, 2021.
- [10] P. Henrique, "Estudo de caso da utilização de energia fotovoltaica flutuante no reservatório de passo real," *Ufrgs.br*, 2019.