

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ADRIANO LOPES DE MENEZES

DIFERENÇAS ENTRE SISTEMA FOTOVOLTAICO FLUTUANTE RELAÇÃO AO  
SISTEMA FOTOVOLTAICO SOLO

CURITIBA

2024

ADRIANO LOPES DE MENEZES

DIFERENÇAS ENTRE SISTEMA FOTOVOLTAICO FLUTUANTE RELAÇÃO AO  
SISTEMA FOTOVOLTAICO SOLO

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso MBA em Gestão Estratégia em Energias Naturais Renováveis, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Ramos Martins

CURITIBA

2024

## RESUMO

As usinas fotovoltaicas flutuantes (UFF) oferecem novas oportunidades para expandir a capacidade de geração de energia solar em reservatórios de usinas hidrelétricas ou no seu entorno, especialmente em países com alta densidade populacional e usos concorrentes de terra, como agricultura e habitação. Os sistemas fotovoltaicos flutuantes apresentam certas vantagens sobre os sistemas terrestres, incluindo a utilização da infraestrutura de transmissão existente em centrais hidrelétricas, a proximidade de centros de demanda (no caso de reservatórios de abastecimento urbano) e um melhor eficiência energética devido aos efeitos de arrefecimento da água e à redução de poeiras. A energia solar pode ser utilizada para aumentar a produção de energia de usinas hidroelétricas e também pode ajudar a superar períodos de escassez de água, permitindo que as centrais hidrelétricas operem capacidade reduzida, e reduzindo a ociosidade da infraestrutura de transmissão da planta hidrelétrica. Um aspecto fundamental está relacionado a qualidade da eletricidade despachada para o Sistema Interconectado Nacional (SIN) uma vez que a energia hidrelétrica pode compensar a flutuação da produção solar operando no modo compensação de carga.

Palavras Chave: Energia Solar Fotovoltaica; Usina Flutuante; Geração de Energia.

## **ABSTRACT**

Floating photovoltaic plants (FPV) can be installed in or around hydropower plant reservoirs to expand solar energy generation capacity in countries with high population density and competing land uses such as agriculture and housing. Compared to terrestrial systems, floating photovoltaic systems offer certain advantages such as the use of existing transmission infrastructure in hydroelectric plants, proximity to demand centers (in the case of urban supply reservoirs), and better energy efficiency due to the cooling effects of the water and reduced dust. Solar energy can help increase the energy production of hydroelectric plants and overcome periods of water scarcity by allowing hydroelectric plants to operate at reduced capacity and reducing the idleness of their transmission infrastructure. A key aspect is the quality of electricity dispatched to the National Interconnected System (SIN), as hydroelectric energy can compensate for fluctuations in solar production when operating in load compensation mode.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy; Floating Power Plant; Power Generation.

## LISTA DE SIGLAS

CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
CO2	Gás Carbônico
EPC	Engenharia, gestão, compras e construção
FPV	Floating Photovoltaics
FV	Módulo fotovoltaica
GW	Gigawatts
HDPE	Polietileno de alta densidade
IEC	Internacional Electrotechnical Commission
IEEE	Instituto de Engenheiros Elétricos e Eletrônicos
JIS	Japanese Industrial Standards
MPPT	Ponto de potência máxima do Tracker
O&M	Operação e manutenção
P&D	Projeto e pesquisa
Turn Key	Fornecedor contratado a trabalhar do início ao fim da obra
TW	Terawatts
UFF	Usinas fotovoltaicos flutuantes

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>A CAPACIDADE GLOBAL DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL E NO MUNDO .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>FASES DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA FLUTUANTE.....</b>	<b>10</b>
3.1	ESCOLHA DO LOCAL.....	11
3.2	ANALISE RENDIMENTO DE ENERGIA .....	11
3.2.1	Perdas de sombreamento .....	11
3.2.2	Sujidade (Soiling).....	12
3.2.3	A perda de eficiência pela temperatura .....	12
3.2.4	Albedo da superfície da água .....	13
3.2.5	Perda por incompatibilidade .....	13
3.2.6	Perda de cabeamento .....	13
3.2.7	Perda de eficiência do inversor .....	14
3.3	DESIGN DE ENGENHARIA .....	14
<b>4</b>	<b>CONDIÇÕES FINANCEIRO E LEGAL .....</b>	<b>15</b>
4.1	ANÁLISE DE RISCO .....	16
4.2	DESEMPENHO ESTIMADO NA FASE DE PLANEJAMENTO.....	16
4.3	RESPONSABILIDADE DO EPC E O&M EMPRETEIROS VERSUS SOLUÇÃO FLUTUANTE PROVEDORES.....	16
4.4	FABRICAÇÃO E TRANSPORTE DE FLUTUADORES .....	17
4.5	ANÁLISE ECONÔMICO E FINANCEIRO.....	17
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES AMBIENTAL E SOCIAL.....</b>	<b>18</b>
5.1	QUALIDADE DA ÁGUA.....	18
5.2	ESTRATIFICAÇÃO DE TEMPERATURA E NÍVEIS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO .....	18
5.3	PRODUTOS QUÍMICOS .....	18
5.4	PREVENÇÃO DE DERRAMAMENTO .....	19
5.5	FLORA E FAUNA AQUÁTICAS .....	19
<b>6</b>	<b>DESATIVAÇÃO .....</b>	<b>19</b>
6.1	SAÚDE E SEGURANÇA OCUPACIONAL.....	20
<b>7</b>	<b>AQUISIÇÃO E CONSTRUÇÃO .....</b>	<b>20</b>

7.1	VISÃO GERAL .....	20
7.2	GESTÃO DE COMPRAS.....	21
7.3	GERENCIANDO A CONSTRUÇÃO.....	21
7.4	TRABALHO PREPAROTÓRIOS DO LOCAL .....	22
7.5	ENTREGA DE MATERIAIS E ARAMAZENAMENTO .....	22
<b>8</b>	<b>TESTE DE CAMPO E COMISSIONAMENTO.....</b>	<b>22</b>
8.1	VISÃO GERAL .....	22
8.2	MÓDULOS E INVERSORES SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	23
8.3	FLUTUADORES E ANCORAGENS .....	23
8.4	PROTEÇÃO CONTRA SURTOS/RAIOS.....	24
8.5	SISTEMA ELÉTRICO CC .....	24
8.6	SISTEMA ELÉTRICO CA .....	24
8.7	TESTES DE ACEITAÇÃO.....	25
<b>9</b>	<b>POTENCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FLUTUANTES NAS PRINCIPAIS USINAS NO ESTADO DO PARANÁ .....</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>28</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>30</b>
	<b>ANEXO 1 - VISITA TÉCNICA INSTALAÇÕES DA UFF SANEPAR .....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As usinas fotovoltaicas flutuantes (UFF) parecem estar a ganhar popularidade à medida que os avanços tecnológicos em novas implantações, particularmente nos países asiáticos, marcam novas fronteiras na expansão global das energias renováveis. Em combinação com outros meios, garantem maior eficiência energética, reduzem a evaporação e, em alguns casos, melhoram a qualidade da água. A UFF pode ser uma opção atraente para muitos países. Alguns países com elevada densidade populacional estão a considerar instalações solares flutuantes em grande escala para evitar a utilização dos seus limitados recursos terrestres para a produção de energia solar.

A UFF pode ser um importante segmento de mercado para a utilização de energia solar fotovoltaica (FV) sem a necessidade de aquisição de terrenos necessários para instalação em solo. Para algumas grandes centrais hidrelétricas, cobrir parte da área do reservatório possibilitará o aumento a capacidade instalada, permitindo potencialmente uma gestão mais estratégica dos recursos hídricos através da energia solar diurna.



## 2 A CAPACIDADE GLOBAL DE ENERGIA RENOVÁVEL NO BRASIL E NO MUNDO

A expansão da produção de energia renovável em 2022 confirma a tendência crescente das fontes de energia renováveis num contexto de declínio da capacidade de novos combustíveis fósseis.

No final de 2022, a capacidade global de energia renovável foi de 3.372 gigawatts (GW), um aumento na capacidade de energia renovável de um recorde de 295 GW, ou 9,6 por cento. Um total de 83% de toda a capacidade elétrica adicionada foi gerado por energia renovável.

Embora muitos países estejam a aumentar a sua capacidade de energia renovável, o crescimento significativo das energias renováveis tem-se concentrado consistentemente em alguns países e regiões como a Ásia, os Estados Unidos e a Europa. Os dados da IRENA mostram que quase metade de toda a nova capacidade em 2022 foi adicionada na Ásia, elevando a capacidade total em 2022 para 1,63 terawatts (TW) de capacidade renovável. A China foi o maior contribuinte, acrescentando 141 GW de nova capacidade ao continente. As energias renováveis na Europa e na América do Norte aumentaram 57,3 GW e 29,1 GW, respetivamente.

Embora a energia hidrelétrica represente a maior parte da capacidade total de produção renovável a nível mundial, com 1.250 GW, a energia solar e a eólica continua a dominar a nova capacidade de produção. Juntas, as duas tecnologias representam 90 por cento de toda a nova capacidade renovável em 2022. A energia solar é a líder, com um aumento de 22 por cento, seguida pela eólica, que aumentou a sua capacidade de geração em 9 por cento.

A expansão da capacidade instalada da matriz elétrica no Brasil foi de 7 gigawatts (GW) no período de janeiro a agosto de 2023. Desse total, 6,2 GW vieram de energia solar e eólica. Na série histórica, este ano registrou o maior aumento na produção de energia solar e o segundo maior aumento na energia eólica. As fontes renováveis representam 83,79% da rede elétrica total do Brasil, o que representa a referência internacional em energia limpa.

Entre janeiro e setembro de 2023, o Brasil experimentou o maior aumento na capacidade de geração solar da história. Por exemplo, em 2022, o aumento anual foi de 2,5 gigawatts, face aos 3 GW já instalados entre janeiro e setembro de 2023.

A usina fotovoltaica flutuante (UFF) é um tipo de geração de energia renovável que gera eletricidade em lagos, rios, reservatórios e represas. Esse tipo de geração também pode ocupar áreas não utilizadas como reservatórios e outros corpos hídricos, gerando energia elétrica para diversas finalidades e agregando capacidade instalada à matriz energética do país (WORLD BANK GROUP et al., 2019).

Os principais elementos de um sistema fotovoltaico de solo/telhado são compostos por: módulos, estruturas metálicas, inversores, cabos e proteção. Nos sistemas flutuantes, flutuadores são adicionados como elemento de suporte físico para módulos, estruturas de acesso a módulos, condicionamento de cabos e suporte físico para equipamentos elétricos (SHARMA MUNI E SEN, 2015).

O Brasil é um país que se beneficia de sua extensão territorial e também de importantes valores médios globais médios. Segundo Pereira et. al. (2017), a irradiação horizontal global incidente no Brasil tem maior intensidade e menor variabilidade do que em países como Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França, onde a tecnologia está bem estabelecida.

A matriz energética do Brasil tem a maior participação na produção de eletricidade por meio da geração hidrelétrica. Além disso, hidrelétricas estão sendo instaladas em grandes bacias. Esta característica da instalação de produção de água permite a utilização de múltiplos locais para instalar o UFF em um local não utilizado, por exemplo, em um reservatório. Apesar dos fatores positivos que possibilitam a instalação da UFF, poucas usinas operam no país, o que requer mais pesquisas sobre o tema.

### **3 FASES DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA FLUTUANTE**

Como em um projeto fotovoltaico convencional montado no solo, o desenvolvimento de um projeto sistema fotovoltaico flutuante pode ser dividido em várias fases principais: escolha do local, análise rendimento de energia e design de engenharia.

### 3.1 ESCOLHA DO LOCAL

A escolha do local certo para o sistema fotovoltaico flutuante é condição necessária para o bom desenvolvimento do projeto. Os locais devem ser identificados durante o desenvolvimento inicial do projeto e antes dos estudos de viabilidade. A coleta inicial de dados permite que o desenvolvedor do projeto avalie a viabilidade do projeto. O objetivo nesta fase é escolher o melhor local para o projeto ou escolher o local mais promissor. Um local ideal deve ter exposição solar adequada, um clima local favorável, águas rasas, áreas aquáticas não utilizadas para fins competitivos, pontos de conexão às redes acessíveis e uma estrutura estável para o desenvolvimento de sistema fotovoltaico flutuante.

### 3.2 ANALISE RENDIMENTO DE ENERGIA

Uma boa análise de desempenho energético usa dados de irradiância de várias fontes para prever quanta energia um painel fotovoltaico pode produzir. Dados de radiação solar de baixa qualidade levam a resultados imprecisos, mesmo usando um bom programa de modelagem. Os dados de irradiância são inseridos no software de modelagem que estima a saída de energia esperada do sistema no local selecionado.

No entanto, deve-se observar que o reservatório cria um microclima, portanto, o ambiente no local do projeto pode diferir da previsão do software.

#### 3.2.1 Perdas de sombreamento

A vantagem dos sistemas fotovoltaico flutuante sobre os sistemas em solo é que a superfície da água é plana e longe de estruturas como árvores ou edifícios que projetam sombras no solo ou nos sistemas de cobertura. Além disso, o baixo ângulo de inclinação do módulo garante um sombreamento mínimo entre as fileiras.

No entanto, pode ocorrer sombreamento de horizontes distantes ou próximos à costa, especialmente em áreas montanhosas, portanto, a análise de sombreamento ainda precisa ser feita. Importante ter em mente que a sombra pode mudar diariamente ou sazonalmente com grandes flutuações nos níveis de água.

### 3.2.2 Sujidade (Soiling)

Em instalações reais, os módulos fotovoltaicos geralmente são cobertos por materiais (por exemplo, poeira, sujeira, partículas de biomassa, folhas, excrementos de pássaros e sal) que podem bloquear a luz. A perda devido à sujidade varia de acordo com as características locais relacionadas à poluição atmosférica, regime de precipitação e inclinação do sistema fotovoltaico. Normalmente é de 1 a 3%, excluindo fontes incomuns de contaminação, dependendo do cronograma de limpeza. Para minimizar a perda de solo, o ângulo de inclinação recomendado é de pelo menos 10 graus, porque isso oferece melhor autolimpeza com a chuva.

Excrementos de pássaros são uma fonte de sujeira. As aves preferem áreas protegidas e mínima perturbação humana. Acontece que os painéis solares e os flutuadores entre as fileiras de painéis fornecem um abrigo para os pássaros descansarem.

### 3.2.3 A perda de eficiência pela temperatura

A perda de eficiência causada pela maior temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos é um importante fator dissipativo para geração de energia em regiões quentes, onde reside grande parte do potencial de mercado para sistemas fotovoltaico flutuante. Portanto, uma avaliação cuidadosa dos possíveis efeitos de resfriamento é necessária. Por exemplo, informações sobre velocidade e direção do vento ou da água circundante e o cálculo das temperaturas operacionais são essenciais para uma análise de desempenho precisa. A temperatura do ar ambiente na água é geralmente mais baixa do que em terra durante horários diurnos. Em geral, as características do relevo no entorno dos reservatórios de hidroelétricas proporcionam condições de velocidades maiores do vento, o que aumenta a ventilação dos módulos fotovoltaicos sobre a água. Como resultado, o resfriamento em sistemas flutuantes é geralmente mais eficiente do que os sistemas fotovoltaicos no telhado ou no solo.

Bancos de dados meteorológicos e software de modelagem não refletem automaticamente essas condições ambientais favoráveis. Portanto, após uma pesquisa no local, podem ser necessários ajustes manuais para refletir com precisão as condições de operação.

### 3.2.4 Albedo da superfície da água

Com o sistema fotovoltaico flutuante, a irradiância traseira geralmente é menor do que a montagem no solo ou no teto devido à baixa reflexão da superfície da água (albedo). Portanto, é improvável que o módulo bifacial usado no sistema fotovoltaico flutuante tenha uma vantagem na geração de energia. Isso significa que na maioria dos dias, quando o Sol está alto, o reflexo da superfície da água não é tão importante.

Com passar do tempo, estudos verificaram que as boias que servem também como passarela, estão sendo fabricados em cor branca para refletir e poder ser usado os módulos bidirecionais na água.

### 3.2.5 Perda por incompatibilidade

A perda de incompatibilidade ocorre dentro de uma linha de módulos fotovoltaicos ou entre diferentes strings de um único rastreamento de ponto de potência máxima (MPPT). Pode ocorrer em diferentes pontos do sistema devido às diferenças entre os módulos, bem como pela não homogeneidade da distribuição de radiação e temperatura. Em geral, uma perda de desalinhamento da ordem de 1% é considerada um valor de orientação para montagem no solo e é aceitável para sistema fotovoltaico flutuante. No entanto, em plataformas flutuantes com grande movimento relativo entre os módulos devido a ondas, o desalinhamento de módulos fotovoltaicos individuais pode causar desalinhamento adicional. A perda exata depende de uma interação complexa entre fatores como a inclinação do módulo e a posição do Sol (que geralmente está relacionada à latitude e hora do dia), a proporção relativa de luz direta e difusa e as propriedades das ondas.

### 3.2.6 Perda de cabeamento

Uma estimativa precisa de perda de cabo deve levar em consideração o comprimento de cada cabo junto com o material e a bitola do cabo. A estimativa do cabo geralmente é de que as perdas fiquem entre 0,5 e 2 por cento. Com o sistema fotovoltaico flutuante, é importante considerar o tamanho da ilha, o roteamento do cabo, a distância da costa e a localização do inversor/transformador em uma

plataforma flutuante ou em terra. As perdas exatas dependem dos detalhes do projeto do sistema, mas em princípio não devem diferir muito das instalações terrestres.

### 3.2.7 Perda de eficiência do inversor

Os valores de eficiência do inversor são estimados consultando a folha de dados do fabricante, assumindo um MPPT estático e que o atuador opere dentro da faixa de temperatura especificada. No entanto, a eficiência dinâmica do MPPT pode ser menor devido a condições altamente variáveis. Além do movimento da nuvem, o movimento da plataforma nos sistemas fotovoltaico flutuante também pode fazer com que o ponto de potência máxima mude rapidamente, o que é incompatível com inversores.

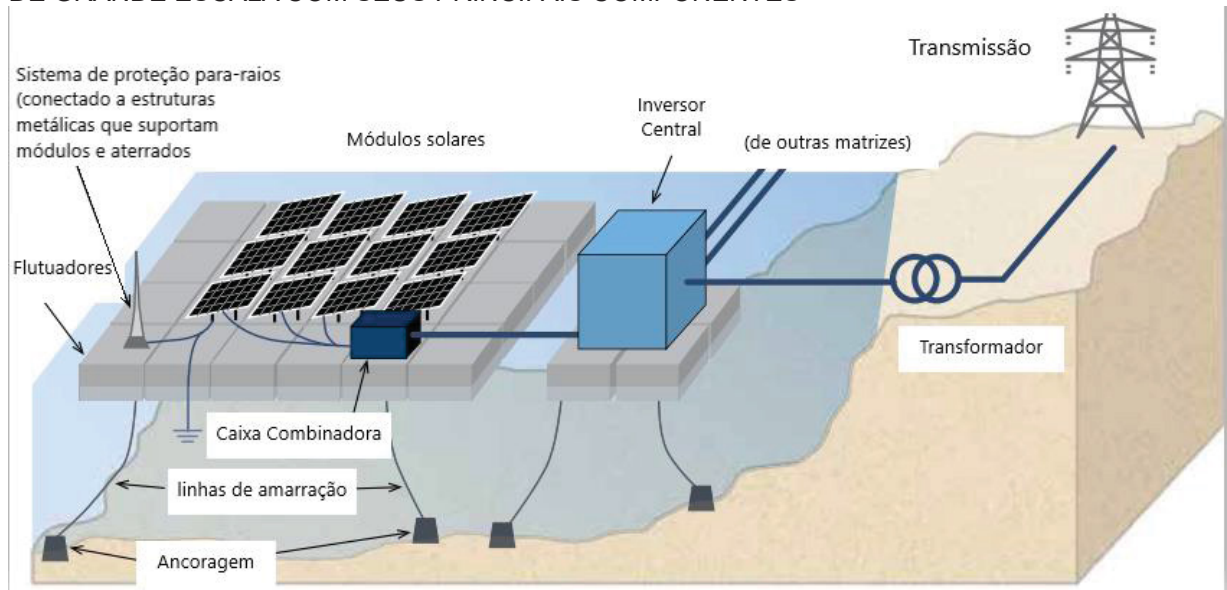
## 3.3 DESIGN DE ENGENHARIA

O projeto técnico de uma instalação UFF sobre a água é em muitos aspectos semelhante a uma instalação terrestre. Obviamente, estruturas flutuantes e sistemas de ancoragens e amarração são diferentes. Condições adequadas do local, funcionalidade necessária, operação e manutenção e condições ambientais devem ser consideradas no projeto de um sistema flutuante. É importante considerar os aspectos de qualidade da estrutura flutuante e do sistema de amarração e fixação. Embora os módulos FV padrão possam ser usados na maioria dos sistemas UFF, deve-se ter cuidado, pois os módulos nos sistemas UFF devem suportar movimento constante, alta umidade e níveis potencialmente mais altos de corrosão. O cabeamento e o gerenciamento de cabos são comparativamente mais críticos em comparação com os sistemas terrestres. Os ambientes aquáticos têm requisitos de segurança elétrica mais rígidos. Em alguns casos, a operação híbrida com energia hidrelétrica pode ser uma opção viável, caso em que o sistema é projetado para obter sinergia.

A figura 1 ilustra uma UFF com o conjunto fotovoltaico e o inversor é montado em uma plataforma flutuante. A corrente contínua (CC) produzida pelo painel fotovoltaico é coletada por caixas coletoras e convertida em corrente alternada (CA) pelo inversor. Para pequenos sistemas flutuantes próximos à costa, o

inversor pode ser colocado em terra, ou seja, a uma curta distância da margem. Caso contrário, geralmente os inversores ou strings são projetados em flutuadores. As plataformas, juntamente com os sistemas de ancoragem e amarração, são uma parte importante na instalação das fotovoltaicas flutuantes.

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE DE GRANDE ESCALA COM SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES



FONTE: World Bank Group (2019).

Os desenvolvedores selecionam os projetos com base na localização da plataforma, na batimetria (perfil e profundidade da água), nas condições do solo e nas flutuações do nível da água. As ancoragens na margem são ideais para lagoas pequenas e rasas, mas a maioria das instalações flutuantes estão ancoradas no fundo do reservatório ou recurso hídrico. Independentemente do método, a âncora deve ser projetada para manter a instalação no local por pelo menos 25 anos. Os cabos de amarração devem ser selecionados de acordo com as tensões e as flutuações do nível da água.

No anexo 1 do Artigo, está uma descrição da visita da UFF da Sanepar na Represa da Passaúna.

#### 4 CONDIÇÕES FINANCEIRO E LEGAL

Os sistemas fotovoltaicos flutuantes (UFF) ainda não atingiram o mesmo nível de maturidade que os sistemas fotovoltaicos (FV) de solo e telhado. Embora

esses sistemas compartilhem componentes comuns, outros são novos e devem se beneficiar de economias de escala e maior padronização.

#### 4.1 ANÁLISE DE RISCO

Como os projetos fotovoltaicos terrestres, os sistemas UFF podem ser de propriedade de produtores de energia ou concessionárias independentes, dependendo da localização e da estrutura regulatória.

Como o setor de UFF ainda está em sua infância, poucas empresas podem fornecer soluções integradas e os projetos de UFF podem exigir muitos contratados durante todo o ciclo de vida do projeto. Essa situação aumenta o risco de integração e dificulta a construção e operação de tal sistema.

Como o UFF é uma nova tecnologia, a análise deve examinar cuidadosamente os riscos de tecnologia, construção e O&M, bem como o histórico de todos os empreiteiros e fabricantes de componentes.

Com base na avaliação de risco e tolerância ao risco do proprietário do sistema, o proprietário, se possível em conjunto com o credor, deve decidir o risco aceitável, o risco que requer uma estratégia de mitigação (evitar, reduzir ou transferir) e quanto custa cada estratégia.

#### 4.2 DESEMPENHO ESTIMADO NA FASE DE PLANEJAMENTO

O desempenho energético de um sistema UFF não é calculado como o desempenho de um sistema fotovoltaico montado no solo. A concepção do projeto, o clima e as condições do local afetam o desempenho do sistema. Suposições técnicas apropriadas devem ser feitas para estimar a eficiência energética. Esse cuidado tem impacto direto no fluxo de caixa do projeto: premissas corretas reduzem o risco envolvido na estimativa de produção de energia.

#### 4.3 RESPONSABILIDADE DO EPC E O&M EMPREITEIROS VERSUS SOLUÇÃO FLUTUANTE PROVEDORES

Em contratos de aquisição, engenharia e O&M, os desenvolvedores devem ter estratégias para revisar e mitigar os riscos de tecnologia, engenharia e desempenho, mantendo o desempenho mínimo. Existem dois modelos de contrato



disponíveis para desenvolvedores de projetos fotovoltaicos onshore: (1) contratos múltiplos ou (2) contratos EPC turnkey. No primeiro modelo, o proprietário contrata vários empreiteiros para fornecer/construir diferentes partes da planta, com uma empresa responsável pela integração de todos os componentes e serviços sob diferentes contratos (geralmente proprietário/desenvolvedor ou proprietário engenheiro). Se for escolhido um contrato EPC, uma empresa é responsável por todo o projeto.

#### 4.4 FABRICAÇÃO E TRANSPORTE DE FLUTUADORES

Os flutuadores são volumosos, tornando-os caros para transportar longas distâncias. Para os fornecedores de estruturas flutuantes, os baixos custos de transporte são fundamentais para se manterem competitivos.

É importante garantir o controle de qualidade em todos os níveis da cadeia de valor. A falta de controle, monitoramento e teste do produto na fábrica pode causar flutuações abaixo do ideal.

#### 4.5 ANÁLISE ECONÔMICO E FINANCEIRO

Nos estágios iniciais (ou seja, durante o desenvolvimento do conceito e do local), essa análise é ponto essencial, o suficiente para decidir se o projeto deve continuar. Esses mecanismos de apoio podem variar de acordo com o país e o tamanho do projeto. As estimativas de custo para locação/compra de local, equipamento, entrega, construção e operação devem ser determinadas juntamente com os fluxos de receita esperados.

Como parte de um estudo de viabilidade, uma análise de custo-benefício pode incluir alguns benefícios externos, como o benefício geral da redução das emissões de CO<sub>2</sub> devido à geração limpa de eletricidade, possíveis impactos ambientais (positivos ou negativos) nos ecossistemas, impactos por meio de atividades nas quais a comunidade do entorno participa (por exemplo, pesca ou recreação aquática), redução da evaporação através da localização de sistemas UFF com usinas hidrelétricas.

## **5 CONSIDERAÇÕES AMBIENTAL E SOCIAL**

### **5.1 QUALIDADE DA ÁGUA**

Os projetos de UFF têm vários graus de impacto na qualidade da água, dependendo de seu tipo e características de projeto. Alguns reservatórios exigem que os painéis solares sejam colocados perto do canal principal para que não sejam sucumbidos durante os meses (inverno ou seco) quando o nível da água no reservatório é baixo. Para instalações maiores, os arranjos podem precisar ser estendidos e espaçados ao longo da área entre o litoral da bacia do mês de inverno/seco e a borda do leito do rio/reservatório para minimizar qualquer interrupção de tráfego.

### **5.2 ESTRATIFICAÇÃO DE TEMPERATURA E NÍVEIS DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO**

A estratificação de temperatura (ou seja, a formação de camadas de água em função da temperatura) é mais comum em águas profundas, onde águas relativamente profundas permanece estagnadas por longos períodos de tempo devido ao fluxo de água limitado a mistura de água. Este fenômeno pode ser mais forte em reservatórios expostos ao vento. Por exemplo, uma proporção de 3 a 4 por cento resulta em um pequeno aumento na estratificação que tem pouco ou nenhum efeito na qualidade da água.

### **5.3 PRODUTOS QUÍMICOS**

Os sistemas UFF normalmente usam pontões/flutuadores de polietileno de alta densidade (HDPE) para suportar um sistema de rack para painéis solares e outros componentes necessários (por exemplo, tampas para componentes elétricos), bem como passarelas para facilitar a manutenção futura.

O HDPE pode liberar compostos fenólicos relacionados a antioxidantes que podem afetar o paladar e o olfato, bem como vestígios de desreguladores hormônios que podem ter efeitos adversos à saúde (Skjevrak et al. 2003; Yang et al. 2011). Outros materiais podem contaminar a água devido à corrosão do metal causada por

baixo pH e alto teor de sólidos dissolvidos; destruição de plástico por luz ultravioleta; e/ou ruptura/descolamento da placa.

#### 5.4 PREVENÇÃO DE DERRAMAMENTO

Outros impactos na qualidade da água e, portanto, na flora e fauna aquáticas podem ser devidos a contaminantes relacionados a possíveis derramamentos de óleo e graxa de barcos que acessam os painéis para manutenção e detergentes usados para lavar os painéis quando ocorre excesso de sujeira ou depósitos de sal.

#### 5.5 FLORA E FAUNA AQUÁTICAS

Alguns projetos flutuantes também podem ter consequências indesejadas para flora e fauna local. Áreas abertas no meio dos lagos que não preveem a instalação de painéis fotovoltaicos, principalmente ao redor do perímetro da ilha flutuante, criam bolsões de água estagnada que podem ser criadouros de mosquitos. O crescimento de algas em estruturas submersas ou superfícies flutuantes fornece um ambiente adequado para o desenvolvimento de larvas de insetos, o que pode levar à reprodução de insetos.

### 6 DESATIVAÇÃO

É importante pensar no descomissionamento dos sistemas UFF desde a etapa de desenvolvimento do projeto. Medidas e precauções apropriadas devem ser tomadas para garantir que os proprietários do sistema ou fabricantes de produtos tenham a responsabilidade e o incentivo de desmontar e reciclar adequadamente os sistemas UFF em fim de vida. Embora tubos e metais possam ser usados para suportar módulos fotovoltaicos acima da água, as estruturas mais comuns são feitas principalmente de HDPE. O HDPE não é um material biodegradável, mas é facilmente reciclável, como demonstram as suas diversas utilizações (embalagens, garrafas de plástico, brinquedos, mangueiras, filamentos para impressoras 3D, etc.).

## 6.1 SAÚDE E SEGURANÇA OCUPACIONAL

Os riscos de trabalhar na água devem ser considerados em todos os estágios da operação do UFF, especialmente durante a manutenção programada. O principal risco a evitar é a queda de equipamentos e operadores na água. Esses e outros riscos podem ser exacerbados pela velocidade do vento, temperaturas extremas, umidade e condições úmidas. O gerenciamento de atividades de UFF requer planejamento adequado e alocação adequada de recursos. Durante a fase de planejamento e projeto, é recomendável trabalhar o mínimo possível na água. Por exemplo, muitas vezes é possível instalar um sistema de treliças em terra e depois mover toda a treliça para a posição na água.

Os mergulhadores que instalam e inspecionam cabos de amarração e durante a fase de operação e manutenção não apenas enfrentam a possibilidade de afogamento, mas também vários riscos à saúde e segurança, como riscos respiratórios e circulatórios, hipotermia, baixa visibilidade e lesões corporais operacionais em equipamentos pesados debaixo d'água.

## 7 AQUISIÇÃO E CONSTRUÇÃO

### 7.1 VISÃO GERAL

A seleção de empreiteiros de EPC (projeto, suprimento e construção) geralmente é feita por meio de um processo de licitação competitivo que leva em consideração a experiência do candidato e a experiência do engenheiro técnico. Um empreiteiro EPC assume a responsabilidade pelo projeto, engenharia, aquisição, construção, comissionamento e teste. Empreiteiros com experiência em sistemas fotovoltaicos flutuantes são os melhores candidatos.

É importante obter todas as licenças e certificados de aprovação necessários dos vários órgãos reguladores inovadores com antecedência. A lista de permissões depende das leis e regulamentos em relação ao desenvolvimento no local.

Um plano de engenharia detalhado para a instalação deve ser concluído antes do início da construção. O grupo de engenharia deve emitir seu projeto com a respectiva aprovação. O plano de proteção e a documentação devem estar

disponíveis para inspeção de qualidade. Isso é importante para o controle de qualidade da construção para garantir que o empreiteiro atenda às especificações de construção no nível exigido.

## 7.2 GESTÃO DE COMPRAS

As compras devem ser concluídas antes do início da construção. Os materiais devem ser fornecidos no prazo e de acordo com as especificações contratuais.

Durante a aquisição, recomenda-se que as especificações de aquisição para todos os principais componentes sejam escritas no documento de licitação EPC. Esta é uma prática comum para sistemas fotovoltaicos terrestres. Existem especificações de compra de módulos fotovoltaicos, módulos de montagem estrutural, cabos, caixas de junção, inversores, transformadores e equipamentos de baixa e alta tensão.

A estrutura flutuante é um componente único e importante do projeto UFF. O edital deverá listar os requisitos do projeto. Padrões internacionais estão sendo desenvolvidos. As especificações de aquisição também devem incluir provisões para bandejas de cabos, dutos de cabos e abraçadeiras para cabos que passam sobre a água. A vida útil da estrutura flutuante é estimada em 25 anos.

## 7.3 GERENCIANDO A CONSTRUÇÃO

O ponto de partida para dominar adequadamente esta fase é um plano detalhado do sistema UFF. Este plano contém o pacote de trabalho e descreve as entregas, dependências de tarefas, caminho crítico do projeto e a duração de cada atividade. À medida que o projeto avança, o progresso em relação a esse plano pode ser rastreado para garantir que o projeto seja concluído no prazo e sem atrasos.

Vários atores estão envolvidos na fase de construção. É importante que os gerentes locais do governo local, todos os empreiteiros, subempreiteiros, fornecedores, técnicos e proprietários garantam a implementação tranquila de toda a construção. O empreiteiro EPC deve fornecer relatórios internos, semanais e de progresso ao proprietário. Ao fazê-lo, devem planejar e realizar inspeções de

qualidade, eles facilitam a detecção precoce de problemas que podem surgir durante a construção para evitar retrabalho ou reparos.

#### 7.4 TRABALHO PREPAROTÓRIOS DO LOCAL

A implantação do projeto começa com a preparação do canteiro, onde a EPC iniciará a construção das vias de acesso para entrega dos equipamentos, limpeza do canteiro e retirada de itens que possam interferir na construção. Normalmente, todas as atividades de limpeza do local, aterro, evacuação e remoção de detritos são realizadas nesta fase. Além disso, o empreiteiro EPC instalará segurança no local e escritórios de segurança, bem como cercas e portões

#### 7.5 ENTREGA DE MATERIAIS E ARMAZENAMENTO

A maioria dos flutuadores é moldada por sopro de polietileno de alta densidade. Soprados com ar ou espuma, eles ocupam muito espaço de armazenamento. Planejar cuidadosamente a entrega ideal dentro do prazo de instalação e garanta espaço de armazenamento adequado próximo ao local. Para grandes projetos, os produtores flutuantes precisam entregar em lotes. Isso ajuda a gerenciar o espaço de armazenamento no local, os prazos de entrega e os custos logísticos exorbitantes. O flutuador pode ser desmontado e armazenado no local de lançamento. Equipamentos elétricos como inversores, quadros de distribuição de baixa tensão e transformadores devem ser armazenados lugares abrigados para protegê-los de poeira ou chuva até que sejam necessários.

### 8 TESTE DE CAMPO E COMISSIONAMENTO

#### 8.1 VISÃO GERAL

Uma vez que o projeto esteja mecanicamente completo e conectado à rede, o teste e o comissionamento são realizados e observados por inspetores elétricos qualificados, como eletricitas licenciados e engenheiros profissionais certificados. Para um sistema de alimentação de eletricidade na grade, alguns documentos devem ser apresentados conforme especificado por norma ou regulamento onde o sistema está localizado.

A verificação do sistema envolve uma inspeção visual completa, seguida de uma verificação das medições elétricas para garantir sua conformidade com os requisitos do contrato EPC. Testes bem documentados e os relatórios de comissionamento servem como uma referência de linha de base para garantir que todos os componentes estejam funcionando de acordo com os cálculos e especificações do projeto.

## 8.2 MÓDULOS E INVERSORES SOLARES FOTOVOLTAICOS

Em nível de componentes, os módulos solares devem ser testados por laboratórios de teste credenciados sob normas relevantes, como IEC 61215, IEC 61730, entre outros. É preferível que os módulos sejam posteriormente certificados por um Organismo de Certificação ou Laboratório de Ensaio do Organismo de Certificação. Os desenvolvedores devem seguir os requisitos específicos do país. Embora não sejam obrigatórios, os certificados geralmente são um pré-requisito para obter financiamento de credores.

Os inversores devem estar em conformidade com os padrões da rede do país onde os sistemas estão localizados como bem como normas internacionais como IEC 60364, IEC 61000, IEC 61727, IEC 62109-1/2, IEC 62116, IEC 62920 e IEEE 1547. Enquanto ainda não existem normas nacionais, adotamos as internacionais. Os inversores devem atender requisitos de qualidade de energia de saída do país códigos de transmissão elétrica.

## 8.3 FLUTUADORES E ANCORAGENS

Os padrões internacionais para a fabricação e testes de campo de flutuadores e seus acessórios têm ainda a ser estabelecida, a indústria geralmente se refere a normas específicas do país. Por exemplo, tração dos flutuadores força e alongamento máximo foram testados no Japão de acordo com JIS K 6922-2. Geralmente, testes de laboratório independentes de terceiros também são aceitos. Engenheiros profissionais qualificados pelas autoridades do país conselho de engenheiros precisam endossar os cálculos de projeto, desenhos para a estrutura flutuante, para o sistema de amarração e ancoragem. A verificação é realizada durante a fase de teste e comissionamento contra esses documentos fundamentais.

## 8.4 PROTEÇÃO CONTRA SURTOS/RAIOS

O raio é um evento probabilístico específico do local e os níveis de mitigação de risco necessários são determinados com base sobre a matriz de risco de um projeto. Dispositivos de proteção contra surtos são usados em circuitos elétricos CC e CA para evitar surtos e picos elétricos, incluindo aqueles causados por um raio. Estes são ser instalado de maneira consistente com os padrões IEC e verificado durante os testes de campo e comissionamento.

Todos os condutores, como metal estrutural peças, molduras de módulos e caixas de junção, devem ser ligados e aterrados ao leito do reservatório/superfície da água para proteção contra descargas atmosféricas. Desde o sistema interno de proteção contra raios cobre apenas equipamentos e não pessoal, o trabalho em sistemas UFF deve não deve ser executado durante o mau tempo.

## 8.5 SISTEMA ELÉTRICO CC

Além das medições elétricas, verificações também são realizadas em conexões CC, incluindo o aterramento da estrutura do array, lances de cabos, e terminações CC, para garantir que foram instalados de acordo com o diagrama unifilar de o sistema elétrico.

Os dispositivos de proteção contra sobre corrente (fusíveis) devem ser instalados de acordo com a norma IEC 60364-4-43, se não tiver embutido no inversor.

Um isolador CC para desconectar os sistemas CC UFF deve estar disponível em um local acessível. Cabos de grau fotovoltaico com isolamento duplo devem ser usados para minimizar o risco de falhas de aterramento, curtos-circuitos, e choques elétricos. Todas as cadeias de cabos devem ser claramente rotuladas em seu ponto de terminação. As observações registradas devem ser incluídas nos relatórios de teste e comissionamento.

## 8.6 SISTEMA ELÉTRICO CA

As conexões CA devem seguir a IEC 62446-1 sempre que aplicável. No quadro de distribuição elétrica CA, no ponto de interligação, a eletricidade é fornecida a partir da rede com sistema UFF. Por essa razão, é importante ter todos



os dispositivos de isolamento e comutação conectados de forma que a instalação do UFF esteja conectada à carga e o fornecimento público (eletricidade da rede). Dispositivos de proteção contra surtos do CA também são instalados. Os isoladores devem ser fornecidos como medidas de fechamento de emergência. Em algumas jurisdições, dispositivos corrente residuais devem ser instalados em circuitos CA aos quais a energia solar os inversores estão conectados.

## 8.7 TESTES DE ACEITAÇÃO

A duração do teste de desempenho é especificada no contrato. Curto prazo testes fornecem indicadores iniciais de desempenho do sistema que pode ser usado como linha de base para resolver falhas ou melhorar o desempenho do sistema. Eles também ajudam determinar se o empreiteiro EPC pode começar a desmobilizar em antecipação ao início da fase O&M. Testes de desempenho de longo prazo são conduzidos para detectar outros problemas com sombreamento, sujeira, recortes do inversor e degradação de componentes.

Normalmente, todos os testes de comissionamento devem ser concluídos antes que o proprietário da usina possa começar a exportar eletricidade para a rede.

Depois de assegurado o desempenho, o projeto entra em Operação comercial. Isso marca o início de a fase de O&M, quando o empreiteiro de O&M assume para a vida útil do projeto.

## 9 POTENCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FLUTUANTES NAS PRINCIPAIS USINAS NO ESTADO DO PARANÁ

A Companhia Paranaense de Energia (Copel) possui parque gerador composto por 62 usinas próprias sendo: 18 hidrelétricas, 1 termelétrica e 43 eólicas (Copel, 2023). Infere-se, portanto, que a instalação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em áreas de reservatório da Copel é uma oportunidade de geração que pode complementar o potencial de geração dessas usinas.

A metodologia aplicada neste artigo focou nos dados das quatro maiores usinas hidrelétricas sob a concessão 100% Copel, ou seja, sem participação societária, são elas:

- Governador Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia);
- Governador José Richa (Salto Caxias);

- Governador Ney Braga (Segredo); e
- Governador Parigot de Souza (Capivari Cachoeira).

Na tabela (tabela 1), está constando as informações de potência instalada. A energia produzida coletada as informações na página do Operador Nacional do Sistema Elétrico <[http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-daoperacao/geracao\\_energia.aspx](http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-daoperacao/geracao_energia.aspx)> que foi feito uma média dos últimos 5 anos. Já que 2020 houve uma oscilação forte por causa da seca. Área do reservatório, para os cálculos, foi calculado para 10% da área. As informações da irradiação foram retiradas da página Atlas Brasileiro Energia Solar (LABREN), através localização da cidade aonde estão as usinas. Se a usina faz divisa municipal, foi feito média da irradiação das duas cidades.

Como o valor de irradiação é diária média, para chegar ao montante de energia anual, multiplica-se o resultado por 365 dias.

$$E = \frac{P_{fv} \cdot H_{tot} \cdot PR}{G} \times 365 \quad (1)$$

Onde:

E é a energia diária média a ser produzida, como quero anual multiplico 365 dias.

$P_{fv}$  é a potência FV;

$H_{tot}$  é a irradiação no plano do painel FV. Esse valor de irradiação é fornecido por meio da planilha da LABREN, através da localização do município;

PR é o Performance Ratio ou Taxa de Desempenho do sistema fotovoltaico, índice de mérito relacionado as perdas do sistema fotovoltaico como: sombreamento, perdas por efeito da temperatura nos módulos fotovoltaicos, sujeira, perdas de conversão de energias, entre outras. Neste estudo, para todas UFF, se admitiu a taxa de 0,80 ou 80%.

G é a irradiância nas condições padrão de teste padrão realizada em laboratório, ou seja, igual a 1.000 W/m<sup>2</sup>.

Para a potência de cada UFF foi considerada a utilização de módulos FV monocristalinos disponíveis no mercado nacional, com potência de típica igual a 690 Wp e dimensões iguais a 0,33cm x 130,3cm x 238,4cm (Altura x Largura x Comprimento), ou seja, com área efetiva igual a 3,1m<sup>2</sup>. Considerou-se como referência para o cálculo: área ocupada por um módulo fotovoltaico e a sua projeção

sobre o espelho d'água, instalação sobre o flutuador, somado a circulação e interconexão entre flutuadores, totalizam-se a área igual 4,66m<sup>2</sup> para cada módulo típico de 3,1m<sup>2</sup> de área efetiva. Devido a grande extensão da área dos reservatórios em estudo, e a mitigação de possíveis impactos socioambientais, foi utilizada para avaliação do potencial estimado de sistemas solares flutuantes apenas 10% da área de cada reservatório em estudo.

TABELA 1 - POTENCIAL ESTIMADO DE GERAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FLUTUANTES NAS PRINCIPAIS USINAS DA COPEL

Usina	Potência instalada (MW)	Energia produzida (GWh) Média últimos 5 anos	Área do reservatório (km <sup>2</sup> )	Área utilizada (10% do reservatório em m <sup>2</sup> )	Potência FV (MWp)	Irradiação no plano horizontal (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	Estimativa de Energia Produzida pela UFF (GWh/ano)	% estimativa de energia UFF relação Energia produzida
Gov. Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia)	1676	4389	140	14.000.000	2073	4,84	2930	66,8%
Gov. José Richa (Salto Caxias)	1240	3741	141	14.100.000	2088	4,96	3024	80,8%
Governador Ney Braga (Segredo)	1260	5077	80	8.000.000	1185	4,94	1709	33,7%
Governador Parigot de Souza (Capivari-Cachoeira)	260	933	14	1.400.000	207	4,01	243	26,0%
<b>Soma</b>		<b>14140</b>					<b>7907</b>	<b>55,9%</b>

FONTE: O autor (2023).

Analisando o potencial de geração fotovoltaica a partir de UFF, observa-se que para as usinas hidrelétricas da Copel selecionadas (Foz do Areia e Salto Caxias), mesmo utilizando apenas 10% da área alagada, a estimativa de geração resultou valores superiores a metade da média gerada na própria usina hidrelétrica nos últimos 5 anos. E mesmo nas usinas com reservatórios menores (Segredo e Capivari-Cachoeira), apesar da energia a ser produzido pela UFF ser inferior à produzida pelo gerador hidrelétrico, cerca de 33,7% e 26% respectivamente, representam parcela significativa da capacidade de produção da usina.

## 10 CONCLUSÃO

O meio ambiente está agora passando por mudanças climáticas e o mundo por mudança tecnológico. A necessidade de consumo de eletricidade do país cresce muito rapidamente a cada ano. Devido ao aumento da população nos grandes centros urbanos, ocorrem desenvolvimentos tecnológicos e expansão das cadeias de abastecimento, como indústria, comércio e agricultura. O efeito desse impacto sobre o meio ambiente no desenvolvimento do país.

A participação crescente de fontes renováveis de energia, como a solar fotovoltaica, tem contribuído para atender essa demanda sem causar um aumento significativo nas emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera. No entanto, grandes centrais fotovoltaicas necessitam uso de grandes extensões de terra acarretando impactos sociais e ambientais relacionados ao uso do solo.

A tecnologia de geração fotovoltaica flutuante é uma alternativa energética que reduz esse impacto uma vez que aproveita a superfície de reservatórios para implantação dos módulos fotovoltaicos usados na conversão da radiação solar em eletricidade. Além disso, as usinas fotovoltaicas flutuantes podem utilizar a infraestrutura de transmissão de energia já operacional para atender a central hidroelétrica e contribuir para armazenamento de água nos reservatórios em períodos prolongados de estiagem.

No que se refere ao potencial de utilização da UFF no estado do Paraná, o estudo realizado mostra que existe um grande potencial para implantação de um sistema híbrido (usina hidrelétrica - UFF) devido ao grande espelho d'água que existe, densa rede elétrica e bons níveis de irradiação no Estado.

Nas regiões Sul e Sudeste, especialmente no estado do Paraná, o valor das terras aumentou nos últimos anos devido à alta produtividade agrícola e ao aumento da commodity alimento. Portanto, considera-se que devem continuar os esforços para avaliar e pesquisar esta tecnologia, que oferece potenciais vantagens importantes como: Sinergia na utilização de sistemas de transmissão e distribuição na forma híbrida (usina hidrelétrica - UFF), redução de evaporação e economia de água não se dá apenas pela redução da evaporação, mas também pela retenção de água devido ao equilíbrio da produção de energia solar, fato muito importante para as regiões Sul e Sudeste, que vivenciam seca ano após ano, como em 2020.

O uso da tecnologia de painéis flutuantes para produção de energia oferece vantagens como redução da necessidade de terras, redução de potenciais impactos socioambientais devido à pressão sobre terras agrícolas e supressão de vegetação nativa, controle do crescimento de algas e redução da evaporação através de espelhos d'água.

Espera-se que os projetos nacionais de pesquisa e desenvolvimento em curso proporcionem uma melhor compreensão da eficácia do módulo, considerando o aumento dos custos do terreno que acompanhará a inevitável diminuição do custo deste sistema devido à sua utilização generalizada, espera que a viabilidade econômica desta tecnologia seja alcançada em breve.

## REFERÊNCIAS

BRASIL. MINISTÉRIO MINAS E ENERGIAS. **Brasil bate recorde de expansão da energia solar em 2023**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/brasil-bate-recorde-de-expansao-da-energia-solar-em-2023>. Acesso em: 05 nov. 2023.

IRENA. **Alcançado crescimento recorde em energias renováveis apesar da crise energética**. Abu Dhabi, 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Mar/Record-9-point-6-Percentage-Growth-in-Renewables-Achieved-Despite-Energy-Crisis>. Acesso em: 07 nov. 2023.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; de LIMA, F. J.L.; RÜTHER, R.; de ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; DE SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 2017

NEVES, C. E. T. das. **Análise de Viabilidade Técnica para a Instalação de Usinas Fotovoltaicas Flutuantes**. 2022. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Setor Automação e Sistemas de Energia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Energia, Curitiba, 2022.

SHARMA, P.; MUNI, B.; SEN, D. **Desing Parameters of 10kW floating solar power plant**. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET). National Conference on Renewable Energy and Environment (NCREE-2015), 2015.

SKJEVRAK, I.; DUE, A. K.; GJERSTAD, K. O.; HERIKSTAD, H. **Volatile Organic Components Migrating from Plastic Pipes (HDPE, PEX and PVC) into Drinking Water**. 2003. *Water Research* 37: 1912–20. Disponível em: [https://pdfs.semanticscholar.org/0931/93e85841ce907618acaa421c241e9cf74873.pdf?\\_ga=2.100371100.364104619.1536685622-1659952791.1536267867](https://pdfs.semanticscholar.org/0931/93e85841ce907618acaa421c241e9cf74873.pdf?_ga=2.100371100.364104619.1536685622-1659952791.1536267867). Acesso em: 09 nov. 2023.

WORLD BANK GROUP, ESMAP and SERIS. **Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report**. Washington DC, 2019. 131 p. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/31880/Floating-Solar-Market-Report.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 ago. 2023.

WORLD BANK GROUP, ESMAP and SERIS. **Where Sun Meets Water: Handbook for Practitioners**. Washington DC, 2019. 147 p. Disponível em: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/418961572293438109/pdf/Where-Sun-Meets-Water-Floating-Solar-Handbook-for-Practitioners.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2023.

YANG, C.; YANIGER, S.I.; JORDAN, V. C.; KLEIN, D.J.; BITTNER, G.D. **“Most Plastic Products Release Estrogenic Chemicals: A Potential Health Problem That Can Be Solved.”** 2011. *Environmental Health Perspectives* 119 (7): 989–96. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3222987/>. Acesso em: 09 nov. 2023.

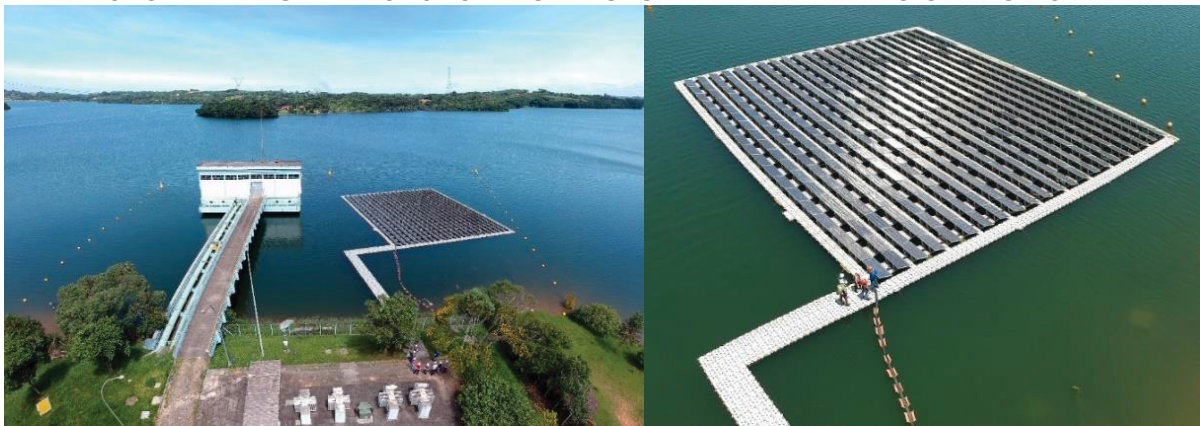
## ANEXO 1 - VISITA TÉCNICA INSTALAÇÕES DA UFF SANEPAR

Visita técnica às instalações da UFF SANEPAR, foi no dia 19/12/2023.

A UFF é operada pela Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná) tem capacidade de 130,68 kWp e está localizada instalada na região da captação da represa Passaúna. Está localizado no município de Curitiba, no estado do Paraná. Este é um P&D (projeto de pesquisa) no qual o objetivo é montar e testar para expandir o conhecimento e permitir melhorias futuras do sistema.

Ao contrário de outros geradores solares, que se conecta à rede de concessionárias, esta planta piloto está conectada um circuito auxiliar e, portanto, atende aos motores e bombas de captação de água, utilizando, desta forma, equipamentos de medição, proteção e controle existentes. Nas Figuras 1, 2 e 3 pode-se visualizar a UFF SANEPAR.

FOTOS 1 e 2 – USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE SANEPAR E O CAMPO SOLAR



FONTE: O Autor (2023).

FOTO 3 – VISTA SUPERIOR DA USINA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE



FONTE: O Autor (2023).

A superfície de instalação utilizada é de cerca de 1.500 m<sup>2</sup>, incluindo os painéis fotovoltaicos, flutuadores, a ligação à rede elétrica e a central de energia (eletrocentro) onde estão localizados os inversores fotovoltaicos, os sistemas de monitorização elétrica e meteorológica e os dispositivos de proteção elétrica.

FOTOS 4 e 5 – ELETROCENTRO DA UFF SANEPAR: POR FORA E POR DENTRO



FONTE: O Autor (2023).

FOTOS 6 e 7 – DENTRO DO ELETROCENTRO: INVERSORES E SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE



FONTE: O Autor (2023).

Grandes projetos da UFF costumam usar pequenas ilhas flutuantes com seu módulo fotovoltaico conectado a um inversor fotovoltaico, seja em um eletrocentro ou inversor modelo string. Esta é uma estratégia para economizar dinheiro. Utilização de cabos elétricos e redução de perdas na transmissão de energia. Uso também instalação de grandes inversores em usinas flutuantes. Neste caso, é necessário um maior controle de flutuabilidade para evitar tombamento. Por outro lado, a utilização de eletrocentros terrestres pode ser mais atrativa. Isto facilita o



acesso à manutenção e reduz os efeitos das intempéries nos dispositivos elétricos (ESMAP et al., 2019). A tabela 1 contém uma lista dos mais importantes equipamentos incluídos na UFF SANEPAR:

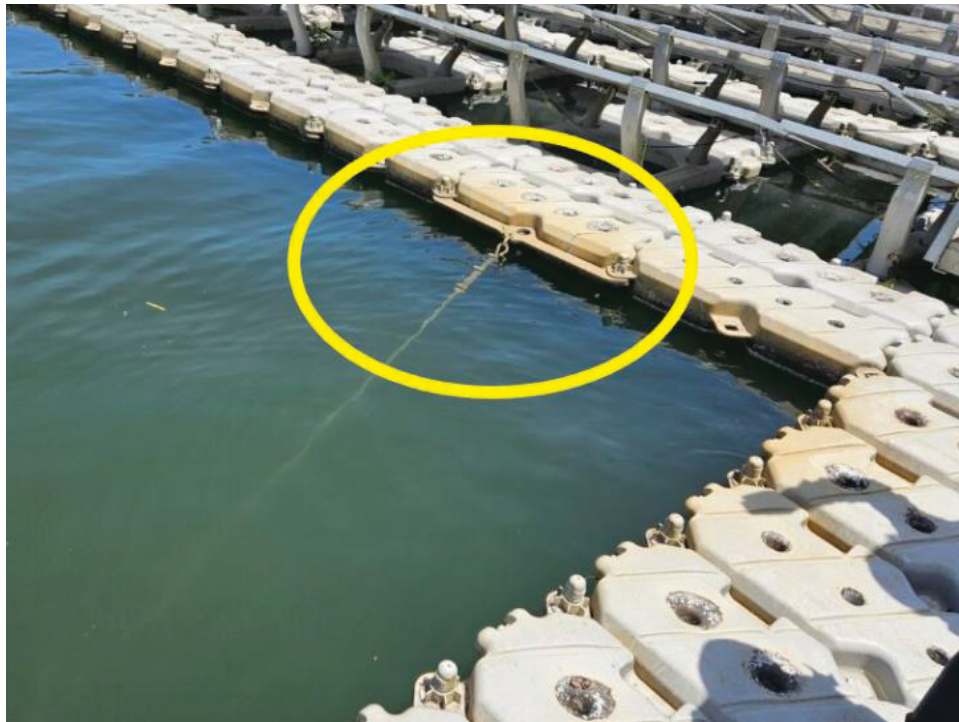
TABELA 1 – EQUIPAMENTOS UFF SANEPAR

<b>Característica da Usina Fotovoltaica Flutuante</b>	<b>Informações gerais</b>
Potência total lado CC	130,68 kWp
Potência total lado CA	110 kW
Módulos Fotovoltaicos (quantidade x potência)	396 x 330 Wp
Fabricante/Modelo Módulos Fotovoltaicos	JA Solar – JAP72S01 330/SC
Número de Inversores	02 unidades
Fabricante/Potência dos Inversores	Goodwe/50 kW e 60 kW
Tecnologia da célula fotovoltaica	Silício Policristalino – p-Si

FONTE: Neves (2022).

Sistema de ancoragem é montada nos componentes do sistema de amarração junto com o corpo flutuante sendo quatro pontos de ancoragem em cada lado. Tendo no total de 16 pontos de ancoragem. Material do cabo e a peça é em inox. A foto 8, mostra a peça de ancoragem.


FOTO 8 – SISTEMA DE ANCORAGEM



FONTE: O Autor (2023).

Flutuadores garante o suporte do módulo fotovoltaico sobre água e servem de plataforma de mobilidade na fábrica. Material HDPE do fabricante Mibet Energy, fácil de instalar e modularidade. A Tabela 2 contém imagens dos componentes flutuantes comuns e a foto 9 mostra o flutuador instalado UFF Sanepar.

TABELA 2 – COMPONENTES DE FLUTUADOR TÍPICO

Passarela/Passarela de manutenção	Flutuador principal
	
Perna dianteira	Perna traseira
	
Pino de conexão	Parafusos e porcas plásticas
	
Kit braçadeira	Parafuso sextavado
	

FONTE: Mibet Energy, 2024.

FOTO 9 – MÓDULO INSTALADO UFF SANEPAR



FONTE: Neves, 2019.