



## **Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES**

### **Estudo da Viabilidade Técnica de Implantação de Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes em Reservatórios de Usinas Hidrelétricas – Plataforma Fotovoltaica Flutuante de Sobradinho (BA)**

**PEDRO SINVAL FERREIRA RODRIGUES(1); EDUARDO BOUDOUX JATOBÁ(2); DOUGLAS BALDUINO GUEDES DA NOBREGA(3); JOSÉ BIONE DE MELO FILHO(4)  
CHESF(1);CHESF(2);CHESF(3);CHESF(4)**

#### RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma análise da metodologia empregada para a implantação do sistema fotovoltaico flutuante (etapa 1 MW) no lago da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, como fruto do projeto de P&D+I intitulado "Exploração de Energia Solar em Lagos de Usinas Hidrelétricas". O estudo tem o propósito de avaliar a complementariedade da geração solar fotovoltaica com a geração hidrelétrica, através da instalação de usinas flutuantes de energia solar fotovoltaica nos lagos das hidrelétricas de Sobradinho/BA (Chesf) e Balbina/AM (Eletronorte), focando em fatores como: capacidade de produção de energia; ganhos econômicos; ganhos em armazenamento da água do reservatório; impactos socioambientais; e oportunidades para redução de custos.

#### PALAVRAS-CHAVE

Usina Fotovoltaica Flutuante, Energia Solar, P&D, Usina Hidrelétrica, Reservatório

#### 1.0 - INTRODUÇÃO

Por várias décadas, a hidroeletricidade tem se destacado no cenário elétrico brasileiro e se consolidado como a principal fonte de geração do país, sendo responsável pela maior parte do atendimento ao mercado de energia nacional. No entanto, as crescentes restrições ambientais que têm se manifestado desfavoravelmente às hidrelétricas, estão contribuindo para a redução de seu potencial de geração e, conseqüentemente, para um aumento da vulnerabilidade do sistema elétrico brasileiro.

Um exemplo disso são as variações climáticas que, durante os períodos prolongados de baixa pluviosidade, afetam diretamente a capacidade de geração dessas usinas em razão da redução no nível de seus reservatórios, o que por sua vez acarreta em déficits na sua produção de energia. Para compensar essa redução, tem-se o acionamento das usinas térmicas que, devido ao seu alto custo de operação e produção, acaba encarecendo o valor das contas de energia e ainda contribui para o aumento do efeito estufa ao liberar grandes quantidades de gases poluentes na atmosfera.

Nesse contexto, torna-se importante e necessária a busca por alternativas e medidas que sejam capazes de mitigar os efeitos dessas restrições e, com isso, contribuir para o aumento da segurança energética do país e para minimizar os impactos ambientais provocados pela emissão de gases poluentes na atmosfera.

Uma alternativa que tem se mostrado bastante promissora para auxiliar e otimizar a produção de energia das usinas hidrelétricas é a aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes instalados sobre a superfície de seus reservatórios. A ideia é formar um sistema híbrido de geração elétrica a partir das fontes hidráulica e solar, capazes de operar de forma combinada e compartilhando da mesma infraestrutura de transmissão (já disponível para a

usina hidrelétrica), aumentando assim a eficiência de geração e trazendo uma maior segurança e confiabilidade para o sistema como um todo.

A quantidade de energia gerada por uma usina hidrelétrica (UHE) depende diretamente da quantidade de água acumulada em seu reservatório. Dessa forma, suas turbinas hidráulicas possuem uma maior disponibilidade durante períodos úmidos e uma geração mais limitada durante períodos secos. Por outro lado, a geração fotovoltaica é favorecida em períodos secos devido à ausência de nuvens, o que proporciona intervalos mais prolongados de irradiação contínua. Essas características, por sua vez, contribuem para uma possível complementariedade entre essas fontes ao longo das diferentes estações do ano, onde a geração solar durante o dia permite a economia de água nos reservatórios da hidrelétrica, a qual passa a ser utilizada durante o período noturno e em horários de ponta ao final do dia permitindo, assim, o atendimento aos picos de demanda e consequentemente reduzindo o consumo de água para tal.

Nesse sentido, conclui-se que a complementariedade dessas fontes de energia pode ser considerada bilateral, podendo ser avaliada tanto sob a perspectiva da geração fotovoltaica quanto sob a perspectiva da geração hidráulica. A curto prazo, a energia hidráulica auxilia na compensação da geração intermitente e variável da energia fotovoltaica e, a médio e longo prazo, a economia de água do reservatório em função da geração fotovoltaica durante o dia permite o atendimento aos picos de demanda de forma mais planejada e otimizada.

De modo geral, quanto maior a contribuição da energia fotovoltaica no sistema híbrido, menor a contribuição da energia hidráulica e, assim, maior a energia armazenada nos reservatórios, notadamente nos períodos secos. Da mesma forma, quando a geração fotovoltaica diminui em função da intermitência, a energia hidráulica pode rapidamente compensar essa redução, o que possibilita a obtenção de uma geração relativamente constante, confiável e despachável.

Além dos benefícios citados acima associados à operação combinada e à complementariedade existente entre a geração hidrelétrica e a fotovoltaica, existem ainda algumas vantagens interessantes que envolvem a aplicação de sistemas fotovoltaicos instalados sobre a superfície de reservatórios, dentre as quais se destacam as seguintes: redução do crescimento de algas e da temperatura da água em função da menor luminosidade incidente sobre o reservatório; maior eficiência, já que o arrefecimento causado pelo contato com a água reduz a temperatura dos módulos fotovoltaicos, o que incrementa sua eficiência; redução da evaporação da água ao absorver parte da radiação incidente; economia com a aquisição de terrenos para instalação dos painéis fotovoltaicos e preparação dos mesmos; grande disponibilidade e fácil acesso à água para realizar a limpeza dos painéis fotovoltaicos, melhorando sua eficiência; ausência de sombreamento causado por estruturas vizinhas.

## 2.0 - A PESQUISA

O projeto de P&D+I intitulado “Exploração de Energia Solar em Lagos de Usinas Hidrelétricas”, tem o propósito de avaliar a complementariedade da geração solar fotovoltaica com a geração hidrelétrica, através da instalação de usinas flutuantes de energia solar fotovoltaica nos lagos das hidrelétricas de Sobradinho (BA) e Balbina (AM).

O objeto da pesquisa é o estudo de fatores relacionados à interação da tecnologia de energia solar flutuante com a operação de uma usina hidrelétrica, focando em fatores como: a radiação solar incidente no local, sua produção de energia, seu transporte, instalação e fixação no fundo dos reservatórios ou margens; a complementariedade da energia gerada e o escoamento dessa energia no sistema de transmissão existente.

A pesquisa deverá contemplar o estudo do comportamento dessa aplicação na superfície dos reservatórios, os impactos ambientais decorrentes, o uso de materiais ecologicamente corretos e tecnicamente viáveis para reprodução em outros reservatórios.

Os estudos estão sendo liderados por pesquisadores das Universidades Federais de Pernambuco e Amazonas. As empresas Sunlution e WEG são responsáveis pela elaboração dos projetos e a especificação dos materiais e equipamentos para cada sistema fotovoltaico, assim como pela gestão do empreendimento durante a execução do P&D.

## 3.0 - PLATAFORMA FOTOVOLTAICA FLUTUANTE DE SOBRADINHO – METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO

A etapa inicial do projeto, que consiste na instalação de uma usina solar flutuante de 1 MW para a avaliação do fator de capacidade, já está sendo executada no reservatório da UHE de Sobradinho. Como o projeto trata de uma tecnologia pioneira e inovadora no país, muitos desafios de engenharia precisaram ser enfrentados e superados a fim de garantir uma solução técnica adequada e segura que permitisse a implantação do sistema num reservatório de usina hidrelétrica e que obedecesse a todos os requisitos exigidos para a operação nesse tipo de instalação.

Nesse contexto, apresentam-se a seguir os principais aspectos da metodologia adotada para a execução do projeto, detalhando as principais dificuldades enfrentadas e as soluções técnicas que foram adotadas para superá-las, a fim de garantir os melhores resultados para a pesquisa.

### 3.1 Usina Hidrelétrica de Sobradinho

O aproveitamento hidrelétrico de Sobradinho está localizado no estado da Bahia, distando cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro/BA e Petrolina/PE.

A Usina está posicionada no rio São Francisco a 748 km de sua foz, possuindo, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região.

O reservatório de Sobradinho tem cerca de 320 km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 km<sup>2</sup> e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos em sua cota nominal de 392,50 m, constituindo-se no maior lago artificial do mundo, garantindo assim, através de uma depleção de até 12 m, juntamente com o reservatório de Três Marias/CEMIG, uma vazão regularizada de 2.060 m<sup>3</sup>/s nos períodos de estiagem, permitindo a operação de todas as usinas da CHESF situadas ao longo do Rio São Francisco.

Compreendem o represamento de Sobradinho as seguintes estruturas: barragem de terra zoneada com 12.000.000 m<sup>3</sup> de maciço e altura máxima de 41 m e comprimento total de 12,5 km; casa de força com 6 unidades geradoras acionadas por turbinas Kaplan com potência unitária de 175.050 kW, totalizando 1.050.300 kW; vertedouro de superfície e descarregador de fundo dimensionados para extravasar a cheia de teste de segurança da obra; tomada d'água com capacidade de até 25 m<sup>3</sup>/s para alimentação de projetos de irrigação da região.

A energia gerada é transmitida por uma subestação elevadora com 09 transformadores monofásicos de 133,3 MVA cada um, que elevam a tensão de 13,8 kV para 500 kV.

A partir daí a conexão com o sistema de transmissão da CHESF é efetuada através da subestação seccionadora de Sobradinho 500/230 kV.

O município de Sobradinho está localizado na região nordeste do país, onde os níveis de radiação solar são bastante favoráveis para a produção de energia solar fotovoltaica.



FIGURA 1 - UHE Sobradinho.

### 3.2 Escolha do Local para Instalação do Sistema Fotovoltaico

Como se observa na FIGURA 2 a), a posição inicialmente considerada para a instalação da plataforma fotovoltaica flutuante seria, por questões de economia de cabos elétricos e conseqüentemente de redução das perdas elétricas associadas, o mais próximo possível da subestação da UHE Sobradinho, onde seria feita a conexão do sistema. Porém, estudos de batimetria realizados no local identificaram que a área escolhida não apresentava níveis satisfatórios de profundidade requeridos para a operação segura do sistema flutuante, o que inviabilizou sua instalação nessa região.

Diante do fato e com a análise batimétrica de novas áreas do lago, encontrou-se uma região situada na ombreira esquerda da barragem (FIGURA 2 b)) que possuía profundidade suficiente para assegurar a flutuabilidade da plataforma mesmo quando o lago atingisse sua cota mínima de operação.

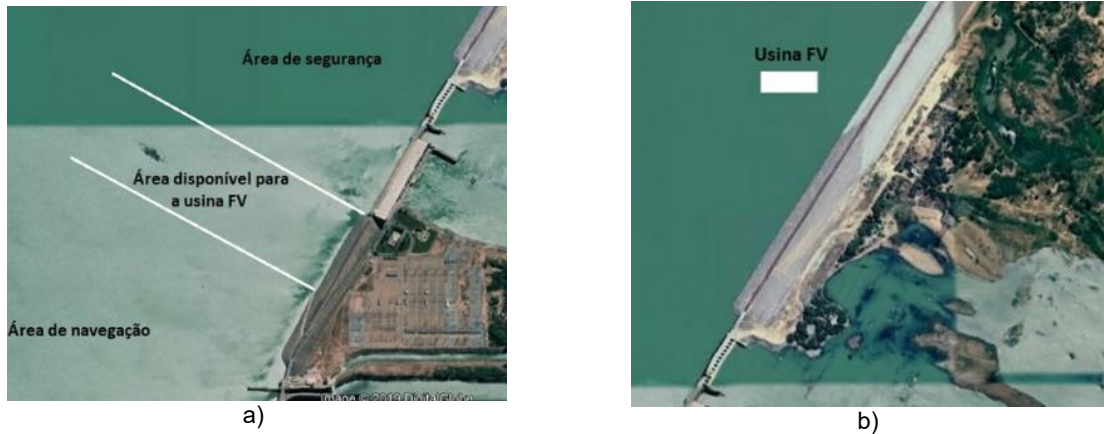


FIGURA 2 – a) Área prevista inicialmente para instalação da plataforma solar flutuante. b) Região verificada pela batimetria e adequada para instalação da plataforma flutuante.

Outra definição importante foi a escolha do local mais adequado para a instalação do eletrocentro, que é a sala elétrica onde ficam os inversores fotovoltaicos, transformador elevador para 13,8 kV, sistema supervisório e auxiliares da usina fotovoltaica (FV). Todos os dispositivos e equipamentos necessários para converter corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada e conexão à rede de média tensão estão localizados dentro do eletrocentro.

Preliminarmente, a posição que se considerou para a instalação do eletrocentro seria no lado jusante da crista da barragem, sobre uma estrutura de concreto armado que seria construída na interface crista-talude, conforme demonstrado na FIGURA 3 a).

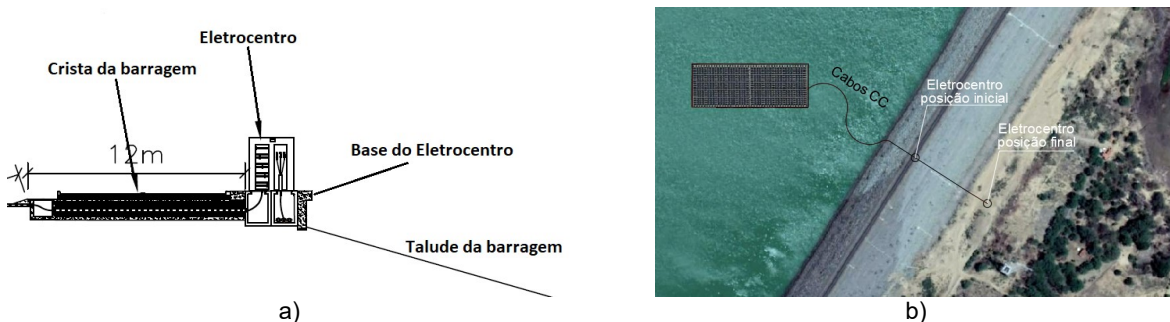


FIGURA 3 – a) Configuração preliminar para instalação do eletrocentro. b) Vista aérea mostrando o ponto inicial e o ponto que se mostrou mais adequado para a instalação do eletrocentro.

Porém, após uma análise mais aprofundada acerca dessa proposta, verificou-se que ela não seria adequada, já que a construção de uma estrutura/base para sustentação do Eletrocentro, que pesa 22 toneladas, sobre o talude (estrutura maciça composta por blocos de rocha compactados - enrocamento), exigiria a retirada de parte desses blocos de rocha e a realização de serviços de escavação no local, os quais violariam os requisitos de segurança de barragens. Além disso, a existência de tráfego constante de veículos leves e pesados sobre a crista da barragem traria riscos às instalações nesse local.

Devido ao elevado número de restrições verificadas para a instalação do eletrocentro sobre o maciço da barragem, a alternativa que se mostrou mais viável para sua alocação, foi numa área situada no lado jusante da barragem, conforme FIGURA 3 b). Essa solução não ofereceria riscos à barragem, porém aumentou a distância entre a plataforma FV flutuante e o Eletrocentro e, conseqüentemente, o comprimento e a seção dos cabos CC necessários para a conexão. Além disso, o novo local exigiu a construção de uma base de 4 m de altura para acomodação do eletrocentro, já que considerando a diferença entre a cota maximorum do lago no lado jusante e a cota do local de instalação, que é de 3,2 m, haveria o risco de inundação do eletrocentro caso esse fosse instalado próximo ao solo. A FIGURA 4 mostra o eletrocentro instalado sobre a base de concreto armado feita para sustentá-lo. Já a FIGURA 5, mostra a vista aérea da UHE Sobradinho evidenciando os principais pontos da planta FV.



FIGURA 4 – Eletrocentro instalado sobre sua base ainda em fase de construção.

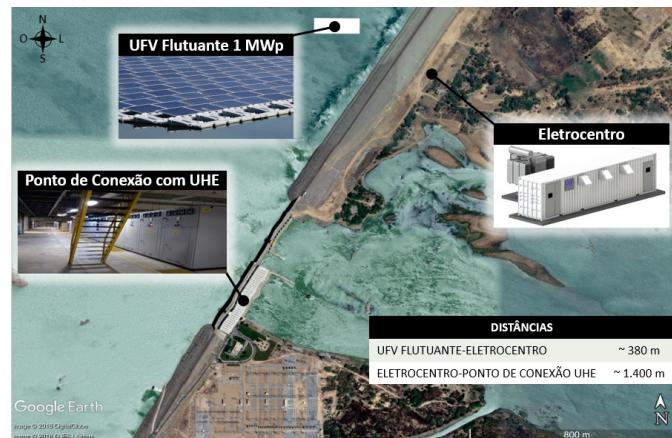


FIGURA 5 - Vista Aérea da UHE Sobradinho mostrando os principais pontos da instalação FV.

### 3.3 Estrutura Flutuante para Instalação dos Painéis Fotovoltaicos

Um dos fatores principais que atribuem um caráter inovador à pesquisa consiste justamente na instalação de sistemas fotovoltaicos sobre a superfície da água de um reservatório de UHE. Para tanto, se faz necessária a concepção de uma estrutura mecânica que seja capaz de garantir flutuação e estabilidade aos painéis fotovoltaicos sobre a superfície da água, além de resistir às condições ambientais desfavoráveis existentes no local como, por exemplo: níveis elevados de irradiação solar e de temperatura ambiente; fortes ventos e correnteza; ondas; chuva; características corrosivas da água; etc. Além disso, é importante que essas estruturas não ofereçam riscos para o equilíbrio físico-químico da água do reservatório e para a vida aquática local.

Nesse contexto, a pesquisa indicou como oportuno o uso da tecnologia flutuante Hydrelío®, desenvolvida e patenteada em 2011 pela empresa francesa Ciel et Terre. A tecnologia consiste em painéis fotovoltaicos montados em uma estrutura flutuante composta por vários flutuadores ligados entre si para formar uma grande plataforma solar sobre a superfície aquática. Os flutuadores Hydrelío® são feitos de HDPE (polietileno de alta densidade, reciclável), através de extrusão por moldagem a sopro.

Inicialmente, essas estruturas seriam importadas da França para serem aplicadas no projeto. Todavia, ao longo do desenvolvimento do P&D, a Sunlution, que é uma das empresas participantes dessa pesquisa e que possui parceria do tipo joint venture com a Ciel et Terre, verificou como vantajosa a produção no Brasil dessas estruturas. Sua fabricação no Brasil proporciona uma redução significativa nos custos relacionados com a importação dessas peças e ainda contribui para o desenvolvimento e disseminação dessa tecnologia no país, em conformidade com os objetivos do Programa P&D.

Diante disso, uma parte do cronograma de execução da pesquisa acabou sendo utilizada com as tratativas técnicas e administrativas necessárias para viabilizar a produção dos flutuadores no país como: escolha de empresa habilitada para produzir os flutuadores atendendo a todos os requisitos de projeto; escolha de empresa capaz de fornecer a matéria-prima necessária para a fabricação; confecção dos moldes das peças flutuantes para o processo de moldagem por sopro; ajustes no processo produtivo; testes e ensaios necessários para garantir a qualidade do produto; etc.

Os flutuadores então passaram a ser fabricados no Brasil por uma empresa localizada no município de Marília (SP), que atua no segmento de transformação de plástico, envolvendo as seguintes especialidades: embalagens para indústrias química, agroquímica, alimentícia; automobilístico e autopeças - componentes técnicos; agropecuária e laticínios; soluções logísticas; componentes técnicos feitos de borracha e cerâmica para indústrias de alta tecnologia. Em seu parque fabril, a empresa é capaz de executar oito processos de transformação: sopro, injeção, injeção espumada estruturada, extrusão, termoformagem, rotomoldagem, borracha e cerâmica.

Como se observa na FIGURA 6 a), o sistema Hydrelío® consiste em painéis solares FV montados em uma estrutura flutuante, composta por vários flutuadores ligados entre si para formar uma grande plataforma solar sobre a superfície aquática. A estrutura flutuante é composta também pelas peças de fixação dos painéis, das guarnições de borracha, dos pinos de ligação dos flutuadores, e demais materiais necessários para montagem da plataforma FV, conforme demonstrado na FIGURA 6 b).

O flutuador principal foi projetado para suportar o painel FV. Um perfil em T é criado durante o processo de fabricação, no qual os trabalhadores podem deslizar trilhos de montagem projetados para fixar o módulo fotovoltaico sobre o flutuador. Já o flutuador secundário, foi projetado para ligar os flutuadores principais e manter uma distância adequada entre as fileiras de módulos adjacentes de forma a evitar sombreamento. Além disso, ele serve de apoio para a circulação das equipes técnicas sobre a plataforma, com vistas à realização das atividades de limpeza e manutenção, por exemplo.

Os flutuadores são ligados uns aos outros com pinos de conexão, feitos de polipropileno reforçado. Em seu interior existe apenas ar e suas paredes possuem espessura de aproximadamente 3 mm. Além disso, os flutuadores são dotados de tampas valvuladas para aliviar os efeitos da dilatação térmica do ar em seu interior, de forma a evitar deformações que comprometam sua estrutura. Outro detalhe é que os flutuadores utilizados para acomodar os painéis FV possuem uma inclinação de 12°, valor adotado considerando as restrições das cargas de vento e para facilitar a autolimpeza realizada pelas chuvas.



FIGURA 6 – a) Visão esquemática da tecnologia flutuante Hydrelío®. b) Principais componentes do sistema Hydrelío®.

Fonte: Manual do Usuário – Tecnologia Hydrelío® (2017)

A fixação do painel FV é assegurada por um sistema projetado pela Ciel et Terre que se adapta às características do módulo (tamanho e características de moldura), e que evita qualquer carga sobre a moldura do mesmo. O sistema de fixação dos painéis solares nos flutuadores é composto pelas seguintes peças feitas de alumínio 6060:

- 4 trilhos de montagem para assegurar a conexão entre a moldura do módulo FV e cada um dos 4 perfis em T do flutuador principal que suporta o módulo;
- 2 ou 4 conjuntos de aperto para fixar a moldura do painel contra o trilho e garantir que o painel não se solte da estrutura;
- Acessórios do conjunto de aperto, como parafusos e porcas, e junta flexível, entre o trilho de montagem e a estrutura do painel FV;

#### 3.4 Simulações PVSyst

A simulação da geração de energia para esse projeto foi feita utilizando o software PVSyst. A seguir, tem-se a tabela com um resumo do sistema e dos parâmetros de simulação:

LOCALIZAÇÃO			
MUNICÍPIO	Sobradinho, BA	POTÊNCIA NOMINAL DO PAINEL	265 W
LATITUDE	9.4°S	POTÊNCIA DO ARRANJO	1005 kW
LONGITUDE	40.8°O	POTÊNCIA DO ARRANJO EM CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO	898 kW (50°)
DADOS METEOROLÓGICOS	Sintético – Meteonom 7.1	UMPP	657 V
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO		IMPP	1366 A
ORIENTAÇÃO DOS PAINÉIS	12°	ÁREA DE MÓDULOS	6325 m <sup>2</sup>
SOMBREAMENTO	Sim, dos próprios painéis um sobre o outro	INVERSOR	
CARACTERÍSTICAS DO ARRANJO FOTOVOLTAICO		MODELO INVERSOR	SIW700-T1300
NÚMERO DE MÓDULOS EM SERIE	24	TENSÃO DE OPERAÇÃO	540-850 V
NÚMERO DE CONJUNTOS (STRINGS)	158	POTÊNCIA NOMINAL	1250 kWAC
NÚMERO DE MÓDULOS	3792	NÚMERO DE INVERSORES	1
MODELO PAINEL	Canadian Solar CSP6-6		

FIGURA 7 – Resumo do sistema e dos parâmetros de simulação utilizados no PVSyst.

Levando em consideração os parâmetros acima mencionados, a simulação calculou uma produção anual de 1.654 MWh para a planta de 1 MW.

### 3.5 Sistema de Ancoragem

Os sistemas flutuantes são estruturas complacentes, já que possuem a característica de apresentar grandes deslocamentos quando submetidos à ação de cargas ambientais. Dessa forma, torna-se necessária a utilização de um sistema de ancoragem que limite tais deslocamentos a níveis aceitáveis, respeitando ao mesmo tempo a mudança de nível da água do reservatório e sendo resistente às cargas geradas pela a ação dos ventos e correnteza.

O sistema de ancoragem é um conjunto de linhas de amarração compostas por diferentes materiais (correntes, cabos de aço, manilhas, etc.) e âncoras ou estacas, que transferem os esforços que agem sobre a plataforma para o solo.

Os principais fatores que influenciam a escolha da ancoragem são: direção e intensidade dos ventos e da correnteza; profundidade do reservatório; variação de nível d'água; tipo de solo do fundo do lago; características químicas da água; exigências específicas do local.

A proposta preliminar considerada para o sistema de ancoragem da plataforma fotovoltaica de Sobradinho levava em conta o uso de âncoras do tipo estaca metálica, cabos, manilhas e correntes de aço, conforme esquema apresentado na FIGURA 8 a). A corrente do sistema de ancoragem é conectada na barra de difusão (FIGURA 8 b)), que evita a danificação dos flutuadores pela tensão exercida sobre elas. Cada ponto de ancoragem no leito do reservatório é conectado a uma barra de difusão fixada na plataforma FV.

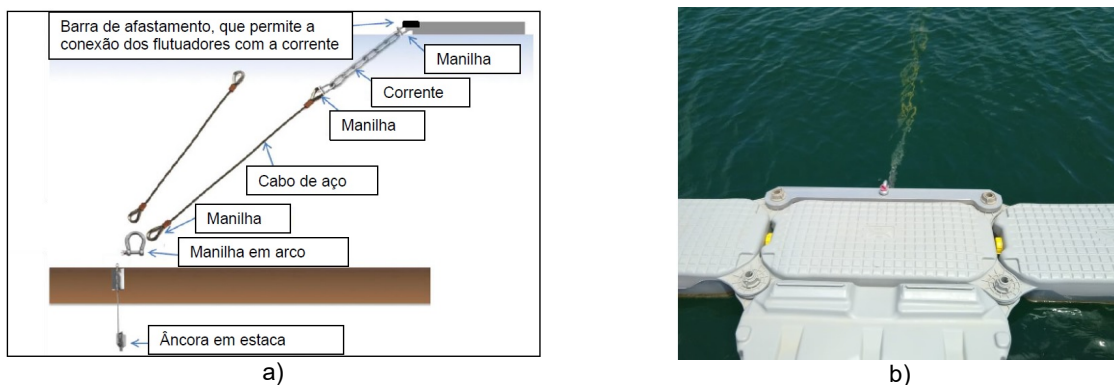


FIGURA 8 – a) Visão esquemática do sistema de ancoragem proposto inicialmente para o projeto. b) Barra de difusão.

Porém, com o início da primeira etapa do projeto e a realização dos primeiros produtos que compõem a mesma (Pré-projeto Básico, Projeto de Ancoragem e Projeto Executivo), verificou-se que a alternativa tecnológica inicialmente considerada não seria a mais adequada para a aplicação desejada no projeto, pois estudos limnológicos realizados na água do lago de Sobradinho indicaram um alto índice de pH e outros elementos químicos que tendem a acelerar o processo de corrosão em metais.

Além disso, considerando as dimensões da plataforma flutuante, que na potência final de projeto (5 MW) ocupará uma área de aproximadamente 54 mil m<sup>2</sup>, constatou-se que seria necessária a instalação de uma grande

quantidade de estacas de aço para suportar as forças provocadas pela ação do vento e da correnteza da água do reservatório. Porém, para garantir a correta fixação das estacas no fundo do lago, seria necessária a realização de sondagem em todos os pontos que seriam utilizados para a fixação, o que implicaria num aumento significativo nos custos de instalação.

Diante dessas observações e buscando garantir um melhor desempenho e durabilidade para o sistema de ancoragem, optou-se por substituir a alternativa tecnológica inicialmente considerada e utilizar uma nova concepção técnica capaz de atender a todos os atuais requisitos técnicos e de segurança necessários para assegurar a adequada instalação e operação do Sistema Fotovoltaico Flutuante.

Conforme demonstrado na FIGURA 9 e FIGURA 10 a), o novo sistema faz uso de 34 blocos de concreto armado com dimensões de 2,0x2,0x0,73 m e peso aproximado de 7.000 kg distribuídos e fixados nas faces da plataforma (12 na face sul, 08 na face norte, 07 na face leste e 07 na face oeste), cabos de amarração em poliéster, boias em PVC (para manter os cabos sempre tensionados e permitir uma distribuição mais uniforme das cargas), correntes e manilhas de aço com dupla galvanização, proporcionando ao sistema de ancoragem a capacidade de atingir uma vida útil muito mais longa do que a alternativa prevista inicialmente e de suportar todas as cargas provocadas pelo vento, ondas e correntezas. Com a adoção da nova tecnologia de ancoragem, a pesquisa apontou que essa seria a alternativa mais eficiente para o projeto, considerando os requisitos e riscos inerentes à implantação, identificada pelos estudos.

Outros fatores importantes que necessitaram ser revisados foram a logística e os procedimentos de instalação necessários para o transporte e lançamento desses blocos de ancoragem nas coordenadas georreferenciadas especificadas em projeto que, devido ao elevado peso e também à distância de aproximadamente 4 km entre o local de instalação e o local que se mostrou mais favorável para a fabricação dos blocos, exigiram a escolha de empresa especializada nesse tipo de serviço e com equipamentos capazes de efetuar todos os procedimentos de instalação necessários e com o alto nível de segurança exigido para os trabalhos realizados em reservatórios de usinas hidrelétricas.

Na FIGURA 10 b), observa-se a plataforma FV flutuante de 1 MW montada e ancorada no reservatório da UHE Sobradinho.

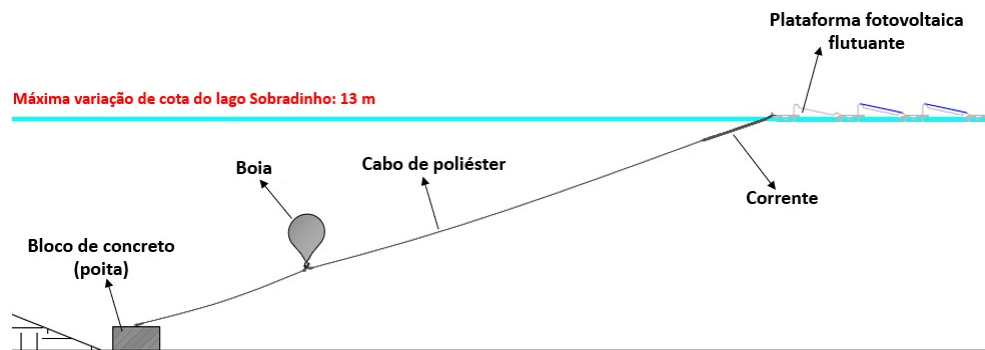


FIGURA 9 – Visão esquemática do sistema de ancoragem utilizado para o projeto.



FIGURA 10 – a) Principais componentes do sistema de ancoragem adotado no projeto. b) Plataforma fotovoltaica flutuante de 1 MW montada e ancorada no reservatório da UHE Sobradinho. – Fonte G1 Bahia. Foto: Felipe Pereira/TV São Francisco



### 3.4 Sistema de Transmissão

Para a transmissão da energia elétrica gerada pela usina FV até o seu ponto de conexão com o sistema da UHE, foram utilizados os seguintes trechos:

1 – Trecho de baixa tensão (734,4 V) em corrente CC entre a plataforma FV flutuante e o eletrocentro;

2 – Trecho de Média Tensão (13,8 kV) em rede aérea entre o eletrocentro e o início do trecho subterrâneo;

3 – Trecho subterrâneo entre o final da rede aérea e o cubículo situado na Casa de Máquinas da UHE, onde será feita a conexão do sistema FV.

### 4.0 - CONCLUSÃO

Do exposto no presente Informe Técnico, conclui-se que a tecnologia fotovoltaica flutuante instalada em reservatórios de usinas hidrelétricas para operação combinada e complementar à hidroeletricidade representa uma potencial alternativa para compensar os pontos de vulnerabilidade da geração hidroelétrica e otimizar a produção de energia de ambos os sistemas. Com o desenvolvimento do projeto de P&D+I intitulado “Exploração de Energia Solar em Lagos de Usinas Hidrelétricas”, essa concepção técnica poderá ser melhor avaliada através dos estudos e análises contemplados pela pesquisa, a fim de verificar o seu real desempenho e comprovar os patamares de viabilidade dessa tecnologia para aplicação em escala comercial.

### 5.0 - AGRADECIMENTOS

Os desenvolvimentos apresentados neste Informe Técnico são oriundos do projeto de P&D+I “Exploração de Energia Solar em Lagos de Usinas Hidrelétricas” desenvolvido com recursos do Programa de P&D da ANEEL pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF em parceria com a Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A – ELETRONORTE, Sunlution Soluções em Geração de Energia Ltda, WEG Equipamentos Elétricos S/A, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE e Fundação de Apoio Institucional Rio Solimões – UNISOL. Agradecemos à ANEEL, aos técnicos de todas as instituições envolvidas e à Assessoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – AEP da Chesf.

### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AHLERT, V. S. C. Aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidrelétricas – Estudo de caso em uma hidrelétrica brasileira. 2017. Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2017.
- (2) ALENCAR, C. A., STEDILE, R., JUNIOR, J. U. Estudo da Complementariedade da Geração de Energia entre as Fontes Solar e Hidráulica. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.
- (3) BORBA, R. A., NOVAK, L. H. Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes: Aspectos Positivos e Desafios. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Gramado, 2018.
- (4) Cenário de baixa hidrologia para o setor elétrico brasileiro (2016-2030): impacto do clima nas emissões de gases de efeito estufa (sumário executivo). Brasília: Banco Mundial, 2017.

### 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Pedro Sinval Ferreira Rodrigues

Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2010), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2013).

Trabalha desde junho/2016 na Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - Chesf, no Departamento de Engenharia de Geração Solar, onde atua como engenheiro de projetos de geração solar e eficiência energética.

Publicações:

RODRIGUES, P. S. F. ; Silva, Z. E. ; Diniz, P. M. ; Andrade, J. S. . Caracterização térmica de materiais semitransparentes utilizando o método flash. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM, 2012, São Luís. CONEM 2012, 2012.