

ASPECTOS AMBIENTAIS, DE LICENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE IMPLANTAÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES NO ESTADO DO PARANÁ

Soraia Giordani – soraia.giordani@copel.com

Cícero Martins Júnior - cicero.martins@copel.com

Carlos Eduardo Teixeira das Neves – carlos.teixeira@copel.com

Companhia Paranaense de Energia -Copel

Jair Urbanetz Junior - urbanetz@utfpr.edu.br

Joel Claudiano da Silva – joel.claudiano@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Programa de Pós Graduação em Sistemas de Energia - PPGSE

Resumo. *Este artigo traz enfoque para geração solar fotovoltaica utilizando painéis flutuantes, abordando aspectos ambientais através do levantamento do estado da arte sobre avaliação dos impactos potenciais deste tipo de geração solar. O mesmo artigo apresenta ainda avaliação dos aspectos legais envolvidos no que se refere ao licenciamento de usinas fotovoltaicas, com enfoque para usinas flutuantes no estado do Paraná. Por fim, é realizada avaliação do potencial de implantação de Usina solares através de módulos flutuantes neste estado com enfoque especial para as Usinas de maior potência instalada de concessão da Copel e Usina de Itaipu. Os resultados apontam que para o ano de 2020, em algumas usinas foi observado um potencial de geração de energia solar flutuante, inclusive superior à própria geração hidrelétrica, revelando o grande potencial de aplicação desta tecnologia no estado do Paraná.*

Palavras-chave: *Usina Fotovoltaica Flutuante, Licenciamento Ambiental, Aspectos Ambientais.*

1. INTRODUÇÃO

O Atlas Brasileiro de Energia Solar ratifica o entendimento comum do grande potencial da geração fotovoltaica de energia elétrica no Brasil, indicando que mesmo no local menos ensolarado do Brasil é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, onde esta tecnologia já representa 12,4% da matriz elétrica contra 1,7% identificado para o Brasil (Pereira *et al.*, 2017).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão (PDE, 2030), documento informativo elaborado anualmente pela EPE com diretrizes e apoio à Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE/MME), de fevereiro de 2021, no Brasil, Usinas fotovoltaicas passaram a ser contratadas a partir de 2014 nos Leilões de Energia de Reserva, e até o Leilão de Energia Nova A-6 de 2019 foram contratados cerca de 160 empreendimentos, o que corresponde a uma capacidade instalada de aproximadamente 4,8 GW. Essas usinas concentram-se nas regiões Nordeste e Sudeste, principalmente Minas Gerais, São Paulo, Ceará, Piauí, Pernambuco e Bahia, que somaram aproximadamente 90 % das contratações realizadas para a fonte solar até 2019, (PDE, 2030). Todavia a tecnologia solar fotovoltaica segue em acelerada expansão nos últimos leilões. No caso específico da tecnologia solar fotovoltaica flutuante, foi considerada pela primeira vez no PDE 2030, com diferenças de custos e produção energética em relação aos projetos convencionais.

Um aspecto relevante de usinas fotovoltaicas flutuantes (UFFs) é a possibilidade de combinar a tecnologia solar e hidrelétrica, otimizando os sistemas de geração e transmissão da energia. Ademais estes sistemas flutuantes vêm sendo estudados e instalados em diversos países, principalmente em função das restrições de terras aptas à instalação de sistemas fotovoltaicos convencionais, além da acelerada elevação do custo da terra, fato também presente em algumas regiões do Sul do Brasil.

Adicionalmente vários projetos de P&D vêm sendo desenvolvidos no âmbito nacional, muitos deles focados na utilização dos reservatórios existentes, principalmente os de geração hidrelétrica. Todavia, por se tratar de uma nova tecnologia, impactos socioambientais, vantagens e desvantagens, assim como os benefícios destes sistemas prescindem de mais estudos, sendo que os projetos de pesquisa em curso, certamente contribuirão no entendimento das questões envolvidas, permitindo assim uma análise mais adequada desta tecnologia.

EPE (2020), cita que diversos estudos sobre usinas fotovoltaicas flutuantes indicam as vantagens de ganho de eficiência em função da menor temperatura de operação, redução de perda por sombreamento e poeira, além da potencial redução da evaporação dos reservatórios. Por outro lado, algumas desvantagens também são abordadas, como os potenciais impactos aos organismos aquáticos, o acúmulo de detritos de pássaros e sujidade, entre outros levantados naquele documento.

Considerando apenas as quatro grandes Usinas Hidrelétricas da Copel no Estado do Paraná, cujos reservatórios possuem áreas superiores a 10 km², temos um conjunto que representa um espelho d'água total de aproximadamente 375 km². Apenas por este fato, o Estado torna-se promissor para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento dos atuais reservatórios para implantação de Usinas Fotovoltaicas Flutuantes (UFF). Este artigo apresenta a hipótese de aproveitamento de 10% da área dos reservatórios citados no estudo, visando avaliar o potencial a ser instalado em UFF, bem como a energia potencial de ser produzida por estas usinas.

Com base nesta promissora perspectiva de implantação de UFF no estado do Paraná, este artigo aborda aspectos ambientais e de licenciamento referentes a projetos desta natureza, assim como um aprofundamento do entendimento sobre as perspectivas de implantação destes sistemas no estado do Paraná.

2. ESTADO DA ARTE SOBRE AVALIAÇÃO DE ASPECTOS AMBIENTAIS CORRELATOS À GERAÇÃO FOTOVOLTAICA FLUTUANTE

As UFFs surgem como um novo conceito de geração solar, cuja grande vantagem é reduzir a demanda por terra e minimizar potenciais impactos socioambientais decorrentes como a pressão sobre terras agricultáveis, a supressão de vegetação nativa, interferências na fauna e flora, entre outros. Todavia, há efeitos a avaliar sobre os meios, físico, biótico e social, como por exemplo, impactos potenciais à qualidade da água, às taxas de evaporação, à paisagem, questões de segurança, lazer e turismo, dentre outros, os quais devem ser devidamente identificados, mitigados e/ou compensados quando necessário.

Ao analisar estes impactos por meio de modelagem matemática para o reservatório de Rapel-Chile, Haas *et al.*, (2020) compararam os efeitos da eventual cobertura do espelho d'água pelos painéis sobre a concentração de clorofila-a, utilizada como indicador da floração de cianobactérias. Seus resultados apontam que até 40 % de cobertura não representaria alteração significativa nas concentrações de clorofila-a. Entre 40 e 60 %, a cobertura pelos painéis tenderiam a limitar gradualmente o desenvolvimento de algas, e a promover sua erradicação quando acima de 60 %. Acima deste percentual, em outro aspecto, observaram que a possibilidade de encalhe das estruturas flutuantes obrigaria a uma limitação operacional do reservatório, que poderiam corresponder a perdas de energia hidráulica. Concluem, portanto, que para o caso em análise, o percentual entre 40 e 60% seria o ideal para permitir gerar energia fotovoltaica sem perdas hidroenergéticas, evitando também um potencial desequilíbrio das cadeias tróficas pela erradicação de algas.

Stiubiener *et al.*, (2020) apontam que devem ser considerados, a par dos aspectos técnicos e econômicos, vários impactos socioambientais. Segundo os autores, dentre estes estão os impactos visuais, que podem ser tidos como subjetivos, variando de pessoa a pessoa, mas na hipótese de adotar a cobertura de somente uma porção da superfície do lago, este impacto sobre a beleza cênica seria reduzido. Quanto à segurança devido ao risco elétrico, afirmam que ainda não há estudos ou padrões específicos, mas é necessário estabelecer áreas restritas à navegação, considerando riscos de curto-circuito por acidentes nas estruturas da UFF. Estes aspectos também afetam o turismo e lazer: as áreas na vizinhança da usina hidrelétrica já são bloqueadas para uso, mas no caso de a área se estender é necessário considerar impactos às comunidades, a fim de estabelecer rotas de navegação, áreas de pesca, de lazer e turismo. Especificamente com relação à qualidade da água, Stiubiener *et al.*, (2020) reforça a inexistência de impactos negativos reportados, apesar de empreendimentos ainda serem recentes, destacando que os materiais dos flutuadores e painéis, usualmente não são contaminantes, e que o sombreamento pode afetar positivamente a fauna e flora, além de reduzir evaporação. Citam ainda que apesar do sombreamento, nunca há bloqueio total da incidência de luz na superfície da água, permitindo a limitação de floração de algas, sem sua extinção. Da mesma forma, em relação à fauna, não foram reportados prejuízos em lagos com peixes. Pelo contrário, registram-se alguns casos de preferência dos cardumes pelas áreas sombreadas. Os autores afirmam que não há registro de alteração de hábitos e rotas de migração de avifauna, muito embora outros estudos destacam a possibilidade de uso das áreas de painéis pelas aves, inclusive causando a necessidade de maior manutenção, pela presença de dejetos destes animais (EPE,2020).

Por sua vez, Baradei e Sadeq, (2020), por meio de modelagem matemática de vários parâmetros de qualidade da água para a cobertura de um canal de 50 km no Egito, concluem que a cobertura por painéis fotovoltaicos tende a promover reduções das concentrações de oxigênio dissolvido (OD) e clorofila-a e, conseqüentemente, impactos sobre as concentrações de nutrientes e fósforo. Comparando com padrões da FAO para qualidade d'água, verificam que, no cenário simulado, algas, nutrientes, fósforo, pH e alcalinidade manteriam-se dentro dos limites para irrigação. No entanto, para garantir os padrões de OD, considerando uma mínima evaporação e máxima geração de energia fotovoltaica, por meio de um estudo de otimização verificam que a cobertura ótima seria de 50% para manter a qualidade da água para irrigação, e 32,8% para abastecimento.

Considerando a necessidade de ações urgentes para mitigar a crise climática, em linha com o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7), “acesso à energia acessível, confiável, sustentável e moderna para todos”, Exley *et al.a*, (2021), pondera que a energia fotovoltaica tem despontado como oferta de energia de baixo carbono, devido sua viabilidade global e escalabilidade. Ainda, como esforço para superar o potencial conflito entre produção agrícola (ODS 2 - fome zero) e o uso de terras para energia fotovoltaica, surgiram em 2007 as primeiras instalações de UFFs. Devido à taxa atual de implantação destes sistemas, os autores afirmam que é urgente a necessidade de maior compreensão dos efeitos potenciais destes empreendimentos sobre os corpos hídricos, em relação aos processos físicos, químicos e biológicos, a fim de evitar impactos negativos e maximizar efeitos positivos. Destaca também que, devido aos usos múltiplos dos corpos hídricos, incluindo UFFs, é extremamente importante captar as perspectivas e experiências de todas as partes interessadas, desde gestores dos reservatórios, usuários para lazer e turismo, ambientalistas, autoridades, etc., considerando que as UFFs podem ser benéficas ou não para os serviços ecossistêmicos. Em outro artigo, Exley *et al.b*, (2021) apresentam resultados de modelagem matemática através da qual discutem as alterações da estratificação térmica de reservatórios, em função da redução da velocidade do vento combinada com a diminuição da luminosidade produzida pelas UFFs. Os resultados do estudo apontam que baixas taxas

de cobertura do espelho d'água possuem impactos mínimos e podem favorecer a qualidade da água. Ainda, que os impactos da cobertura do reservatório podem ser tão ou mais influentes do que os causados pelas mudanças climáticas globais, o que constitui o uso de UFFs como ferramentas para lidar com estas mudanças, e permitir o manejo da qualidade da água. Com isso, destacam a necessidade de projetos adequados para mitigar a probabilidade de anoxia no hipolimnio e aperfeiçoar mudanças na composição das comunidades fitoplantônicas, considerando as mudanças que podem ser provocadas na estrutura térmica dos reservatórios com UFFs.

Isto posto, a implantação de UFFs de maneira sustentável dependerá de um processo que combine a viabilização dos empreendimentos com uma articulação próxima com todas as partes interessadas, ao passo em que se aprimore o conhecimento sobre a interação deste tipo de empreendimento com as características ambientais no Estado. Considerando a existência de grandes reservatórios no Paraná, é natural que projetos pilotos sejam implementados paulatinamente, permitindo uma melhor compreensão dos potenciais impactos, visando à minimização de potenciais danos e à otimização dos efeitos positivos.

Ainda, avalia-se que para uma lógica de hibridização da produção energética, utilizando os sistemas de transmissão de energia já instalados para as UHEs, a implantação de UFFs nos reservatórios analisados neste artigo deva ser planejada de modo a ocupar um percentual do espelho d'água abaixo da cobertura do corpo hídrico a partir da qual, segundo a literatura consultada, possam ser observados impactos significativos à qualidade da água. Ressalta-se a necessidade de que a elaboração dos projetos seja capaz de modelar, nestas áreas cobertas, as possíveis alterações que afetem a disponibilidade de OD e sua relação com os ecossistemas aquáticos, buscando garantir a segurança destes e o aproveitamento da possibilidade de manejo da qualidade da água para a redução de eventuais impactos da mudança climática global.

De toda forma, considerando os usos múltiplos dos reservatórios, devem ser cuidadosamente avaliados os potenciais impactos sobre as comunidades do entorno, tanto nas áreas utilizadas para atividades de pesca, lazer e turismo, bem como os possíveis impactos à paisagem.

Outro aspecto relevante diz respeito à aplicabilidade da proposta do uso de UFFs como formas de reduzir o conflito com o uso de terras agricultáveis. No início de 2020, a Empresa de Pesquisa Energética, em Nota Técnica a respeito de UFFs, ponderou que em outros países a implantação desta tecnologia se deu por limitações de espaço ou para evitar custos com aquisição de terras e que, “dada a elevada disponibilidade de terras no Brasil, a custos baixos nas regiões de melhor irradiação, esse tipo de vantagem fundiária não é tão relevante” (EPE, 2020). Porém, para o caso do Paraná, que possui níveis de irradiação significativos, assim como para o restante da região Sul e para a região Sudeste, deve-se levar em conta que a alta densidade demográfica e a existência de atividades agrícolas intensivas tornam crescente o custo da terra, aproximando a situação local do cenário que propiciou o surgimento de UFFs em outros países.

3. ARCABOUÇO LEGAL PARA O LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE USINAS FOTOVOLTAICAS FLUTUANTES NO ESTADO DO PARANÁ

Apesar dos impactos de sistemas solares flutuantes serem potencialmente menos relevantes em relação aos sistemas terrestres, é necessário o desenvolvimento do processo de licenciamento ambiental de forma a proporcionar que este realize a correta identificação, monitoramento e mitigação dos impactos negativos, assim como potencialização de impactos positivos.

O porte do empreendimento, as características de cada ecossistema aquático, aspectos socioambientais do entorno, usos existentes e previstos para o reservatório, devem orientar o órgão ambiental em relação a necessidade e complexidade de estudos a serem desenvolvidos, e programas de mitigação a serem propostos. Há que se considerar ainda a necessidade de emissão de autorizações específicas tais como outorga de uso da água, submissão do projeto à Marinha, além de outras questões que podem surgir com eventual envolvimento de órgãos diversos.

Considerando o contexto nacional, observa-se que o Brasil, possui diversas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), abrangentes que podem ser aplicáveis a sistemas solares flutuantes, pois estas abarcam qualquer tipologia de empreendimentos, sendo que algumas tem enfoque na geração de energia elétrica, tais como a resolução CONAMA nº 1/1986, 237/1997 e 279/2001. Destas resoluções a 279/2001, é a que mais se aproxima do regramento para Usinas solares flutuantes, dado que esta define procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto ambiental.

Segundo levantamento de (Eletrobras e EPE, 2021), até maio de 2021, 21 dos 27 estados do Brasil já editaram normas específicas sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos solares ou estão realizando procedimentos de licenciamento ambiental. Todavia a consulta a estes regramentos revelam que os mesmos foram construídos, visando o licenciamento de sistemas terrestres, sendo raros os que tratam da questão de sistemas solares flutuantes.

No estado do Paraná, o Licenciamento Ambiental de empreendimentos potencialmente poluidores é de responsabilidade do atual Instituto Água e Terra (IAT), anterior Instituto Ambiental do Paraná (IAP), sendo regido neste estado pela Resolução CEMA nº 107/2020.

A primeira abordagem sobre o Licenciamento de Usinas solares no Paraná, ocorreu em 2017 através da Portaria IAP Nº 19, que estabeleceu as primeiras premissas e procedimentos. Esta Portaria totalmente focada na geração solar em superfície terrestre, engloba sistemas fotovoltaicos e heliotérmicos, nas modalidades Geração Distribuída e Usina,

assim consideradas quando acima de 5 MW. A Tab. 1 contém o resumo da modalidade de licenciamento e o estudo ambiental, para cada porte de empreendimento (IAP, 2017).

Tabela1: Modalidade de licenciamento e estudo ambiental para geração de energia elétrica a partir de fonte solar - Portaria IAP Nº 19

POTÊNCIA	LICENCIAMENTO	TIPO DE ESTUDO
Acima de 10 MW	LP, LI e LO	EIA/RIMA
De 5 MW a 10 MW	LP, LI e LO	RAS
De 1 MW a 5 MW	Autorização Ambiental ou Dispensa de Licenciamento Ambiental	Memorial descritivo
Abaixo de 1 MW	Dispensa de Licenciamento Ambiental/ Inexigibilidade de Licenciamento Ambiental	Dispensado

Segundo SEDEST, (2021), a Resolução SEDEST Nº 11, revogou a Portaria IAP Nº 19/2017 e estabeleceu novas definições, critérios, diretrizes e procedimentos para licenciamento de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar, no âmbito do Estado do Paraná, sendo novamente considerada Usina fotovoltaica os sistemas que apresentem geração acima de 5 MW. Nesta Resolução a definição da modalidade de licenciamento ambiental, bem como o estudo ambiental, foi apresentada conforme consta na Tab. 2.

Tabela 2: Modalidade de licenciamento e estudo ambiental para geração de energia elétrica a partir de fonte solar - Resolução SEDEST Nº 11/2021

PORTE	CAMPO SOLAR (CS)	TIPO DE ESTUDO	LICENCIAMENTO
1	CS ≤ 1,5 ha (conforme Art. 7º)	Inexigível	Declaração de Inexigibilidade de Licença Ambiental - DILA
2	1,5 ha < CS ≤ 7,5 ha (com rede pública)	Dispensado	Declaração de Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual - DLAE
3	1,5ha < CS ≤ 7,5 ha (sem rede pública)	PCA	Licença Ambiental Simplificada - LAS
4	7,5 ha < CS < 15 ha	RAS	LP, LI e LO
5	CS ≤ 15 ha ou P > 10M W	EIA/RIMA	LP, LI e LO

Nota-se que diferente do regramento anterior, os sistemas foram classificados, não em função de sua potência, mas segundo o campo solar, definida como a área total necessária para implantação dos painéis solares.

De acordo com SEDEST (2021), o Art. nº 7 estabelece: “*que nos casos de empreendimentos a serem instalados em unidades domiciliares ou industriais, comerciais, agropecuários, entre outros, inferior ou igual a 1,5 ha e em local coberto por rede pública de energia, será tratado como inexigibilidade de licenciamento ambiental*”.

Destaca-se a diferenciação de licenciamento de sistemas ocupando acima de 1,5 ha (hectare) e abaixo de 7,5ha, onde se em local coberto por rede pública de energia deverá ser requerida a Dispensa de Licenciamento Ambiental Estadual e se não coberto por rede pública de energia deverá ser requerida Licença Ambiental Simplificada, com apresentação do Plano de Controle Ambiental (PCA).

Nos casos de implantação de empreendimento cuja área de módulos fotovoltaicos seja superior a 7,5 ha deverá ser requerido licenciamento ambiental completo (LP, LI e LO), com apresentação de RAS para sistema ocupando até 15 ha e EIA Rima para sistemas acima deste valor ou com potência superior a 10MW, assim como estabelece a Resolução Conama 1/1986.

Segundo SEDEST, (2021), em relação ao licenciamento ambiental para sistemas fotovoltaicos flutuantes, define que o licenciamento destes sistemas, será analisado individualmente pelo órgão ambiental.

Percebe-se que apesar de incipiente existe um regramento para Licenciamento de Usinas Solares no Paraná o qual pode ser aplicado a modalidade utilizando painéis solares flutuantes. Em função da definição de EIA/Rima para sistemas com potência acima de 10MW, a quase totalidade das Usinas serão licenciadas nesta modalidade o que é questionável frente aos baixos impactos esperados para este tipo de empreendimento. A título de exemplo comparativo, no estado do Rio Grande do Norte, conforme disposto na Resolução nº 02/2014 do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONEMA), os empreendimentos de geração fotovoltaica acima de 15 até 135 MW se enquadram em Licenciamento Ambiental por Relatório Ambiental Simplificado (RAS).

4. POTENCIAL PARA A IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS SOLARES FLUTUANTES NO ESTADO DO PARANÁ

Segundo a ANA (2021), a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o Brasil possui cadastrado 240.899 massas d'água, “ocupando uma área superficial total de 173.750 km². As massas d'água classificadas como artificiais somam 174.527 ou 72,4% do total, e ocupam uma área de 45.583 km², sendo que a maioria, ou 92%, possui área superficial menor ou igual a 10 hectares (ha).” Os reservatórios artificiais e barragens são oriundos de transposições hídricas com o propósito de acumulação de volume de água destinadas a várias aplicações como: geração de energia elétrica, aquicultura, abastecimento público entre outras aplicações.

A Companhia Paranaense de Energia possui parque gerador composto por 43 usinas próprias sendo: 17 hidrelétricas, 1 termoeletrica e 25 eólicas (Copel, 2021). 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.

Segundo o ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico, (2021), os estudos que avaliam as condições de atendimento eletroenergético do SIN, mostram que no período de setembro de 2020 a junho de 2021 foram verificadas as piores sequências hidrológicas de vazões de todo o histórico de 91 anos, compreendido entre os anos de 1931 a 2021.

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:

1. Gov. Bento Munhoz da Rocha Netto (Foz do Areia);
2. Gov. José Richa (Salto Caxias);
3. Gov. Ney Braga (Segredo); e
4. Gov. Parigot de Souza (Capivari Cachoeira).

Desconsideram-se as usinas do tipo Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e usinas abaixo de 10km² de área de reservatório. Os dados de geração são obtidos por meio da ferramenta interativa do Histórico da Operação do ONS. Para tanto se considerou a geração de energia no intervalo de 01/01/2020 à 31/12/2020.

Com as localizações geográficas das UHE's e utilizando a ferramenta interativa WEB do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (Tiepolo *et al.*, 2017), ferramenta de acesso livre à sociedade, obteve-se o potencial fotovoltaico e a distribuição espacial da irradiação solar. A Fig. 1 apresenta o acesso aos valores de irradiação global horizontal para uma das usinas.

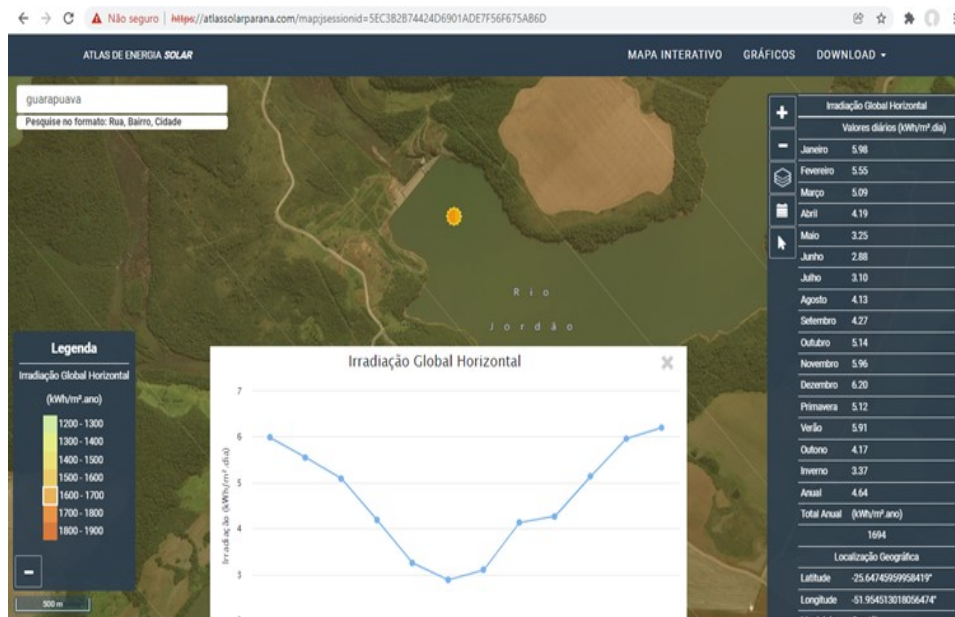


Figura 1: Utilização da Plataforma WEB do Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná

Está disponível nesta plataforma, a média histórica formada por dezessete anos de dados, sendo possível consultar as componentes da radiação solar: Global Horizontal, Inclinada na Latitude, Direta Normal e Difusa. Como a inclinação do flutuador considerado para as estimativas de geração das UFFs, é de 15 graus, é utilizada a irradiação no plano horizontal e corrigido o seu valor para o plano de 15 graus com o uso do programa Radiasol, programa este desenvolvido e disponibilizado também de forma gratuita pela UFRGS. Em relação à orientação, para usinas fotovoltaicas localizadas no Hemisfério Sul, os painéis fotovoltaicos devem estar voltados para o Norte, o que pode ser realizado durante o processo de ancoragem da UFF sobre o espelho d'água dos reservatórios considerados. A Fig. 2 ilustra a tela do Radiasol que nos disponibiliza graficamente os valores de irradiação para a localidade escolhida, onde foram ajustados os valores de inclinação e desvio azimutal dos painéis. Também são disponibilizados na forma de

tabela os valores diários médios, mês a mês e média anual, sendo este último, ao se utilizar a Eq. (1), fornece a estimativa de energia elétrica a ser produzida pela UFF.

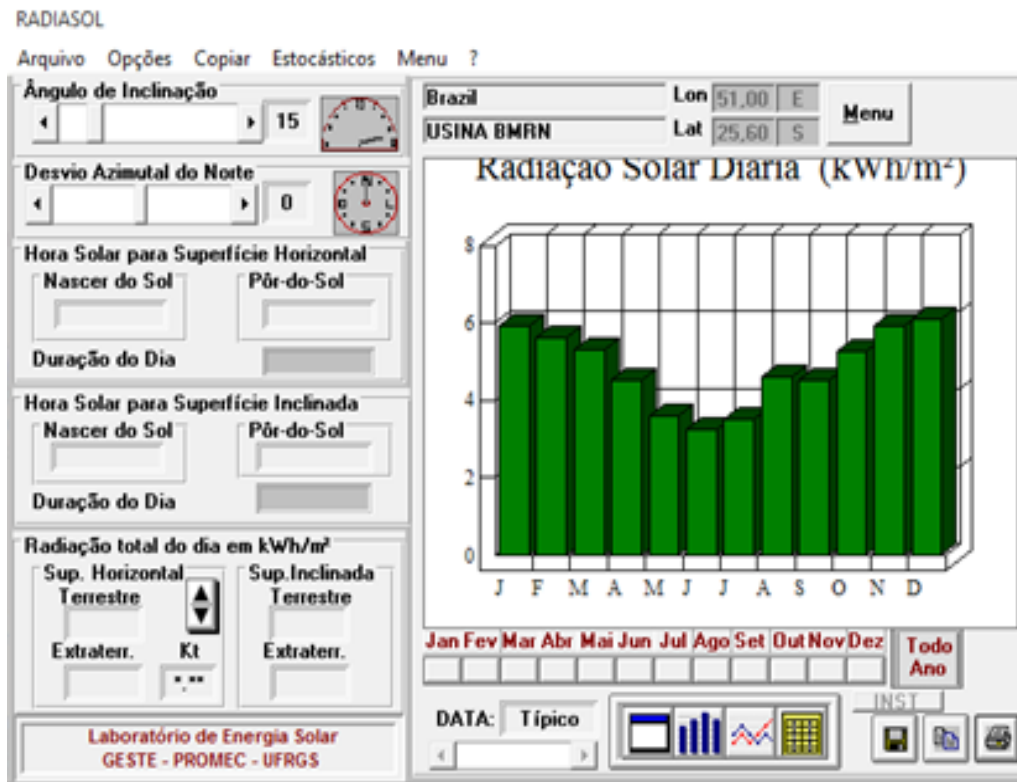


Figura 2 - Tela do RADIASOL com os valores de irradiação no plano do painel FV.

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

$$E = \frac{P_{FV} \cdot H_{TOT} \cdot PR}{G} \quad (1)$$

Onde:

E é a energia diária média a ser produzida;

Pfv é a potência da UFF, (Conforme Tabela 3);

Htot é a irradiação no plano do painel FV. Esse valor de irradiação é fornecido por meio da simulação no software RADIASOL, onde são inseridos dos valores irradiação global horizontal, fornecido pela plataforma interativa WEB Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná (Tiepolo et al., 2017). O software fornece o valor fixo no plano Htot de 15º graus, para cada localidade de reservatório, (Conforme Tabela 3);

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/m².

Para a potência de cada UFF foi considerada a utilização de módulos FV monocristalinos disponíveis no mercado nacional, com potência de típica igual a 450 Wp e dimensões iguais a 0,4m x 104,8cm x 210,8cm (Altura x Largura x Comprimento), ou seja, com área efetiva igual a 2,2m². 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 3m² para cada módulo típico de 2,2m² de área efetiva. Devido a grande extensão da área dos reservatórios em estudo, e a mitigação de possíveis impactos socioambientais, neste artigo a área utilizada para avaliação do potencial de sistemas solares flutuantes a utilização de 10% da área de cada reservatório em estudo.

A Usina Hidrelétrica de Itaipu é binacional, formada pelo tratado entre o Brasil e o Paraguai, logo, não se trata de uma usina da Copel, porém devido a sua magnitude e importância no cenário nacional, esta foi incluída na análise para fins comparativos do seu potencial, mesmo sabendo-se que qualquer empreendimento envolvendo o reservatório desta usina, necessitaria de acordo entre os dois países envolvidos.

Feitas as devidas considerações, apresenta-se a Tab.3 com a análise do potencial de geração de UFFs para as quatro grandes Usinas da Copel e Usina de Itaipu no estado do Paraná.

Os valores da energia gerada em 2020 foram obtidos no site do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS-b, 2021). Disponível em: < http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx>

Tabela 3: Potencial de geração de sistemas solares flutuantes no estado do Paraná, (Os Autores, 2021).

Usina	Pot. Instalada (MW)	Energia produzida (GWh) em 2020	Área do reservatório (km ²)	Irradiação no plano horizontal (kWh/m ² .dia)	Irradiação no plano inclinado 15° (kWh/m ² .dia)	Área utilizada (10% do reservatório em m ²)	Potência FV (MWp)	Estimativa de Energia Produzida pela UFF (GWh/ano)
Gov. Bento Munhoz da Rocha Netto Foz do Areia	1.676	2.391	140	4,64	4,85	14.000.000	2.100	2.974
Gov. José Richa Salto Caxias	1.240	2.636	141	4,75	4,95	14.100.000	2.115	3.057
Gov. Ney Braga Segredo	1.260	3.241	80	4,64	4,94	8.000.000	1.200	1.731
Gov. Parigot de Souza Capivari-Cachoeira	260	657	14	4,15	4,32	1.400.000	210	265
Itaipu	14.000	76.382	1.350	4,78	4,97	135.000.000	20.250	29.388

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 superior aos valores gerados na própria usina hidrelétrica no ano de 2020. E mesmo nas usinas com reservatórios menores (Segredo e Capivari-Cachoeira), apesar da energia a ser produzida pela UFF ser inferior à produzida pelo gerador hidrelétrico, cerca de 50% e 40% respectivamente, representam parcela significativa da capacidade de produção da usina.

Em relação a usina de Itaipu, mesmo com proporções extremamente superiores às demais usinas, seja em potência instalada, em área de reservatório e em energia produzida, de mesma forma, a contribuição energética de uma UFF em seu reservatório representa cerca de 38% da energia produzida pela Itaipu, isso mantendo-se o cenário proposto de ocupação de 10% do lago pela UFF.

Cabe comentar que a energia produzida nas principais Usinas Hidrelétricas do Estado do Paraná em 2020, sofreu forte impacto da crise hídrica que se abateu sobre a região sul do Brasil, refletindo em valores abaixo das médias históricas de produção dessas usinas. Por outro lado, as estimativas de geração por meio das UFF foram realizadas utilizando-se de médias históricas de irradiação, porém, é justamente nos períodos de escassez hídrica, que os índices de irradiação são superiores às médias históricas, pois representam períodos com baixa nebulosidade. Logo, as estimativas apresentadas para geração fotovoltaica são conservadoras, uma vez que foram utilizadas as médias em um ano com baixas precipitações onde provavelmente a radiação foi maior que a média.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou aspectos ambientais, de licenciamento e avaliação do potencial para implantação de Usinas Fotovoltaicas Flutuantes (UFF) no Estado do Paraná, analisando-se as quatro maiores Usinas hidrelétricas da Copel e a Usina de Itaipu.

Quanto aos aspectos ambientais, a literatura demonstra que embora UFF já implantadas a nível mundial sejam relativamente recentes, a experiência e os estudos de modelagem matemática têm demonstrado que os potenciais impactos são de baixa relevância, principalmente quando as taxas de cobertura são moderadas (inferiores a 40%). Para alguns sistemas lacustres, é possível inclusive que a implantação destes sistemas seja útil como um instrumento para manejo da qualidade da água, em benefício aos ecossistemas neles inseridos e na mitigação de efeitos da mudança climática global. Apesar disso, ainda é necessário aprofundar as pesquisas e estudos para o desenvolvimento de projetos otimizados, que considerem também os possíveis impactos aos usos múltiplos dos corpos hídricos, a fim de envolver e beneficiar todas as partes envolvidas.

No que se refere ao arcabouço legal para Licenciamento Ambiental de UFF, percebe-se que a nível nacional, ainda é incipiente o regramento para estes sistemas, não sendo diferente no Paraná, onde a primeira Portaria editada em 2017 não trazia qualquer citação sobre UFF e o segundo regramento recentemente publicado SEDEST, (2021), limitou-se a citar que o licenciamento destes sistemas, será analisado individualmente pelo órgão ambiental.

Em relação ao potencial de aplicação de UFF no estado do Paraná os levantamentos realizados, apontam que há grande potencial de implantação de sistemas híbridos (hidrelétrica - UFF), em função do grande espelho d'água dos reservatórios hidrelétricos existentes, densa malha de transmissão de energia e bons níveis de irradiação do estado.

Na hipótese de uso de 10% do espelho d'água das quatro maiores usinas sob concessão 100% Copel para implantação de UFF, estima-se um potencial de geração de 8 TWh/ano. Para as Usinas de Foz do Areia e Salto Caxias, mesmo utilizando apenas 10% da área alagada, a estimativa de geração resultou superior aos valores gerados nas usinas hidrelétricas no ano de 2020. Para as Usinas de Segredo e Capivari Cachoeira, o potencial solar se revelou cerca de 50% e 40% respectivamente, da energia gerada em 2020 por estas Usinas. Quanto à usina de Itaipu, cerca de 38% da sua geração poderia ser adicionada, caso fosse implantada uma UFF utilizando também 10% do espelho d'água.

Os autores consideram ainda que, apesar da EPE em NT recentemente emitida inferir que devido ao maior custo de instalação de UFFs em relação a solares em solo este tipo de tecnologia parece não ser competitiva neste momento, esta não é uma verdade absoluta pois, para as regiões Sul e Sudeste, principalmente para o Estado do Paraná, o custo da terra é, e tem se elevado nos últimos anos em função da alta produtividade agrícola e valorização da *commodity* alimento. Logo os autores consideram que devem ser continuados os esforços no sentido de avaliação e prospecção desta tecnologia, que tem vantagens potenciais significativas como: a sinergia na utilização dos sistemas de transmissão e distribuição quando em forma híbrida (hidrelétrica - UFF), a redução da evaporação e consequente economia de água não somente por redução da evaporação, mas por retenção hídrica por geração solar compensada, fato especialmente importante nas regiões Sul e Sudestes que vêm sofrendo ano a ano com eventos de seca, como a ocorrida no ano de 2020.

Adicionalmente recentes projetos de P&D no âmbito nacional, possibilitarão uma maior compreensão da eficiência dos módulos e considerando a crescente elevação do valor das terras, associada a eminente redução dos valores destes sistemas em função da disseminação do seu uso, considera-se que a viabilização econômica desta tecnologia pode ocorrer com brevidade.

Por fim, mas não menos importante, reforça-se que as concessionárias de energia necessitam de forma urgente, que seja desenvolvido lastro regulatório e de licenciamento ambiental, para poder realizar a proposição de projetos híbridos (hidrelétrica - UFF), de maneira a permitir uma competição justa entre geração solar em superfície terrestre e através de UFF, uma vez que sem um regramento específico fica inviabilizada a modelagem financeira de tal oportunidade de negócio, assim como a oportunidade ambiental de se proporcionar uma matriz energética ainda mais limpa.

Agradecimentos

Os autores desse artigo agradecem a Instituição UTFPR pelo acesso de suas infra-estruturas, envolvimento e colaboração de seus pesquisadores e a Companhia de Paranaense de Energia – COPEL, pelo apoio no desenvolvimento desse artigo e fornecimento das informações técnicas.

REFERÊNCIAS

- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2020. Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2020 – Informe anual. ANA, Brasília.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica, 2020. Usina hidrelétrica - UHE. Resolução Normativa ANEEL n. 875, de 10 de março de 2020 (Diário Oficial, de 16 mar. 2020, seção 1, p. 60). ANEEL, Brasília.
- Baradei, S.E., Saqued, M.A., 2013. Effect of Solar Canals on Evaporation, Water Quality, and Power Production: An Optimization Study. *Water* 2020, 12, 2103. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/w12082103>>

- Brasil das Águas, 2021. Projeto Brasil das Águas – Revelando o azul do verde e amarelo. Disponível em: <<http://brasildasaguas.com.br/educacional/regioes-hidrograficas/regiao-hidrografica-do-parana/>>. Acesso em: 03 de Dez. 2021.
- CONEMA, Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, 2021. Resolução CONEMA Nº 02/2014 - Aprova nova versão do Anexo Único da Resolução Conema 04/2006 – Versão Outubro/2011 e revoga a Resolução Conema 02/2011.
- Copel, Companhia Paranaense de Energia, 2021. Geração. Disponível em: “<https://www.copel.com/hpcweb/copel-geracao/>”. Acesso em: 03.dez.2021.
- Copel, Companhia Paranaense de Energia, 2021. Geração. Disponível em: “<https://www.copel.com/hpcweb/copel-geracao/>”. Acesso em: 03.dez.2021.
- Eletrobras, EPE, 2021. Nota Técnica Conjunta Eletrobras/EPE - Levantamento da legislação para licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar. EPE, Rio de Janeiro.
- EPE, 2020. Expansão da Geração Solar Fotovoltaica Flutuante, Aspectos Tecnológicos e Ambientais relevantes ao Planejamento. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-publica-nt-sobre-sistemas-fotovoltaicos-flutuantes>>. Acesso em: 03 de fev.2020.
- Exley, G.a, Hernandez, R.R., Page, T., Chipps, M., Gambro, S., Hersey, M., Lake, R., Zoannou, K.-S., Armstrong, A., 2021. Scientific and stakeholder evidence-based assessment: Ecosystem response to floating solar photovoltaics and implications for sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 152, 2021, Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111639>>
- Exley, G.b, Armstrong, A., Page, T., Jones, I.D., 2021. Floating photovoltaics could mitigate climate change impacts on water body temperature and stratification, *Solar Energy*, Volume 219, 2021, Pages 24-33, ISSN 0038-092X, Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.076>>
- Haas, J., Khalighi, J., De La Fuente, A., Gerbersdorf, S.U., Nowak, W., Chen, P-J., 2020. Floating photovoltaic plants: Ecological impacts versus hydropower operation flexibility, *Energy Conversion and Management*, Volume 206, 2020, ISSN 0196-8904, Disponível em:<<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112414>>
- IAP, Instituto Ambiental do Paraná. Portaria IAP Nº 19, 2017. Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar em superfície terrestre, nos termos que especifica. Publicado no DOE - PR em 9 fevereiro de 2017.
- ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico. Resultados da Operação, 2021. Histórico da Operação. Disponível em:<http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx>. Acesso em: 02 de dez. 2021.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Gonçalves, A. R., Costa, R. S., Lima, F. J. L., Ruther, R., Abreu, S. L., Tiepolo, G. M., Pereira, S. V., Souza, J. G., 2017. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2 ed. São José dos Campos: INPE, 2017
- SEDEST, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo do Estado do Paraná, 2021. Resolução SEDEST Nº 11/2021 - Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para licenciamento de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar, no âmbito do Estado do Paraná. SEDEST, Curitiba.
- Stubiener, U., Da Silva, T.C., Trigoso, F. B. M., Benedito, R. S., Teixeira, J. C., 2020. PV power generation on hydro dam’s reservoirs in Brazil: A way to improve operational flexibility. *Renewable Energy*, Volume 150, 2020, Pages 765-776, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.003>.
- Tiepolo, G. M., Pereira, E. B., Urbanetz Jr, J., Pereira, S. V., Goncalves, A. R., Lima, F. J. L., Costa, R. S., Alves, A. R., 2017. Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná. 1a Edição. Curitiba: INPE, 2017.

ENVIRONMENTAL ASPECTS, LICENSING AND ASSESSMENT OF THE IMPLEMENTATION POTENTIAL OF FLOATING PHOTOVOLTAIC PLANTS IN THE STATE OF PARANÁ

Abstract. *This article focuses on photovoltaic solar generation using floating panels, addressing environmental aspects through a state-of-the-art survey on the assessment of potential impacts of this type of electricity generation. The same article also presents an assessment of the legal aspects involved with regard to the licensing of photovoltaic plants, with a focus on floating plants in the State of Paraná. Finally, an assessment of the potential for the implementation of a solar plant is carried out through floating modules in this State, with a special focus on plants with higher installed capacity under Copel's concession and the Itaipu plant. The results show that for the year 2020, some plants a fluctuating solar energy generation potential was observed, even higher than the hydroelectric generation itself, revealing the great potential for the application of this technology in the State of Paraná.*

Key words: *Floating Photovoltaic Plant, Environmental Licensing, Environmental Aspects.*