



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

DARLENE JOSIANE DULLIUS

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES NO
LAGO UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES**

Palmas/TO
2019

DARLENE JOSIANE DULLIUS

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES NO
LAGO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES**

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Engenheira Eletricista e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Me. Alcy Monteiro Júnior

Palmas/TO
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

D883e Dullius, Darlene Josiane.

Estudo da utilização de sistemas fotovoltaicos flutuantes no lago UHE
Luís Eduardo Magalhães. / Darlene Josiane Dullius. – Palmas, TO, 2019.

83 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2019.

Orientador: Alcy Monteiro Júnior

1. Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes. 2. Usinas Hidrelétricas. 3.
Cogeração de Energia. 4. Reservatórios UHE. I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

DARLENE JOSIANE DULLIUS

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS FLUTUANTES NO LAGO DA UHE LUÍS EDUARDO MAGALHÃES

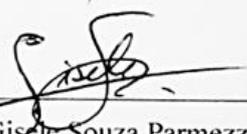
Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 11 / 07 / 2019

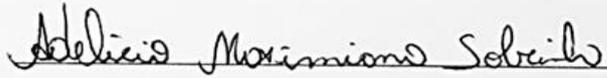
Banca Examinadora



Prof. M^c. Alcy Monteiro Júnior, UFT



Prof. M^a. Gisela Souza Parmezani Marinho, UFT.



Prof. Dr. Adélcio Maximiano Sobrinho.

Palmas-TO, 2019

*Aos meus pais e meu irmão por todo
incentivo e paciência durante os anos de
faculdade.*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto da contribuição de diversas pessoas, a elas presto minha homenagem:

Ao professor, Alcy Monteiro Júnior, pela orientação, disponibilidade, confiança dedicada a mim e pelas discussões enriquecedoras.

À minha família e amigos, que sempre me motivaram a continuar.

E, finalmente, mas não menos importante, a todos os meus professores, funcionários e colegas de curso de Engenharia Elétrica, que direta ou indiretamente colaboraram para elaboração e conclusão deste trabalho.

RESUMO

A energia solar fotovoltaica, apresenta crescimento considerável dentro da matriz energética brasileira, sendo apresentada com uma das fontes renováveis complementares mais viáveis no desenvolvimento da independência das usinas hidrelétricas, resultando em um desafogo do sistema elétrico brasileiro, pautado na disponibilidade do recurso hídrico. Nesse sentido, define-se estratégias a fim de diversificar as fontes de suprimento, tais como a utilização de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de usinas hidroelétricas, dessa forma evita-se a implantação de painéis em terras aproveitáveis. Os sistemas flutuantes apresentam inúmeras vantagens em comparação com usinas terrestres, entre as quais destaca-se uma maior eficiência de geração em virtude de menores índices de perda por calor, quando instaladas em reservatórios formados por barragens hidrelétricas, aproveitam os sistemas de transmissão e estruturas de geração já existentes, provocando também uma diminuição nas taxas de evaporação da água do reservatório. Esse trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade de implantação de um sistema fotovoltaico flutuante no reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães, no estado do Tocantins, uma vez que este possui índices de irradiação solar altos e possibilidade de aproveitamento da área alagada, definido os limitantes dessa instalação, dimensiona-se o sistema e, com auxílio de *softwares* a geração do sistema proposto é simulada. Entre os principais resultados, destaca-se a geração anual de 747,164 kWh para o sistema de 500 kWp o que somado ao curto tempo de retorno do investimento estimado, indica a viabilidade de interação fotovoltaica e hidrelétrica.

Palavras-chave: Fontes renováveis. Energia Solar Fotovoltaica flutuante. Usina Hidrelétrica

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy presents considerable growth within the Brazilian energy matrix, pointed as one of the most viable complementary renewable sources in the hydroelectric power plants independence development, resulting in a relief in the Brazilian electrical system, based on water resource availability. In this sense, it is defined strategies in order to diversify the supply sources, such as floating photovoltaic systems use in reservoirs of hydroelectric power plants, thus, the panels implantation on useful lands is avoided. Floating systems presents several advantages compared to land-based power plants, highlighting, greater generation efficiency due to lower rates of heat loss, when installed in reservoirs formed by hydroelectric dams, benefit from transmission systems and existing power generation structure, causing a significant decrease in water evaporation rates of the reservoir, as well. This paper goal is to analyze the implantation feasibility of a floating photovoltaic system in Luís Eduardo Magalhães Hydroelectric Power Plant reservoir in the state of Tocantins, since it has elevated solar irradiation rates and also, the possibility of flooded area utilization. Once it is defined the installation limiters, the system is measured and, counting on software assistance, the productivity of the proposed system is simulated. Amongst the main results, can be highlighted an annual generation of 747,164 kWh for the 500 kWp system which, summed up to a brief return time of the estimated investment, it indicates the photovoltaic and hydroelectric interaction viability.

KEYWORDS: Renewable sources. Photovoltaic solar energy floating. Hydroelectric Plant

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-Sistema Interligado Nacional.....	18
Figura 2- Evolução da capacidade total instalada no mundo (GW-CC).	20
Figura 3- Número de conexões realizadas da geração distribuída FV.	21
Figura 4: Total diário da irradiação direta normal e da irradiação no plano inclinado na latitude.	22
Figura 5- Evolução do parque hidrelétrico por região geográfica brasileira.	24
Figura 6-Evolução do fator de capacidade do parque hidrelétrico.	25
Figura 7- Demandas por finalidade (retirada, retorno e consumo) da água no Brasil, em 2016.	26
Figura 8- Percentual de energia armazenada nos subsistemas Sudeste/Centro Oeste e Sul de 2015 a janeiro de 2019.	27
Figura 9- Percentual de energia armazenada nos subsistemas Nordeste e Norte de 2015 a janeiro de 2019.	28
Figura 10-Esquema típico de um sistema fotovoltaico flutuantes, de grande escala, e seus principais componentes.	29
Figura 11- Expansão do número de instalações fotovoltaicas flutuantes de 2007 a 2016.	30
Figura 12- Capacidade global instalada de sistemas fotovoltaicos flutuantes.....	31
Figura 13- Países com maior potência instalada de sistemas fotovoltaicos flutuantes (kW) em 2017.	32
Figura 14-Usina de Huaian, China.	32
Figura 15- Usina Flutuante Fazenda Figueiredo (GO).	33
Figura 16- Relação de custos usinas flutuantes e terrestres.	35
Figura 17- Esquema balanço água-energia.	36
Figura 18- Estrutura flutuante de pontão.	37
Figura 19-Estrutura de sistemas fotovoltaicos flutuantes.	37
Figura 20- Plataforma flutuante de Hydrelío.	39
Figura 21- Matriz energética brasileira.	40
Figura 22- Usina solar flutuante no estado de São Paulo.	41
Figura 23- Usina solar flutuante no estado do Amazonas.	42
Figura 24- Usina solar flutuante no estado da Bahia.	43
Figura 25-Usina solar flutuante no estado de Montalegre.	44
Figura 26- Usina solar flutuante na Índia	44
Figura 27- Etapas da pesquisa	46
Figura 28- Fator de capacidade UHE Luís Eduardo Magalhães	52
Figura 29- Níveis de água do reservatório frente aos níveis de água de projeto, de 2003 a 2014.	53
Figura 30- Velocidade do vento ao longo do dia entre 08/06 a 12/06.	55
Figura 31- Curva característica de eficiência do módulo de 390 W	58
Figura 32- Geometria básica do sistema.	59
Figura 33- Captura da tela inicial PV*SOL.	60
Figura 34- Captura de tela, tipo de sistema, clima e rede.	60
Figura 35- Captura de tela, parâmetros de simulação.	61
Figura 36- Captura da tela, inserção de dados meteorológicos	61

Figura 37- Captura da tela, ambiente de visualização 3D	62
Figura 38- Captura da tela, cobertura dos módulos.....	62
Figura 39- Captura da tela, configuração das mesas	63
Figura 40- Captura da tela, configuração dos inversores.	63
Figura 41- Vista geral sistema flutuante 500 KWp, UHE Luís Eduardo Magalhães.	65
Figura 42- Rendimento mensal.....	66
Figura 43- Irradiação por área do módulo	66
Figura 44- Considerações para o investimento de R\$: 2.500.000,00	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking mundial de potência instalada solar fotovoltaica.....	20
Tabela 2 -Usinas flutuantes instaladas em reservatórios e área percentual necessária para equipar a geração hidrelétrica e solar.	33
Tabela 3 - Estruturas de montagem	38
Tabela 4 - Dados climatológicos da UHE Luís Eduardo Magalhães	54
Tabela 5 - Valores de albedo para água em diferentes inclinações	56
Tabela 6 - Características gerais do sistema simulado	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIN	Sistema Interligado Nacional
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
GW	Giga watts
MW	Megawatts
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
KWh	Quilowatts-hora
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
KW	Quilowatt
MWp	Megawatt pico
EUA	Estados Unidos da América
KWp	Quilowatt pico
Km ²	Quilômetros quadrados
SFF	Sistemas Fotovoltaicos Flutuantes
CT	Ciel & Terre's
MWp	Megawatt hora
W	Watt
UHE	Usina Hidrelétrica
LEM	Luís Eduardo Magalhães
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Justificativa	15
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Gerais	15
1.2.2. Específicos.....	15
1.3. Metodologia.....	16
1.3.1 Metodologia da Pesquisa	16
1.3.2 Procedimentos Metodológicos.....	16
1.4. Estrutura do Trabalho	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1. Sistema Interligado Nacional.....	18
2.2. Panorama Nacional de Energia Solar.....	19
2.2.1. Conceito	19
2.2.2. Características de Operação	22
2.3. Panorama Nacional da Energia Hidrelétrica.....	23
2.3.1. Conceito	23
2.3.2. Características de Operação	25
2.4. Tecnologia Fotovoltaica Flutuante.....	29
2.5. Sistemas em Operação	31
2.6. Relação com Sistemas Baseados em Terra.....	34
2.7. Arranjo Fotovoltaico Flutuante	36
2.8. Sistemas Flutuantes em Reservatórios de Hidrelétricas	39
2.9. Potencial Brasileiro	40
2.10. Sistemas em Operação Instalados em Reservatórios de Usinas Hidrelétricas	41
3. PROCEDIMENTOS	46
3.1. Usina Hidrelétrica	46
3.2. Levantamento de Dados.....	47
3.3. PV*Sol	47
3.4. Aplicação do Projeto no Reservatório	48
3.5. Avaliação Financeira.....	48
4. ESTUDO DE CASO	50
4.1. Caracterização da Usina	50
4.1.1. Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Lajeado).....	50
4.1.2. Fator de Capacidade.....	51
4.1.3. Restrições Quanto ao Uso do Reservatório.....	52

4.1.4. Evaporação.....	53
4.2. Resultados	54
4.2.1. Levantamento de Dados.....	54
4.3. PV*Sol	59
4.4. Aplicação no Reservatório	64
4.5. Análise Financeira	66
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
5.1. Recomendações para Trabalhos Futuros	70
BIBLIOGRAFIA.....	71
ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO PAINEL (Q. PEAK DUO L-G5 380-390).....	79
ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO INVERSOR SUNGROW (SG 30 KU).....	81

1. INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico, implica em um aumento considerável do consumo energético, prevê-se que até 2050 o consumo de energia, no país triplique (VERDÉLIO, 2018), assim para enfrentar tais condições com segurança, economia e respeitando a legislação ambiental, o Brasil apodera-se de um grande potencial energético, com certa notoriedade para as fontes renováveis: hidráulica, eólica, biomassa e solar. (TOMALSQUIM, 2016).

A inserção de fontes de difícil previsão de funcionamento, como energia eólica e solar, priorizadas pelo Plano Decenal de Expansão de 2024 realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), faz com que os reservatórios assumam maior importância, tornando-se a base da matriz energética nacional. Entretanto, por questões ambientais, há um crescimento no número de usinas hidrelétricas com reservatórios a fio d'água, o que gradativamente reduz o armazenamento do recurso híbrido, expondo-os a períodos sazonais, ou seja, os reservatórios enchem nos períodos chuvosos, mas sofrem baixas consideráveis no nível da água durante os períodos de seca. Neste sentido, faz-se necessário complementar a matriz energética com outras fontes de energia, a fim de aliviar o efeito das interferências climáticas, e garantir a entrega de energia elétrica em condições seguras e adequadas. (TOMALSQUIM, 2016).

Se por um lado todas as fontes de energia conhecidas, direta ou indiretamente, derivam da energia solar já que esta é responsável por modificar o estado físico da água, o que faz com que após a migração possa ser represada e utilizada nas usinas hidrelétricas, o aquecimento das massas de ar possa ser aproveitado pelos aerogeradores nos parques eólicos, a fotossíntese aproveitada para energia de biomassa, entre outros. Por outro lado, os custos de implantação, baixa eficiência dos módulos e área de ocupação necessária para instalações de usinas fotovoltaicas, são fatores que retardam a exploração do potencial energético da energia solar no Brasil. (AHLERT, 2017)

Utilizar fonte solar para produzir energia posterga a necessidade de construção de usinas hidrelétricas, uma vez que complementa a matriz energética redirecionando os investimentos para fontes solares e, conseqüentemente evita a queima de combustíveis fósseis por termelétricas. (VERDELIO, 2018). Nesse sentido, a construção de usinas solares flutuantes em corpos d'água apresenta-se como uma alternativa formidável capaz de combinar as vantagens dos sistemas convencionais, aproveitando espaços normalmente em desuso diminuindo as taxas de evaporação com maiores índices de eficiência energética. (CHOI; LEE; KIM, 2013).

1.1. Justificativa

A adoção de instalações fotovoltaicas flutuantes representa uma expansão na capacidade de geração de energia e contém inúmeras vantagens em relação aos sistemas fotovoltaicos usuais tais como: possibilitada de instalação em reservatórios de usinas hidrelétricas viabilizando a instalação próxima ao centro de consumo, maior eficiência (cerca de 11% a mais em relação a sistemas terrestres) em decorrência do resfriamento natural (CHOI; LEE; KIM, 2013), redução nas perdas por sujidade e, facilidade de instalação uma vez que nesta modalidade medidas como o nivelamento do local tornam-se dispensáveis. (GROUP; ESMAP; SERIS, 2018)

Além disso, a escolha do lugar de implantação do sistema é pautada, na tentativa de melhorar a qualidade da água, reduzir as taxas de evaporação dos reservatórios da UHE Luís Eduardo Magalhães, localizado em Palmas-TO, em virtude da cobertura do espelho d'água.

1.2. Objetivos

A seguir será apresentado os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1. Gerais

Analisar a factibilidade da implementação de um sistema fotovoltaico flutuante no lago originado com a construção da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães, monitorar e analisar seu comportamento quando submetido a variações climáticas e nível da água, bem como potencial energético, e eficiência do sistema.

1.2.2. Específicos

Os objetivos específicos, que irão incrementar o objetivo geral mencionado, são os seguintes:

1. Simular o potencial instalado e geração do sistema;
2. Explorar a interferência de angulação dos painéis na geração de energia;
3. Encontrar a estrutura flutuante de melhor custo benefício;
4. Analisar o impacto após a implantação, na utilização do espelho d'água e rendimento do sistema.

1.3. Metodologia

1.3.1 Metodologia da Pesquisa

Adota-se o método hipotético-dedutivo em virtude da necessidade de escolha dos equipamentos empregados, tais como módulos fotovoltaicos, e inversores bem como da necessidade de selecionar a estrutura flutuante a ser utilizada. O que será apresentado na segunda etapa do projeto.

a. Sob o ponto de vista de sua natureza

Pesquisa básica estratégica, uma vez que se apresenta um trabalho teórico com possibilidade de aplicação.

b. Sob o ponto de vista da forma de abordagem do problema

Pesquisa qualitativa.

c. Sob o ponto de vista de seus objetivos

Pesquisa exploratória, dado que alternativas aos métodos existentes no mercado são apresentados, o diferencial está na possibilidade de implantação em locais mais restritos.

1.3.2 Procedimentos Metodológicos

O trabalho é enquadrado como pesquisa bibliográfica, por buscar citações em livros, artigos científicos, teses, páginas de pesquisa e desenvolvimento, disponíveis em acervo de livre acesso. Documental em virtude da utilização de dados de empresas e materiais de associação sem caráter científico e estudo de caso, por tratar-se de uma estrutura destinada a uma finalidade específica.

1.4. Estrutura do Trabalho

O trabalho está organizado em 5 capítulos correlacionados. O Capítulo 1, é o capítulo introdutório, e como tal, contextualiza o tema proposto neste trabalho. Dessa forma, aborda o enfoque central do trabalho, justificativa, objetivos gerais e específicos, metodologia e visão do escopo proposto.

O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica acerca de usinas fotovoltaicas flutuantes, a fim de que se fosse obtido um bom embasamento teórico, destacando os principais trabalhos de conclusão de curso, artigos, livros e teses. Dessa forma, neste

capítulo são apresentadas as principais contribuições dos sistemas fotovoltaicos flutuantes, inovações e possibilidades de aplicação.

Vale salientar dois grandes trabalhos que são as duas revisões bibliográficas de maior relevância, sobre o objeto de estudo dessa: Aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidrelétricas-estudo de caso em usina hidrelétrica brasileira. (AHLERT, 2017) e estimativa de potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas. (STRANGUETO, 2016).

O Capítulo 3 expressa a metodologia aplicada para os cálculos e etapas do estudo de caso, neste apresenta-se o *software* de simulação adotado.

No quarto capítulo, faz-se o estudo de caso dimensionando um sistema fotovoltaico flutuante de 500 kWp para o reservatório de uma hidrelétrica e análise econômica simples, do projeto.

O Capítulo 5, descreve as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

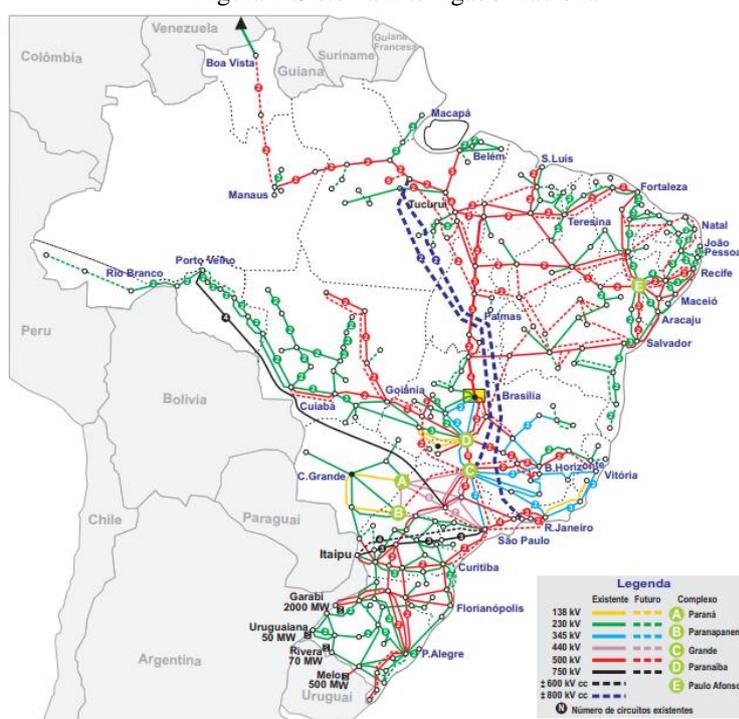
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos publicados pela comunidade científica relacionados a área de usinas fotovoltaicas flutuantes. Para isso, são utilizadas teses de pós-graduação, artigos, livros e sites de pesquisa e desenvolvimento do governo, ambos de extrema relevância para a compreensão do assunto.

2.1. Sistema Interligado Nacional

Caracteriza-se o sistema de produção e transmissão de energia elétrica nacional como sistema “hidro termo eólico” de grande porte devido a composição de sua matriz energética, podendo ser segmentado em quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Norte. A associação dos sistemas elétricos, através da malha de transmissão, permite a transferência de energia entre subsistemas bem como obtenção de ganhos sinérgicos e exploração da diversidade entre regimes hidrológicos, assegurando maior estabilidade, segurança e economia no atendimento (ONS,2019). A Figura 1 apresenta o mapa deste sistema:

Figura 1-Sistema Interligado Nacional



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (2019).

A capacidade instalada de geração deste sistema é composta por usinas hidrelétricas que se distribuem ao longo das dezesseis bacias hidrográficas do país, usinas eólicas instaladas principalmente nas regiões Sul e Nordeste e usinas térmicas inseridas próximas aos centros de carga (ONS, 2019a). Dessa forma, o abastecimento de energia elétrica provém de diferentes fontes podendo estas serem renováveis ou não. Os sistemas de transmissão conectam as diferentes fontes de produção garantindo assistência ao mercado consumidor. Por isso, o Operador Nacional do Sistema (ONS) é responsável por coordenar e acionar as diversas fontes da matriz de acordo com a demanda instantânea. (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016)

Quanto as fontes, pode-se qualificá-las em fontes de base ou complementares. As fontes hídricas, térmicas ou nucleares, são classificadas como fontes de base, pois podem ser acionadas a qualquer instante e permitem a criação de um estoque do recurso que será utilizado para a geração de energia elétrica (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016), em contrapartida as fontes complementares são aquelas que dependem diretamente da disponibilidade algum recurso, das quais cita-se a energia solar e eólica, cuja capacidade instalada representam cerca de 8,7% e 1,2% de participação na matriz energética brasileira. (BIG, 2019).

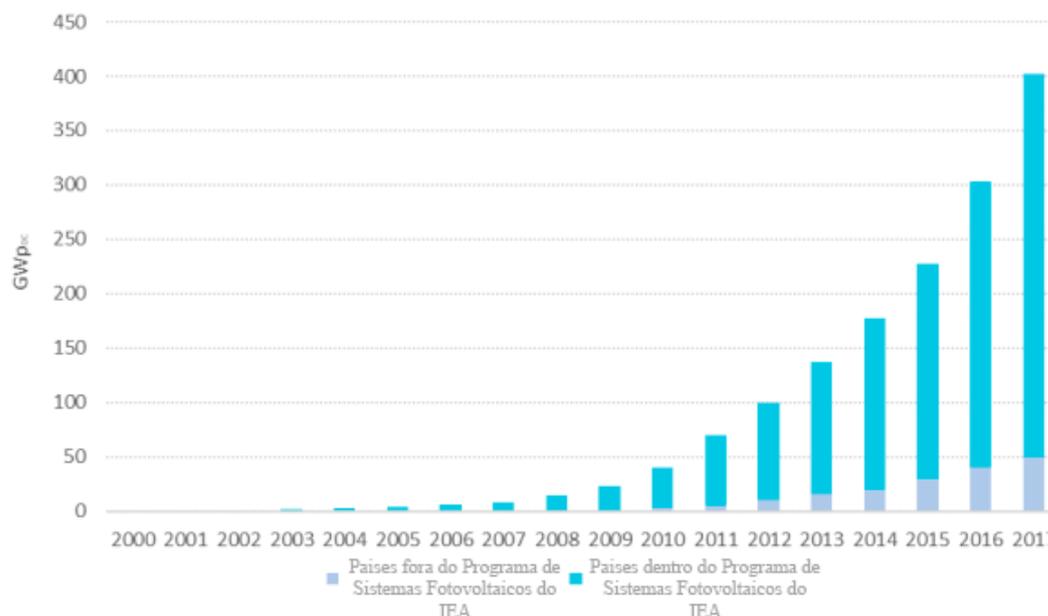
2.2. Panorama Nacional de Energia Solar

2.2.1. Conceito

A utilização do recurso solar, para geração de energia elétrica possui benefícios ambientais e socioeconômicos (ABSOLAR, 2019) tais como: diversificação da matriz, aumento da segurança no fornecimento, redução de perdas e alívio de transformadores e alimentadores; do ponto de vista ambiental, destaca-se a redução dos índices de emissão de gases poluentes e, quanto aos benefícios socioeconômicos, proporciona avanços no quesito de geração de empregos sendo responsável por 50.000 novos empregos em 2017 (IRENA, 2018) contribuindo para o aumento das arrecadações e investimentos (NASCIMENTO, 2017).

Com 402,5 GW de capacidade global instalada, a energia fotovoltaica ostenta um crescimento de 29% ao ano, sendo a fonte de energia que renovável que mais se expande no mundo (IEA, 2018), como apresentado na Figura 2:

Figura 2- Evolução da capacidade total instalada no mundo (GW-CC).



Fonte: Snapshot of Global PV Markets, IEA PVPS, 2018.

Devido aos 98 GW de potência instalados ao final de 2017 (IEA, 2018), a tecnologia fotovoltaica é apontada como a principal fonte de energia renovável, à frente da energia hidráulica e eólica e corresponde a aproximadamente 2,1% da demanda global de eletricidade. (IEA, 2018). A Tabela 1 mostra os dez países com maior capacidade de geração instalada:

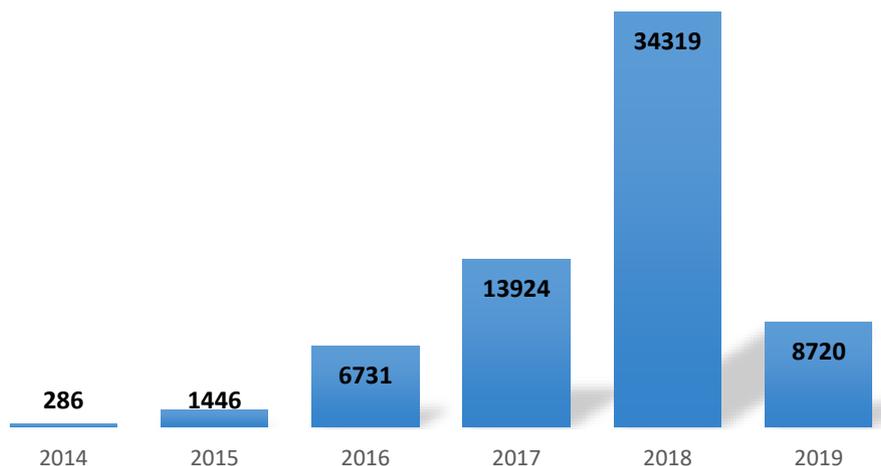
Tabela 1 - Ranking mundial de potência instalada solar fotovoltaica.

País	Potência total instalada.
China	131 GW
Estados Unidos	51 GW
Japão	49 GW
Alemanha	42 GW
Itália	19,7 GW
Índia	18,3 GW
Reino Unido	12,7 GW
França	8 GW
Austrália	7,2GW
Espanha	5,6 GW

Fonte: Adaptado de Snapshot of Global PV Markets, IEA PVPS. (2018).

Ao final de 2017 o Brasil possuía 1,1 GW de capacidade instalada (ABSOLAR, 2018), sendo um dos dez países com maior potência instalada naquele ano. A Figura 3 aponta o crescimento do número de conexões realizadas da fonte solar fotovoltaica no Brasil de 2014 a março de 2019:

Figura 3- Número de conexões realizadas da geração distribuída FV.

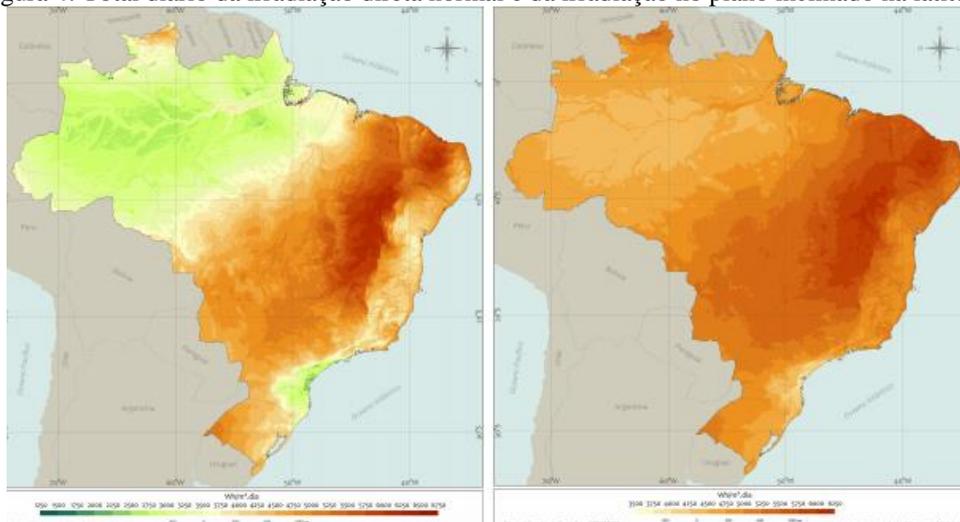


Fonte: Adaptado de ANEEL (2019).

A localização geográfica próxima a linha do Equador, combinada a uma incidência verticalizada dos raios solares, favorece o país com um grande potencial de aproveitamento solar ao longo do ano (AHLERT, 2017), o que pode ser observado no Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira *et al*, 2016). A Figura 4, representa a média de irradiação solar direta e difusa, respectivamente, ilustrando as melhores áreas para aplicação desta fonte de energia (EPE, 2016a).

É notório que a exploração do potencial brasileiro neste setor, apesar do crescimento, é pouco expressiva. Principalmente se levarmos em consideração que as localidades brasileiras com os menores índices de insolação (1500 kWh/m²) possuem potencial fotovoltaico superior ao potencial alemão com médias anuais entre 900 a 1250 kWh, por exemplo (WIRTH, 2018), isso somado às reservas de quartzo, que poderiam ser destinadas a produção de silício, matéria prima de células fotovoltaicas, (NASCIMENTO, 2017) são fatores que podem alavancar o desenvolvimento energético brasileiro.

Figura 4: Total diário da irradiação direta normal e da irradiação no plano inclinado na latitude.



Fonte: Pereira *et al.* (2016).

Na Figura 4, as áreas mais escuras apontam as regiões com maiores índices de irradiação solar normal e no plano inclinado enquanto, as regiões mais claras denotam os piores índices.

2.2.2. Características de Operação

Energia solar fotovoltaica compreende o processo de obtenção de energia através da conversão direta da luz em eletricidade sem a utilização de massas girantes, como o que acontece nas termelétricas, por meio do efeito fotovoltaico. A célula fotovoltaica que é a unidade primordial neste processo de conversão é fabricada com material semicondutor (PINHO; GALDINO, 2014). Logo a eficiência deste sistema está sujeita a alterações na irradiação solar com uma variabilidade de geração aproximadamente dez vezes maior que a geração eólica, em intervalos de trinta minutos (TOLMASQUIM, 2016).

As oscilações da geração fotovoltaica expõem o principal obstáculo para inserção em larga escala da microgeração solar na rede de distribuição de baixa tensão, principalmente porque as redes geralmente possuem recursos limitados de controle de tensão e a uma inserção de geração descontínua. A incorporação de micro geradores no sistema de distribuição, acarreta no alívio do carregamento dos circuitos da rede, no entanto, quando inseridos em larga escala, podem alterar características naturais da rede tornando-a exportadora de energia exigindo assim, um maior controle da tensão, além de resultar um aumento das correntes de curto circuito, reduzir a vida útil e possivelmente aumentar os custos com equipamentos de proteção. (TOMALSQUIM, 2016).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também chamados de sistemas “*on-grid*” fornecem energia para as redes de distribuição e para tal a corrente contínua produzida pelos módulos é convertida em corrente alternada pelos inversores. Ademais, a planta de um sistema fotovoltaico conta com: módulos fotovoltaicos, cabeamento, caixa de junção e medidores de energia.

Estes sistemas possuem instalação e manutenção relativamente simples. Quanto à instalação, estes adaptam-se facilmente podendo ser acomodados em inúmeras superfícies, desde que estas suportem o peso dos painéis e estrutura de fixação adequada. O tipo de instalação determina o perfil de resfriamento dos módulos impactando na eficiência do sistema (GIZ; SENAI, 2018), diversas pesquisas indicam que a vida útil dos módulos seja próxima a 25 anos enquanto a dos inversores é de 5 a 10 anos, os quais devem ser trocados ao longo da vida útil do sistema a fim de manter o rendimento próximo as condições ideais. (PINHO; GALDINO, 2014),

Dentre os impactos ambientais associados a essa fonte de energia, cita-se se a redução do habitat de determinadas espécies em decorrência da utilização de grandes áreas terrestres, energia gasta para produção dos painéis e dificuldade de recicla-los, sendo que esta última pode acarretar na contaminação dos solos (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016).

2.3. Panorama Nacional da Energia Hidrelétrica

2.3.1. Conceito

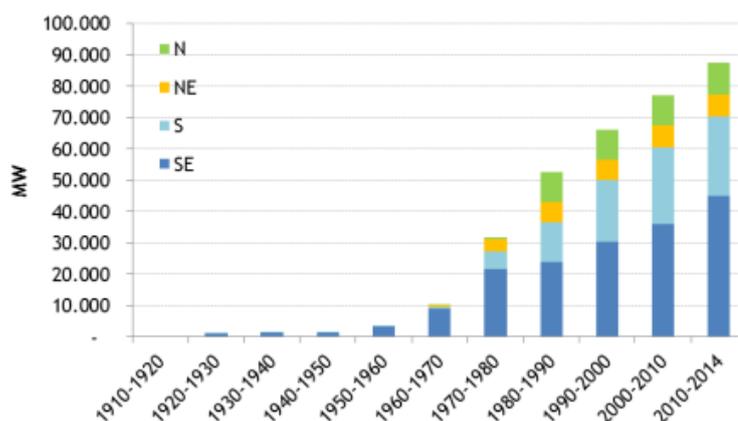
O aproveitamento do fluxo das águas em usinas, conceitua a energia hidrelétrica. (ANEEL, 2008). O final do século XIX marcou o início das construções de hidrelétricas do mundo, sendo a primeira no Brasil, construída no reinado de D. Pedro II, em Diamantina, (CEMIG, 2012) com 0,5 MW de potência e usando uma linha de transmissão de dois quilômetros. Aproximadamente um século depois, a potência instalada atingiu a marca de 14 mil MW, ainda mantendo o mesmo princípio básico de funcionamento. (ANEEL, 2008).

A utilização desta fonte de energia, como base do sistema elétrico é justificada pela facilidade de controle de geração possibilitado pelo controle de tensão e frequência,

o que somado a utilização dos reservatórios para controle de cheias, irrigação, processo industrial, e suprimento de água resulta em um atendimento seguro da demanda energética. Além disso, como os reservatórios tem a função de armazenarem o recurso hídrico estes podem ser estrategicamente combinados a fontes intermitentes como solar e eólica, a fim de estabilizar flutuações de geração. Desta maneira, quando a demanda pode ser suprida pelas fontes complementares, o capital hídrico armazenado não seria comprometido, resultando em uma maior segurança energética. (AHLERT, 2017).

No Brasil, o histórico de expansões hidrelétricas por região está ilustrado na Figura 5, na qual destacam-se as ampliações a partir da década de cinquenta (MME, 2006) e, após a crise do petróleo que sucederam o avanço tecnológico para geração e transmissão culminando na construção de usinas de maior porte posteriormente interligadas. (TOMALSQUIM, 2016).

Figura 5- Evolução do parque hidrelétrico por região geográfica brasileira.

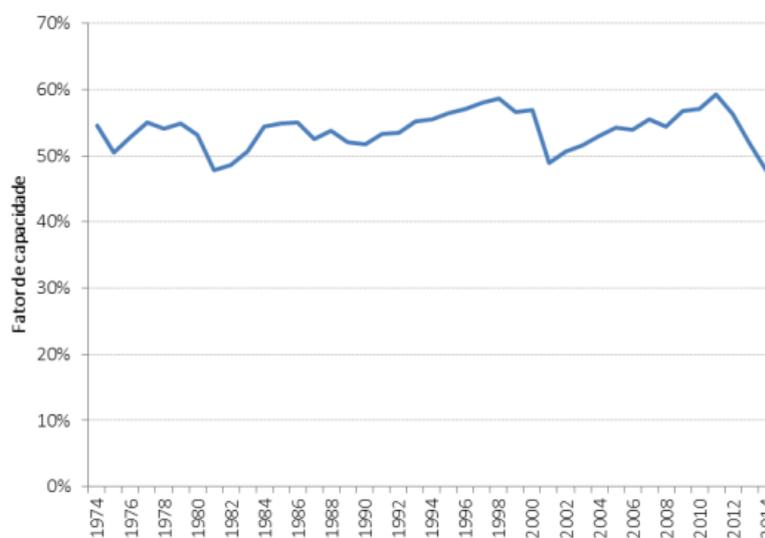


Fonte: TOMALSQUIM (2016).

A eficiência de usina é medida por um indicador de desempenho operacional, denominado fator de capacidade, que é a relação entre a produção efetiva e a produção máxima contínua (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016), para as hidrelétricas brasileiras, adota-se um fator de capacidade de 55% (EPE, 2016a). A variação desse índice ao longo dos anos pode ser observada na Figura 6:

Entre os anos de 2012 e 2014 houve uma redução no fator de capacidade, em consequência de condições climáticas desfavoráveis, ausência de uma diversificação na composição da matriz energética. (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016) e, expansão de usinas á fio d'água.

Figura 6-Evolução do fator de capacidade do parque hidrelétrico.



Fonte: TOMALSQUIM (2016).

Por isso, o planejamento de expansão do SIN (Sistema Interligado Nacional), deve levar em conta a busca por fontes complementares que possam responder de maneira eficaz à variação na geração de energia causada pela ausência de reservatórios de acomodação, a fim de evitar perdas na capacidade relativa de regularização plurianual do sistema integrado e aumento na geração térmica para atender a demanda crescente de energia. (FALCETTA, 2015).

2.3.2. Características de Operação

Para classificar os tipos de usina, deve-se levar em consideração os seguintes fatores: altura, queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, localização, turbina empregada, tipo de barragem e reservatório.

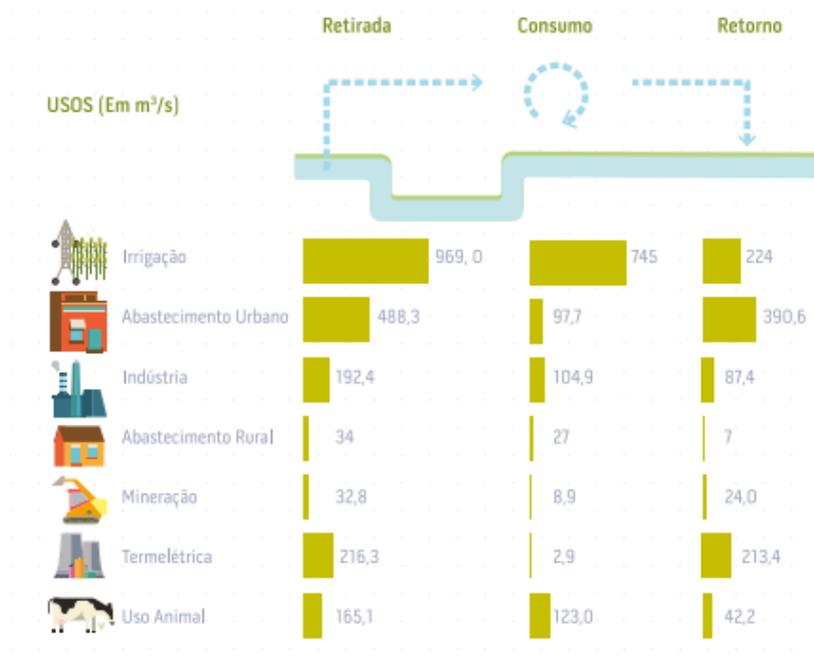
Quanto aos reservatórios, dividem-se entre reservatórios de acumulação e fio d'água. Os primeiros, geralmente são instalados em cabeceiras de rios e locais de altas quedas d'água, permitindo não só a regulação da vazão que irá fluir para elas, viabilizando a operação integrada do conjunto de usinas, como o acúmulo de grande quantidade de água, atuando como estoques acionados durante períodos de estiagem. Em contrapartida, as unidades fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, com acúmulo mínimo ou nenhum do recurso hídrico. (ANEEL, 2008).

A queda d'água é compreendida como de alta, baixa ou média altura. A potência instalada determina se a usina é de grande ou médio porte ou uma pequena central hidrelétrica (PCH), segundo a ANEEL, instalações de até 1 MW de potência instalada são centrais geradoras, instalações entre 1,1 MW e 30 MW são pequenas centrais hidrelétricas e, instalações maiores que 30 MW são definidas como usinas hidrelétricas.

A região amazônica detém grande parte do potencial hidrelétrico, o qual não é explorado em sua totalidade por localizar-se em áreas de proteção ambiental e terras indígenas (CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L, 2016) visto que para concretização de usinas hidrelétricas, diversos estudos técnicos e ambientais são necessários e dificultam processo de licenciamento e expansão. (AHLERT, 2017) aumentando, conseqüentemente o tempo de retorno do investimento.

Todos os setores usuários de água têm igualdade de acesso aos recursos, exceto em casos de escassez, onde devem ser priorizados o atendimento humano e de animais (ANA, 2017), por isso, outro fator limitante da geração hidrelétrica está na disponibilidade e utilização desse recurso. A Figura 7, mostra sua utilização por diversos setores:

Figura 7- Demandas por finalidade (retirada, retorno e consumo) da água no Brasil, em 2016.

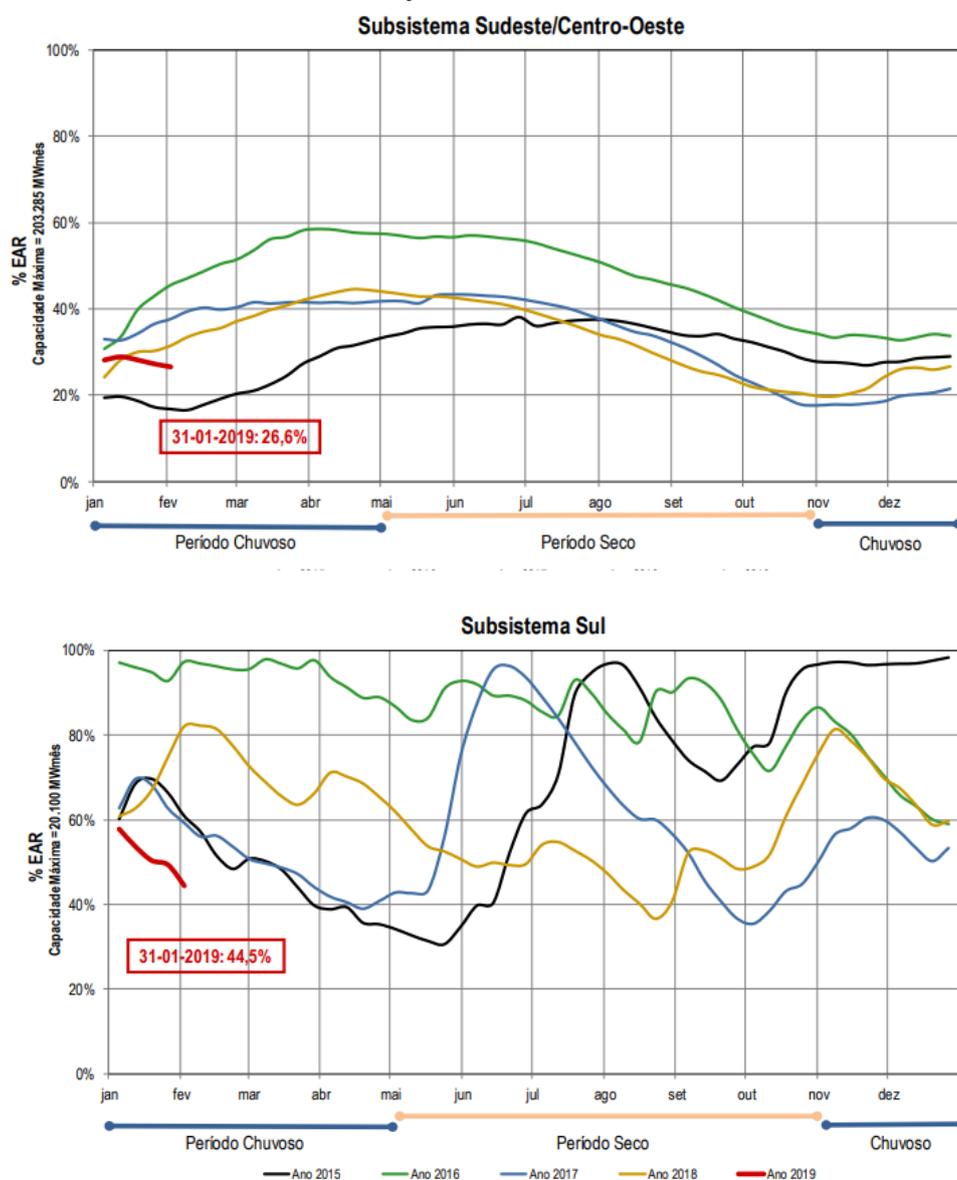


Fonte: ANA (2017).

Para evitar conflito entre as diferentes aplicações da água e otimizar a geração de energia os limites impostos pelos órgãos reguladores devem ser respeitados. (AHLERT, 2017).

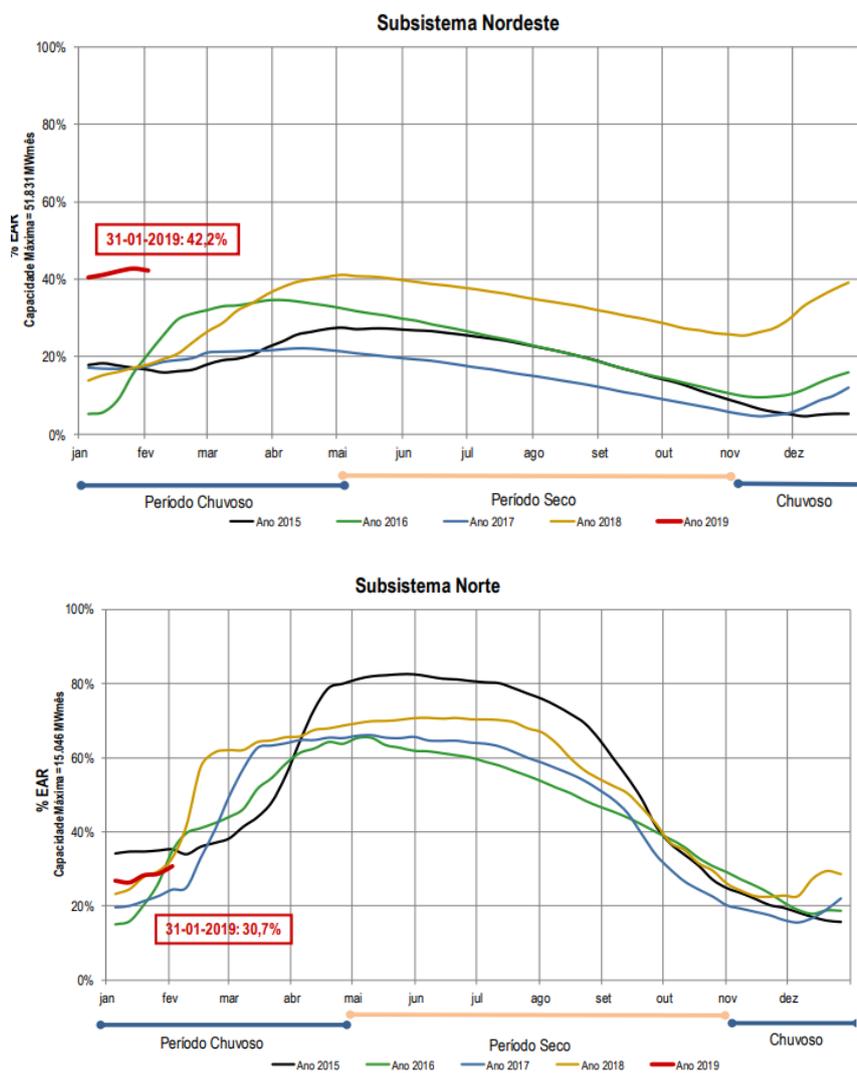
Devido ao sistema interligado nacional, o local de geração não é necessariamente o mesmo do consumo, permitindo o aproveitamento da complementariedade hidrológica natural do regime brasileiro, ou seja, é possível desfrutar da geração de outros sistemas quando um sistema específico encontra-se comprometido. Essas relações de complementariedade são dispostas nas Figuras 8 e 9:

Figura 8- Percentual de energia armazenada nos subsistemas Sudeste/Centro Oeste e Sul de 2015 a janeiro de 2019.



Fonte: MME (2019).

Figura 9- Percentual de energia armazenada nos subsistemas Nordeste e Norte de 2015 a janeiro de 2019.



Fonte: MME (2019).

Constata-se que durante o mês de dezembro de 2018, o subsistema norte manteve o perfil exportador enquanto os subsistemas, nordeste, sul, sudeste/centro-oeste mantiveram ou apresentaram características de importadores. (MME, 2019).

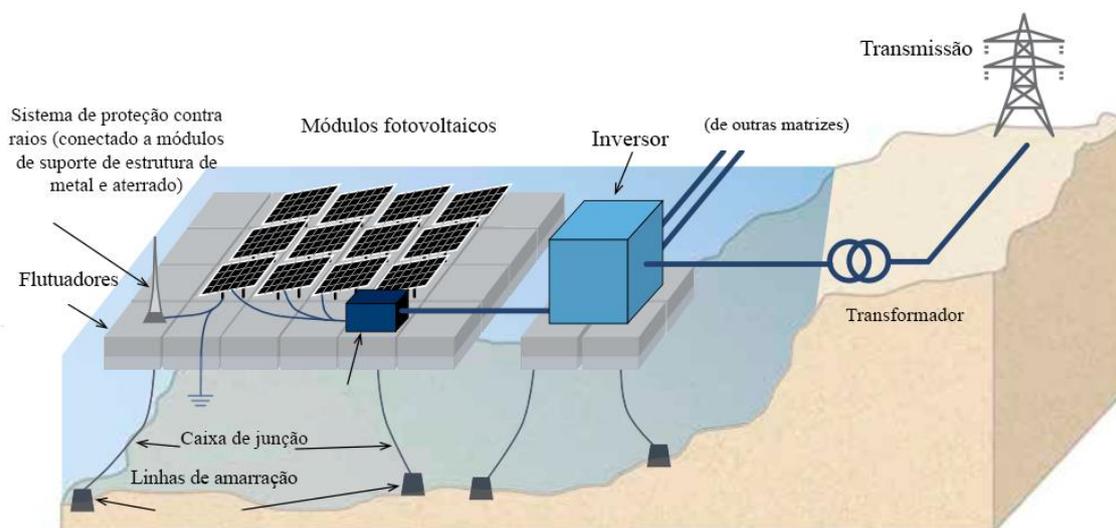
O nível de água em reservatórios de hidrelétricas depende diretamente do balanço hídrico local, assim quando a evaporação do lago é superior à pluviosidade o balanço se torna negativo e há perda de água. A evaporação é influenciada por diversos fatores tais como profundidade, variações de temperatura, umidade do ar e o vento, assim o montante perdido por evaporação é linearmente proporcional à perda energética dessas usinas (AHLERT, 2017).

2.4. Tecnologia Fotovoltaica Flutuante

Uma das principais tendências do mercado são os sistemas fotovoltaicos flutuantes os quais, devido a possibilidade de instalação em lagos, lagoas, reservatórios, canais, barragens e oceanos evitando a implantação de painéis em terra aproveitável, causando um resfriamento natural dos módulos e redução da evaporação da água (EUROPE; EUROPE; COUCIL, 2018), estão criando novas oportunidades de crescimento para energia solar, principalmente em países com disponibilidade limitada de terra. (MESBAHI, 2018).

O arranjo geral de um sistema flutuante, mostrado na figura 10, assemelha-se ao sistema baseado em terra, onde tanto os módulos quanto os inversores podem ser montados em uma plataforma flutuante. A corrente contínua, gerada pelos módulos é coletada em caixas de junção e convertida em corrente alternada pelos inversores, em pequenas plantas flutuantes. O inversor pode ser alocado em terra, desde que esteja a uma curta distância da matriz. A plataforma, ancoragem e ancoradouro também compõem estes sistemas (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS, 2018).

Figura 10-Esquema típico de um sistema fotovoltaico flutuantes, de grande escala, e seus principais componentes.



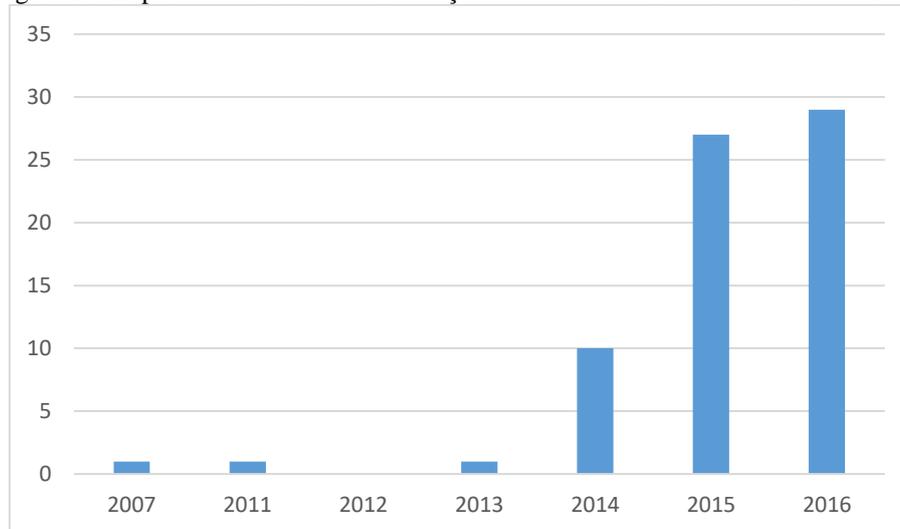
Fonte: Adaptado de GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS (2018).

Normalmente os painéis são instalados com angulação fixa onde os flutuantes empregados são do tipo pontão, puros ou combinados com treliças de metal. A escolha da localização da plataforma flutuante depende das condições para instalação do sistema de ancoragem e amarração, cujo projeto depende de fatores como carga de vento, tipo de

flutuação, profundidade e oscilações no nível da água. A âncora precisa ser projetada de modo que mantenha a instalação no local, por no mínimo vinte cinco anos (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS,2018).

A primeira instalação deste tipo é datada de 2007, em uma vinícola dos Estados Unidos, na barragem utilizada para irrigação. A escolha desta modalidade de painéis é pautada na necessidade de abastecer a vinícola sem reduções na área de terra cultivável. (STRANGUETO, 2016). A Figura 11, expressa o crescimento dessas instalações ao redor do mundo entre 2007 a 2016:

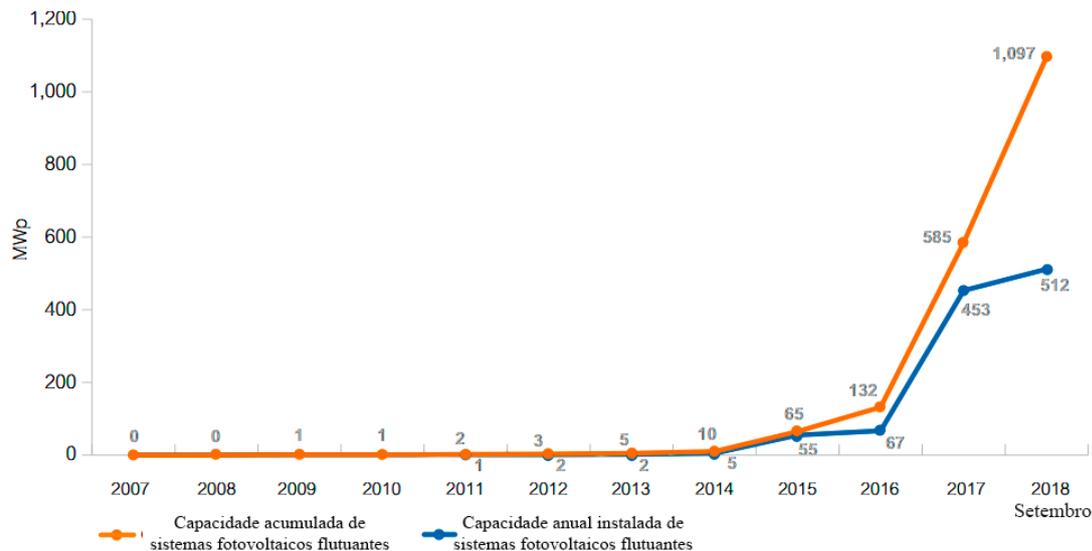
Figura 11- Expansão do número de instalações fotovoltaicas flutuantes de 2007 a 2016.



Fonte: Adaptado de MINAMINO (2016).

A maior parte dos sistemas está situada na Ásia, no entanto, outras regiões como a Europa tem expandido seus projetos nessa área, motivados pelos benefícios socioeconômicos e ambientais (MESBAHI, 2018). Até 2014 haviam somente três usinas registradas, entretanto nos últimos três anos, este número subiu para mais de setenta sistemas ao redor do mundo (MINAMINO, 2016). Em 2018, a capacidade instalada acumulada por sistemas flutuantes, fora calculada em 1,1 GWp, marca atingida pelos sistemas fotovoltaicos terrestres em 2000 (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS,2018). Quase 30 anos depois da primeira instalação solar residencial. (RICHARDSON, 2018). A Figura 12 apresenta a capacidade global instalada nessa modalidade:

Figura 12- Capacidade global instalada de sistemas fotovoltaicos flutuantes.



Fonte: Adaptado de SERIS (2018).

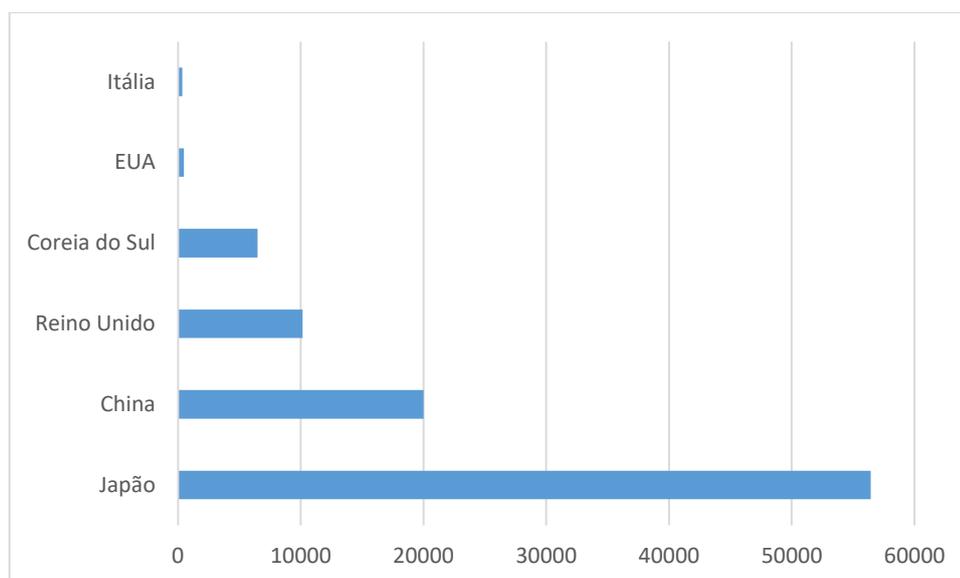
A análise da Figura 12 sugere que sistemas fotovoltaicos flutuantes podem expandir-se na mesma proporção que os sistemas terrestres; na medida que o custeio da implantação desses sistemas diminua (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS,2018).

2.5. Sistemas em Operação

Com quarenta e cinco plantas operantes, o Japão lidera o mercado de usinas flutuantes, tendo 56,44 MW de capacidade instalada, de forma que entre os setenta empreendimentos levantados em meados de 2017, o país representava 63% da quantidade total (MESBAHI, 2018). A Figura 13 mostra a potência instalada acumulada pelos principais produtores de energia solar flutuante.

Até agosto de 2017, haviam 87 projetos instalados no mundo, resultando em uma potência próxima a 102 MW (SOBRAL, 2018), desses, destacam-se as usinas de Huainan na China, com 40 000 kW (SUNGROW, 2018), demonstrada na Figura 14, e Umenoki instalada em Higashimatsuyama, no Japão com potência de 7750 kW sendo as duas maiores usinas implantadas. (MESBAHI, 2018).

Figura 13- Países com maior potência instalada de sistemas fotovoltaicos flutuantes (kW) em 2017.



Fonte: Adaptado de MESBAHI (2018).

Figura 14-Usina de Huaian, China.



Fonte: SUNGROW (2018).

A Figura 15 ilustra a primeira planta implantada no Brasil, localizada no estado de Goiás, a qual conta com 304,75 kWp distribuídos pelos 1150 módulos. (MTEC, 2017).

Figura 15- Usina Flutuante Fazenda Figueiredo (GO).



Fonte: MTEC (2017).

Ressalta-se ainda, o pioneirismo brasileiro em explorar os reservatórios de usinas hidrelétricas, onde os principais sistemas foram implementados nos lagos da hidrelétrica de Balbina, no Amazonas e Sobradinho na Bahia e na Usina de Porto Primavera, em São Paulo (STRANGUETO, 2016). A Tabela 2, compila alguns exemplos de usinas instaladas em reservatórios e/ou barragens pelo mundo, a qual indica a área que seria necessária para uma usina fotovoltaica flutuante equiparar sua capacidade de geração com o reservatório da hidrelétrica (GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS, 2018).

Tabela 2- Usinas flutuantes instaladas em reservatórios e área percentual necessária para equipar a geração hidrelétrica e solar.

Barragem/ Reservatório	País	Tamanho do reservatório (km²)	Potencial Hidrelétrico (GW)	Área necessária (%)*
Barragem de Bakun	Malásia	690	2,4	3
Lago Volta	Gana	8500	1	<1
Barragem do Guri	Venezuela	4250	10,2	2
Lago de Sobradinho	Brasil	4220	1	<1
Barragem de Assuão	Egito	5000	2	<1
Lago e Barragem de Ataturk	Turquia	820	2,4	3
Barragem de Narmada	Índia	375	1,5	4

Fonte: Adaptado de GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS (2018).

Devido ao histórico de baixa geração da usina hidrelétrica amazonense, o uso do reservatório apresenta-se como forma de aproveitamento da área alagada de 4437,72 km²,

até então em desuso, aproveitando as subestruturas da estação hidrelétrica e as linhas de transmissão existentes. Enquanto no reservatório baiano e paulista a grande proposta é observar o desempenho das usinas sobre diferentes condições climáticas. (STRANGUETO, 2016).

2.6. Relação com Sistemas Baseados em Terra

Os estudos acerca do desempenho de sistemas fotovoltaicos flutuantes (SFF) são relativamente imaturos, no entanto, pesquisas existentes apresentam ganhos de eficiência de conversão de energia superiores a 11% (CHOI; LEE; KIM, 2013). Em razão das temperaturas ambientes mais baixas sob os painéis e sombreamento desprovido. (SPENCER *et al.*, 2018).

A cobertura de um reservatório com um sistema SFF reduz as taxas de evaporação da água e impacta positivamente na qualidade da água ao limitar o fluxo de ar e absorver parte da radiação solar que iria para o reservatório, além disso, quando implantados em reservatórios de usinas hidrelétricas representam uma redução nos custos, em razão do aproveitamento da infraestrutura existente para transmissão e otimização na gestão da demanda. (SPENCER *et al.*, 2018).

Usinas flutuantes operam com os mesmos módulos solares que sistemas ancorados em terra, por isso a diferença crucial nos custos do investimento está na estrutura flutuante, sistema de ancoragem e amarração e cabos elétricos, principalmente quando estes contam com características de isolamento e blindagem capazes de garantir proteção contra a degradação por umidade (PV TECH, 2018). A Figura 16, apresenta um comparativo realizado pela SERIS, entre uma usina de 50 MW flutuante e uma usina de mesma capacidade ancorada em terra, assumindo os mesmos custos para os módulos e inversores.

Figura 16- Relação de custos usinas flutuantes e terrestres.



Fonte: Adaptado de PV Tech. (2018).

O tempo de retorno do investimento do investimento em uma planta flutuante é de cinco anos, com vida útil apurada, em 30 anos aproximadamente. Considerando um sistema com 4000 módulos, em uma planta de 1 MW por efeito de simplificação dos cálculos, o tempo de retorno pode ser fornecido pela Equação 1 (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016):

$$\text{Tempo de retorno} = \frac{\text{Custo total}}{\text{Economia acumulada anualmente}} \quad (1)$$

Estima-se se em um sistema flutuante o custo por watt é de US\$: 0,10 ou aproximadamente, R\$: 0,39 por watt (consulta realizada em jun. 2019) demonstrando ser maior que em um sistema terrestre em decorrência dos custos de montagem, ancoragem e amarração serem significativamente altos, contudo, estes gastos são compensados pelos ganhos de rendimento energético avaliados entre 5 a 15%, apresentando ganhos maiores em regiões de clima mais quentes. (PV TECH, 2018).

Embora não seja possível definir com exatidão, o impacto ambiental causado por estes sistemas, aponta-se que durante a construção a circulação de maquinaria, embarcações e mão de obra provoca impactos negativos como emissão de poluentes, redução do espaço hídrico livre na barragem e, após esta etapa, as alterações nos padrões de evaporação e luminosidade podem acarretar em modificações nas propriedades físico químicas da água. (SOBRAL, 2018).

Outros componentes como cabos elétricos podem interferir no sistema aquático em decorrência dos campos magnéticos gerados. Contudo, todos estes fatores são submetidos ao sistema de monitoramento durante a vida útil do projeto (SOBRAL, 2018) e dessa forma, os sistemas SFF surgem como uma alternativa atrativa para aquicultura,

pelo efeito sinérgico entre eles, demonstrando ser uma solução em potencial para regiões com restrições quanto ao uso da terra. (SPENCER *et al.*, 2018).

2.7. Arranjo Fotovoltaico Flutuante

Coberturas flutuantes tem por objetivo otimizar o balanço água-energia nos reservatórios irrigação (SANTAFÉ *et al.*, 2014). Vale lembrar que até 2014, a aplicação destes sistemas era limitada a este tipo de reservatório e, no cenário vigente este objetivo também é aplicado a barragens e reservatórios de usinas hidrelétricas.

A Figura 17 esquematiza o balanceamento proposto por esta instalação. O lado esquerdo (a) representa um reservatório descoberto e, o lado direito (b) um reservatório coberto.

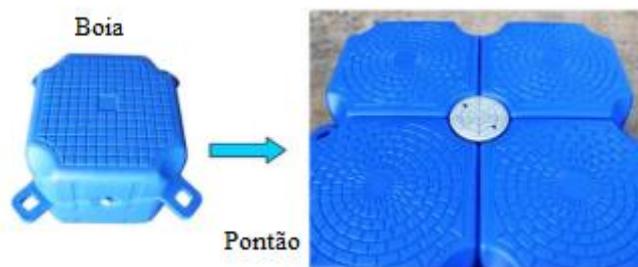
Figura 17- Esquema balanço água-energia.



Fonte: Adaptado de SANTAFÉ *et al.* (2014).

A plataforma flutuante é a estrutura com flutuação capaz de suportar o peso dos módulos, garantindo a flutuabilidade e equilíbrio do sistema de geração (STRANGUETO, 2016). Usualmente originam-se de múltiplas boias plásticas, produzidas de polietileno de alta densidade (HDPE), unidas de modo a formar um pontão. Os pontões são os dispositivos resistentes a tração e corrosão de raio, a Figura 18 mostra um flutuador e a estrutura de pontão (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

Figura 18- Estrutura flutuante de pontão.

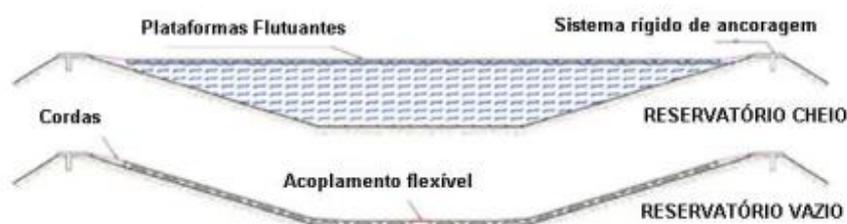


Fonte: Adaptado de SAHU et al (2015).

Estas plataformas, devem ser conectadas de modo que as variações do nível da água não danifiquem a estrutura do sistema flutuante. (STRANGUETO,2016).

Os sistemas de amarração referem-se as estruturas permanentes capazes de fixar uma estrutura, no caso de sistemas solares flutuantes constituem, portanto, a parte responsável por manter os painéis na mesma posição impedindo-os de se soltarem. Em geral, os sistemas de amarração de uma plataforma flutuante constituem-se de ligas de cabo de aço ou de nylon que podem ser atracadas a postes de amarração, bancos ou aos cantos do lago (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016). Diante disso, a instalação pode ser desafiadora e cara, a depender da profundidade do lago. A Figura 19, exemplifica um sistema onde toda superfície d'água é coberta por painéis:

Figura 19-Estrutura de sistemas fotovoltaicos flutuantes.



Fonte: Adaptado de SANTAFÉ et al (2014).

O módulo solar fotovoltaico, aplicado até então, é o mesmo das instalações terrestres. Contudo, com o crescimento de plantas neste formato vê-se a necessidade de modificar a estrutura convencional de alumínio, danificada pela corrosão mediante a exposição à umidade (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

A eletricidade gerada, é transmitida a terra por meio de cabos, onde posteriormente será transmitida, utilizada ou armazenada. Esta conexão pode ser realizada por cabos submersos ou fiação acima da água. Mesmo que nenhum componente

esteja submerso, é importante que todos tenham certificação à prova d'água, sejam robustos e resistentes a altas temperaturas, de modo a fornecer um serviço de longa duração (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016).

Como sobredito, usinas fotovoltaicas flutuantes diferem dos sistemas fotovoltaicos tradicionais em diversos fatores, tais como: estruturas flutuantes, sistema de amarração e ancoragem e, cabeamento subterrâneos (BARBUSCIA, 2017). Quanto as estruturas flutuantes, pode-se dividi-las em quatro grupos sendo: plano único, modular, resistente e semi-submersos.

- Plano único: Composto cúbico (ou similar), boias formam uma base flutuante de forma a abrigar os módulos em sua superfície;
- Modular: Uma estrutura para cada módulo;
- Resistente: Boias de plástico, de topo metálico para suportar painéis inclinados;
- Semi-Submerso: Módulos colocados diretamente na água, ou estruturas flutuantes onde há apenas uma fina camada de material condutor, como alumínio.

A Tabela 3, compara alguns tipos de estruturas de montagem, apontando ganhos de eficiência e possíveis restrições a aplicação:

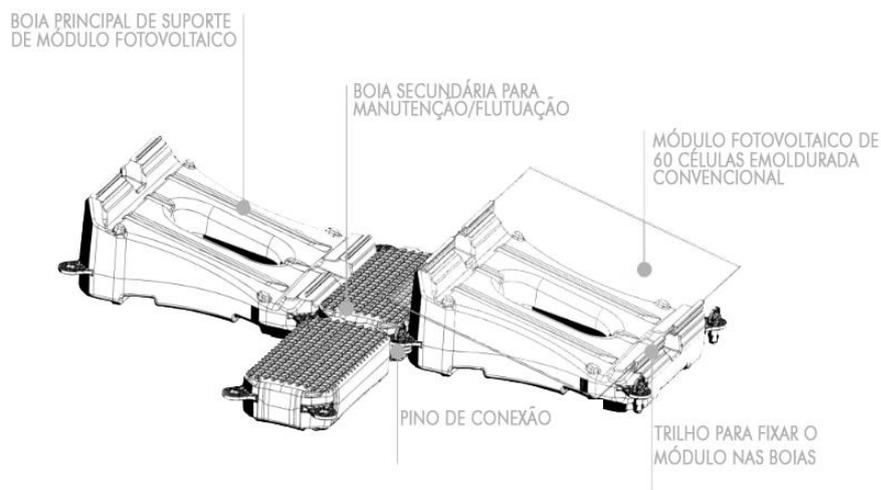
Tabela 3- Estruturas de montagem

Estrutura	Ganho de Eficiência	Angulação fixa	Aplicação
Modular	~10%	Sim	Pequenos lagos e tanques de irrigação
Plano Único	~10%	Não	Pequenos lagos e tanques de irrigação
Semi-Submerso	~10%	Não	Pequenos lagos e tanques de irrigação
Painéis Submersos	5-12%	Não	Todas
Metálicos	~10%	Sim	Todos

Fonte: Adaptado de Barbuscia. (2017).

A tecnologia difundida nas instalações atuais é a plataforma flutuante HYDRELIO, patentado pela Ciel & Terre, mostrada na Figura 20, a qual conta com equipamentos que facilitam a instalação e montagem, dado que não exige equipamentos pesados e as plataformas ajustáveis as instalações de pequeno e grande porte (AHLERT,2017).

Figura 20- Plataforma flutuante de Hydrelío.



Fonte: Adaptado de CIEL ET TERRE. (2019).

As vantagens deste sistema, vão além da redução dos índices de evaporação d'água e retardo do crescimento das algas. Os flutuadores Hydrelío, são feitos de HDPE através do processo de fabricação de modelagem por sopro, combinação capaz de proporcionar uma vida útil de mais de duas décadas ao sistema. Os flutuadores secundários permitem fácil acesso aos painéis, o que viabiliza a manutenção e limpeza, e além disso, a base resiste a ventos de 210 km/h (CIEL & TERRE, 2019).

2.8. Sistemas Flutuantes em Reservatórios de Hidrelétricas

Presume-se que as reduções das taxas de evaporação chegam a 33% em lagos naturais e 50% em estruturas artificiais (SAHU; YADAV; SUDHAKAR, 2016), conseqüentemente as perdas da geração decrescem (AHLERT, 2017).

Revestir a superfície da água, reduz a penetração da luz solar, dessa forma restringe o crescimento de algas que podem levar a eutrofização do lago formado pela barragem, o que acontece em alguns reservatórios do país. (AHLERT, 2017)

Nos períodos de alta dos reservatórios, a geração das hidrelétricas seria beneficiada e, nos períodos de escassez de chuvas recorrer-se-á a geração fotovoltaica, diante da ampliação da disponibilidade do recurso solar, equilibrando e mantendo os padrões de qualidade e geração de energia (AHLERT,2017), principalmente se considerarmos a possibilidade de exploração da área inundada formada por barragem, fato que evita a ocupação de terras aproveitadas para outros usos (SPENCER *et al.*, 2018),

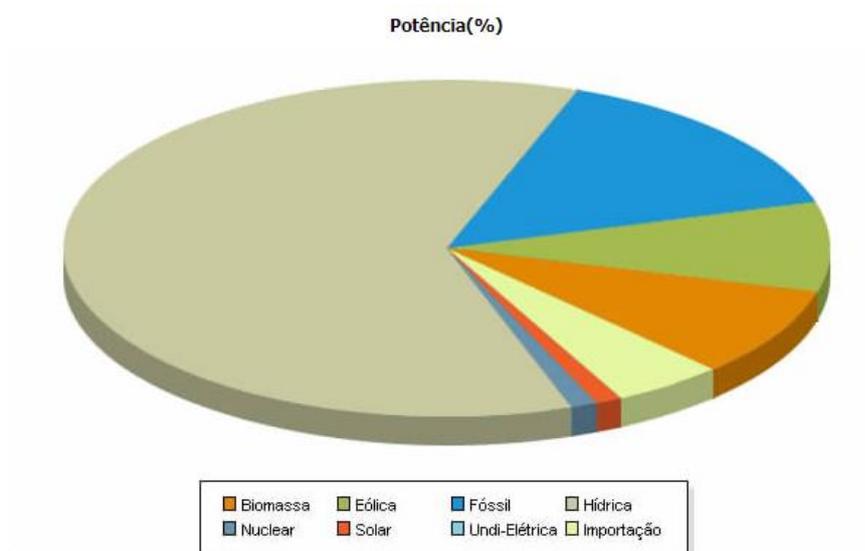
e a possibilidade de se aproveitar as estruturas de transmissão e subestações utilizadas pelas usinas hidrelétricas (AHLERT, 2017).

2.9. Potencial Brasileiro

Sabe-se do potencial hidroelétrico do país, todavia, por questões ambientais e sociais, a construção de novas usinas enfrenta dificuldades. Dessa maneira, pode-se utilizar as áreas já alagadas com uma finalidade adicional de dar suporte à instalação de SFF.

A partir da análise da atual matriz energética brasileira, ilustrada pela Figura 21, nota-se uma participação majoritariamente hidráulica, com uma extensa área alagada por barragens e reservatórios que totalizam 37992,95 km² da qual, grande parte é inutilizada. (AHLERT,2017).

Figura 21- Matriz energética brasileira.



Fonte: BIG (2019).

A exploração do recurso hídrico nacional representa quase 61% da matriz, dividindo-se entre 216 empreendimentos em operação e 5 em construção com outras 7 com construção não iniciada. Dados que viabilizam a aplicação da tecnologia solar fotovoltaica flutuante de forma centralizada, nos reservatórios das usinas (BIG, 2019). Alguns trabalhos sugerem a existência de um grande potencial ainda inexplorado para a geração de energia no país. (SANGRETHO, 2016).

2.10. Sistemas em Operação Instalados em Reservatórios de Usinas Hidrelétricas

A instalação de usinas solares em meio aquático, reflete um grande potencial para o Brasil, que pode auxiliar comunidades isoladas e ribeirinhas a serem atendidas pela energia elétrica.

Em 2016, no município de Rosana em São Paulo, fora inaugurada a usina solar flutuante, ilustrada na Figura 22, com geração de 101, 522 quilowatt-hora (kWh), a qual combina tecnologia de placas flexíveis e rígidas. (SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO, 2016). O projeto teve início em 2014, e consiste em 100 painéis rígidos flutuantes, de 250 watts cada e 180 flexíveis de 144 watts, ocupando uma área de 500 metros quadrados, no reservatório da usina de Porto Primavera, de 2250 km². (SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO, 2016).

Figura 22- Usina solar flutuante no estado de São Paulo.



Fonte: Blue Sol. (2016).

O município amazonense de Presidente Figueiredo abriga a usina hidrelétrica de Balbina, cuja capacidade é de 250 MW, porém devido às secas e ao baixo nível de seu reservatório, entrega menos da metade desta capacidade. A fim de abastecer a população local de maneira satisfatória, recorre-se a investimentos em energia solar para combinar e equilibrar as gerações. (PORTAL SOLAR, 2016).

O projeto piloto consiste na instalação de 16 painéis fotovoltaicos com geração de 4,1 megawatts (MW) e, em sua fase final deve contar com 21 painéis, resultando em

uma geração de 5MW, o que seria suficiente para abastecer 9 mil residências (JEZINI, 2016).

O programa que é considerado a primeira usina solar flutuante instalada no mundo em um reservatório de hidrelétrica (JEZINI, 2016) pode ser observado na Figura 23 e, a depender dos resultados obtidos espera-se que haja uma expansão do sistema para 300 MW, caso isso aconteça a geração fotovoltaica superará a capacidade de geração de energia hídrica. (PORTAL SOLAR, 2016).

Figura 23- Usina solar flutuante no estado do Amazonas.



Fonte: Portal Solar (2016).

A companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) em parceria firmada com a Eletrobrás, implantou um sistema de geração concentrada no reservatório da Usina Hidrelétrica de Sobradinho, na Bahia. (FREIRE, 2018).

A usina hidrelétrica de Sobradinho, possuiu capacidade de geração de 1,05 mil MW, com reservatório de 4,2 mil quilômetros quadrados de superfície de espelho d'água. Entretanto, em decorrência da baixa vazão, estima-se uma geração de 180 MW. A plataforma flutuante possui 7,3 mil painéis que ocupam uma área de 10 mil metros quadrados, cuja capacidade é de 1 MW, que deverão ser expandidos para 5 MW, em sua etapa final, distribuídos em 35 mil módulos e 50 mil metros quadrados, cobrindo o reservatório da usina (VERDELIO, 2018), como pode ser observado na Figura 24.

Figura 24- Usina solar flutuante no estado da Bahia.



Fonte: Agencia Brasil (2018).

Diante da possibilidade de expansão do projeto, os técnicos envolvidos irão analisar a eficiência da tecnologia quando submetida a um sistema natural de resfriamento, comportamento do sistema de ancoragem e conversão de energia mediante a movimentação da barragem e impactos ambientais (VERDELIO, 2018).

O primeiro projeto europeu com estas características fora instalado em Portugal, no reservatório da usina hidrelétrica de Alto Rabagão, em Montalegre. A usina hidrelétrica em questão, mostrada na Figura 25, é ampla e possui condições climáticas adversas que permitem observar o comportamento da tecnologia em diversos cenários. O profundo vale, de solo rochoso e variações de cotas, permite também a análise dos sistemas de amarração (DIÁRIO DE NOTICIAIS, 2017).

A central flutuante foi capaz de suportar o inverno de 2016, com baixas temperaturas, neve e ondulações próximas a um metro. Já em 2017, os 840 painéis dispostos em 2500 metros quadrados, com capacidade instalada de 300 MWh, superou as expectativas de produção líquida em 5% (DIÁRIO DE NOTICIAIS, 2017).

Figura 25-Usina solar flutuante no estado de Montalegre.



Fonte: Dinheiro Vivo (2017).

Ainda em 2016, a Índia instalou no reservatório de Banasura Sagar em Wayanad, Kerala, uma usina solar flutuante de 500 kWp, com 1938 painéis, de 260 W cada, conforme pode ser observado pela Figura 26.

Figura 26- Usina solar flutuante na Índia



Fonte: Energy World (2017).

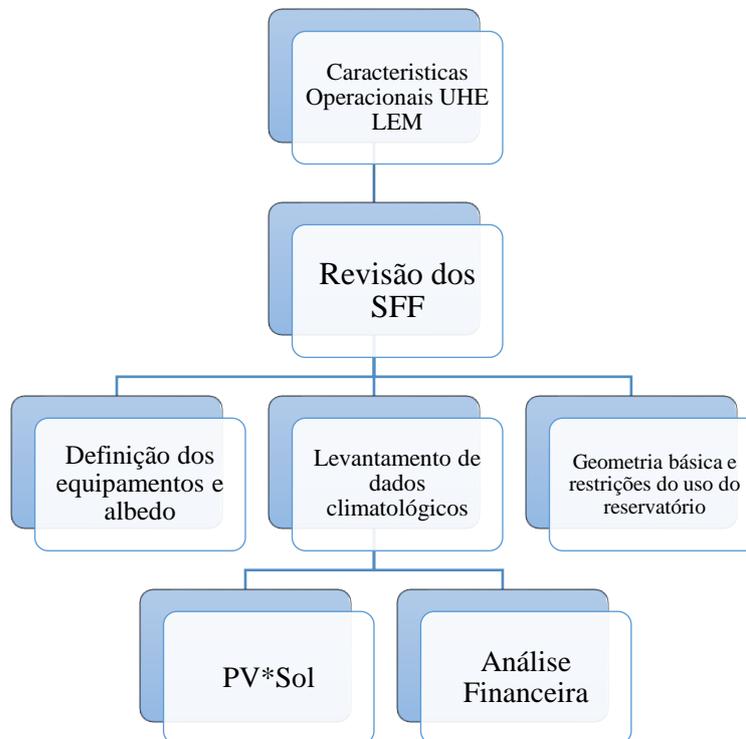
O diferencial desta planta está no mecanismo de ancoragem, projetado para manter a usina operando em plenas condições mesmo com alterações no nível da aquático. (ENERGY WORLD, 2017).

Os resultados destes projetos permitem a análise da factibilidade destes sistemas, quando combinados a reservatórios de hidrelétricas (AHLERT, 2017).

3. PROCEDIMENTOS

O fluxograma com as etapas da pesquisa é apresentado na Figura 27:

Figura 27- Etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração própria (2019).

3.1. Usina Hidrelétrica

A fim de selecionar o melhor local para a aplicação do sistema flutuante, analisam-se os seguintes parâmetros: área do reservatório disponível, limitações do uso do espelho d'água, velocidade da água e do vento, fator de capacidade, facilidade de conexão com as estruturas de transmissão existentes e evaporação anual média

Conforme supracitado, define-se como fator de capacidade a razão entre a geração em um determinado período e capacidade máxima de geração da usina. Este estudo irá utilizar o valor calculado por Straguetto (2016) e, compará-lo aos dados de geração divulgados pela ONS em seus boletins semanais de operação durante 19 de janeiro de 2019 a 31 de maio de 2019.

Faz-se necessário observar a estrutura e construção da usina a fim de identificar possíveis restrições à instalação de módulos solares flutuantes.

Os dados de evaporação da usina, são obtidos com base nos estudos realizados por Bueno e Mello (2015) e, Coelho (2016) acerca da pegada hídrica, onde no primeiro desses estudos, os resultados de evaporação das usinas são calculados com o auxílio do *software* SisEvapo da ONS de acordo com as normas climatológicas de 1961 a 1990 e no segundo os dados de evaporação da UHE LEM são obtidos através de métodos estatísticos.

Uma vez definidos estes parâmetros, pode-se realizar a simulação desse sistema e, a título de comparação com os resultados obtidos em simulação estima-se o potencial de geração teórico.

3.2. Levantamento de Dados

Estabelecida a hidrelétrica que receberá o sistema proposto, faz-se necessário levantar as informações para construção complementar do banco de dados do *software* de simulação adotado. As informações climatológicas de irradiação, temperatura e velocidade do vento são adquiridas a partir do banco de dados do NASA-SSE, CRESESB (Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sergio Brito) e CLIMATEMPO, por meio da inserção da latitude e longitude (-9.75933, -48.37166) fornecidas pelo Google Earth.

Em seguida, identifica-se o valor de albedo e modelo dos painéis fotovoltaicos e inversores a partir dos modelos identificados na literatura para sistemas similares e disponibilidade no mercado.

3.3. PV*Sol

O *software* adotado para simulação do projeto é o PV*Sol, cujas ferramentas possibilitam a projeção e estudo de sistemas conectados à rede, sistemas isolados e, carros elétricos. O programa desenvolvido por Valentin Software GmbH fornece um relatório completo com gráficos e tabelas exportáveis para uso em outros *softwares*. Utiliza-se a versão *premium* de 2019.

O PV*Sol apresenta interface intuitiva, permitindo ao usuário que em poucos passos crie um cenário em três dimensões facilitando a compreensão do comportamento

do sistema, incluindo análise de sombreamento, possíveis restrições quanto ao uso da cobertura e interferências externas (árvores e prédios, por exemplo) possibilitando a análise desde um nível inicial de representação até um sistema detalhado com maior complexidade.

A partir da inserção dos dados mencionados anteriormente e da definição da disposição dos módulos, o *software* foi capaz de simular a geração elétrica considerando perdas por cabeamento, degradação dos equipamentos e influência das sombras.

3.4. Aplicação do Projeto no Reservatório

A disposição definida no PV*Sol, para o modelo flutuante, permite a projeção do sistema sobre o reservatório, identificando a área a ser ocupada pelo sistema.

3.5. Avaliação Financeira

Para que seja possível estimar o investimento necessário, sua viabilidade e cálculo do tempo de retorno de investimento realiza-se a avaliação financeira do projeto. É importante salientar que a análise financeira realizada é exemplificativa, dado que análise econômica aprofundada não é um dos objetivos presentes no trabalho.

A estimativa inicial dos custos é determinada a partir dos valores encontrados para projetos similares e orçamentos fornecidos por empresas brasileiras licenciadas pela companhia francesa Ciel & Terre International.

Assim como em Ahlert (2017), para o tempo de retorno, faz-se a análise com base na arrecadação acumulada, estabelecendo que o tempo seja limitado pelo ano do início de operação da planta e pelo ano que a arrecadação se igualasse ao valor do investimento do projeto. Onde o início e término do somatório compreendem a vida útil do sistema, assim o total acumulado é descrito pela Equação (2):

$$T_a = \sum_{2019}^{2044} (C_{va} \times G_a - C_{O\&M}) \quad (2)$$

Em que:

a é o ano de referência;

T_a é o total arrecadado acumulado no ano de referência em R\$;

C_{va} é o custo de venda da energia no ano de referência em R\$;

G_a é a geração do sistema no ano de referência em MWh;

$C_{O\&M}$ é o custo de operação e manutenção do sistema em R\$.

Considera-se, ainda o ganho financeiro adicional com a água que deixa de evaporar com a cobertura do lago e, conseqüentemente pode ser utilizada pela usina para fins de geração.

Ahlert (2017), define o cálculo do volume da água que deixa de evaporar como a multiplicação entre a evaporação anual (m), a área ocupada pelos módulos de geração (m^2) e a redução de evaporação devido à cobertura, expressa pela Equação 3:

$$V_e = E_a \times A \times r \quad (3)$$

Em que:

V_e é o volume da água que deixa de evaporar (m^3);

E_a é a evaporação anual (m);

A é a área ocupada pelos módulos de geração (m^2);

R é a redução da evaporação devido à cobertura (%);

Para a taxa de redução da evaporação, adota-se o valor sugerido pela literatura para sistemas flutuantes de 50% (SAHU *et al*, 2015).

Presume-se ainda, os valores da vazão média anual equivalente (vazão perdida de água devido à evaporação) a partir dos valores de volume, conforme Equação 4.

$$Q_{ev} = \frac{E_v \times A}{t} \quad (4)$$

Onde:

Q_{ev} é a razão média equivalente a lâmina evaporada no reservatório em $m^3 s^{-1}$;

E_v a taxa de evaporação do reservatório em metros e,

A equivale a área alagada do reservatório em m^2 .

t é o número de segundos ao longo de um ano (s)

Os dados de vazão permitem o estudo do ganho financeiro em relação a energia necessária, para tal, faz-se necessário estipular um valor referente a geração de energia por vazão turbinada.

4. ESTUDO DE CASO

Diante do potencial expressivo de aproveitamento de geração fotovoltaica flutuante, brasileiro e seu avanço em aplicação internacionais, este trabalho propõe um sistema de 500 kWp a ser instalado no reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Usinas Hidrelétrica de Lajeado), analisando os seguintes parâmetros: potencial de geração fotovoltaica flutuante, oscilações no nível da água, fator de capacidade da usina, velocidade do vento e da água, restrições quanto ao uso do reservatório e taxas de evaporação.

Destaca-se que para a instalação de um sistema deste modo, estes fatores devem ser analisados de forma mais detalhada e não devem ser as únicas condicionantes a serem consideradas. Todavia, as variáveis consideradas permitem a análise da viabilidade de implantação do projeto.

4.1. Caracterização da Usina

4.1.1. Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Lajeado)

O rio Tocantins comporta as Usinas Hidrelétricas de Cana Brava, Serra da Mesa, São Salvador, Luís Eduardo Magalhães, Estreito Tucuruí e Peixe Angical. A construção e exploração do potencial de energia hidráulica da UHE LEM é regulamentada pelo contrato n° 05/97, processo 48100.001551/97-77 da ANEEL (ANEEL, 1997).

Segundo dados da Investco (2019), a usina Hidrelétrica de Luís Eduardo Magalhães (UHE Lajeado) localiza-se no rio Tocantins, definido pelas coordenadas geográficas 9°45'21.5"S de latitude sul e 48°22'22.0"W de longitude leste, nas divisas dos municípios de Miracema do Tocantins e Lajeado. Possuindo 902,5 MW de potência instalada, a capacidade instalada representa 47,27% da capacidade do estado do Tocantins e 1% da capacidade nacional. A análise dos impactos de operação eletro energético do SIN e segurança da rede de operação permitem caracterizar a modalidade de operação da usina como sendo, individualizada, a fio d'água do tipo I, com produção de energia destinada a utilização sob o regime de produção independente.

Estima-se que a produção média anual seja de 4,6 milhões de MWh, distribuídos em cinco unidades geradoras com 180,5 MW de potência instalada. O sistema de transmissão associado inclui uma linha de transmissão de 40 km conectada a subestação de Miracema do Tocantins a uma tensão de 500 kV.

A construção durou 39 meses e, em 2001 a primeira de suas unidades de geração entra em operação. Segundo dados da EDP as unidades geradoras entraram em operação em: 01/12/2001, 01/03/2002, 09/05/2002, 09/05/2002,30/07/2002 e 07/11/2002 tendo sido, os meses de outubro de 2001 a janeiro de 2002 destinados ao enchimento do reservatório.

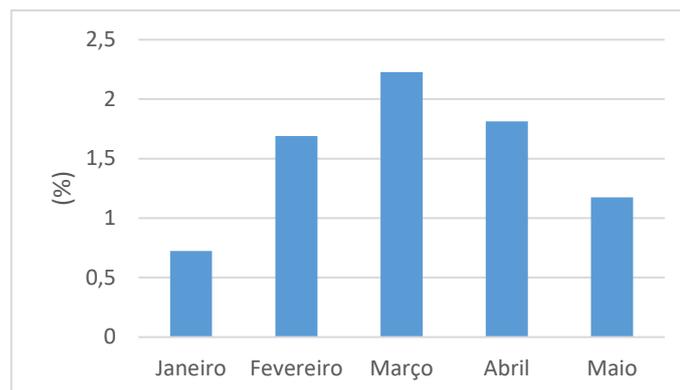
4.1.2. Fator de Capacidade

O fator de capacidade de uma usina hidrelétrica está relacionado com a disponibilidade de utilização dos sistemas de transmissão existentes, ou seja, os sistemas de uma hidrelétrica que gera, em média, menos que a sua capacidade instalada pode ser aproveitada para a transmissão de energia gerada pela usina fotovoltaica flutuante, mediante a devidas adequações. No que se refere a complementação solar flutuante, o estudo considera um cenário conservador, onde a subestação é dimensionada conforme a capacidade instalada.

Devido à limitação da obtenção dos dados de geração da usina, a análise dos dados restringe-se ao período de janeiro a maio de 2019, assumindo que os resultados obtidos representem a eficiência da hidrelétrica.

A Figura 28, apresenta o fator de capacidade encontrado para a usina hidrelétrica LEM, no espaço amostral adotado:

Figura 28- Fator de capacidade UHE Luís Eduardo Magalhães



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados na ONS (2019 c).

A oscilação mais acentuada durante o mês de janeiro é justificada pelo fato de que os dados foram contabilizados após a segunda quinzena do mês. Considerando a potência instalada de 902,5 MW e, o fator de capacidade calculado por Strangueto (2016) de 17% conclui-se que os subsistemas de transporte de energia elétrica da hidrelétrica se encontram, na maior parte do tempo subutilizadas, permitindo a instalação de uma fonte complementar de energia como a proposta.

4.1.3. Restrições Quanto ao Uso do Reservatório

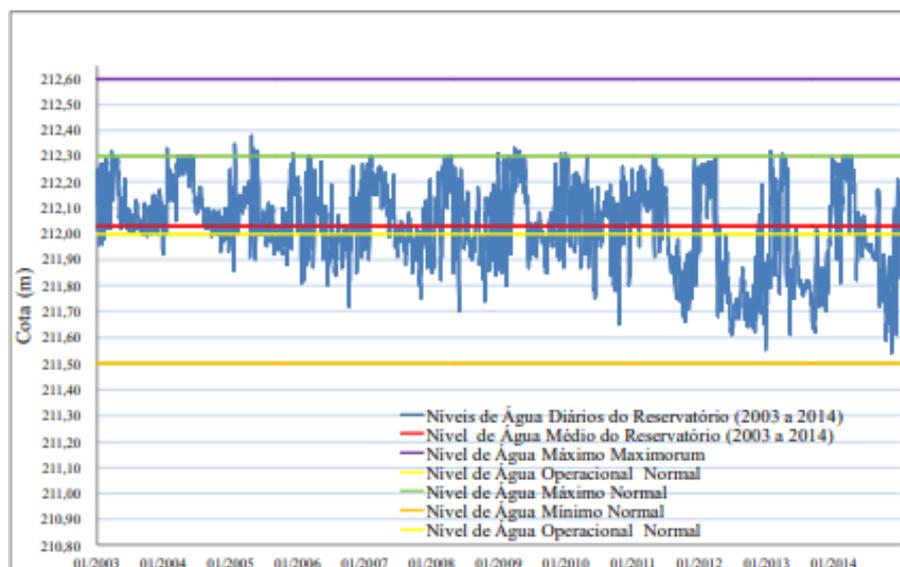
Apesar da UHE LEM estar localizada nos municípios de Lajeado e Miracema do Tocantins, seu reservatório estende-se para os municípios de Palmas, Porto Nacional, Brejinho de Nazaré e Ipueiras. Com uma extensão de 172 km, profundidade média de 8 m, 630 km² de área alagada e 100 anos de vida útil. Os níveis de água (NA) operativos são: NA máximo maximorum, NA máximo normal, NA normal e NA mínimo normal, assumem os valores de 212,60 m, 212,30 m, 212 m e 211,50 m, respectivamente

Strangueto (2016) destaca que a viabilidade de sistemas fotovoltaicos flutuantes está intimamente relacionada com a área alagada disponível, visto que uma área suficientemente grande é necessária para compensar o investimento requerida. Neste caso, além do potencial de geração, limitações do uso do espelho d'água, velocidade da água e do vento, consideram-se as oscilações no nível da água, composição do solo das margens e do fundo, para avaliar a factibilidade de implementação desse sistema em um dos maiores(13º) reservatórios do país.

Oliveira e Oliveira (2017) sintetiza os níveis diários da água do reservatório comparados aos níveis operativos e de referência do projeto da usina entre os anos de 2003 a 2014, estes são apresentados na Figura 29.

Os níveis médios de água no reservatório foram de 212,03 metros e, os níveis operativos históricos, máximo e mínimo foram de 212,38 e 211,4 m, respectivamente. Resultados que retratam o comportamento típico de usinas a fio d'água, nas quais o nível do reservatório é praticamente constante (OLIVEIRA; OLIVERIA,2017).

Figura 29- Níveis de água do reservatório frente aos níveis de água de projeto, de 2003 a 2014.



Fonte: Oliveira e Oliveira (2017).

Quanto as restrições operativas da usina, destaca-se a utilização do reservatório para fins turísticos (principalmente no mês de junho a agosto) onde, a operação deve minimizar flutuações provocadas por possíveis vazões incrementais, além da obrigação legal de uma vazão ecológica a jusante, imprescindível em todas as hidrelétricas do país.

4.1.4. Evaporação

O índice de evaporação média por ano, indica a quantidade de água perdida pela usina e, conseqüentemente, apontar se a instalação de um sistema fotovoltaico flutuante reduziria este índice.

De acordo com Bueno e Mello (2015) a evaporação bruta da UHE é de 1751 mm/ano a uma vazão de 2532 m³/s e, de acordo com Coelho (2016) estima-se que a taxa de evaporação seja de 1,7% para a referida usina hidrelétrica.

4.2. Resultados

Os dados coletados quanto às condicionantes são sintetizados na nas seções a seguir.

4.2.1. Levantamento de Dados

Para reproduzir o comportamento do sistema proposto, faz-se necessário indicar os dados iniciais a serem inseridos no *software* utilizado para simulação.

4.2.1.1. Dados Climatológicos

As informações de irradiação, temperatura, velocidade do vento que qualificam a região da hidrelétrica são sintetizados na Tabela 4:

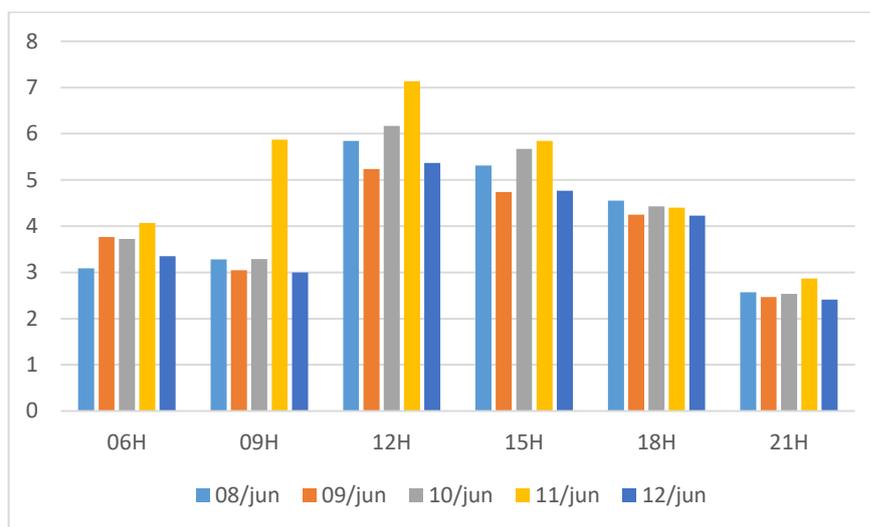
Tabela 4- Dados climatológicos da UHE Luís Eduardo Magalhães

Mês	Irradiação direta kWh/m².d	Irradiação Difusa kWh/m².d	Temperatura °C	Velocidade do vento m/s
Janeiro	5,05	1,39	23,98	3,52
Fevereiro	5,04	1,49	25,37	3,22
Março	4,84	1,68	27,91	3,46
Abril	4,96	1,96	29,58	3,7
Maio	5,09	1,94	30	4,45
Junho	5,04	1,84	29	5,74
Julho	5,18	1,93	27,87	5,94
Agosto	5,91	1,9	28,26	5,85
Setembro	5,71	1,82	29,52	5,15
Outubro	5,33	1,79	28,28	3,8
Novembro	5,11	1,49	25,65	3,4
Dezembro	5,07	1,4	24,02	3,68

Fonte: Elaboração própria. (2019).

A Figura 30, aponta o comportamento do vento ao longo do dia, durante quatro dias do mês de junho de 2019 reitera-se que apesar deste espaço amostral ser restrito, este é utilizado apenas para fins de exemplificação uma vez que a base de dados utilizada para simulação é apresentada na Tabela 4 a qual compreende o comportamento dos ventos ao longo dos últimos anos.

Figura 30- Velocidade do vento ao longo do dia entre 08/06 a 12/06



Fonte: Elaboração própria, a partir de dados no Climatempo (2019).

Nota-se que os ventos são constantes ao longo do dia, sendo mais intensos ocorrem no horário das 12h, com velocidade média de 5,84 m/s o que não deve, portanto, ser uma limitação para a instalação do sistema e devido aos sistemas de amarração e ancoragem a velocidade do vento também não é fator limitante na produção de energia solar durante os horários de maiores índices de irradiação solar.

4.2.1.2. Albedo

Outro fator a ser considerado é o coeficiente de reflexão da superfície (albedo) definido, como a capacidade de determinada superfície refletir a radiação solar, grandeza influenciada pelas características locais e ângulo de incidência dos raios em uma radiação solar direta ou difusa. O albedo, é, portanto, de suma importância no que diz respeito a quantidade de energia disponível na superfície a ser utilizada para determinado processo e segundo Shuttleworth(1993 *apud* Chiesa, 2016) o albedo médio para água em estado líquido é de 0,08 e 0,20 para neve e gelo, Pinho e Galdino(2014) consideram ainda a interferência do ângulo entre a Sol e superfície, valores apresentados na Tabela 5:

Tabela 5- Valores de albedo para água em diferentes inclinações

Ângulo entre Sol e superfície	Albedo
> 45°	0,05
30°	0,08
20°	0,12
10°	0,22

Fonte: PINHO e GALDINO (2014).

Admite-se um albedo médio de 0,1 uma vez que este valor varia ao longo do dia em decorrência do movimento da Terra.

4.2.1.3. Dimensionamento e Escolha dos Equipamentos

O estudo prevê a instalação de uma usina fotovoltaica flutuante de 500 kWp no reservatório da UHE. Dispondo da potência do sistema pode-se determinar a potência modular e quantidade necessária, a partir da Equação 5:

$$n = \frac{P_{cc}}{P_n} \quad (5)$$

Onde:

N é o número de módulos necessários;

P_{cc} é a potência do sistema;

P_n é a potência nominal dos módulos.

Assim, o número de módulos necessários é definido como a razão entre a potência do conjunto e a nominal dos módulos. Por conveniência analisa-se os materiais com maior disponibilidade no mercado, os principais modelos encontrados variam de: 300 a 390 W.

É recomendável que a potência do inversor tenha uma potência próxima a capacidade de geração.

Estabelecida a potência do inversor e módulos, estima-se a área do reservatório a ser ocupada e local de instalação. Alguns fatores limitam a utilização do espelho d'água tais como a utilização do reservatório para desenvolvimento de certas atividades como pesca e navegação, uma vez que a implantação de um sistema não deve interferir na execução dessas atividades, e em relação às áreas de proteção ambiental.

A Lei 12.651 do Código Florestal, descreve em seus artigos 4 e 5 que na implantação de um reservatório artificial destinado a abastecimento ao público ou geração de energia, a área de preservação permanente criada em seu entorno deve ser de no mínimo 30 metros em área rural e 15 metros em área urbana (BRASIL,2012). Além disso, considera-se a presença de vegetação, sombreamento, áreas de segurança (vertedouros e sistemas auxiliares) e ainda a necessidade de aeração a fim de preservar processos biológicos presentes que necessitam do oxigênio do ar. Segundo, Strangueto (2016) estes fatores representam uma perda de 20% da área útil para instalação.

Para estabelecer a geração de energia neste sistema, estuda-se a radiação solar incidente (H_t) obtendo a energia média diária, mensal e/ou anual em um determinado período. A energia média de energia total (E_m) produzida está relacionada com a eficiência (η) do painel utilizado, descrito pela Equação 6:

$$E_m = \eta \cdot A \cdot H_t \quad (6)$$

Em que:

E_m é a energia média produzida;

η é a eficiência do módulo;

A é área ocupada pelo material;

H_t é a radiação solar incidente.

As horas de insolação variam conforme localização geográfica, umidade do ar, estação do ano, vegetação e fatores externos, como construções próximas. Realizar medições locais dos índices de irradiação são impraticáveis na maioria dos casos, em função disso, esses dados podem ser consultados no Atlas Solar métrico do Brasil ou através de consulta ao banco de dados do CRESESB (Centro de Referência de Energia Solar e Eólica Sergio Brito) a partir da inserção das coordenadas geográficas do local de instalação, o qual fornecerá os dados da estação de medição mais próxima do local desejado.

Finalmente, a energia elétrica anual produzida é calculada pela Equação 7:

$$E = NH_{de} \cdot n_a \cdot P_n \quad (7)$$

Onde:

E = Energia Gerada em MWh;

NH_{de} = Média anual do número de horas de insolação;

N_a = Número de dias no ano;

P_n = Potência nominal em MWp.

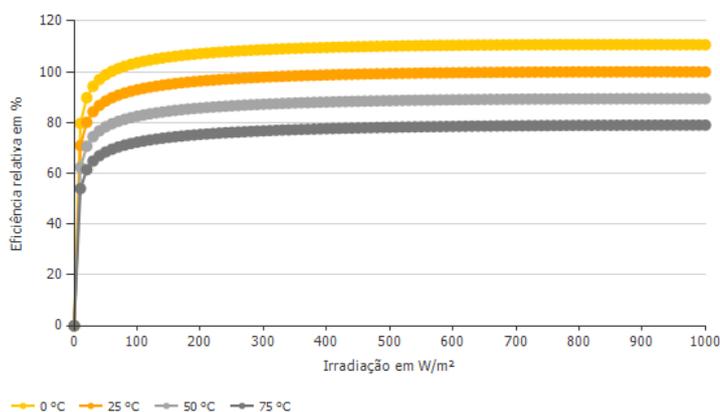
O dimensionamento teórica norteia o sistema simulado.

4.2.2.3.1. Características Operacionais do Pannel Fotovoltaico e Inversor

As empresas brasileiras levantadas utilizam módulos fotovoltaicos de 290 W ou 390 W pensando na redução da área ocupada e disponibilidade no mercado opta-se pelo modelo de maior potência.

Após análise do banco de dados do PV*Sol, encontra-se o modelo Q.PEAK DUO L-G5 390 da Hanwha Q.CELLS. Com tensão PMP de 40,38 V e corrente PMP de 9,66 A, a curva característica de eficiência, deste modelo está representando na Figura 31:

Figura 31- Curva característica de eficiência do módulo de 390 W



Fonte: Banco de dados PV*Sol (2019).

A fim de reduzir os custos o sistema será composto por inversores de 30 kW, o SG30KU da SUNGROW que apresenta tensão nominal de 710 V, corrente máxima por MPPT de 33 A. Durante a escolha deste equipamento deve-se observar sua resistência a umidade em razão da proximidade de sua instalação aos corpos d'água.

4.2.2.3.2. Geometria Básica

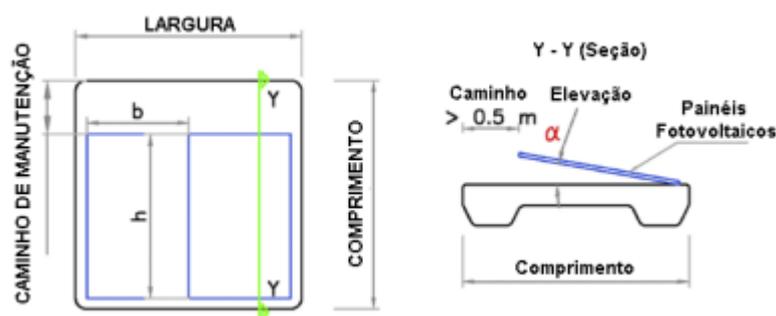
Segundo Santafé *et al.* (2014) para garantir as condições da planta fotovoltaica e produção de energia deve-se observar os seguintes parâmetros:

- 1) Inclinação e orientação dos módulos;
- 2) Separação entre os painéis;

3) Esquema de passarelas.

Os dois primeiros parâmetros referem-se à maximização do aproveitamento do recurso solar e redução das perdas por sombreamento. Por sua vez, o requisito três, facilita a operação da usina. Strangueto (2015) define um caminho de acesso mínimo de 0,5 m² e, adota uma geometria básica de 1,65 m x 1,0 m para os módulos, a Figura 32 esquematiza a disposição:

Figura 32- Geometria básica do sistema



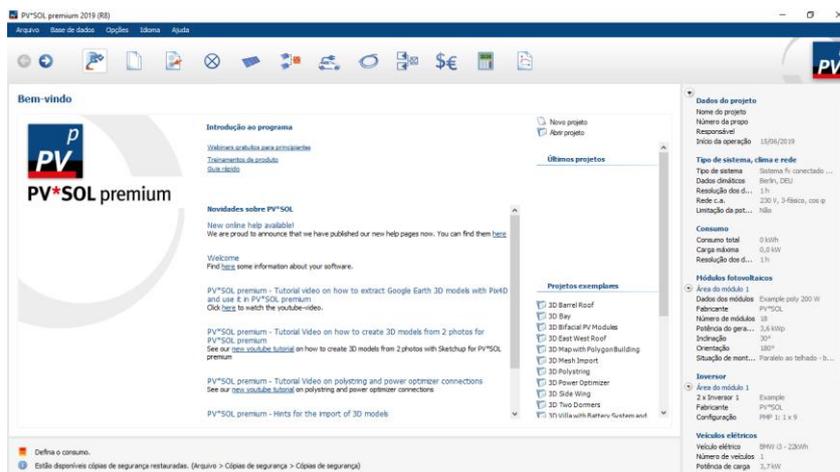
Fonte: Strangueto (2016).

A estrutura flutuante posicionada sobre a superfície do reservatório deve ser adequada às características operacionais do projeto e reservatório Santafé (2014) aponta a influência do ângulo de elevação dos módulos sobre a ação do vento incidente e ainda que a disposição da geometria dos componentes deve se adequar a topografia do reservatório. Destaca-se também, que quanto maior a inclinação, maior o afastamento mínimo necessário reduzindo a quantidade de painéis possíveis a serem instalados em determinado local. Assim o estudo da inclinação deve ser minucioso a fim de otimizar a produção de energia do sistema e além disso, menores ângulos reduzem a interferência dos efeitos dos ventos.

4.3. PV*Sol

A Figura 33 ilustra a página inicial do *software*:

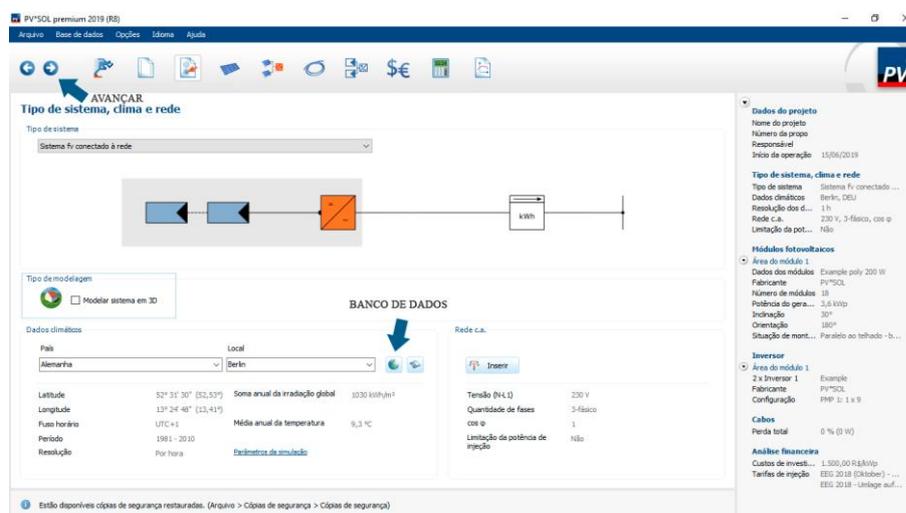
Figura 33- Captura da tela inicial PV*SOL



Fonte: Elaboração própria (2019).

Utilizando a seta de navegação, insere-se os dados do projeto como número da proposta, responsáveis, dados do cliente, início da operação, nome do projeto, imagem, descrição e endereço da instalação. Tais dados são importantes para elaboração do relatório. A Figura 34 apresenta a captura de tela do passo seguinte:

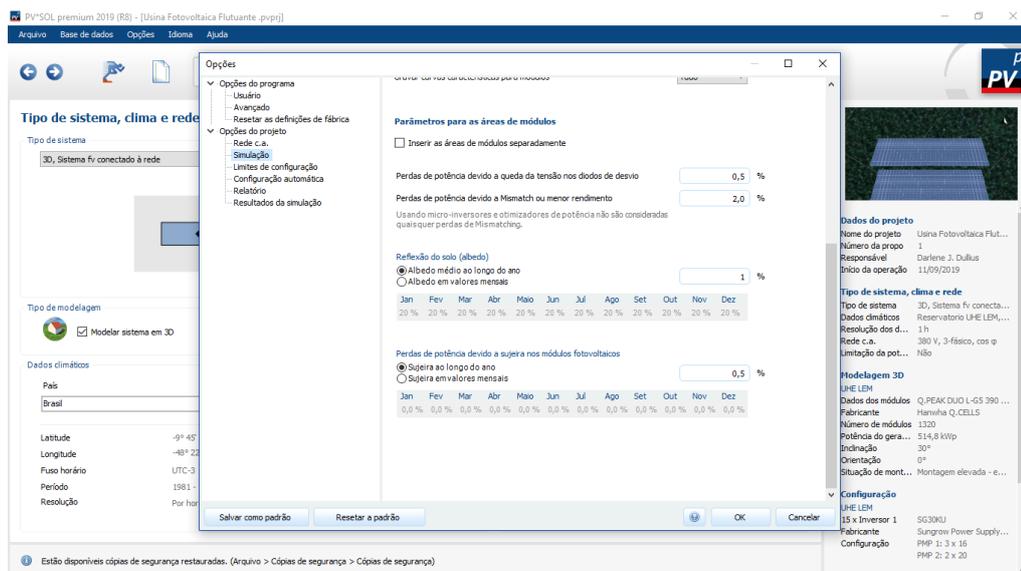
Figura 34- Captura de tela, tipo de sistema, clima e rede.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Nesse passo, os dados do tipo de sistema, configurações de rede e condições climáticas são inseridos. Na Figura 34, estão identificadas a seta de navegação para avançar entre as guias, e o acesso ao banco de dados do programa, para que as condições climáticas de Lajeado-Tocantins, possam ser inseridas, além disso para uma modelagem 3D do sistema, a caixa do tipo de modelagem deve ser marcada. Os parâmetros de simulação são mostrados na Figura 35:

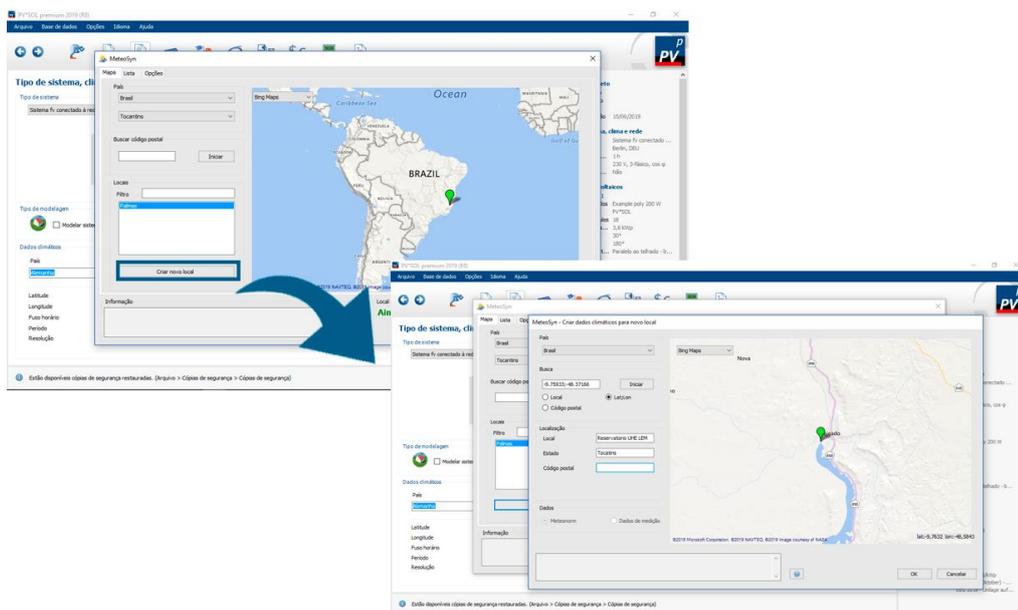
Figura 35- Captura de tela, parâmetros de simulação.



Fonte: Elaboração própria (2019).

A Figura 36, exemplifica o processo de inserção dos dados meteorológicos para o local de instalação através das coordenadas geográficas.

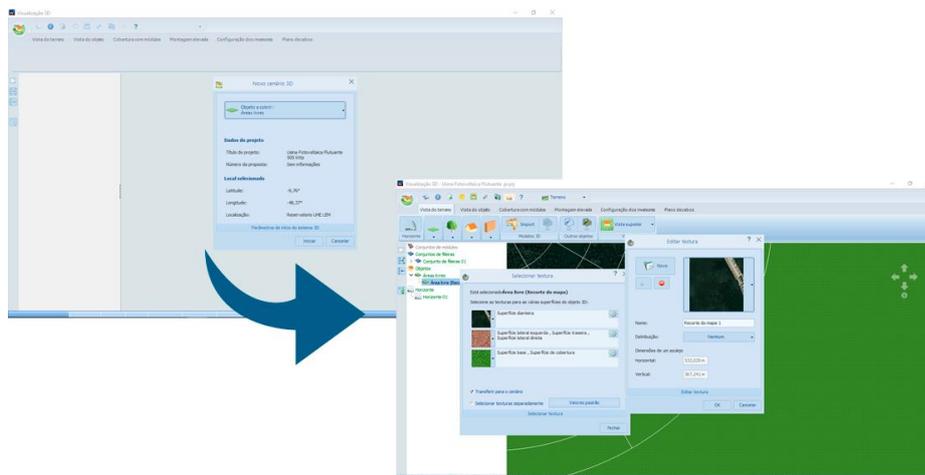
Figura 36- Captura da tela, inserção de dados meteorológicos



Fonte: Elaboração própria (2019).

A próxima etapa consiste na modelagem do sistema no ambiente 3D e para tal seleciona-se como objetos a cobrir área livre. Pode-se alterar a textura do objeto através do recorte da área em mapa, como ilustra a Figura 37:

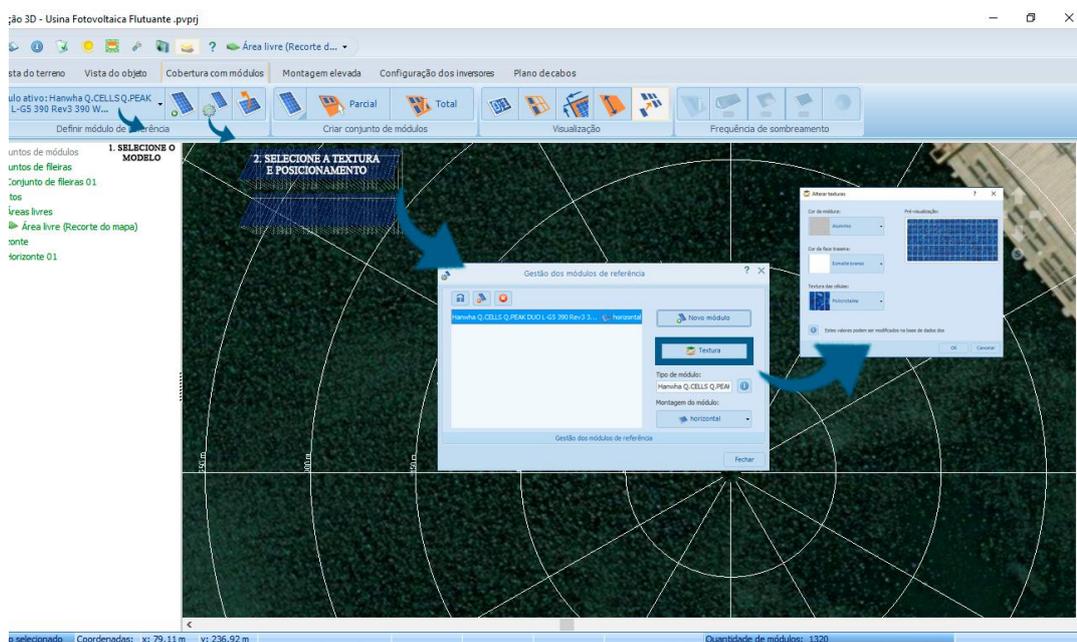
Figura 37- Captura da tela, ambiente de visualização 3D



Fonte: Elaboração própria (2019).

Na guia, “cobertura dos módulos” selecione o modelo desejado e posicione-os. Neste projeto o modelo adotado possui potência nominal de 390 W e deve ser instalado na posição horizontal, processo que pode ser observado na Figura 38:

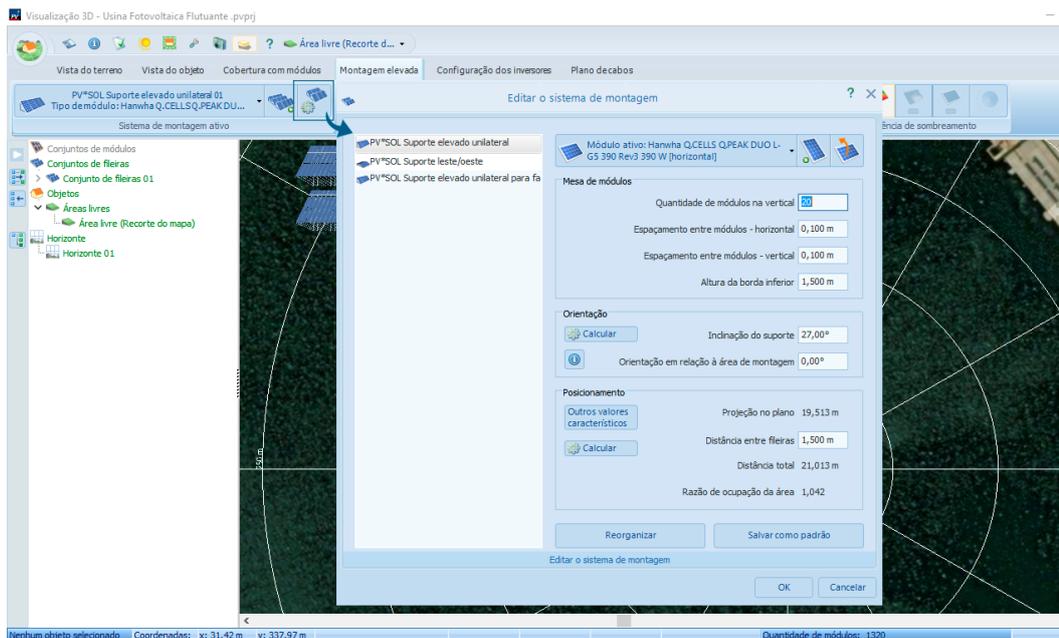
Figura 38- Captura da tela, cobertura dos módulos



Fonte: Elaboração própria (2019).

Navegando para a montagem elevada, ainda no ambiente 3D, selecione o ícone “selecionar/editar sistemas de montagem” configuram-se as mesas, conforme Figura 39:

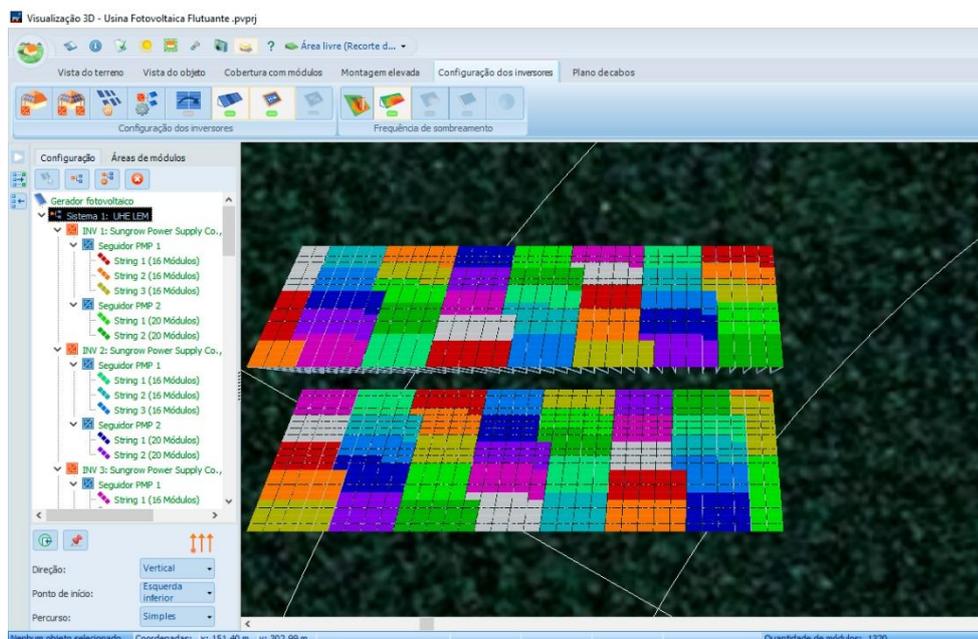
Figura 39- Captura da tela, configuração das mesas



Fonte: Elaboração própria (2019).

Os parâmetros de configuração adotados baseiam-se nas configurações propostas pela literatura em sistemas similares. Para configuração dos inversores seleciona-se o ícone “configurar inversores para todos os módulos não conectados” e após selecionar o modelo desejado, realize as ligações adequadas. A Figura 40 ilustra as configurações utilizadas com o inversor Sungrow Power Suplly SG30KU:

Figura 40- Captura da tela, configuração dos inversores.



Fonte: Elaboração própria (2019).

Onde cada uma das cores corresponde às *strings* conectadas aos 15 inversores. A Tabela 6 sumariza as características gerais do sistema:

Tabela 6- Características gerais do sistema simulado

Potência do gerador fotovoltaico	514,8 kWp
Número de módulos	1320
Área Ocupada	2658,8 m ²
Número de inversores	15
Módulos em série por mesa	20

Fonte: Elaboração própria (2019).

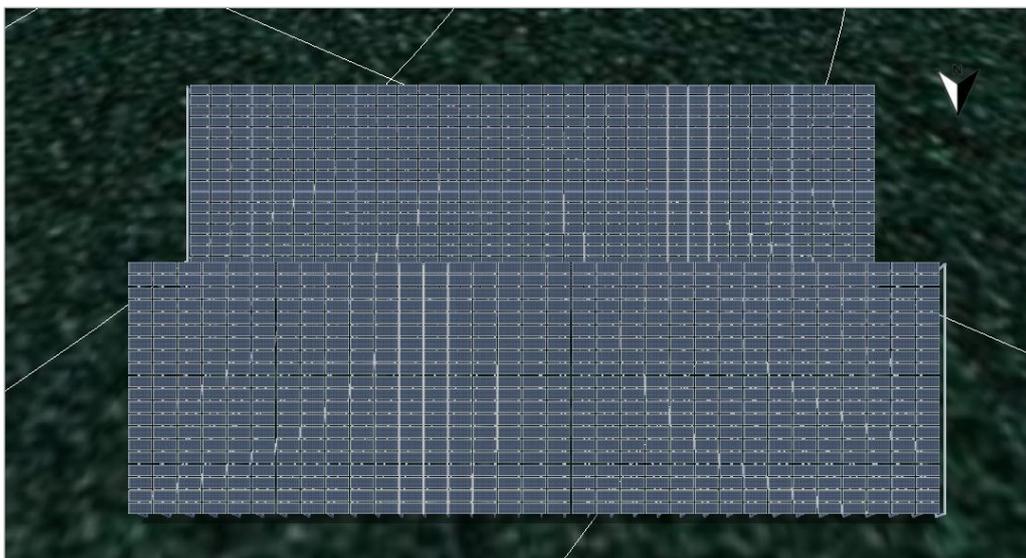
Para o plano de cabo as configurações são deixadas em modo automático. Em seguida, feche o modo 3D e opte por utilizá-lo na simulação e então ao retornar para a visualização 2D, marque na caixa de diálogo a simulação do sombreamento para que assim o *software* possa estimar as perdas por sombreamento no local de instalação considerando uma distância de dois metros entre as mesas.

4.4. Aplicação no Reservatório

Por comodidade, os módulos são dispostos próximo a barragem da hidrelétrica, e angulação de 30°, posicionando cada uma das mesas a dois metros de distância, a fim de reduzir as perdas por sombreamento. A Figura 41, apresenta a área ser ocupada.

Assim como Ahlert (2016), sugere-se a aplicação de ancoradouros de fundo, para os sistemas de ancoragem, como os utilizados na usina de Alto Rabagão, em Portugal, os quais possuem alta profundidade e, cabos flutuantes capazes de suportar variações do nível da água de até 30 metros, tanto para os ancoradouros quanto os cabos flutuantes indicados, fornecem a segurança de que o sistema não irá navegar ao longo das margens do reservatório, principalmente porque este apresenta profundidade de oito metros com baixas variações no nível da água. (ALTENERGYMAG, 2017; KAUFMAN, 2017)

Figura 41- Vista geral sistema flutuante 500 KWp, UHE Luís Eduardo Magalhães.



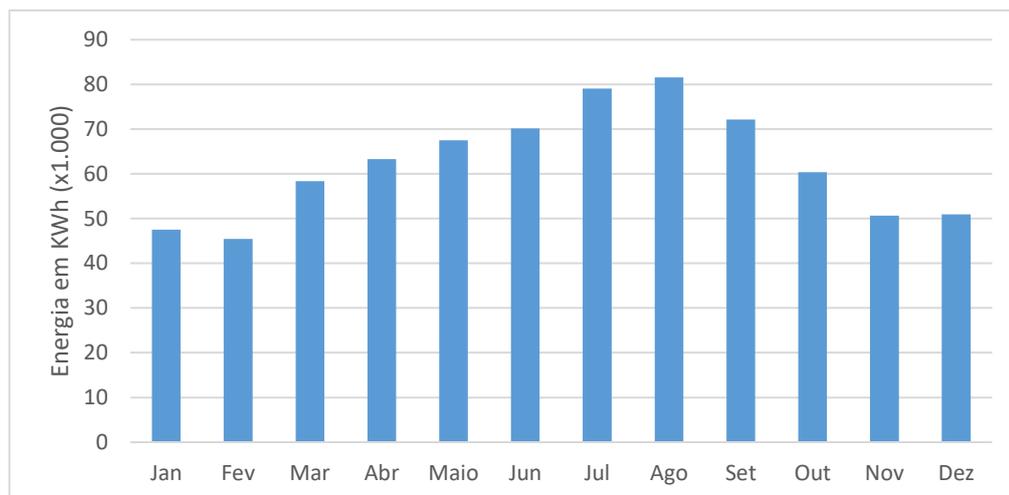
Fonte: Elaboração própria (2019).

Assim como Ahlert (2016), sugere-se a aplicação de ancoradouros de fundo, para os sistemas de ancoragem, como os utilizados na usina de Alto Rabagão, em Portugal, os quais possuem alta profundidade e, cabos flutuantes capazes de suportar variações do nível da água de até 30 metros, tanto para os ancoradouros quanto os cabos flutuantes indicados, fornecem a segurança de que o sistema não irá navegar ao longo das margens do reservatório, principalmente porque este apresenta profundidade de oito metros com baixas variações no nível da água. (ALTENERGYMAG, 2017; KAUFMAN, 2017)

Para o posicionamento dos inversores, recomenda-se o emprego convencional, em terra, por facilidade no monitoramento ou eventuais manutenções, porém, estes também podem ser instalados sobre as estruturas de flutuação, como ocorrem na planta de Anhui na China.

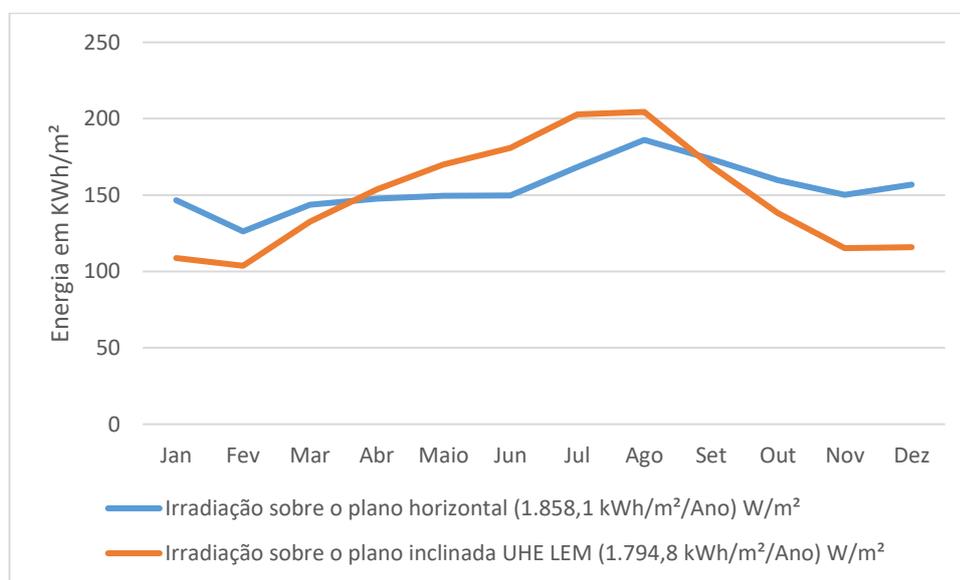
As Figuras 42 e 43 apresentam o rendimento previsto do sistema bem como irradiação no plano horizontal e inclinado, por área do módulo:

Figura 42- Rendimento mensal



Fonte: Elaboração própria (2019).

Figura 43- Irradiação por área do módulo



Fonte: Elaboração própria (2019).

A sobreposição das curvas de irradiação sobre o rendimento do sistema permite observar a relação entre a irradiação local produção de energia. A simulação avalia ainda a temperatura dos módulos em relação a temperatura ambiente, o que neste trabalho não será apresentado, uma vez que os parâmetros de simulação são limitados a sistemas terrestres e, portanto, não consideram o resfriamento natural dos módulos que a instalação flutuante propicia.

4.5. Análise Financeira

Embora haja um crescimento expressivo no número de instalações fotovoltaicas flutuantes a aplicação em reservatórios de hidrelétricas ainda está em fase de estudo, o que dificulta a busca por referências de custo para este tipo de sistema. Os resultados encontrados para os sistemas instalados nessa modalidade, são descritos a seguir, com o intuito de fundamentar a análise financeira simplificada desenvolvida nesta pesquisa.

O sistema de 220 kW, instalado na usina de Alto Rabagão, em Portugal recebeu um investimento de 450 mil euros (DN,2019) e, utilizando a cotação do euro (COTAÇÃO, 2019) consultada em junho de 2019, representa um investimento de R\$: 2.070.477,45 simbolizando um custo aproximado de R\$ 9,41/W.

Os projetos brasileiros, de Balbina e Sobradinho, com 5 MW somam um investimento de R\$: 111 milhões, financiados pelas Eletronorte e Chesf, resultando em um custo aproximado de R\$:11/W. Em Porto Primavera considera-se que o custo por watt gerado não representa os custos com sistemas flutuantes, uma vez que sistema é híbrido (terrestre e flutuante) com capacidade instalada majoritariamente em terra.

Em plantas aplicadas a lagos e reservatórios convencionais os custos assemelham-se aos encontrados para instalações em hidrelétricas. A planta de 4MW instalada em Jamestown, na Austrália, tem custo de R\$ 10,7/W (CIEL ET TERRE, 2015), o projeto japonês na província de Hyogo de 2MW resultam em um custo de R\$ 8,83/W (KATO, 2016), entre os sistemas observados, apenas os sistemas ingleses apresentaram custos inferiores a essa média.

Duas das empresas brasileiras procuradas apresentaram orçamentos para a proposta, em uma delas o CAPEX para uma usina de 500KWp seria de R\$: 2.400.000,00 (PIAUHYLINO, 2019) representando um custo de R\$ 4,8/Wp enquanto na outra, o custo de produção estimado é de R\$ 1, 295/Wp (sem impostos), assim para o sistema de flutuadores com orientação Leste-Oeste e painéis de 390 W, o investimento seria de R\$: 647.5000,00 +R\$ 3.500,00 de treinamento para instalação e custos com transporte (KHAN, 2019). A fim de incluir todos os custos de instalação, equipamentos e matérias adota-se o valor de R\$ 5,00/ Wp para fins de pesquisa, baseando-se na literatura e orçamentos propostos. Dessa maneira a usina de 500 KWp o custo de investimento será de R\$: 2.500.000,00.

Para o cálculo do retorno do investimento, considera-se o preço da venda de energia, degradação natural dos painéis fotovoltaicos e custo anual de operação e manutenção (O&M) da planta abordada. O Segundo leilão de Energia de Reserva de 2015 (2° LER/2015) foi o último leilão realizado para contratação de energia proveniente de

empreendimentos de fonte eólica e solar, no qual o preço médio de venda de energia fotovoltaico foi de R\$: 297,5 MW/h (EPE, 2016c). No primeiro leilão de 2016 a participação da fonte solar estava prevista, mas fora cancelada pela portaria MME n° 390 de 26 de julho de 2016 apesar da anulação, em consequência da redução nas projeções de carga de energia elétrica nos próximos anos, o LER 2016 estabelece o preço teto de R\$ 320,00/MWh para projetos fotovoltaicos (EPE, 2017; EPE, 2016c).

Estima-se que a construção da usina leve cerca de 90 dias para ser concluída, por isso, o início de operação estipulado é para setembro de 2019, com valor inicial de venda de R\$ 300,00/MWh, considerando um aumento de 4,37% a.a. como ajuste da inflação, baseado no IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) acumulado nos últimos meses de 2019 (IBGE, 2019).

Os custos de operação de manutenção são definidos como 1% do custo total do investimento, mantendo a relação determinada para os empreendimentos que comercializam energia no 2° LER/2015 (EPE, 2016c), dessa forma, para um sistema de geração de 500 KWh o custo O&M será de R\$: 250.000.00,00 ao ano.

A degradação natural das células fotovoltaicas acarreta em perdas típicas de 0,5 a 1% ao ano (PINHO; GALDINO, 2014), por ser um sistema ancorado em água espera-se que as perdas devido ao acúmulo de poeira e demais fatores, sejam menores, por isso, adota-se o limite inferior dessa faixa como índice de degradação natural.

No primeiro ano a geração estimada é 775,836 KWh e nessas condições utilizando a Equação (2) obtém-se um retorno financeiro antes do terceiro ano de operação mostrando-se um investimento extremamente rentável.

Sabe-se ainda que o reservatório da usina deixará de perder um volume de água por evaporação, em decorrência da cobertura oferecida pelos módulos fotovoltaicos. Esta água passa a ser um adicional para a geração de energia e, conseqüentemente, aumenta a arrecadação com a venda dessa eletricidade. A evaporação estabelecida para o reservatório da hidrelétrica de Lajeado é de 1751 mm/ano, para o tipo de construção abordada, há cerca de 50% de redução na evaporação anual. (SAHU *et al.*, 2015). Portanto, pode-se determinar o volume de água economizado 23287,24 m³ pela Equação (3) e vazão resultante de 0,3784 m³/s pela equação (4), considerando uma taxa de evaporação de 1,7% para o reservatório de Lajeado (COELHO, 2016).

A Figura 44 sumariza as condições adotadas para o investimento de R\$: 2.500.000,00:

Figura 44- Considerações para o investimento de R\$: 2.500.000,00

Preço por Wp	R\$: 5,00
Preço de venda médio para energias eólica e solar	R\$: 300,00/MWh
Ajuste na inflação	4,37%
Custos operacionais	1% do investimento
Degradação anual (geração)	0,5 %

Fonte: Elaboração própria (2019).

A energia elétrica proveniente de Luís Eduardo Magalhães é utilizada e comercializada na condição de produtor independente tendo, portanto, autonomia na realização de contratos podendo comercializar energia tanto no ambiente de contratação regulada quanto em contratação livre (CCCE, 2019).

Devido a este fato, o cálculo do valor arrecado com o adicional da água aumenta possui maior complexidade. Vale ressaltar, entretanto que adicionar a contribuição do montante de água ao cálculo do tempo de retorno da planta fotovoltaica torna-o mais atrativo, principalmente em sistemas maiores onde a cobertura do espelho d'água implica em índices de evaporação significativamente menores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da expansão elétrica nacional, os elevados índices de irradiação solar em todo território brasileiro combinado a grandes áreas alagadas formadas por reservatórios hidrelétricos, aumentam a atratividade da modalidade de geração de sistemas fotovoltaicos flutuantes

Apesar de não existir resultados da operação real desses sistemas na literatura que solidifiquem a viabilidade da aplicação de painéis fotovoltaicos sobre plataformas flutuantes em reservatórios de hidrelétricas, a análise teórica dessa interação levanta inúmeras vantagens, como por exemplo maior capacidade de geração e redução dos índices de evaporação.

A usina hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães possui um dos vinte maiores reservatórios do país e fator de capacidade relativamente baixo, representando um potencial consideravelmente alto para execução deste tipo de projeto, além disso, salienta-se que o reservatório possui poucas restrições quanto ao uso do espelho d'água e apresenta usos não consuntivos (pesca e lazer) somente em uma pequena parcela do reservatório.

O sistema de 500 KWp, apresenta com geração anual de 747.164 kWh, irradiação global no plano dos módulos de 1.794,8 kWh/m² e alta viabilidade econômica (retorno financeiro nos primeiros anos de operação). Estes resultados indicam a viabilidade de adoção do método de geração de energia, principalmente porque o valores de geração se aproximam da geração de um sistema terrestre de 600 kWp entretanto é recomendável que antes da instalação de sistemas com maior capacidade de geração, os resultados obtidos por plantas pilotos existentes sejam considerados, a fim de conhecer os efeitos da interação dos meios de geração em situações reais.

5.1. Recomendações para Trabalhos Futuros

Recomenda-se, para trabalhos futuros: o levantamento dos impactos ambientais dos sistemas flutuantes; otimização de operação da hidrelétrica com painéis fotovoltaicos; comportamento de uma planta flutuante para a capacidade máxima do reservatório Luís Eduardo Magalhães; e estimativa do potencial de produção dos sistemas fotovoltaicos flutuantes aplicados em reservatórios no estado do Tocantins.

BIBLIOGRAFIA

ABSOLAR. **INFOGRÁFICO ABSOLAR**. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

AHLERT, V.S.C. **Aplicação de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidrelétricas**: Estudo de caso em uma hidrelétrica brasileira. 2017. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Escola Politecnica, UFRJ, Rio de Janeiro,RJ, 2017. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023006.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

ALTENERGYMAG. A World Premiere - The First Hybrid FPV and Hydroelectric Dam ANA (Brasil). Agência Nacional das Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: Relatório pleno. Brasília: Ana, 2017. 177 p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/relatorio-conjuntura-2017.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ANEEL (Brasil). Agência Nacional de Energia Elétrica. Energia Hidráulica. In: ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**.Rio de Janeiro: Aneel, 2008. Cap. 3. p. 1-13. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas_par2_cap3.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ANEEL. **Contrato de Concessão N5 05/97**: AHE LAJEADO. Palmas, TO, 16 dez. 1997. p. 1-14. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/Contrato/Documentos_Aplicacao/CG05_1997_Lu%C3%ADs%20Eduardo%20Magalh%C3%A3es.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2019.

OLIVEIRA, Marcos André de; OLIVEIRA, Marcio Sepulvia de. **CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DA USINA HIDRELÉTRICA LUIS EDUARDO MAGALHÃES E O USO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO TOCANTINS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**. In: SIMPÓSIO DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA DO TOCANTINS, 1., 2017, Palmas. **Anais...** . Palmas: UFT, 2017. p. 1 - 7. Disponível em: <<http://eventos.uft.edu.br/index.php/seelto/SEEL/paper/viewFile/3073/736>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

BARBUSCIA, Michele. **Economic viability assessment of floating photovoltaic energy**. 2017. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Instituto Superior Tecnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/322364592_Economic_viability_assessment_of_floating_photovoltaic_energy>. Acesso em: 01 mar. 2019.

BIG (Brasil). Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz energética brasileira**. 2019. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

BLUE SOL. **Blue Sol instala primeira usina Solar flutuante do Brasil**. 2016. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/primeira-usina-solar-flutuante-do-brasil-bluesol/>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

BRASIL. Código Florestal (2012). Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. . Brasília, DF, Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 07 jun. 2019.

BUENO, E. A., MELLO, C. R. Pegada Hídrica de Usinas Hidrelétricas. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2015.

CCEE (Brasil). Agência Nacional de Energia Elétrica. **Conheça as modalidades de agentes**. 2019. Disponível em:

<https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/participe/conheca_modalidades?_adf.ctrl-state=ni0tltzp0_1&_afLoop=281983259094029#!%40%40%3F_afLoop%3D281983259094029%26_adf.ctrl-state%3Dni0tltzp0_5>. Acesso em: 15 jun. 2019.

CEMIG (Minas Gerais). **HISTÓRIA DA ELETRICIDADE NO BRASIL**. 2012. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/historia_da_eletricidade_no_brasil.aspx>. Acesso em: 20 fev. 2019.

CHIESA, Viviane Basso. **APLICABILIDADE DE MODELOS MATEMÁTICOS NA ANÁLISE DE PROCESSOS DE OUTORGA: O CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO TAQUARUÇU**. 2016. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

CHOI, Y.K; LEE, N.H; KIM, K.J. Empirical Research on the efficiency of Floating PV systems compared with Overland PV Systems. **Ces-cube**, Guam, v. 22, p.284-289, jan. 2013

CIEL & TERRE. **HYDRELIO COMPONENTS**. 2019. Disponível em: <<https://www.ciel-et-terre.net/hydrelio-technology/>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

CIEL ET TERRE. Floating Solar Makes its First Splash in the Market. 2015. Disponível em: <<http://www.ciel-et-terre.net/wp-content/uploads/2015/03/Floating-Solar-Makes-its-FirstSplash-in-the-Market-1.pdf>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

CLIMATEMPO. 2019. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

COELHO, Clivia Dias. **Estimativa da evaporação e da pegada hídrica dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Tucuruí- PA e Lajeado- TO**. 2016. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8347/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 01 jun. 2019.

CONSULTORIA, P; CONSULTORIA, L. **A energia que queremos**. São Paulo: s.n, 2016. 53 p. Disponível em: <http://riosvivos.org.br/wp-content/uploads/2017/05/998f41_16a988bd6cff45399bfaa6181e938ec4.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2019.

COTAÇÃO. 2019. Disponível em: <<https://www.cotacao.com.br/>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

CRESESB (Rio de Janeiro). **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito**. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

DIÁRIO DE NOTICIAIS (Portugal). **EDP inaugura hoje projeto fotovoltaico na barragem do Alto Rabagão**. 2017. Disponível em: <<https://www.dn.pt/lusa/interior/edp-inaugura-hoje-projeto-fotovoltaico-na-barragem-do-alto-rabagao-8613806.html>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

DINHEIRO VIVO . **EDP testa painéis fotovoltaicos flutuantes em Montalegre**. 2017. Disponível em: <<https://www.dinheirovivo.pt/empresas/edp-testa-paineis-fotovoltaicos-flutuantes-em-montalegre/>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

DN. EDP inaugura hoje projeto fotovoltaico na barragem do Alto Rabagão. 2019. Disponível em: <<http://www.dn.pt/lusa/interior/edp-inaugura-hoje-projeto-fotovoltaico-nabarragem-do-alto-rabagao-8613806.html>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

ENERGY WORLD (Índia). The Economist Times. **India's biggest floating solar power plant to be inaugurated in Kerala**. 2017. Disponível em: <<https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/renewable/indias-biggest-floating-solar-power-plant-to-be-inaugurated-in-kerala/61899431>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2016b. Rio de Janeiro, RJ. 2017;

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Expansão da Geração. 2º Leilão de Energia de Reserva de 2015. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral. Rio de Janeiro, RJ. 2016c.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: Produção e Uso da Energia. Rio de Janeiro, RJ. 2016a.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Queda de demanda por energia elétrica cancela 2º LER 2016. Rio de Janeiro, RJ. 2016d. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-74/Informe%20T%C3%A9cnico%20EPE%20078%20-%202016.pdf>> Acesso em: 13 jun. 2019

EUROPE, S. P.; EUROPE, I. S.; COUNCIL, G. S.. **Global Market Outlook: For Solar Power / 2018 - 2022.** [s.l]: [s.n], 2018. 81 p. Disponível em: <<http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

FALCETTA, F. A. M. Evolução da capacidade de regularização do sistema hidrelétrico brasileiro. Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental. São Paulo, SP. 2015.

FREIRE, Wagner. **Primeira fase da usina solar flutuante em Sobradinho será concluída em dezembro.** Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/53074682/primeira-fase-da-usina-solar-flutuante-em-sobradinho-sera-concluida-em-dezembro>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

GIZ; SENAI. **ESPECIALISTA TÉCNICO EM ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.** Brasília: [s.n], 2018. 76 p.

GOOGLE EARTH. 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

GROUP, W.B.; ESMAP; SERIS. **Where Sun Meets Water: Floating Solar Market Report: Executive Summary.** Washington, DC: World Bank, 2018. 24 p. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/579941540407455831/pdf/131291-WP-REVISED-P161277-PUBLIC.pdf>>. Acesso em: 12 dez. 2018.

HANWHA – Manual técnico do módulo fotovoltaico Q.PEAK DUO L-G5 390. Disponível em <<https://www.q-cells.com/dam/jcr:1f56c107-021b-4e49-a648->

c988accdc946/Hanwha_Q_CELLS_Data_sheet_QPEAK_DUO_L-G5.2_380-395_2018-03_Rev05_NA.pdf >. Acesso em 14 jun. 2019.

IBGE (Brasil). **Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA**. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?edicao=24373&t=downloads>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

IEA. International Energy Agency. **Snapshot of global photovoltaic markets**. PVPS, 2018. 16 p. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2017.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2019.

In Portugal. Huffpost Brasil. 07 jul. 2017. Disponível em: 103 <http://www.huffpostbrasil.com/entry/hydro-solar-plant_us_595f96dee4b02e9bdb0c0fa6>. Acesso em: 02 jun. 2019

INVESTCO. Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães. Disponível em: <<http://www.investco.com.br/>> Acesso em: 05 jun 2019.

IRENA. **Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2018**. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency,, 2018. 28 p. Disponível em: <www.irena.org/publications>. Acesso em: 16 fev. 2019.

JEZINI, Saadya. **No AM, Balbina recebe a primeira usina solar flutuante em reservatório de hidrelétrica**. 2016. Disponível em: <<https://www.acritica.com/channels/governo/news/no-am-balbina-recebe-a-primeira-usina-solar-flutuante-em-reservatorio-de-hidreletrica>>. Acesso em: 04 mar. 2019.

KATO, S. Japanese Maker's Float Employed for 2MW Floating Solar Plant in Hyogo.

KAUFMAN, A. C. The World's First Power Plant To Combine Hydro And Solar Opens

KHAN, Ziá. **Orçamento sistema fotovoltaico F2Brasil- Fotovoltaico Flutuante Brasil**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <dulliusdarlene@gmail.com>. em: 05 jun. 2019.

MESBAHI, M. **Top 30 Floating Solar PV Plants Europ**. 2018. Disponível em: <<https://www.solarplaza.com/channels/future-grid/11954/top-30-floating-solar-pv-plants-europe/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MINAMINO, Saori. **Floating Solar Plants: Niche Rising to the Surface?** 2016. Disponível em: <<https://www.solarplaza.com/channels/top-10s/11634/floating-solar-plants-niche-rising-surface/>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

MME. (Brasil). Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro**. Brasília: MME, 2018. 34 p. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+Elétrico+-+Dezembro+-+2018.pdf/2cc7ebd8-040b-4d1a-b4e6-c0ad5e1fca58>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MTEC ENERGIA (Brasil). **PROJETOS**. 2019. Disponível em: <<http://mtcecenergia.com.br/index.php/projetos>>. Acesso em: 18 fev. 2019.

NASA SSE. Surface Meteorology and Solar Energy. 2019. Disponível em: <<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>>. Acesso em: 02 jun. 2019.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS**. [s.l]: Consultoria Legislativa, 2017. 46 p. Disponível em: <http://bd.camara.gov.br/bd/bitstream/handle/bdcamara/32259/energia_solar_limp.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25 fev. 2019.

ONS - Operador Nacional do Setor Elétrico. Boletim Semanal de Operação. 2019c. Disponível em: <<http://sdro.ons.org.br/SDRO/semanal/>> Acesso em: 31 mai. 2019.

ONS. **MAPA DINÂMICO DO SIN**. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>>. Acesso em: 13 fev. 2019.

ONS. **O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 13 fev. 2019a.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., ABREU, S. L., et al.. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2 ed. São José dos Campos, SP. 2016.

PIAUHYLINO FILHO, Luiz. **Orçamento sistema fotovoltaico flutuante SUNLUTION**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <dulliusdarlene@gmail.com>. em: 20 maio 2019.

PINHO, J. T., GALDINO, M. A. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. **CEPEL-CRESESB**. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.

Acesso em: 14 fev. 2019.

PORTAL SOLAR. **Conheça a usina solar flutuante do Brasil**. 2016. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/conheca-a-usina-solar-flutuante-do-brasil.html>>. Acesso em: 04 mar. 2019

- Power Plant System. 2017. Disponível em: <<http://www.altenergymag.com/article/2017/02/aworld-premiere--the-first-hybrid-fpv-and-hydroelectric-dam-power-plant-system/25693>>. Acesso em: 02 jun. 2019.
- PV TECH . **Crunching the numbers on floating solar**. [s.l.]: Pv Tech, 2018. 6 p. Disponível em: <<https://www.pv-tech.org/technical-papers/crunching-the-numbers-on-floating-solar>>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- PVSOL. 2019. Disponível em: <<https://pvsol.software/en/>>. Acesso em: 04 jun. 2019.
- RICHARDSON., Luke. **The history and invention of solar panel technology**. 2018. Disponível em: <<https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>>. Acesso em: 20 fev. 2019.
- SAHU, Alok; YADAV, Neha; SUDHAKAR, K.. Floating photovoltaic power plant: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 66, p.815-824, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.051>.
- SANTAFÉ, Miguel Redón et al. Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs. **Energy**, [s.l.], v. 67, p.246-255, abr. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.083>.
- SECRETARIA DE ENERGIA E MINERAÇÃO (São Paulo). Governo do Estado de São Paulo. **São Paulo coloca em operação a primeira usina solar flutuante do Brasil**. 2016. Disponível em: <<http://www.energia.sp.gov.br/2016/09/sao-paulo-coloca-em-operacao-primeira-usina-solar-flutuante-do-brasil/>>. Acesso em: 04 mar. 2019.
- SOBRAL, Márcio Rúben Rodrigues. **Avaliação do potencial fotovoltaico flutuante em Portugal**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10451/32028>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- SPENCER, Robert S. et al. Floating Photovoltaic Systems: Assessing the Technical Potential of Photovoltaic Systems on Man-Made Water Bodies in the Continental United States. **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 53, n. 3, p.1680-1689, 11 dez. 2018. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.8b04735>.
- STRANGUETO, K.M. **Estimativa do potencial brasileiro de produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos flutuantes em reservatórios de hidroelétricas**. 2016. 1 recurso online (147 p.). Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/304920>>. Acesso em: 10 dez. 2018.

Sungrow – Manual técnico do inversor SG30KU. Disponível em <https://kworum.com.ua/image/data/tovar/Inventor/Sungrow-SG-30-36KTL.pdf>.

Acesso em 14 jun. 2019.

SUNGROW (China). **Floating System**. 2018. Disponível em: https://en.sungrowpower.com/product_category?id=22. Acesso em: 20 fev. 2019.

Techon. 02 dez. 2016. Disponível em: http://techon.nikkeibp.co.jp/atclen/news_en/15mk/112900988/?ST=msbe&P=2.

Acesso em: 12 jun. 2019.

TOLMASQUIM, M. T. Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. **EPE**. Rio de Janeiro, RJ. 2016

VERDÉLIO, Andreia. **Chesf inicia estudo com painéis solares em reservatório de Sobradinho2**. 2018. Disponível em:

<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-11/chesf-inicia-estudo-com-plataformas-solares-no-lago-de-sobradinho>. Acesso em: 04 mar. 2019.

WIRTH, H. Recent Facts about Photovoltaics in Germany. Fraunhofer ISE. Freiburg, Alemanha. 2017.

ANEXO A – FICHA TÉCNICA DO PAINEL (Q. PEAK DUO L-G5 380-390)



The new high-performance module **Q. PEAK DUO L-G5.2** is the ideal solution for commercial and utility applications thanks to a combination of its innovative cell technology **Q.ANTUM** and cutting edge cell interconnection. This 1500V IEC/UL solar module with its 6 busbar cell design ensures superior yields with up to 390Wp while having a very low LCOE.



LOW ELECTRICITY GENERATION COSTS

Higher yield per surface area, lower BOS costs, higher power classes, and an efficiency rate of up to 19.6%.



INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behavior.



ENDURING HIGH PERFORMANCE

Long-term yield security with Anti LID Technology, Anti PID Technology¹, Hot-Spot Protect and Traceable Quality Tra.Q™.



EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminum alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (2400 Pa).



A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty².



SIMPLER INSTALLATION

Custom cable lengths connect to cableless junction box after mounting, reducing labour effort and minimizing resistive losses³.



THE IDEAL SOLUTION FOR:



Rooftop arrays on commercial/industrial buildings



Ground-mounted solar power plants

Engineered in **Germany**

Q CELLS

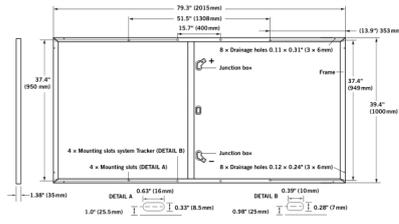
¹ APT test conditions according to IEC/TS 62804-1:2015, method B (-1500V, 168h)

² See data sheet on rear for further information.

³ See data sheet on rear for further information. Cable length depends on the product version.

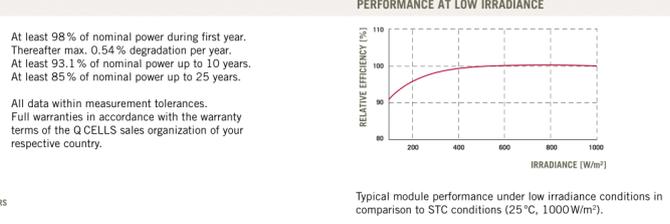
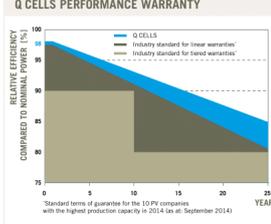
MECHANICAL SPECIFICATION	
Format	79.3 in x 39.4 in x 1.38 in (including frame) (2015 mm x 1000 mm x 35 mm)
Weight	51.8 lbs (23.5 kg)
Front Cover	0.13 in (3.2 mm) thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Composite film
Frame	Anodized aluminum
Cell	6 x 24 monocrystalline Q.ANTUM solar half-cells
Junction box	2.40-2.80 in x 1.61-1.97 in x 0.51-0.83 in (61-71 mm x 41-50 mm x 13-21 mm), decentralized, IP67
Cable	4 mm ² Solar cable; one ≥ 15.7 in (400 mm) or two ≥ 11.8 in (300 mm) cables*
Connector	IP67 or IP68

* depending on product version



ELECTRICAL CHARACTERISTICS		380	385	390	
POWER CLASS		380	385	390	
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC ¹ (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)					
Minimum	Power at MPP ²	P_{MPP} [W]	380	385	390
	Short Circuit Current*	I_{SC} [A]	10.05	10.10	10.14
	Open Circuit Voltage*	V_{OC} [V]	47.95	48.21	48.48
	Current at MPP*	I_{MPP} [A]	9.57	9.61	9.66
	Voltage at MPP*	V_{MPP} [V]	39.71	40.05	40.38
	Efficiency ²	η [%]	≥ 18.9	≥ 19.1	≥ 19.4
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NOC ³					
Minimum	Power at MPP ²	P_{MPP} [W]	281.6	285.3	289.0
	Short Circuit Current*	I_{SC} [A]	8.11	8.14	8.18
	Open Circuit Voltage*	V_{OC} [V]	44.85	45.10	45.35
	Current at MPP*	I_{MPP} [A]	7.53	7.56	7.60
	Voltage at MPP*	V_{MPP} [V]	37.41	37.73	38.04

¹ 1000 W/m², 25 °C, spectrum AM 1.5 G ² Measurement tolerances STC ± 3%; NOC ± 5% ³ 800 W/m², NOCT, spectrum AM 1.5 G * typical values, actual values may differ



TEMPERATURE COEFFICIENTS			
Temperature Coefficient of I _{SC}	α [%/K] +0.04	Temperature Coefficient of V _{OC}	β [%/K] -0.28
Temperature Coefficient of P _{MPP}	γ [%/K] -0.37	Normal Operating Cell Temperature	NOCT [°F] 113 ± 5.4 (45 ± 3 °C)

PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN			
Maximum System Voltage V _{sys}	[V] 1500 (IEC) / 1500 (UL)	Safety Class	II
Maximum Series Fuse Rating	[A DC] 20	Fire Rating	C (IEC) / TYPE 1 (UL)
Design load, push (UL) ²	[lbs/ft ²] 75 (3600 Pa)	Permitted module temperature on continuous duty	-40 °F up to +185 °F (-40 °C up to +85 °C)
Design load, pull (UL) ²	[lbs/ft ²] 33 (1600 Pa)		² see installation manual

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES	PACKAGING INFORMATION	
UL 1703; CE-compliant; IEC 61215 (Ed.2); IEC 61730 (Ed.1) application class A	Number of Modules per Pallet	29
  	Number of Pallets per 53' Trailer	26
	Number of Pallets per 40' High Cube Container	22
	Pallet Dimensions (L x W x H)	81.9 in x 45.3 in x 46.7 in (2080 mm x 1150 mm x 1185 mm)
	Pallet Weight	1635 lbs (742 kg)

NOTE: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS America Inc.
300 Spectrum Center Drive, Suite 1250, Irvine, CA 92618, USA | TEL +1 949 748 59 96 | EMAIL inquiry@us.q-cells.com | WEB www.q-cells.us

Fonte: Q Cells, 2019

Specifications subject to technical changes. © Hanwha Q CELLS Q-PEAK DUO L-G5.2...380-390-2018-Q1_Rev04_MX

ANEXO B – FICHA TÉCNICA DO INVERSOR SUNGROW (SG 30 KU)

PV Grid-Connected Inverters 2015–2016 V12

SG 30 / 36KU

SUNGROW
www.sungrowpower.com



Efficient and flexible

- High yields due to efficiency up to 98.5% and CEC efficiency of 98.0%
- Dual MPP trackers control



Grid-friendly

- Continuous active power control
- Reactive power control with power factor 0.8 overexcited ~ 0.8 underexcited
- Includes RS-485 interface, compatible with all common monitoring systems



Intelligent design

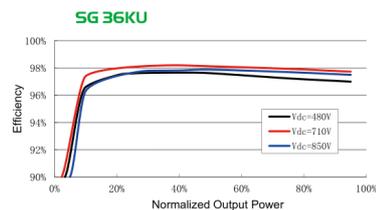
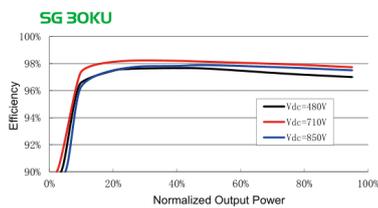
- Integrated combiner box: 10 x Screw terminal pairs with DC string fuses, Type II overvoltage protection and DC switch, more safety and lower the system cost
- Can be wall-mounted without lifting equipment, weight 65 kg
- Can be mounted vertically as well as horizontally, giving maximum design flexibility and lowering installation costs



Reliable

- Product certification: cCSAus, UL 1741, IEEE 1547, IEEE1547.1, CSA C22.2, 107.1-01-2001, FCC Part 15 Sub-part B Class B Limits
- Manufacturer certification: ISO 9001, ISO 14001, OHSAS 18000

Efficiency Curve



Specifications subject to change without notice.

Input Side Data	SG 30KU	SG 36KU
Max. PV input power	34100W	41000W
Max. input voltage	1000Vdc	
Startup voltage	300V	
Nominal input voltage	710V	
MPP voltage range	280~950Vdc	
MPP voltage range for nominal power	480~850Vdc	560~850Vdc
No. of MPPTs	2	
Max. number of PV strings per MPPT	5	
Max. PV input current(DC1/DC2)	33A*2	
Max. input current for input connector	12A	
Short-circuit current of PV input	40A*2	
Output Side Data		
Nominal AC output power	30000W	36000W
Max. AC output power(PF=1)	33240W	39800W
Max. AC output apparent power	33240VA	39800VA
Max. AC output current	40A	48A
Nominal AC voltage	480Vac	
AC voltage range	422~528Vac	
Grid Connection Type	3Ø/3W or 4W+Ground	
Normal output frequency	60Hz	
Grid frequency range	57~63Hz	
THD	<3% (at nominal power)	
DC current injection	<0.5%In	
Power factor	>0.99 default value at nominal power, adj. 0.8 overexcited~0.8 underexcited	
Protection		
Anti-islanding protection	Yes	
LVVRT	Yes	
DC reverse connection protection	Yes	
AC short circuit protection	Yes	
Leakage current protection	Yes	
DC switch	Integrated	
DC fuse	Integrated	
Overvoltage protection	Type III surge arrester (optional Type II DIN rail surge arrester)	
AC switch	Optional	
AC fuse	Optional	
System Data		
Max. efficiency	98.5%	
CEC efficiency	98.0%	
Isolation method	Transformerless	
Ingress protection rating	NEMA4X	
Night power consumption	<1W	
Ambient operating temperature range	-25~ + 60°C (>45°C derating) -13~+140°F (>113°F derating)	
Allowable relative humidity range	0~100%	
Cooling method	Smart forced air cooling	
Max. operating altitude	4000m (>3000m derating) 13000ft(>9800ft derating)	
Display	Graphic LCD	
Communication	RS485 (optional Ethernet)	
DC connection type	Screw terminals	
AC connection type	Spring clamp terminal	
Certification	cCSAus	
Safety and EMC Standard	UL 1741, IEEE 1547, IEEE1547.1, CSA C22.2#107.1-01-2001, FCC Part 15 Sub-part B, Class B Limits	
Mechanical Data		
Dimensions (W*H*D)	622*880*250mm 25*34.6*9.8inch	
Mounting method	Wall bracket or floor bracket	
Weight	65kg 143lbs	

Circuit Diagram

